

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université M'hamed Bougara Boumerdes
Faculté des Sciences
Département de Mathématiques



Mémoire Présenté
Pour l'obtention du diplôme de Master
en Recherche Opérationnelle
Option : Recherche Opérationnelle Mathématique Et Aide à La Gestion
(ROMAGE)

Par : M^{lle} Ait Adjedjou Sara

Et : M^{lle} Benneddine Lilia

Evaluation des performance par
l'ordonnancement optimum du modèle
d'activités au niveau opérationel projet alstom
hub oran

Soutenu à l'UMBB, le 03/07/2017, devant le jury composé de :

<i>M^r L.Asli</i>	<i>M.A.A Président</i>	à	<i>l'UMBB – Boumerdes.</i>
<i>M^r F.Asloum</i>	<i>M.A.A Encadreur</i>	à	<i>ALSTOM – Entreprise</i>
<i>M^{me} W.Drici</i>	<i>M.A.B Promotrice</i>	à	<i>l'UMBB – Boumerdes.</i>
<i>M^{me} C.Azzout</i>	<i>Co – promotrice</i>	à	<i>l'UMBB – Boumerdes.</i>
<i>M^r F.Cheurfa</i>	<i>M.A.A Examineur</i>	à	<i>l'UMBB – Boumerdes.</i>
<i>M^{me} S.Zouaoui</i>	<i>M.A.A Examinatrice</i>	à	<i>l'UMBB – Boumerdes.</i>
<i>M^{me} M.Benmensour</i>	<i>M.A.B Examinatrice</i>	à	<i>l'UMBB – Boumerdes.</i>

Année Universitaire 2016 – 2017

Remerciement

Nous remercions DIEU le tout puissant, de nous avoir aidé dans les moments les plus difficiles, de nous avoir aidé à accomplir ce travail.

Nos chaleureux et sincères remerciements vont tout d'abord : A notre Co-promotrice C. Azzout et à notre promotrice la professeur W. DRICI, sans qui, ce travail ne pouvait avoir cette forme, nous lui témoignons toute notre gratitude et reconnaissance pour nous avoir encouragé, consacré son temps précieux et nous avoir accorder son attention avec une extrême patience, nous lui remercions pour tous ses conseils qui étaient notre guide vers une vision plus étendue.

Nous venons humblement exprimer nos remerciements à Monsieur Fouzi Asloum, notre encadreur à ALSTOM, pour ses conseils.

En toute humilité, nous voudrions également exprimer notre gratitude à Monsieur F. Cheurfa, Monsieur B.Issaadi, Monsieur M. Bezoui à, Monsieur L.Asli Madame Ouatiki, Madame Benmanssour et Monsieur R.Missoum de nous avoir aidé pendant notre cursus d'étude.

Nous présentons également nos remerciements aux membres de jury qui nous font l'honneur d'évaluer et de juger notre travail.

Nous voudrions pour finir, remercier toutes les personnes qui nous ont encouragé, aidé, et soutenu de près ou de loin à élaborer ce travail.

Merci pour tout.

Dédicaces

Aux être les plus chers au monde qui m'ont donnés la vie : ma douce et tendre mère et mon chère père.

À l'un de mes points faibles, mon frère Mohamed Nazim que j'aime énormément.

Je ne les remercierai jamais assez pour tout leur soutiens, encouragements et si précieux conseils. A ma très chère grand-mère et à mes tantes Malika et Salima. A toute la famille.

A mes complices de toujours, mes trois cousines Meriem, Rima et Nouha, je leur souhaite toute la réussite.

A tous mes oncles plus particulièrement : Madjid qui m'a tant aidé, Mustapha, Mohamed et Lotfi.

A tous mes amis en particulier ma chérie SARA AIT ADJEDJOU qui est l'épaule sur laquelle je peux m'appuyer et à DAHMANI AYDA qui m'a soutenu pendant les moments difficiles. Ainsi que Sabrina, Nouha, Bouchra, Dalal, Lilia, Haoua, Hanane, Yasmine, Leila et à ma copine de chambre Hanane Tounsi, sans oublier les deux camarades Yacine Chikh et Nabil Boumedine qui m'ont tant aidé et supporter.

A mon binôme SARA et toute sa famille.

Je dédie ce modeste travail.

LILIA.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

À ma tendre maman, symbole de force et de courage, dont les prières et la bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.

À mon papa chéri, je ne saurais t'exprimer ma gratitude pour tous tes sacrifices.

À mes adorables et presque parfaites soeurs : Hadia, Doria, Jo, Lyli.

À mon unique frère que j'aime énormément : Kikim.

À mon binôme, (Bicha) une de mes meilleures rencontres, que dieu puisse nous garder unies toute la vie : Lilia et à toute sa famille.

À mes cousines d'amour : Amel, Massilva, Nelly.

À toutes mes copines, les meilleures au monde : Babi, Daddy, Katia, Leila, Melissa, Zizou, Zouzou.

À la mémoire de mon défunt grand-père : JEDIS, puisses-tu reposer en paix.

SARA.

Résumé

Les entreprises manufacturières vivent aujourd'hui dans une concurrence de plus en plus importante, d'où la nécessité de perfectionner leurs systèmes de maintenance et de production. Cependant, maîtriser ses équipements est depuis toujours un défi industriel complexe à gérer. La réorganisation et l'adaptation physique de ces fonctions peut s'avérer très coûteuse.

Toutefois, un système d'aide à la décision s'avère indispensable pour s'adapter aux nouvelles contraintes dans les meilleures conditions. Dans cette étude, nous proposons un système d'aide à la décision concernant un problème de choix des chaîne logistique en tenant compte des frais engendrés par cette dernière . Nous optimisons via cette démarche la disponibilité des ressources matérielles.

Table des matières

<i>Introduction générale</i>	1
1 Présentation de l'organisme d'accueil	3
Introduction	3
1 Historique	3
2 Domaines d'activités et secteurs internes	5
3 ALSTOM dans le monde	5
3.1 Analyse détaillée :	6
3.2 Ambitions pour les 3 prochaines années :	7
4 ALSTOM Algérie	7
4.1 Histoire	8
4.2 La présence solide d'ALSTOM dans l'Algérie	8
4.3 Les compétences	9
5 Projet de Tramway d'Ouargla et Mostaganem	9
5.1 Le tramway d'Ouargla	10
5.2 Le tramway de Mostaganem	12
6 Notions de base	13
6.1 projet	14
7 Transport et dédouanement	15
7.1 Mode de transport	15
7.2 Emballage	15
7.3 Amende de retard de traitement en douane	15
8 Workflow	16
2 Problématique	17
Introduction	17
1 Position du problème	17
2 Objectifs ciblés	20
3 Conclusion	20
3 Modélisation	21
Introduction	21
1 Description du problème	21
2 Modélisation mathématique	22

2.1	Les indices du modèle	22
2.2	Les variables du modèle	22
2.3	Les paramètres du modèle	22
2.4	La fonction objectif :	23
2.5	Les contraintes :	23
2.6	Interpretation des objectifs	23
2.7	Interpretation des contraintes	23
3	Modèle mathématique pour le deuxième cas	23
3.1	La fonction objectif	24
3.2	Les contraintes	24
3.3	Interpretation des objectifs	24
3.4	Interpretation des contraintes	24
4	Approches de résolution	25
	Introduction	25
1	Problème d'optimisation linéaire	25
1.1	Définition	25
2	Méthodes de résolution des problèmes d'optimisation	26
2.1	Les méthodes exactes	27
2.2	Les méthodes approchées	28
3	Méthode du simplexe	29
3.1	Algorithme du simplexe	29
4	Algorithmes polynomiaux et Algorithmes exponentiels	31
5	Théorie de la chaîne logistique	32
	Introduction	32
1	Fonctions de la chaîne logistique	32
2	Les décisions dans les chaînes logistiques	33
3	Modélisation des chaînes logistiques	34
4	Conception et Gestion des chaînes logistiques	35
4.1	Les objectifs principaux de la supply chain	36
6	Théorie de la gestion des stocks	37
	Introduction	37
1	Introduction	37
2	Présentation de quelques techniques de gestion des stocks	38
3	La gestion des stocks	39
3.1	L'approvisionnement	40
3.2	La demande	40
3.3	Les coûts	40
4	Quelques modèles de gestion des stocks	41
4.1	Calcul de la Quantité économique	41
5	Les prévisions à l'aide des séries chronologiques	46

5.1	Séries chronologiques	46
5.2	Composantes des séries chronologiques	46
5.3	Prévisions de séries chronologiques	47
6	Le lissage exponentiel	48
6.1	Principe de base	48
6.2	Description de la méthode	49
7	Résolution du problème	50
	Introduction	50
1	Chaîne logistique	51
1.1	Cartographie des flux (Value Stream Mapping(VSM))	51
1.2	Les indicateurs de performance (Key Performance Indicator (KPI))	54
2	Gestion des stocks	56
2.1	Etudes et classification des articles	56
2.2	Analyse des données :	60
3	Analyse de la série Erreurs de Planification de consommation	65
3.1	Notation	65
3.2	Identification	66
3.3	Présentation graphique de la série	66
3.4	Prévision EPQCM	66
3.5	Intervalle de confiance de la prévision	68
3.6	Calcul du stock de sécurité	70
4	La politique de planification de type MRP2	70
4.1	Historique et intérêt	70
4.2	Structure globale du MRP2	72
4.3	Schéma fonctionnel du MRP2	72
8	Application	74
	Introduction	74
1	Application Supply Chain	74
1.1	Logiciel Cplex	75
1.2	Description de l'application	76
1.3	Résolution et discussion	77
1.4	Exemple d'application	77
1.5	Comparaison	78
1.6	Résultat	78
2	Application gestion de stock	79
2.1	Logiciel Matlab	79
2.2	Présentation de logiciel	79
3	Conclusion	82
	Conclusion générale	83

Table des figures

1.1	Schéma descriptif de l'organisation interne de l'entreprise	5
1.2	La distributions des projets Tramways en Algérie	8
1.3	Implantations des projets de tramways d'ALSTOM en Algérie	10
1.4	Citadins 402 du tramway d'Ouargla	11
1.5	Tracé du Tramway d'Ouargla	11
1.6	Tracé du Tramway de Mostaganem	13
2.1	Cartographie Supply Chain	18
2.2	Schéma de la chaîne logistique	18
4.1	Classification des méthodes d'optimisation mono-objectif	26
4.2	La Forme d'un tableau base du simplexe	29
6.1	Echantillon	43
6.2	Tableau des quantités consommées	44
6.3	Tableau des différents frais.	45
7.1	Value Stream Mapping de Mostaganem	53
7.2	Value Stream Mapping de Ouargla	54
7.3	Tableau des indicateurs de performances	55
7.4	Flûx du magasin d'Ouargla	58
7.5	Flûx Hub d'Oran pour projet d'Ouargla	59
7.6	Flûx Hub Oran pour projet de Mostaganem	60
7.7	Δ des Quantités entrantes et sortantes au magasin d'Ouargla	61
7.8	Δ des Quantités entrantes et sortantes au hub pour le projet d'Ouargla	62
7.9	Δ des Quantités entrantes et sortantes au hub pour le projet de Mostaganem	63
7.10	Nombre d'articles total et mouvementés Magasin Ouargla	63
7.11	Diagramme des articles et du mouvement d'article Magasin Ouargla	64
7.12	Articles et articles mouvementés Hub Oran	64
7.13	Diagramme des articles et du mouvement d'article Hub Oran	65
7.14	La série EPQCM sous EvIEWS	66
7.15	Résultat Statistique du Lissage sur EPQCM	67
7.16	Prévision de la série EPQCMSM	67
7.17	Résultat lissage sur EPCQM (EvIEWS).	69

7.18	Intervalle de confiance de la prévision.	70
7.19	Structure globale du MRP2.	72
7.20	Structure globale du MRP2.	73
8.1	Cplex	75
8.2	ILOG Optimization Suite	76
8.3	Solution avec passage par le Hub	77
8.4	Solution sans passage par le Hub	78
8.5	Comparatif des résultats	78
8.6	Logiciel Matlab	79
8.7	Interface Matlab	80
8.8	Table de données Eviews	80
8.9	Résultat écart Type	81
8.10	Données Eviews	82

Introduction générale

Dans un monde industriel marqué par une concurrence accrue, les entreprises sont confrontées à une demande de plus en plus variable et fortement influencée par de nombreux facteurs conjoncturels. Pour y faire face, les entreprises se penchent sur l'organisation de leurs chaînes logistiques, en particulier, en orientant leurs efforts vers le développement de nouvelles approches de pilotage de flux visant, ainsi, à mieux satisfaire le client tout en minimisant leurs coûts.

Outre les approches classiques de gestion de stock développées depuis les années 30, d'autres approches ont vu le jour au début des années 70 dans l'objectif de gérer simultanément, et de manière plus synchronisée, les flux tout au long de la chaîne logistique. Il s'agit, en particulier, des différentes techniques d'optimisation multi objectifs, sur laquelle se base la majorité des progiciels de gestion de la chaîne logistique. Dans toutes ces approches de pilotage de flux, les managers sont amenés à prendre d'importantes décisions afin de satisfaire les clients au moindre coût. Ces décisions doivent tenir compte non seulement de l'information concernant le système (niveau de stock, état du système, etc...), mais aussi de l'information sur la demande dont l'impact est très important sur le pilotage de flux.

Lorsque l'information sur la demande du client est disponible à l'avance, elle permet à l'entreprise de mieux estimer ses besoins futurs et d'améliorer, ainsi, les règles de son pilotage de flux. L'information sur la demande peut se présenter sous deux formes : les commandes (fermes ou prévisionnelles) passées par les clients et les prévisions effectuées par l'entreprise. Durant la dernière décennie, les politiques de pilotage de flux en présence d'information à l'avance sur la demande ont fait l'objet de beaucoup de travaux. Malgré cet intérêt, les travaux que nous avons pu recenser sont basés sur des hypothèses simplificatrices permettant d'avoir quelques résultats préliminaires qui restent à être approfondi. Il faut, également, souligner qu'en étudiant la littérature sur le pilotage de flux (avec ou sans information à l'avance sur la demande), nous avons remarqué qu'il existe des travaux qui étudient l'ensemble des politiques de pilotage de flux pour en proposer une vision globale, structurée et cohérente. Ces deux constats sont à l'origine de la motivation de notre travail de recherche.

Notre travail de recherche vise un double objectif. Le premier objectif est de proposer une vision globale des approches de pilotage de flux dans une chaîne logistique et ce, en

effectuant une synthèse des politiques existantes en mettant en évidence leurs similarités et leurs différences. Cette étude permettra de donner un outil d'aide au choix de la meilleure politique de pilotage dans un contexte industriel donné.

Le second objectif consiste à effectuer une extension des politiques de gestion de stock classiques, basées sur une approche de renouvellement de la consommation, à des politiques de pilotage par les besoins futurs, les besoins étant exprimés sous forme de prévisions. Plus précisément, il s'agit de développer une approche générale, basée sur la notion d'incertitude prévisionnelle. Ceci nous permettra de proposer de nouvelles politiques de gestion de stock en présence de prévisions de la demande et de les comparer aux politiques déjà existantes afin de mettre en évidence les bénéfices de l'utilisation des prévisions de la demande dans le pilotage de flux.

Chapitre 1

Présentation de l'organisme d'accueil

ALSTOM est un groupe français spécialisé dans la conception de systèmes, équipements et services pour le secteur ferroviaire (trains, métros, trams). Ainsi que les infrastructures de production de transmission d'électricité. À l'origine Als-Thom, contraction d'Alsace et de Thomson, devenu ALSTOM, était le résultat de la fusion, réalisée en septembre 1928[1], d'une partie de la Société alsacienne de constructions mécaniques (SACM, spécialiste de la construction de locomotives, et de la Compagnie française Thomson-Houston (CFTH), société franco-américaine spécialiste des équipements de traction électrique ferroviaire et de la construction électromécanique.

Leader mondial des systèmes ferroviaires intégrés. Cette position s'est construite par une politique d'innovation forte adaptée aux attentes des clients.

Aujourd'hui entièrement dédié au transport, ALSTOM offre la gamme de solutions la plus large du marché des trains à grande vitesse aux métros et tramways des services personnalisés (maintenance, modernisation,...) ainsi que des solutions d'infrastructure et de signalisation[38].

En 2015/16, l'entreprise a réalisé un chiffre d'affaires de 6,9 [40] milliards d'euros et enregistré pour 10,6 milliards d'euros de commandes. ALSTOM est présent dans 105 sites, répartis sur plus de 60 pays et emploie actuellement 31000 collaborateurs.

1. Historique

1928 : Création d'ALSTOM société de construction électromécanique (Compagnie Française Thomson-Houston + Alsacienne de Construction Mécanique)[1].

1932 : Fusion de l'atelier de constructions de locomotives Constructions électriques de

France (CEF) et d'ALS-THOM.

1955 : La locomotive d'ALSTOM CC bat le record du monde de vitesse sur rail à 331km/h .

1965 : Création de trois filiales, issues de participation de l'ALSTOM et de la CGE, se répartissant des fabrications différentes, ALSTHOM-SAVOISIENNE (transformateurs et machine électrique), DELLE-ALSTHOM (appareillages moyennes tensions), UNELEC (appareillages basses tensions).

1986 : EDF Electricité de France confie au site d'ALSTOM de Belfort la construction de la plus grande turbine à gaz du monde 212MW .

1998 : ALSTOM est coté à la bourse de Paris.

2003 : Livraison du QueenMarry II (le plus grand paquebot du monde).

2008 : ALSTOM dévoile sa nouvelle génération de trains à très grande vitesse, l'AGV pouvant atteindre une vitesse commerciale de 360km/h .

Et aussi ALSTOM réalise la Première usine au monde de captage du CO_2 .

2012 : Création d'ALSTOM Power Maghreb and Africa Excellence Centre (maintenance des centrales électriques).

2014 : Rachat partiel d'ALSTOM par la firme américaine General Electric.

2016 : ALSTOM remporte un contrat de 2 milliards de dollars aux Etats-Unis. Le constructeur français fabriquera 28 trains à grande vitesse et construira la ligne "Boston-New York-Philadelphie-Washington DC".

2. Domaines d'activités et secteurs internes

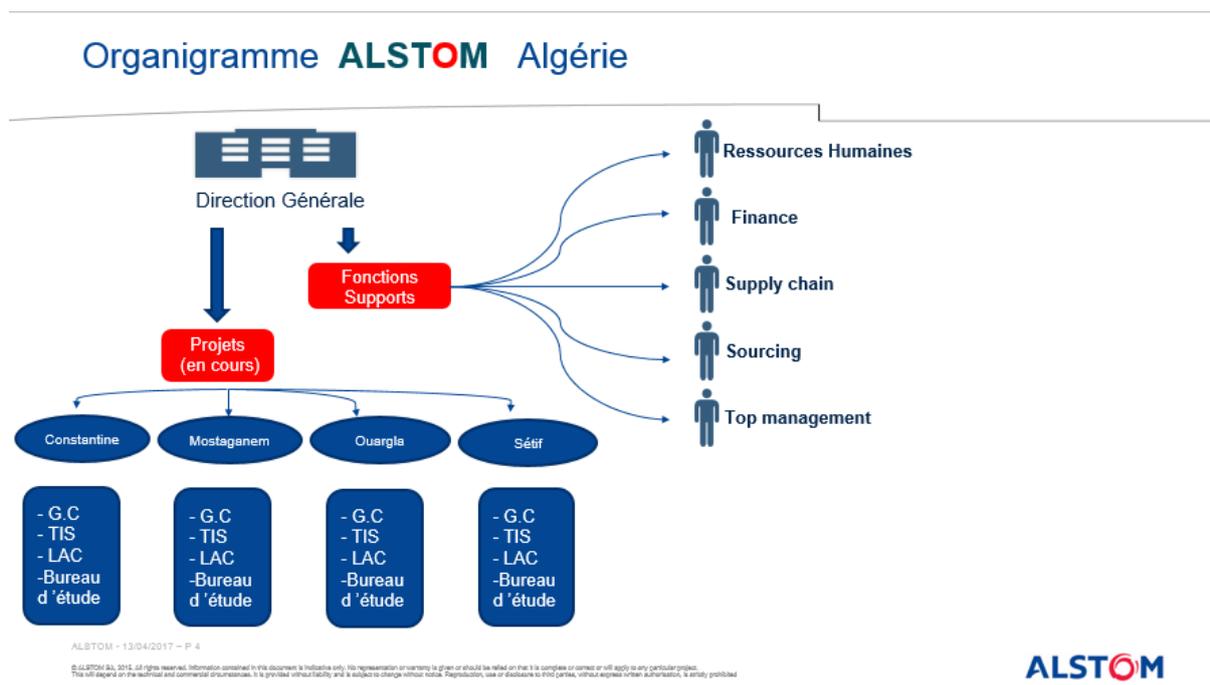


FIGURE 1.1 : Schéma descriptif de l'organisation interne de l'entreprise

Promoteur de la mobilité durable, ALSTOM conçoit et propose des systèmes, équipements et services pour le secteur ferroviaire. ALSTOM offre la gamme de solutions la plus large du marché - des trains à grande vitesse aux métros et tramways des services personnalisés (maintenance, modernisation...) ainsi que des solutions d'infrastructure et de signalisation. ALSTOM se positionne comme un leader mondial des systèmes ferroviaires intégrés. L'une des directions dont la tâche est la plus difficile et à laquelle nous nous intéresserons est la Direction Centrale du Matériel, sise à la zone industrielle d'Oran puisqu'elle a pour rôle de fournir les besoins en matériel aux divers chantiers ou sites de production existants.

En fait, l'entreprise se contente de cette unique direction de matériel à travers tout le pays, assurant ainsi une certaine « centralisation » du matériel au niveau de la capitale, et ayant à tout moment les moyens de transporter ses engins, même les plus gros, entre le parc et les chantiers, aux quels elle facture la location de ses biens en heures, à des prix très spécifiques.

3. ALSTOM dans le monde

Suite à la publication des résultats annuels 2015/2016, le 11 mai dernier, Alstom a réalisé une performance commerciale record. L'année a été très bonne avec des commandes de 10,6 milliards d'euros et un chiffre d'affaires en hausse de 12 %, atteignant les 6,9[40] milliards d'euros. Cette performance est principalement due à un contrat colossal conclu en Inde pour des locomotives électriques, mais aussi grâce aux succès enregistrés dans

toutes les régions.

En termes de chiffres d'affaires, la croissance est principalement soutenue grâce à l'avancement du système du métro de Riyad en Arabie Saoudite, où ALSTOM a obtenu la première acceptation client (FAT : Factory Acceptance Test) et grâce au projet PRASA en Afrique du Sud où Gibela, la coentreprise d'ALSTOM, a livré avec succès le premier train X'Trapolis Mega à PRASA. Alors elle a également eu le départ de la maquette du tramway de Lusail pour Doha, au Qatar, et la livraison du premier tramway d'Ouargla en Algérie[36].

3.1. Analyse détaillée :

2015/2016 : Dans la région Moyen-Orient Afrique et South CIS, ALSTOM a obtenu des résultats satisfaisants, grâce aux fortes commandes enregistrées et de bons résultats en termes de trésorerie.

Le 2 novembre 2015 ALSTOM a conclu la vente de ses activités d'énergie à General Electric.

ALSTOM Transport est devenu ALSTOM, désormais recentré sur ses activités de transport ferroviaire.

ALSTOM a acquis GE Signalling, ce qui contribuera à accélérer sa croissance dans la signalisation.

ALSTOM est aujourd'hui un spécialiste mondiale du transport, fort, plus agile financièrement et stratégiquement.

En septembre 2015, au Maroc, ALSTOM a signé un contrat avec CASA TRANSPORT, l'autorité de transports publics de Casablanca, pour fournir 50 trams Citadis supplémentaires destinés à une nouvelle section de la ligne de tramway[40].

Fin août 2015, en Arabie Saoudite, ALSTOM a été déclaré « moins-disant » pour le projet « Makkah ».

Le 29 Juin 2016 La construction du projet commencera au dernier trimestre de cette année et les tests devraient commencer en 2019[36]. La mise en service du métro est prévue pour le deuxième semestre de 2020 – cinq mois avant l'ouverture de l'Expo 2020.

ALSTOM a enregistré une performance commerciale solide durant les neuf premiers mois de 2016/17. Nous avons récemment signé un contrat pour la fourniture de 15 trains

régionaux au Sénégal, notre première commande en Afrique de l'Ouest. La semaine dernière, le consortium ALSTOM–Bombardier a été sélectionné pour renouveler les trains RER en France[41]. Ces deux contrats devraient être enregistrés au prochain trimestre. La croissance organique du chiffre d'affaires à 5 est parfaitement en ligne avec nos objectifs 2020 » a déclaré Henri Poupart–Lafarge, Président–Directeur Général d'ALSTOM.

3.2. Ambitions pour les 3 prochaines années :

Pour ces 3 prochaines années, ALSTOM continue de développer sa présence locale ainsi que les Partenariats, en particulier sur les marchés qui sont en train de s'ouvrir. Pour également confirmer ses ambitieuses commandes – malgré le défi que représentent le prix du pétrole et l'instabilité géopolitique – et proposer des solutions de financement pour rivaliser avec ses concurrents asiatiques. Donc il faut enfin rester vigilants sur l'exécution de ses projets pour livrer dans les temps, sans retards, ni problèmes de qualité[41].

En conclusion, les priorités à court terme sont les suivantes : sécurisation d'activité commerciale, extrême rigueur dans l'exécution, adaptation à un environnement en pleine évolution et concentration sur la trésorerie[41].

4. ALSTOM Algérie

La réussite algérienne d'ALSTOM tient en deux choses. Le groupe français a répondu à tous les appels d'offres lancés par l'Algérie depuis 2004. **ALSTOM** mise aussi sur la formation des cadres locaux et le transfert de technologie, chère au gouvernement algérien. « Nous avons fait le choix stratégique de développer les compétences locales. Depuis 2004, nous avons formé plus de 300 personnes aux différents métiers d'ALSTOM. Nous sommes également à l'écoute du client », explique Henry Russey, le PDG d'origine d'ALSTOM Algérie.

D'ailleurs, ALSTOM est l'un des rares groupes français à avoir cette réussite dans un pays plutôt réputé difficile pour les entreprises françaises et occidentales à cause de la très forte concurrence des groupes chinois et les tensions politiques récurrentes entre Alger et Paris. Grâce à ce contrat, ALSTOM se positionne sur le marché algérien des chemins de fer et des tramways.

En termes de résultats, ALSTOM a réalisé une solide performance commerciale au cours des neuf premiers mois de l'exercice 2016/17, avec une forte augmentation du nombre de commandes (plus 16%) et du chiffre d'affaires (plus 6%), et des succès commerciaux dans toutes les régions et lignes de produits.



FIGURE 1.2 : La distributions des projets Tramways en Algérie

4.1. Histoire

2011 : Inauguration du métro (en cours de prolongement) et du tramway à Alger [2].

2013 : Mise en service du tramway à Oran et à Constantine (travaux d'extension jusqu'en août 2018)

D'ici à **2018** inauguration prévue du tramway à Sidi Bel Abbés, Sétif, Ouargla et Mostaganem À l'étude Construction du tramway à Batna et à Annaba ; prolongement du tramway à Alger et à Oran.

ALSTOM Algérie a participé le mardi 27 septembre 2016 à La journée de la mobilité durable qui a été célébrée sur tous les sites **ALSTOM**, avec l'objectif de sensibiliser ses collaborateurs au thème du transport durable, avec une discussion sur :

- ▶ Les moyens de transport utilisés pour se rendre au travail et le temps de trajet.
- ▶ La situation du transport public à Alger et son développement en perspective.
- ▶ Les moyens de réduire notre empreinte environnementale.
- ▶ La mobilité durable et le rôle d'ALSTOM dans la transition vers des systèmes de transport durables.

4.2. La présence solide d'ALSTOM dans l'Algérie

- ▶ 348 employés [2].
- ▶ 6 sites de projet tramway.
- ▶ Participation dans la joint-venture Cital :

◇ 1 usine.

◇ 3 centres de maintenance.

◇ 200 employés.

► Il y'a 7 Projets de Tramway "System Infra" :

◇ 3 déjà livrés : Alger, Oran, Constantine.

◇ 4 en construction : Ouargla, Mostaganem, Sétif et Constantine extension.

► Les ressources humaines en Algérie :

◇ 348 personnes sur 6 sites dans 6 villes (332 algériens).

◇ Un système de formation enrichissant sur des métiers et des projets différents.

◇ Une présence importante de femmes (81).

◇ Moyenne d'âge entre 25 et 40 ans.

◇ Un tremplin vers une région riche d'opportunités : 16 personnes envoyées à l'international sur les 3 dernières années [2].

4.3. Les compétences

- Ingénierie énergie.
- Ingénierie voie.
- Ingénierie système.
- Logistique.
- Test commissioning.
- Maintenance.
- Gestion projet et planification.
- Qualité.
- EHS (Environment Health Safety), concernant la sécurité du travail ALSTOM désormais 0 Accidents ou incidents sur l'ensemble des projets Alstom en Algérie dans les derniers 540 jours (inclus environs 160 personnes chez les sous-traitants).

5. Projet de Tramway d'Ouargla et Mostaganem

ALSTOM est très présente en Afrique, notamment en Algérie, où elle participe à la conception, la construction et la maintenance des lignes ferroviaires.

À l'instar de plusieurs wilayas du pays, celle de Mostaganem et Ouargla offrira bientôt un autre mode de transport à ses habitants, à savoir le tramway.



FIGURE 1.3 : Implantations des projets de tramways d'ALSTOM en Algérie

5.1. Le tramway d'Ouargla

◇ Date du début du projet= $T_0 = 15/09/2013$.

◇ Date de fin des prestations du lot syst me= $T_0 + 51\text{Mois} = 14/12/2017$.

La première ligne du Tramway de OUARGLA aura un tracé en forme de "U", reliant El Ksar à la nouvelle ville (Hai Nasr) en passant par le centre-ville.

- ▶ Longueur de la ligne : 12.6km.
- ▶ Nombre de stations : 23.
- ▶ Nombre dessous stations électriques : 06.
- ▶ Nombre de carrefour : 16.
- ▶ Nombre de parc relais : 02.
- ▶ Nombre de pôles d'échange : 03.
- ▶ Centre de maintenance : 5.5 hectares.
- ▶ Temps de parcours : 34mn.
- ▶ Fréquence : 4mn en heure de pointe.
- ▶ Vitesse commerciale : 20,6km/h.
- ▶ Nombre de rames : 24 de 42m dotées d'équipements pouvant faire face au climat de la région.
- ▶ Capacité maximale de la rame : 400 voyageurs.
- ▶ Capacité de transport en heure de pointe : 3450 voyageurs/heure/sens.
- ▶ Capacité de transport attendue : 34 millions voyageurs par année.



FIGURE 1.4 : Citadins 402 du tramway d'Ouargla

20 décembre 2016 Cital, a livré le premier tramway Citadis à la ville de Ouargla, pendant une cérémonie officielle qui s'est tenue au centre de maintenance et dépôt des tramways, en présence du Wali de la Wilaya de Ouargla, M. Saad Agoudjil. Ce tramway, ainsi que les 22 autres qui ont été commandés par EMA [39] pour la ville de Ouargla en 2014 seront produits à Annaba Pour s'adapter au climat désertique de la ville de Ouargla, d'importantes évolutions techniques ont été apportées au tramway. En effet, plusieurs composants ont subi des modifications afin de résister à des températures maximales pouvant atteindre les 49 degrés, à un rayonnement solaire intense ainsi qu'à la présence élevée de poussière et de sable dans l'air. Pour ce faire, le système de climatisation a été renforcé, les baies vitrées ont été équipées d'un film solaire, la traction et le freinage ont été modifiés pour une meilleure étanchéité, et les pièces exposées (articulation, amortisseurs et pantographe) ont été protégées.

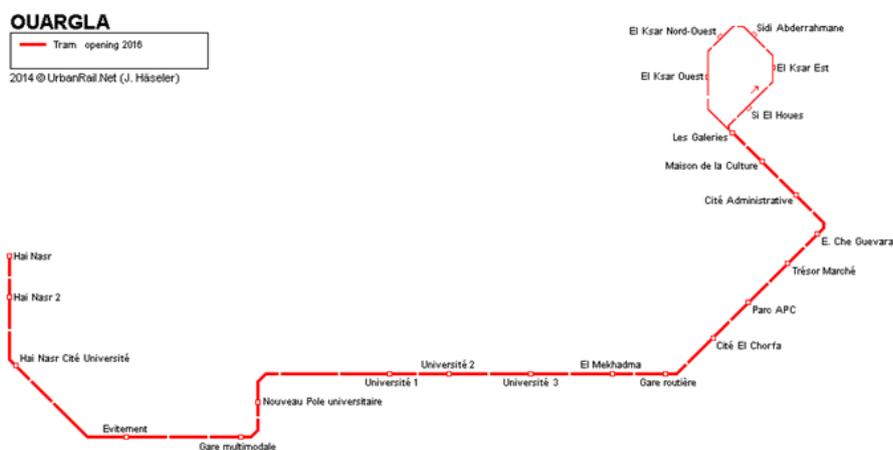


FIGURE 1.5 : Tracé du Tramway d'Ouargla

5.2. Le tramway de Mostaganem

- ◇ Date du début du projet= $T_0 = 15/09/2013$.
- ◇ Délais globale du début jusqu'à la réception provisoire(RP)= $T_0 + 60 \text{ Mois} = 15/09/2013$.

1- Le tramway de Mostaganem se compose de 2 tronçons, le premier reliera Salamandre à Kharrouba. La longueur de sa ligne est de $12,2 \text{ km}$.

Autres caractéristiques

- ▶ Nombre de stations : 20
- ▶ Temps de parcours : 40 mn .
- ▶ Vitesse commerciale : $20,3 \text{ km/h}$.
- ▶ Capacité de transport en heure de pointe : $3300 \text{ voyageurs/heure/sens}$.
- ▶ Distance entre chaque station : 650 mètres .

2- La 2 ème ligne reliera la gare SNTF du centre-ville à la nouvelle gare routière de longueur de ligne de 2 km .

Autres caractéristiques

- ▶ Nombre de stations : 4.
- ▶ Les stations :
 - ◇ Gare SNTF 2 du centre ville.
 - ◇ Cité AbaneRamdane.
 - ◇ Cité du 5 Juillet.
 - ◇ Nouvelle gare routière.
- ▶ Temps de parcours : 7 mn .
- ▶ Vitesse commerciale : $20,3 \text{ km/h}$.
- ▶ Capacité de transport en heure de pointe : $5000 \text{ voyageurs/heure/sens}$.
- ▶ Distance entre chaque station : 500 mètres .



FIGURE 1.6 : **Tracé du Tramway de Mostaganem**

6. Notions de base

Dans cette partie nous présentons les notions de base et leurs définitions comme des termes en relation avec le projet et le terrain de développement de notre travail. Nous nous intéressons aussi à la connaissance de base élémentaire, à la culture sommaire et globale pour une meilleure compréhension du problème dans un cadre général, puis nous définirons l'ensemble des tâches à accomplir dans un cadre précis aux projets, ainsi que la chaîne logistique et tous ce qui est en relation avec cette dernière, par la suite nous passerons à la position de notre problématique.

6.1. projet

Définition 1 (Projet)

Un projet est défini comme une démarche spécifique qui permet de structurer méthodiquement et progressivement une réalité à venir, il est mis en œuvre pour élaborer une réponse au besoin d'un utilisateur, d'un client ou d'une clientèle et il implique un objectif et des actions à entreprendre avec des ressources données. Tout projet se décline sous trois catégories d'objectifs et dont le poids relatif peut varier fortement d'un projet à l'autre :

► L'objectif de performance technique relative au respect de spécifications fonctionnelles et de caractéristiques techniques du produit qui définissent un niveau de qualité et se veulent des éléments importants de la réponse aux besoins que l'on cherche à satisfaire .

► L'objectif de délai : est une composante importante de l'expression des besoins. Un retard peut dans certains cas, rendre sans intérêt la bonne fin technique du projet .

► L'objectif de coût est la traduction financière des moyens que les commanditaires du projet acceptent de mettre en œuvre pour tenir les objectifs de performances techniques et de délais.[11]

Définition 2 (Tâche)

Une tâche est une entité élémentaire localisée dans le temps, par une date de début et/ou fin, et dont la réalisation nécessite une durée préalablement définie. Elle est constituée d'un ensemble d'opérations qui requiert, pour son exécution, certaines ressources et qu'il est nécessaire de programmer de façon à optimiser un certain objectif.

Définition 3 (Ressource)

Une ressource est un moyen technique ou humain utilisé pour réaliser une tâche, on trouve plusieurs types de ressources :

► Les ressources renouvelables qui, après avoir été allouées à une tâche, redeviennent disponibles (machine, personnel, etc...).

► Les ressources consommables ; qui, après avoir été alloué à une tâche, ne sont plus disponibles (argent, matières premières, etc...).

7. Transport et dédouanement

7.1. Mode de transport

1– Deux modèles de transport sont possibles et applicables sur les importations en Algérie :

- ▶ Maritime.
- ▶ aérien.

2– Les transferts du Parc de stockage vers les chantiers de réalisations se feront par mode de transport : routier.

7.2. Emballage

L'emballage doit être conforme aux normes internationales de transport et tenir compte des conditions particulières d'emballage appliquées pour chaque équipement.

7.3. Amende de retard de traitement en douane

Les nouvelles dispositions de l'article **57** de la loi de finance pour l'année **2015**, portant modification de l'article **319** du code des douanes comme suit :

L'amende pour défaut de dépôt de dossier douane dans les délais de la déclaration en détail prévu à l'alinéa G a été élevé de 25000 *DZD* à 50000 *DZD*.

8. Workflow

Définition 4

WorkFlow est la modélisation et la gestion informatique de l'ensemble des tâches à accomplir et des différents acteurs impliqués dans la réalisation d'un processus métier.

Le terme de Workflow pourrait donc être traduit en français par Gestion électronique des processus métier. [27].

Les différents types de workflow :

- ▶ Le workflow de production : Gestion des processus de base de l'entreprise.
- ▶ Le workflow administratif : Routage de formulaires, basé en général sur une infrastructure de messagerie.
- ▶ Le workflow ad-hoc : Procédures non déterminées.
- ▶ Le workflow coopératif : Procédure évoluant fréquemment et liées a un groupe de travail restreint.

Atouts de la gestion de workflow :

- ▶ Rapidité d'exécution.
- ▶ Amélioration des procédures.
- ▶ Contrôle l'avancement des projets
- ▶ Automatisation des procédures.

Définition 5 (Hub)

Le hub est une gare ferroviaire ou une gare routière, à partir duquel de nombreux services fonctionnent et des trajets de connexion peuvent être effectués d'après le Collins Dictionary English ; le nom de hub (signifiant noyau de roue en anglais ; la traduction française exacte est répartiteur),

Dans le cas d'Alstom c'est un point intermédiaire reliant le port aux projets et par lequel il faut passer.

Chapitre 2

Problématique

1. Position du problème

Alstom est confrontée depuis plusieurs années déjà à l'importante croissance économique de l'Algérie. Elle se voit donc acquérir de plus en plus de projets, que ce soit dans le secteur privé, national ou international, entre autres : des unités d'assemblage, d'installations techniques diverses (ateliers, dépôts, triages, embranchements particuliers, pose de voie ferrée, chantiers intermodaux...) qui permettent la circulation de convois ferroviaires dans un ensemble géographique donné : région, pays, continent. Par extension, une maquette ferroviaire qui désigne le réseau ferroviaire.

Toutefois, on assiste actuellement à un manque important dans la couverture simultanée de toutes les demandes des projets en équipements, ce qui mène à un déficit (ou plutôt à « un manque à gagner ») considérable. Disposant d'un nombre bien déterminé d'équipements dans le Hub d'Oran, l'entreprise doit satisfaire les besoins exprimés par chacun de ses projets alors que leur transport par les ports vers le hub parfois n'est pas vérifié, il en résulte un non-respect des délais d'achèvement des travaux engendrant une mise en jeu de sa réputation face à ses clients et ses concurrents.



FIGURE 2.1 : Cartographie Supply Chain

La carte précédente permet de mettre en évidence les acteurs de la SC ainsi que les flux les liant. Les premiers acteurs sont les projets en cours (Mostaganem et Ouargla), qui envoient une demande de livraison d'équipements au Hub situé à la zone industrielle d'Es Senia Oran, qui à son tour envoie ces demandes aux fournisseurs se situant en Europe (Allemagne, Espagne, France, Italie...). Ces derniers s'occupent de la fabrication de ces équipements, une fois la fabrication finie les équipements sont envoyés au port via des navettes pour être embarqués sur des navires à destination du port d'Oran.

Après dédouanement au niveau du port d'Oran, les équipements seront transportés au Hub ou ils seront stockés et lister sur Sage. Enfin les équipements seront acheminés vers les projets afin d'être installés.

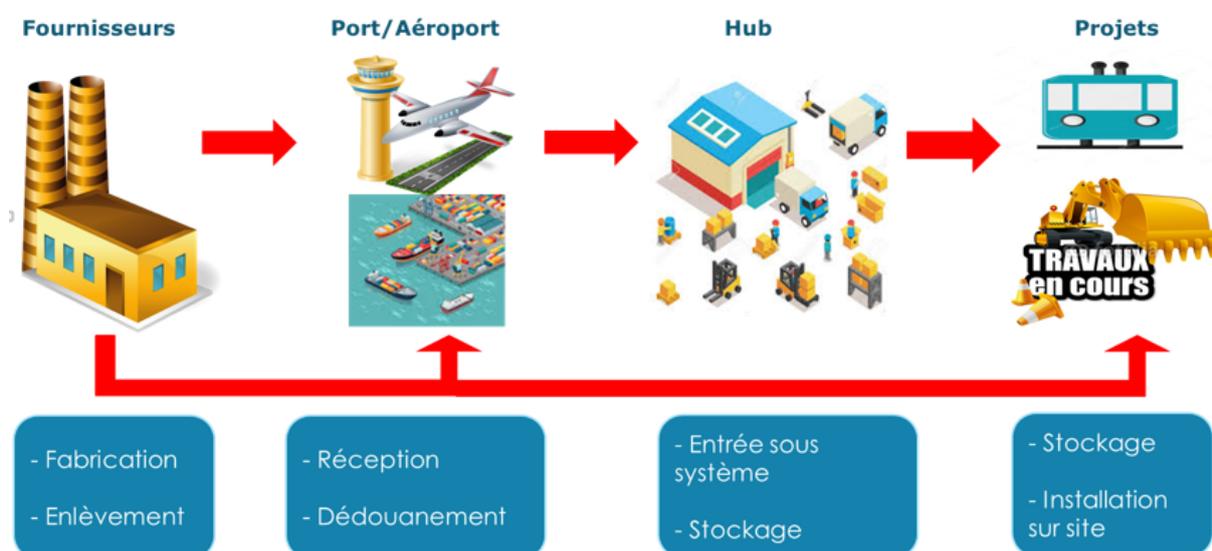


FIGURE 2.2 : Schéma de la chaîne logistique

Comme tout système de distribution est soumis à des perturbations opérationnelles qui peuvent entraver le bon fonctionnement des chaînes, le réseau de distribution subit notamment plusieurs perturbations aléatoires qui empêchent le fonctionnement normal de la distribution et le transport des équipements. La disponibilité du matériel est en fait causé par la programmation « ponctuelle » des équipements au niveau du Hub ; mais lorsque de tels phénomènes ont lieu les plans préalable n'ont pas été établi après réception des demandes de livraison à partir des projets, et dans une entreprise telle qu'Alstom, ou le temps de réalisation d'un projet est fortement conditionné par l'approvisionnement en équipements, en éléments d'assemblage ou en pièces détachées à tous les niveaux de la chaîne d'approvisionnement, l'entreprise se trouve face à une mauvaise gestion de cette dernière. Par conséquent, l'évacuation des équipements par les ports vers le Hub situé à Oran est stoppée, les camions ne peuvent ni charger ni décharger les équipements. Ceci provoque des perturbations au niveau du chemin que les équipements doivent emprunter et au niveau du stockage où des quantités manquantes peuvent déclencher des ruptures de stock.

Le stock permet d'assurer une disponibilité de matériel pour satisfaire la demande des projets à Ouargla et Mostaganem qui ne cesse d'accroître. En outre on parle ainsi de travail en « flux tendu » autrement dit les outils et les méthodes visant à améliorer et automatiser l'approvisionnement en réduisant les stocks et les délais de livraison pour caractériser la limitation au minimum des stocks dans toute la chaîne logistique.

Quand il s'agit principalement du gros matériel de l'entreprise, la création d'un « Service de Planification et Programmation du Matériel » est prévue au sein du Hub à Oran, nécessitant la mise en place d'un système de gestion capable d'améliorer ses performances, dans le contexte du respect des points suivants :

- ▶ Délais d'exécution des projets.
- ▶ Qualité du travail (complétion et finition).
- ▶ La disponibilité et l'acheminement des équipements.

Ceci en adoptant et en construisant des outils modernes qui soient encore plus fiables et d'actualité.

Nous avons affaire à deux cas de figure :

Les équipements arrivés au port d'Oran doivent être transportés au Hub où un ordonnancement devra être effectué.

En cas de perturbations aléatoires les équipements ne passent pas par le hub et seront transportés directement du port vers les magasins.

Etant donné la complexité du nouveau mode de gestion des flux matériels, un logiciel informatique est devenu indispensable. Ce logiciel de gestion des stocks appelé SAGE est implémenté suite à cette réforme en remplaçant Excel. Il est à noter que SAGE est aussi

utilisé pour d'autres usages comme pour la comptabilité, paie, ect ...

2. Objectifs ciblés

Le premier objectif est de proposer le réaménagement opérationnel et fonctionnel du schéma logistique (le réseau de distribution) des équipements aux centres de stockages à moindre coût en un temps minimum.

L'entreprise possède un logiciel opérationnel qui assure la détermination des quantités nécessaires pour l'approvisionnement des magasins afin de satisfaire la demande rattachés aux projets, mais souvent des ruptures de stock dû aux aléas et aux perturbations aléatoires qui peuvent intervenir sur le fonctionnement de **la chaîne logistique**, Alors notre second objectif est de corriger l'erreur en prévoyant un stock de sécurité... Ceci nous permettra de proposer de nouvelles politiques de gestion de stock.

Notre troisième objectif est l'évaluation des performances de l'entreprise à fin de mesurer sa réalisation en terme de projets en utilisant les indicateurs de performances.

3. Conclusion

Nous pensons que les techniques de Recherche Opérationnelle permettront d'aboutir à un système élaboré de gestion de **la chaîne logistique** dans ce contexte, nous envisageons l'élaboration d'un logiciel informatique donnant, à partir des demandes des projets, la quantité économique des équipements en respectant les délais établi au préalable, assurant ainsi le chemin que ces derniers doivent emprunter et la liaison de tous les magasins avec le hub.

Chapitre 3

Modélisation

Le modèle mathématique permet d'analyser des phénomènes réels et de prévoir des résultats à partir de l'application d'une ou plusieurs théories à un niveau d'approximation donné ce qui permet de régler les problèmes dans les différents niveaux de la chaîne logistique c'est pourquoi nous proposons la modélisation suivante.

1. Description du problème

Considérons une chaîne logistique globale d'une entreprise spécialisée dans la construction des réseaux ferroviaires et pour cela, elle importe des équipements. nous allons faire notre étude sur un seul type d'équipement (article unique). Cette chaîne logistique est constituée d'un ensemble de fournisseurs qui disposent de la matière première nécessaire pour la production, d'un ensemble de ports pour réception du matériel et d'un seul Centre de Stockage (**HUB**) ouvert. Ce HUB a une capacité de stockage et son installation engendre un coût fixe pour l'entreprise.

L'architecture de cette chaîne logistique est organisée en trois stages (Fournisseur – Port), (Port– Hub) et (Hub– Magasin) :

◆ Stage 1 (Fournisseur – Port) : Ce stage assure, la production, l'achat et le transport des équipements nécessaire pour chaque client.

◆ Stage 2 (Port–Hub) : Ce stage assure le transport des équipements depuis les ports au hub.

◆ Stage 3 (Hub–Magasin) : Ce stage assure le stockage et la distribution des équipements pour la satisfaction des demandes des magasins.

Tout ces systèmes coopèrent ensemble pour assurer la satisfaction de la demande des magasins exprimée par la quantité des équipements dont le projet a besoin et elle est connue à priori.

L'objectif est de concevoir une plateforme efficace pour la gestion optimale de la chaîne logistique, c'est-à-dire construire un réseau de distribution respectant les capacités des ressources et satisfaisant les demandes exigées par les clients.

Généralement dans la réalité plusieurs objectifs conflictuels interviennent dans l'éva-

luation de l'efficacité d'une chaîne logistique, dans notre problème nous considérons un seul objectif à optimiser, minimisation du coût total du réseau de la chaîne logistique. Nous considérons les hypothèses suivantes :

- ◆ Les ensembles des magasins, Hubs, Ports et Fournisseurs sont bien définis.
- ◆ La demande de chaque magasin est connue au préalable.
- ◆ Le Hub a une capacité de stockage limitée et son fonctionnement engendre un coût fixe pour l'entreprise.
- ◆ Chaque magasin a une capacité de stockage limitée et son fonctionnement engendre un coût fixe pour l'entreprise.

2. Modélisation mathématique

Différentes sont les modélisations mathématiques proposées dans la littérature pour mieux représenter le problème d'optimisation dans les chaînes logistique, mais rares sont les travaux qui proposent une modélisation globale considérant les différents niveaux de ce problème *i.e.* traiter les trois niveaux en même temps, dans ce travail nous considérons une modélisation qui a été proposée [56] :

2.1. Les indices du modèle

- i est un indice pour les magasins ($i=1,2$). - k est un indice pour les ports ($k=1,2$).
- s est un indice pour les fournisseurs.

2.2. Les variables du modèle

Les variables du modèle sont les suivantes :

b_{k1} : est la quantité des équipements à expédier du port k au Hub .

q_{1i} : est la quantité des équipements à expédier du Hub au magasin i .

$$Y_{1i} = \begin{cases} 1 & \text{si le Hub sert le magasin } i. \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

2.3. Les paramètres du modèle

Sup : est la capacité de production du fournisseur des équipements.

d_i : est la demande du magasin i .

v : est le coût fixe annuel de fonctionnement du Hub .

c_{1i} : est le coût de transport unitaire des équipements du Hub au magasin i .

a_{k1} : est le coût de transport unitaire des équipements du port k au Hub .

t_{1k} : est le coût de revient d'une unité des équipements au port k depuis le fournisseur.

h'_{1k} : est le temps de livraison du fournisseur au port.

h_{k1} : est le temps de livraison du port au Hub.

H_{1i} : est le temps de livraison du Hub au magasin i .

τ : est le délai de livraison maximal admissible à partir du fournisseur aux magasins.

f_{1k} : est la quantité des équipements à expédier du fournisseur au port k .

2.4. La fonction objectif :

$$\text{Min} f_1 = v + \sum_{k \in K} t_{1k} * f_{1k} + \sum_{k \in K} a_{k1} * b_{k1} + \sum_{i \in I} c_{1i} * q_{1i}.$$

2.5. Les contraintes :

$$\left\{ \begin{array}{ll} \sum_{i \in I} y_{1i} \leq 2 & (7.1) \\ d_i \leq q_{1i} * y_{1i} & \forall i \in I \quad (7.2) \\ \sum_{k \in K} b_{k1} \leq \sum_{k \in K} f_{1k} & (7.3) \\ \sum_{k \in K} f_{1k} \leq \text{Sup} & (7.4) \\ \sum_{i \in I} q_{1i} \leq \sum_{k \in K} b_{k1} & (7.5) \\ \sum_{k \in K} h'_{1k} + \sum_{k \in K} H_{k1} + \sum_{k \in K} h_{1i} \leq \tau & \forall i \in I \quad (7.6) \end{array} \right.$$

2.6. Interpretation des objectifs

Objectif f_1 : sert à minimiser le coût total du réseau supply chain. Il comprend les coûts d'achat de équipements, coûts fixes d'exploitation et d'ouverture des centres de stockage, les coûts unitaires de transport dans les trois stages en un temps minimum.

2.7. Interpretation des contraintes

- La contrainte 7.1 assure qu'un magasin ne doit être servi que par le hub.
- La contrainte 7.2 assure la satisfaction des demandes des magasins.
- La contrainte 7.3 assure l'équilibre entre le niveau 1 et le niveau 2 de la chaîne.
- La contrainte 7.4 assure le respect des capacités des fournisseurs.
- La contrainte 7.5 assure l'équilibre entre le niveau 2 et le niveau 3 de la chaîne.
- La contrainte 7.6 assure le respect du délais de livraison.

3. Modèle mathématique pour le deuxième cas

Notre deuxième modèle mathématique est pour notre deuxième cas de figure lorsque les équipements empruntent le chemin (Fournisseur \rightarrow Port \rightarrow Magasins) sans passer par le hub donc le modèle devient comme suit :

$$Y_{ki} = \begin{cases} 1 & \text{si le port sert le magasin } i. \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

3.1. La fonction objectif

$$\text{Min} f_1 = v + \sum_{k \in K} t_{1k} * f_{1k} + \sum_{k \in K} a_{k1} * b_{k1} + \sum_{i \in I} c_{1i} * q_{1i}.$$

3.2. Les contraintes

$$\left\{ \begin{array}{ll} \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} y_{ki} \leq 2 & (7.12) \\ d_i \leq q_{1i} * y_{1i} & \forall i \in I \quad (7.22) \\ \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} b_{ki} \leq \sum_{k \in K} f_{1k} & (7.33) \\ \sum_{k \in K} f_{1k} \leq \text{Sup} & (7.44) \\ \sum_{k \in K} h_{1k} + \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} h_{ki} \leq \tau & \forall i \in I \quad (7.55) \end{array} \right.$$

3.3. Interpretation des objectifs

Objectif f_1' : sert à minimiser le coût total du réseau supply chain. Il comprend les coûts d'achat de équipements, coûts fixes d'exploitation et d'ouverture des centres de stockage, les coûts unitaires de transport dans les trois stages en un temps minimum lorsque les équipements ne passent pas par le Hub.

3.4. Interpretation des contraintes

- La contrainte 7.11 assure qu'un magasin ne doit être servi que par le port ou l'aéroport.
- La contrainte 7.22 assure la satisfaction des demandes des magasins.
- La contrainte 7.33 assure l'équilibre entre le niveau 1 et le niveau 2 de la chaîne.
- La contrainte 7.44 assure le respect des capacités des fournisseurs.
- La contrainte 7.55 assure le respect du délais de livraison.

Après le calcul de la complexité de notre problème, nous avons déduit que le problème est de type polynomial.

Le modèle présenté est un modèle de programmation mono-objectif linéaire en nombre mixte. Nous allons présenter dans le chapitre suivant la théorie de l'optimisation linéaire.

Chapitre 4

Approches de résolution

L'importance de l'optimisation et la nécessité d'un outil simple pour modéliser des problèmes de décision que soit économique, militaire ou autres on fait de la programmation linéaire un des champs de recherche les plus actifs au milieu du siècle précédent. Les premiers travaux (1947) sont celle de George B. Dantzig et ses associés du département des forces de l'air des Etats Unis d'Amérique. Les problèmes de programmations linéaires sont généralement liés à des problèmes d'allocations de ressources limitées, de la meilleure façon possible, afin de maximiser un profit ou de minimiser un coût. Le terme meilleur fait référence à la possibilité d'avoir un ensemble de décisions possibles qui réalisent la même satisfaction ou le même profit. Ces décisions sont en général le résultat d'un problème mathématique. Dans ce chapitre, nous définissons la forme générale d'un problème d'optimisation linéaire, ainsi que ces méthodes de résolution.

1. Problème d'optimisation linéaire

1.1. Définition

On appelle problème d'optimisation linéaire sous forme générale un problème de la forme.

$$\begin{array}{ll} \text{Maximiser} & F(X). \\ \text{Sous les contraintes} & X \in R^Q, G_1 X \leq 0, \dots, G_P X \leq 0 \end{array} \quad (4.1)$$

Où $P, Q \in \mathbb{N}^*$, $F : R^Q \rightarrow \mathbb{R}$ est une forme linéaire sur R^Q et G_1, \dots, G_P .

G_p sont des applications affines définies sur R^Q et à valeurs réelles. On dit que la fonction F est la fonction objectif et que les fonctions G_1, \dots, G_P sont les contraintes [46].

2. Méthodes de résolution des problèmes d'optimisation

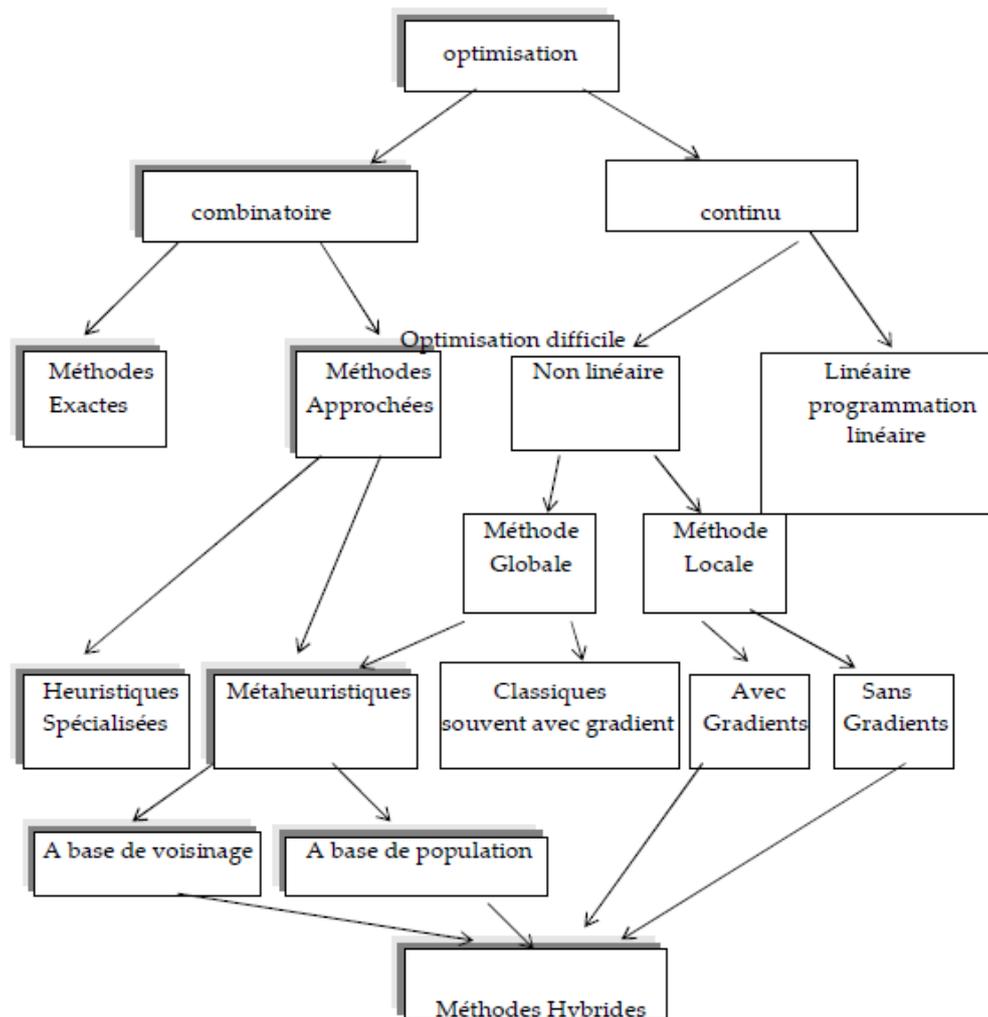


FIGURE 4.1 : Classification des méthodes d'optimisation mono-objectif

Le schéma précédent présente une classification générale des méthodes de résolution des problèmes d'optimisation mono-objectif. On distingue en premier lieu l'optimisation continue de l'optimisation combinatoire. Pour l'optimisation continue, on sépare le cas linéaire du cas non linéaire, où l'on retrouve le cadre de l'optimisation difficile, dans ce cas on fait appel à une méthode locale qui exploite ou non les gradients de la fonction objectif. Si le nombre de minimums locaux est très élevé, le recours à une méthode globale s'impose : on retrouve alors les métaheuristiques. Pour l'optimisation combinatoire, on utilise les méthodes exactes. Lorsqu'on est confronté à un problème difficile on a recours aux méthodes approchées, dans ce cas le choix est parfois possible entre une heuristique spécialisée, dédiée au problème considéré, et une métaheuristique.

Parmi les métaheuristiques, on peut différencier les métaheuristiques à base de voisinage, et les métaheuristiques à base de population. Enfin les méthodes hybrides associent souvent une métaheuristique et une méthode locale.

2.1. Les méthodes exactes

Les méthodes de résolution exactes Nous présentons d'abord quelques méthodes de la classe des algorithmes complets ou exacts, ces méthodes donnent une garantie de trouver la solution optimale pour une instance de taille finie dans un temps limité et de prouver son optimalité. Citons quelques-unes [30] :

La méthode séparation et évaluation (Branch and Bound)

L'algorithme de séparation et évaluation, plus connu sous son appellation anglaise Branch and Bound (BB) (Land et Doig 1960), repose sur une méthode arborescente de recherche d'une solution optimale par sé parations et évaluations, en représentant les états solutions par un arbre d'états, avec des nœuds, et des feuilles.

Le branch-and-bound est basé sur trois axes principaux :

- L'évaluation,
- La séparation,
- La stratégie de parcours.

L'évaluation

L'évaluation permet de réduire l'espace de recherche en éliminant quelques sous ensembles qui ne contiennent pas la solution optimale. L'objectif est d'essayer d'évaluer l'intérêt de l'exploration d'un sous-ensemble de l'arborescence. Le branch-and-bound utilise une élimination de branches dans l'arborescence de recherche de la manière suivante : la recherche d'une solution de coût minimal, consiste à mémoriser la solution de plus bas coût rencontré pendant l'exploration, et à comparer le coût de chaque nœud parcouru à celui de la meilleure solution. Si le coût du nœud considéré est supérieur au meilleur coût, on arrête l'exploration de la branche et toutes les solutions de cette branche seront nécessairement de coût plus élevé que la meilleure solution déjà trouvée.

La séparation

La séparation consiste à diviser le problème en sous-problèmes. Ainsi, en résolvant tous les sous-problèmes et en gardant la meilleure solution trouvée, on est assuré d'avoir résolu le problème initial. Cela revient à construire un arbre permettant d'énumérer toutes les solutions. L'ensemble de nœuds de l'arbre qu'il reste encore à parcourir comme étant susceptibles de contenir une solution optimale, c'est-à-dire encore à diviser, est appelé ensemble des nœuds actifs.

La stratégie de parcours

La largeur d'abord :

Cette stratégie favorise les sommets les plus proches de la racine en faisant moins de séparations du problème initial. Elle est moins efficace que les deux autres stratégies présentées,

La profondeur d'abord :

Cette stratégie avantage les sommets les plus éloignés de la racine (de profondeur la plus élevée) en appliquant plus de séparations au problème initial. Cette voie mène rapidement à une solution optimale en économisant la mémoire. Le meilleur d'abord : Cette stratégie consiste à explorer des sous-problèmes possédant la meilleure borne. Elle permet aussi d'éviter l'exploration de tous les sous-problèmes qui possèdent une mauvaise évaluation par rapport à la valeur optimale.

La méthode (Branch and Cut)

La méthode des coupes planes n'est pas toujours efficace face aux problèmes difficiles. De même, bien que l'algorithme du "Branch and Bound" puisse être très performant pour une certaine classe de problèmes, pour cela on utilise la méthode "Branch and Cut" qui combine entre l'algorithme du "Branch and Bound" et de la méthode des coupes planes. Pour une résolution d'un programme linéaire en nombres entiers, la méthode "Branch and Cut" commence d'abord par relaxer le problème puis appliquer la méthode des coupes planes sur la solution trouvée. Si on n'obtient pas une solution entière alors le problème sera divisé en plusieurs sous-problèmes qui seront résolus de la même manière.

2.2. Les méthodes approchées

Contrairement aux méthodes exactes, les méthodes approchées ne procurent pas forcément une solution optimale, mais seulement une bonne solution (de qualité raisonnable) en un temps de calcul aussi faible que possible.

Une partie importante des méthodes approchées est désignée sous le terme de métaheuristiques. Plusieurs définitions d'une métaheuristique ont été proposées dans la littérature, cette définition est celle adoptée par le «Metaheuristics Network» « A metaheuristics is a set of concepts that can be used to define heuristic methods that can be applied to a wide set of different problems ».

Plusieurs classifications des métaheuristiques ont été proposées ; la plupart distinguent globalement deux catégories : les méthodes à base de solution courante unique, qui travaille sur un seul point de l'espace de recherche à un instant donné, appelées méthodes à base de voisinage comme les méthodes de recherche locale (méthode de la descente), de recuit simulé et de recherche tabou, et les méthodes à base de population, qui travaillent sur un ensemble de points de l'espace de recherche, comme les algorithmes évolutionnaires et les algorithmes de colonies de fourmis.

Nous prenons comme exemple la méthode du simplexe.

3. Méthode du simplexe

Comme toujours, on suppose que A une matrice de format $m * n$ et $b \in \mathbb{R}^m$. On notera les colonnes de A par $\{a_1; a_2; \dots; a_n\}$. Aussi, on fera l'hypothèse que le rang de la matrice A est égal à m.

Selon le chapitre précédent, nous savons que la solution optimale du problème d'optimisation linéaire

$$\begin{aligned} \max z &= c^t x, \\ Ax &= b, \\ x &\geq 0. \end{aligned}$$

se trouve en un sommet de l'ensemble convexe des solutions admissibles $K = \{x \geq 0 \mid Ax = b\}$

De plus, nous savons que les sommets sont étroitement reliés aux solutions de base admissibles. Concrètement, cela signifie que si on choisit une liste de m variables dites de base $B = [x_{j_1}; x_{j_2}, \dots, x_{j_m}]$ associées à des colonnes $[a_{j_1}; a_{j_2}, \dots, a_{j_m}]$ qui forment une base de l'espace-colonne, on peut calculer l'unique solution de bases du système

$$Ax_B = b.$$

en imposant que les variables hors-base $x_i = 0$ pour tous les $i \neq \{j_1; j_2, \dots, j_m\}$. Si $x_B \geq 0$, la solution est admissible et sera appelée solution de base admissible ou réalisable. D'après le chapitre précédent, la solution de base x_B correspond à un sommet de K.

Par conséquent, il suffit de calculer tous les sommets de K pour trouver la solution optimale. Mais le nombre de sommets est de l'ordre $n! / m!(n-m)!$ ce qui est beaucoup trop pour des n et m relativement grands. Le principe de la méthode du simplexe est d'éviter de calculer tous les sommets. A partir d'un sommet donné, la méthode calculera une suite de sommets adjacents l'un par rapport au précédent et qui améliore la fonction objective.

3.1. Algorithme du simplexe

Etape0 : On forme le tableau initial

B	x_1	x_2	...	x_n	x_{n+1}	x_{n+2}	...	x_{n+m}	
x_{n+1}	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}	1	0	...	0	b_1
x_{n+2}	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}	0	1	...	0	b_2
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
x_{n+m}	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mn}	0	0	...	1	b_m
	c_1	c_2	...	c_n	0	0	...	0	0

FIGURE 4.2 : La Forme d'un tableau base du simplexe

La base initiale de l'espace-colonne sera $\{x_{n+1}; x_{n+2}, \dots, x_{n+m}\}$. Les autres variables

seront égales à 0 ce qui correspond au point de départ $x = (0, 0, \dots, 0)$.

Étape 1 : On doit choisir la colonne de pivot.

Pour cela, on choisit l'indice j tel quel

$$c_j = \max\{c_i | c_i > 0\}.$$

Si aucun choix est possible, on a atteint la solution optimale et l'algorithme se termine. Sinon, on passe à l'étape suivante. Pour un problème de minimisation, on modifie le critère en choisissant l'indice j tel que

$$c_j = \min\{c_i | c_i < 0\},$$

Étape 2 : On doit choisir la ligne de pivot.

Pour cela, on choisit l'indice i en utilisant le critère du quotient

$$b_i/a_{ij} = \min\{b_k/a_{kj} | a_{kj} > 0, k = 1, 2, \dots, m\}$$

où j est la colonne de pivot de l'étape 1.

a) On applique la procédure d'élimination de Gauss-Jordan autour du pivot situé à l'intersection de la ligne i et de la colonne j . Ensuite, on divise la ligne i par le pivot pour le mettre égal à 1.

b) On retourne à l'étape 1 et on recommence.

Remarque : Expliquons le critère du quotient.

A une certaine itération du simplexe, nous disposons d'une solution de base x_B lié à un choix B de variables de base. Ensuite, il s'agit de pivoter vers une solution de base adjacente qui doit être admissible. Le critère du quotient assure que la nouvelle solution de base sera admissible.

En effet, notons par j la colonne de pivot de l'étape 1 et par i un choix quelconque de la ligne de pivot. A ce choix de la ligne de pivot correspond une variable x_{ji} qui sortira de la base. Le critère du quotient impose que $a_{ij} > 0$. La nouvelle base s'écrira $\tilde{B} = B \cup \{x_j\} \setminus \{x_{ji}\}$ et on doit imposer que la solution de base associée \tilde{B} doit être admissible. On procède à élimination de Gauss-Jordan autour du pivot a_{ij} . La ligne L_k du tableau du simplexe (à cette itération) est modifiée par :

$$L_k - \frac{L_i}{a_{ij}} * a_{kj} \rightarrow L_k$$

Ceci modifie la dernière colonne du tableau du simplexe par

$$b_k - \frac{a_{kj}}{a_{ij}} * b_i \geq L_k$$

qui doit être positif car sera la nouvelle solution de base. Si $a_{kj} > 0$, on obtient :

$$b_k - (a_{kj}/a_{ij}) * b_i = ((b_k/a_{kj}) - (b_i/a_{ij})) * a_{kj} \geq 0.$$

$$\Rightarrow b_k a_{kj} \geq b_i \frac{a_{kj}}{a_{ij}} \forall k \ a_{kj} \geq 0.$$

Si $a_{kj} = 0$, on obtient :

$$L_k - \frac{L_i}{a_{ij}} * a_{kj} = L_k$$

Donc, aucun changement.

Si $a_{kj} < 0$, on a :

$$b_k - \frac{a_{kj}}{a_{ij}} * b_i \geq 0$$

car $a_{ij} > 0$ et les $b_i, b_k \geq 0$.

Donc seulement les valeurs $a_{kj} > 0$ sont à considérer et, selon le calcul ci-dessus, on a que :

$$b_k/a_{kj} \geq b_i * a_{ij} \Rightarrow b_i/a_{ij} = \min\{\frac{b_k}{a_{kj}} | a_{kj} > 0, k = 1, 2, \dots, m\}.$$

4. Algorithmes polynomiaux et Algorithmes exponentiels

Un algorithme polynomial est un algorithme dont la complexité est $O(p(n))$ où p est une fonction polynomiale et n dénote la longueur de données. Tout algorithme dont la complexité ne peut être bornée par un tel polynôme d'ordre n , est un algorithme exponentiel (bien que cette définition inclue certaines complexité non-polynomiales comme $n \log n$, qui n'est pas considéré comme fonction exponentielle).

Chapitre 5

Théorie de la chaîne logistique

Introduction

Dans ce chapitre nous présentons les chaînes logistiques : leur gestion, leur fonctions et de la prise de décisions aux différents niveaux de cette dernière, nous présentons les travaux en relation avec le management et l'optimisation des chaînes logistiques.

Nous nous intéressons aussi à un problème d'optimisation multi-objectif dans une chaîne logistique globale en adoptons une modélisation de ce problème sans adaptation d'aucun des algorithmes existants pour la résolution de ce problème reconnu pour être NP-difficile car ALSTOM dispose d'un logiciel informatique opérationnel qui sert à résoudre ce dernier.

Définition 6

Nombreuses sont les définitions de la chaîne logistique qui ont été proposées dans la littérature, en **1999** Tayur, Ganeshan et Magazine [33] définissent la chaîne logistique par « la chaîne logistique est un réseau composé de sous-traitants, de producteurs, de distributeurs, de détaillants et de clients entre lesquels s'échangent des flux matériels dans le sens des fournisseurs, et des flux d'information dans les deux sens ». Une autre définition a été proposée par Ganeshan et Hrisson en **1995** [11] « la chaîne logistique est le réseau des moyens de production et de distribution qui assurent les tâches d'approvisionnement en matières premières, la transformation de ces matières premières en produits semi finis et en produits finis, et la distribution de ces produits finis aux clients ».

1. Fonctions de la chaîne logistique

Depuis la définition de la chaîne logistique, nous pouvons déduire que les fonctions d'une chaîne logistique commencent par l'approvisionnement par les matières premières et allant jusqu'à la vente des produits finis en passant par la production, le stockage et la distribution.

Les fonctions d'une chaîne logistique vont de l'achat des matières premières à la vente des produits finis en passant par la production, le stockage et la distribution.

Le processus Approvisionnement : La fonction Approvisionnement est la fonction la plus en amont de la chaîne logistique, ce processus se concentre sur la fourniture de tous les composants nécessaires à la fabrication. Il s'agit d'abord de sélectionner les fournisseurs de l'entreprise, ce choix peut se faire sur différents critères comme la qualité, le prix et/ou les délais de réapprovisionnement des matières premières. Une fois les fournisseurs déterminés, la seconde phase du processus Approvisionnement consiste à passer les commandes des composants à ces fournisseurs en fonction de la production à réaliser, et de vérifier que ces composants sont livrés dans de bonnes conditions. Le processus Approvisionnement regroupe ainsi toutes les relations avec les fournisseurs pour assurer les niveaux de stocks en composants nécessaires et suffisants pour la fabrication.

Le processus Production : La fonction de Production regroupe les compétences dont dispose l'entreprise pour fabriquer, développer ou transformer les matières premières en produits finis, elle donne quelle capacité a la chaîne logistique pour produire et ainsi un indice sur sa réactivité face aux demandes du marché. Les méthodes utilisées pour la gestion de la production cherchent à améliorer le flux des produits dans les ateliers de fabrication à travers la planification, l'ordonnancement et la détermination de la taille optimale des lots de production.

Le processus Stockage : La fonction Stockage commence par le stock des matières premières, des composants, puis finalement le stock des produits finis. Il est indispensable lors de ce processus de trouver l'équilibre entre une meilleure réactivité et la réduction des coûts, car avoir des stocks engendre des coûts et des risques surtout dans le cas de produits périssables. La gestion des stocks est l'une des clés de la réussite et l'optimisation de toute une chaîne logistique.

Le processus Distribution : La fonction Distribution concerne la livraison des produits finis aux clients, et reprend les questions d'optimisation des réseaux de distribution c'est à dire l'organisation et le choix des moyens de transport. Les coûts de transport et de distribution constituent le tiers des coûts opérationnels globaux d'une chaîne logistique, ce qui rend leur optimisation un défi majeur pour l'entreprise.

Le processus Vente : La fonction de Vente est la fonction ultime dans une chaîne logistique, si on a bien optimisé pendant les étapes précédentes alors on facilite la tâche du personnel commercial, car ils pourront ouvrir des prix plus compétitifs aux clients. Ce processus de l'entreprise est également chargé de définir.

2. Les décisions dans les chaînes logistiques

La conception d'une chaîne logistique nécessite de prendre un ensemble de décisions, le plus souvent, l'architecture décisionnelle d'une entreprise est divisée en trois niveaux : stratégique, tactique et opérationnelle correspondant respectivement à des horizons à long, moyen et court terme.

Les décisions stratégiques : Ces décisions normalement prises par la direction

générale de l'entreprise, définissent la politique de l'entreprise sur le long terme, comme par exemple la recherche de nouveaux partenaires industriels, les décisions d'ouverture ou de fermeture de certains sites de production ou leur délocalisation, ou encore le choix des moyens de transports entre les différentes localisations.

Les décisions tactiques : Ces décisions sont généralement prises à moyen terme par les cadres de la production et les chefs d'atelier, il s'agit de produire au moindre coût pour les demandes prévisibles, donc avec connaissance des ressources matérielles et humaines et de faire la planification dépendant de la structure conçue au niveau stratégique.

Les décisions opérationnelles : Ces décisions, prises par les chefs d'équipe et éventuellement les opérateurs de production, ont une portée plus limitée dans le temps (décisions prises à très court terme) pour assurer la gestion des moyens et le fonctionnement au jour le jour de la chaîne logistique. L'objectif à ce niveau est de répondre aux requêtes des clients de façon optimale en respectant les politiques de planification choisies aux niveaux stratégique et tactique.

3. Modélisation des chaînes logistiques

La chaîne logistique étant un système complexe et dynamique, ajouté à cela un environnement instable qui génère de nombreuses incertitudes. La difficulté de la prise en compte de ces incertitudes fait que la plupart des modèles proposés pour modéliser les chaînes logistiques utilisent des hypothèses restrictives, et parfois simplistes (Vidal et Goetschalckx, 1997). La modélisation de ces systèmes complexes permet une meilleure compréhension et une meilleure gestion de ces systèmes. Un modèle n'est qu'une représentation simplifiée d'un système réel, qui permet de l'analyser, le contrôler et le piloter. Ils sont à la base des systèmes d'aide à la décision. Nous allons voir un parmi les types de modélisations qui est le modèles mathématiques.

Modèles mathématiques : Les modèles mathématiques sont très utilisés pour la conception des chaînes logistiques et pour l'optimisation des coûts. Ils consistent à modéliser un système réel par un ensemble d'équations exprimant les contraintes et les objectifs. Contrairement aux modèles conceptuels qui eux aident seulement à la compréhension du système, les modèles mathématiques résolvent les problèmes d'optimisation. Une autre différence avec les modèles conceptuels est que l'utilisation des modèles mathématiques requiert des compétences spéciales dans les mathématiques et la recherche opérationnelle. L'une des techniques les plus utilisées est la programmation linéaire et la programmation dynamique. Ces outils de recherche opérationnelle sont à la base de beaucoup de systèmes d'optimisation des supply chain management. L'inconvénient avec les modèles mathématiques est qu'ils font des restrictions trop importantes sur certaines hypothèses. Un autre inconvénient, et pas des moindres, est le temps d'exécution nécessaire pour résoudre des problèmes de tailles réalistes. Ainsi, pour des problèmes avec de grandes tailles, les industriels préfèrent utiliser des solutions approchées obtenues dans des délais raisonnables.

4. Conception et Gestion des chaînes logistiques

Une chaîne logistique est un ensemble d'équipements, de fournitures, les clients, les produits et les méthodes de contrôler les processus d'approvisionnement, de stockages et de distribution. Une chaîne logistique relie les fournisseurs et les clients, en commençant par la production de matières premières par un fournisseur, et se terminant par la consommation d'un produit par le client.

La conception et la gestion des chaînes logistiques est un sujet qui a gagné beaucoup d'importance dans le domaine de la gestion dans les dernières années en raison de l'augmentation de la compétitivité mis en place par la mondialisation des marchés. Dans de tel environnement les entreprises sont tenues de maintenir des niveaux de service élevés à la clientèle tout en même temps ils sont obligés de réduire les coûts et maintenir les marges bénéficiaires. Traditionnellement, les opérations de marketing, de distribution, de planification, de fabrication et d'approvisionnement sont traitées de façon indépendante par les décideurs même si les chaînes d'approvisionnement ont des objectifs contradictoires. Pour surmonter ces contradictions entre les différents opérations d'une même chaîne logistique les décideurs sont tenus de fixer un mécanisme où ces dernières peuvent être intégrées ensemble. Gestion de la chaîne d'approvisionnement est une stratégie par laquelle une telle intégration peut être réalisée.

Le problème de conception et de gestion des chaînes logistiques est l'un des problèmes de décision stratégiques, il représente une tâche difficile en raison de la complexité intrinsèque des principaux sous-systèmes impliqués et les nombreuses interactions entre ces sous-systèmes, ainsi que des facteurs externes tels que la diversité des fonctions objectifs considérées [15]. C'est une tâche où les décisions, nombre, emplacement et capacité des usines et des centres de distribution (CDs) à installer sont prises, les réseaux de distribution sont établit et les quantités de matière première et demande clients sont calculées, etc... Cette complexité a forcé la plupart des recherches dans ce domaine pour se concentrer sur les sous-systèmes individuels de la chaîne logistique. Récemment, toutefois, l'attention s'est convertie de plus en plus mise sur la performance, la conception et la gestion de la chaîne logistique dans son ensemble.

Les mesures de performances des chaînes logistique sont classés comme qualitative et quantitative. La satisfaction du client, la flexibilité et la gestion efficace des risques appartiennent à des mesures de performance qualitative. Les mesures de performance quantitatifs sont également classés en deux classe, la première englobe les objectifs basés directement sur le coût ou de profit, comme la réduction des coûts, la maximisation des ventes, la maximisation du profit, etc... La deuxième classe contient les objectifs basés sur une mesure de la réactivité du client tels que remplissage maximisation du taux, la minimisation des délais de réponse des clients, minimisation des temps de livraison, etc...[10].

Ces mesures de performances ont été intégrées dans des approche traditionnelle séparément.à.d considérant un seul objectif, comme la minimisation des coûts ou maximisation du profit. Par exemple, les auteurs dans [16, 17, 45, 32, 33, 2, 22, 42] ont estimé le coût

total de la chaîne logistique comme une fonction objective dans leurs études. Cependant, pour une conception ou gestion plus réaliste et plus performante ces mesures doivent être intégrées ensemble c.à.d. considérant plusieurs objectifs conflictuels. Récemment beaucoup sont les chercheurs qui se sont intéressés à cette approche pour la conception et la gestion de la chaîne logistique, Sabri et Beamon (2000) dans [34] ont développé un modèle multi-objectifs pour la planification stratégique et opérationnelle d'une chaîne logistique sous incertitudes de la demande. Où le coût, taux de remplissage, et la flexibilité ont été considérés comme objectifs, pour la résolution de ce dernier ils ont adapté la méthode e-contrainte. Chan et Chung (2004) dans [18] ont proposé une procédure d'optimisation génétique multi-objective pour le problème de distribution dans un chaîne logistique, Ils ont considéré la minimisation du coût total du système, nombre total de jours de prestation et l'équité du taux d'utilisation des capacités des fabricants comme objectifs. D'autres chercheurs se sont intéresser pour l'optimisation des chaînes logistiques avec des modèles stochastiques comme Guillen et al (2005)[23] où ils ont formulé le problème de conception de d'une chaîne logistique comme un modèle stochastique de programmation linéaires multiobjectif avec des variables mixtes et entière, qui a été résolu par la méthode e-contrainte, et la méthode évaluation séparation, les objectifs étaient maximiser le profit sur l'horizon de temps et le niveau de satisfaction de la clientèle.

4.1. Les objectifs principaux de la supply chain

- ▶ Ramener le bon matériel au bon endroit, au bon moment, et à la bonne personne.
- ▶ Optimiser la rentabilité de ce processus, en limitant les coûts et en choisissant l'itinéraire le moins couteux tout en prenant en compte le facteur temps.
- ▶ Réduire les stocks. En collaborant plus étroitement avec les sous-traitants afin fournir des kits, des sous-ensembles prêts à être montés, limitant ainsi le nombre de références.
- ▶ Le transport représente les deux tiers des coûts logistiques. Une meilleure planification des besoins évitera le recours massif au transport express, particulièrement coûteux.

Ces objectifs qui sont souvent en conflits, donnent à la supply chain un aspect stratégique complexe. Ainsi, une étude minutieuse des besoins pour les projets est primordiale afin de mieux planifier la logistique.eeeee

Chapitre 6

Théorie de la gestion des stocks

1. Introduction

Notre deuxième objectif de la problématique est de corriger l'erreur de la quantité commandée en prévoyant un stock de sécurité, alors nous présentons quelques notions, définition de bases et quelques méthode de résolution. Nous aimerons citer l'analogie existante entre la gestion des stocks (comme produit), et la gestion de la chaîne logistique. Pour ce,nous allons d'abord introduire ces quelques définitions :

Définition 7 (Les flux physiques)

Ces flux concernent toutes les entités physiques qui traversent la chaîne logistique, en particulier les flux de matière première, d'encours et de produits finis. Ces flux traversent la chaîne logistique essentiellement d'amont en aval. D'autres flux physiques annexes peuvent circuler dans la chaîne logistique d'amont en aval et aussi d'aval en amont, tels que les conteneurs, les emballages, les palettes et les produits retournés.

Définition 8 (Les flux d'information)

Il s'agit des échanges d'information entre les acteurs de la chaîne. L'information peut concerner l'état du système, le niveau des stocks et des encours, ou la demande du client. Ces flux peuvent s'effectuer dans les deux sens.

Définition 9 (Les flux financiers)

Il s'agit des flux monétaires associés aux flux physiques. Ces flux traversent la chaîne essentiellement d'aval en amont. Certains flux financiers peuvent aussi avoir lieu de l'amont vers l'aval tels que les remboursements ou les paiements en cas de litige. Dans le cadre de cette thèse, nous nous intéressons principalement aux flux physiques et aux flux d'information. L'aspect financier reste hors du périmètre de notre travail. Cependant, nous utiliserons différents types de coûts (coûts de stocks, coûts de commande, etc...) dans les modèles que nous étudions.

2. Présentation de quelques techniques de gestion des stocks

Définition 10 (Notion de stock)

Le stock est une accumulation de produits qui peut être utiliser pour satisfaire une demande futur.

Nous apprécions la définition dynamique et fonctionnelle de M.Ramboz : Un stock est essentiellement :

- 1–Une quantité variable d'un produit augmentée par les entrées.
- 2–Diminuée par les sorties.

Les entrées peuvent être des achats ou des fabrications.

Les sorties peuvent être des ventes ou des livraisons à l'atelier.

La quantité peut être positive ou négative si l'on considère non le stock physique, mais le disponible a une certaine échéance.

Définition 11 (Stock normal)

C'est un article dont l'utilisation est :

- Courante, sinon constante et continue.
- Considérée à priori comme certaine.

Définition 12 (Le stock actif (SA))

Elément essentiel dans les calculs de stocks correspond à une quantité de produits équivalente à la demande pendant une période de stockage T.

–Lorsqu'il s'agit d'une demande déterministe, le stock actif correspond à la demande connue et attendue de la période T.

–Lorsqu'il s'agit d'une demande aléatoire, le stock actif correspond à la demande moyenne de la période T, c'est-à-dire à l'espérance mathématique de la demande.

Définition 13 (Le stock de sécurité (SS))

Appelé aussi stock de protection. Il est destiné à palier les risques dus au caractère aléatoire tant de l'approvisionnement que de la consommation. La méthode pré-conisée pour déterminer ce stock est celle de la planification, en utilisant les méthodes statistiques de prévisions.

Définition 14 (Le stock moyen)

Si étant le stock de la période i, le stock moyen est calculé par :

Stock moyen = $(S_1 + S_2 + \dots + S_i + \dots S_n)/n$ correspondant à n périodes.

Définition 15

Le stock disponible : est égal au stock existant concrètement diminué des demandes non encore satisfaites, il peut donc être négatif.

Le stock mort : quand les flux d'entrée et de sortie d'un article deviennent pratiquement nuls.

3. La gestion des stocks

La gestion des stocks est l'ensemble des techniques et méthodes scientifiques qui permettent d'assurer un approvisionnement optimal et de satisfaire les besoins des utilisateurs en temps opportun, dans les meilleures conditions économiques. De nos jours, la gestion des stocks est une fonction importante et constitue le pivot dans les entreprises à caractère commercial et productif.

Pour une meilleure gestion, il convient de chercher les volumes optimaux de stock à avoir à chaque instant afin de satisfaire la demande des utilisateurs. Ces volumes de stock sont déterminés de façon à minimiser les différents coûts de stockage. Un stock réduit n'est pas le reflet d'une saines gestion (risque de pénurie, augmentation des coûts

de passation de commandes), et un stock dépassant le strict nécessaire est inutile et peut même constituer une pure perte.

3.1. L'approvisionnement

L'approvisionnement est le flux de produits entrants dans le stock. Il peut être d'origine interne à l'entreprise (cas par exemple de l'importation des équipements au sein de l'entreprise), ou bien externe (achats et commandes chez des fournisseurs,...).

L'approvisionnement peut être :

- 1- Continu.
- 2- Périodique ponctuel : commandes à intervalles réguliers.
- 3- Périodique et progressif : stock reconstitué.

3.2. La demande

La demande est la somme des produits ou bien des services que les consommateurs sont disposés à acquérir en un temps et un prix donnés. Elle constitue l'élément directeur du système de stockage. Elle peut être dépendante ou bien indépendante du temps, stationnaire ou dynamique. Elle peut apparaître seulement dans des points précis de temps ou tout au long d'intervalles finis ou bien infinis. La demande peut aussi être discrète (cas de pièces électroniques par exemple), ou bien continue (cas de demande en gaz, eau,...).

3.3. Les coûts

Il s'agit de l'ensemble des coûts liés au système de stockage et affectés par les décisions concernant le stock actif, le stock de sécurité, le stock de rechargement et le stock de réapprovisionnement. Plus précisément, il s'agit :

Définition 16 (Coût d'approvisionnement)

Ce coût reflète l'engagement financier résultant de la procédure de passation de commandes.

Définition 17 (Coût de possession du stock)

Appelé aussi " coût de détention du stock " . Il correspond aux différentes charges engendrées par la possession du stock. . Il comporte plusieurs composantes : une composante totalement indépendante du volume du stock (loyer ou amortissement des entrepôts, dépenses de gardiennage,...etc.) et une composante liée au niveau du stock total (les charges d'assurance d'entretien et de manutention des produits).

Définition 18 (Le coût de surplus)

Apparaît lorsque l'entreprise ne parvient pas à écouler la totalité de son stock.

Définition 19 (Le coût de rupture)

Il doit être pris en compte lorsque la demande d'une période ne peut être satisfaite. Dont les conséquences dépendent de la nature de la demande.

Définition 20 (Le coût de dépassement)

Survient lorsqu' à propos d'un approvisionnement le stock dépasse les capacités d'entreposage. Il correspond à la nécessité de trouver momentanément des capacités de stockage supplémentaires et éventuellement, aux dommages subis par les produits.

Définition 21 (Le délai de livraison)

Il désigne la durée de temps écoulé du moment du lancement de la commande jusqu'à sa réception. Il dépend du fournisseur et du transporteur.

Le délais de livraison peut être déterministe ou bien stochastique dans le premier cas, il peut être égal à zéro (réapprovisionnement instantané) ou bien positif. Dans le second cas (aléatoire).

4. Quelques modèles de gestion des stocks

Un modèle de gestion de stock est un ensemble d'outils permettant la gestion d'un stock et la prise de décision quant à la détermination des quantités de commande et les moments de les lancer.

Le modèle de gestion des stocks doit représenter les différentes contraintes de l'entreprise et faire ressortir les objectifs des décideurs. Il permettra ainsi par expérimentation d'améliorer la gestion existante.

La détermination d'un bon modèle de gestion des stocks fait souvent appel à plusieurs méthodes scientifiques, telles que la statistique (analyse des données, prévision, estimation des paramètres,...), la recherche opérationnelle (modélisation, optimisation,...), l'informatique (groupage de données dans des base de données) et la simulation (modèles complexes à variables aléatoires,...).

4.1. Calcul de la Quantité économique

Méthode déterministe :

Les caractéristiques communes des modèles envisagés ici sont les suivantes :

Une demande certaine, constante par unité de temps. Des délais d'approvisionnement connus et qui ne seront, de ce fait, pas pris en considération. Le coût unitaire d'acquisition est considéré comme.

La démarche consiste :

- A recenser les coûts affectés par le niveau du stock.
- A formaliser le coût total du stockage en fonction du niveau du stock. – A rechercher le volume de stockage qui minimise le coût total.

Approvisionnement externe périodique et ponctuel : Deux situations doivent être distinguées selon que la demande s'adressant au stock peut être différée ou non. (Dans ce qui suit on considère la période = une année).

-Demande non différable : Cette situation correspond au célèbre modèle de Wilson ou Q.E.C (quantité économique de commande). Celui-ci en ligne de compte explicitement, trois catégories de coûts :

- **Le coût de commande** : également appelé coût de préparation (**C_i**).
- **Le coût de stockage** : également appelé coût de détention ou de possession (**C_s**).
- **Le coût de rupture** : également appelé le coût de pénurie (**C_r**).

Exemple du cas pratique

Nous allons calculer la quantité économique de commande.

DAA99DZ-EGT0282	Cosse a sertir 70mm*x10	CONSOM
DAA99DZ-EGT0290	Gaine thermo ET 100 25.4 J/Y	CONSOM
DAA99DZ-EGT0291-1	Gaine thermo ET 100 38.1/19.1 mm Noir	CONSOM
DAA99DZ-EGT0297	Cosse a sertir 50mm* x 10	CONSOM
DAA99DZ-EGT0431	TRESSE DE CUIVRE 2 CM	CONSOM
DAA99DZ-EGT0300	Chemin de cable FIL KT54X300EZ	CONSOM
DAA99DZ-EGT0301	Chemin de cable FIL K54X400EZ	CONSOM
DAA99DZ-EGT0306	Console S150U C400 SZ	CONSOM
DAA99DZ-EGT0308	Support rail strut 41X41X1.80P 3M SZ	CONSOM
DAA99DZ-EGT0319	Support universel UFU SZ	CONSOM
DAA99DZ-EGT0280	Cosse a sertir 240mm*x12	CONSOM
DAA99DZ-EGT0281	Cosse a sertir 120mm*x12	CONSOM
DAA99DZ-EGT0281-1	Cosse a sertir 300mm*x12	CONSOM
DAA99DZ-EGT0283	Cosse a sertir 95mm*x 10	CONSOM
DAA99DZ-EGT0292	Gaine thermo. CPX55 25,4/12,7 NOIRE	CONSOM
DAA99DZ-EGT0293	Gaine thermo.CPX55 19/9,5 Noire	CONSOM
DAA99DZ-EGT0298	Chemin de cable FIL KT54X100EZ	CONSOM
DAA99DZ-EGT0302	Corniere de separation LPS48SZ	CONSOM
DAA99DZ-EGT0307	Cheville expansion M8 laiton	CONSOM
DAA99DZ-EGT0310	Rondelle L8 EZ	CONSOM
DAA99DZ-EGT0311	Vis TH M8X20 EZ	CONSOM
DAA99DZ-EGT0318	Eclisse multifonction ERU3 I2	CONSOM
DAA99DZ-EGT0320	Tige filetee M8 EZ 1M	CONSOM
DAA99DZ-EGT0339	Ecrou M10 GALVA	CONSOM
DAA99DZ-EGT0349	COLLIER POUR TUBE IRON 32mm	CONSOM
DAA99DZ-EGT0400	Rail CSN 3000 GS	CONSOM
DAA99DZ-EGT0416	TUBE IRO 32	CONSOM
DAA99DZ-EGT0440	TERMINAL TTF 95-240	CONSOM
DAA99DZ-EGT0446-1	BORNIER 4	CONSOM
DAA99DZ-EGT0457	PEINTURE AEROSOL ARGENTEE	CONSOM

FIGURE 6.1 : **Echantillon**

L'échantillon choisi à partir de la classe C, appartenant à la famille : Consommable du Sous Système : A-Energie, selon les critères :

- ▶ Prix $\leq 20\epsilon$.
- ▶ Quantité d'équipements consommés mensuellement ≤ 100 .

Equipement (Conse	Quantité consommée			Consomma	Consom mensu	Prix unitair	Consom mensuelle * Prix
	Janvier	Fevrier	Mars				
Equipement 1	16	0	18	34	11,33333333	1,1900	13,48666667
Equipement 2	6	5	2	13	4,33333333	2,7900	12,09
Equipement 3	48	4	2	54	18	1,8850	33,93
Equipement 4	2	0	16	18	6	0,3800	5,88
Equipement 5	25	0	50	75	25	6,1400	153,5
Equipement 6	6	0	9	15	5	10,2400	51,2
Equipement 7	12	48	0	60	20	20,0800	401,6
Equipement 8	32	25	0	57	19	7,8600	149,34
Equipement 9	96	42	0	138	46	5,7300	263,58
Equipement 10	0	12	22	34	11,33333333	1,3100	14,84666667
Equipement 11	0	0	60	60	20	6,15	123
Equipement 12	0	0	34	34	11,33333333	3,03	34,34
Equipement 13	2	18	0	20	6,66666667	7,79	51,93333333
Equipement 14	25	0	0	25	8,33333333	1,84	15,33333333
Equipement 15	0	5	0	5	1,66666667	2,79	4,65
Equipement 16	0	5	0	5	1,66666667	1,98	3,3
Equipement 17	0	0	6	6	2	4,95	9,9
Equipement 18	0	3	6	9	3	2,58	7,74
Equipement 19	2	0	0	2	0,66666667	1,05	0,7
Equipement 20	70	16	0	86	28,66666667	0,07	2,00666667
Equipement 21	50	0	0	50	16,66666667	0,14	2,33333333
Equipement 22	50	0	0	50	16,66666667	12,13	202,1666667
Equipement 23	10	4	0	14	4,66666667	1,68	7,84
Equipement 24	100	0	0	100	33,33333333	0,06	2
Equipement 25	6	0	0	6	2	0,45	0,9
Equipement 26	0	0	6	6	2	6,94	13,88
Equipement 27	12	0	0	12	4	1,1	4,4
Equipement 28	0	0	6	6	2	12	24
Equipement 29	0	50	40	90	30	0,75	22,5
Equipement 30	1	7	0	8	2,66666667	2,62	6,98666667
Total				1092	364	128,3050	
Moy					12,13333333	4,2768333	

FIGURE 6.2 : Tableau des quantités consommées

Dans le tableau ci-dessus nous retrouvons la consommation du premier trimestre 2017 (Janvier, Février, Mars) du magasin Projet Tramway Ouargla. Nous avons calculé la somme des consommations, la consommation mensuelle moyenne ainsi que la moyenne des prix des équipements de l'échantillon.

$$Q_e = \sqrt{\frac{2 \cdot DA \cdot Cl}{T_p \cdot Pu}}$$

1-DA : Demande Annuelle.

2-Cl : Cout de Lancement.

3-T : Taux de possession.

4-Pu : Prix Unitaire.

Calcul du taux de possession

T_p = coût total des frais de stockage / stock moyen

a- Coût total des frais

Nous avons les données suivantes :

Charges et couts de stockage mensuel	Montant DZD
Acquisition	16 000 000 avec un amortissement de 3.5 % sur 2 ans
Masse salariale mensuelle	290 000
Manutention	390 000

FIGURE 6.3 : Tableau des différents frais.

Calcul des frais du loyer :

D'après les données, l'acquisition est de 16000000DZD avec un amortissement de 3.5% sur 2 ans.

Donc :

$$16\,000\,000 * 3.5\% = 560\,000 \text{ DZD}$$

$$16\,000\,000 - 560\,000 = 15\,440\,000 \text{ DZD, Pour la première année.}$$

$$15\,440\,000 * 3.5\% = 540\,400 \text{ DZD}$$

$$15\,440\,000 - 540\,400 = 14\,899\,600 \text{ DZD, Pour la deuxième année.}$$

Alors le coût des frais de stockage est :

$$\text{Coût total des frais de stockage} = 290\,000 * 12 + 390\,000 * 12 + 14\,899\,600 = 23\,059\,600 \text{ DZD.}$$

b- Stock moyen

Nous calculons le stock moyen de l'échantillon choisi :

$$\text{stock moy} = (\text{stock initial} + \text{stock final}) / 2$$

$$S_m = 18150 / 60.$$

$$S_m = 302,5.$$

De la même manière nous calculerons le stock moyen du magasin d'Ouargla.

Le stock moyen du magasin d'Ouargla est : 20650.66 Equipements.

Le taux de possession :

$$T_p = 23059600 / 20650,66$$

$$T_p = 11,16\%.$$

Nous pouvons maintenant calculer la quantité économique de commande.

– Demande Annuelle : DA=4368 équipements.

– Cout de lancement : Cl = 1. Car ces frais sont intégrés au prix d'achat des équipements.

– Taux de possession : $T_p = 11,16\%$.

– Prix unitaire : $P_u = 4.27\epsilon$.

– le coût de détention : $C_s = T_P * P_u$. Qui est la moyenne des prix des équipements de l'échantillon.

Donc Q_e :

$$Q_e = \sqrt{\frac{2.4368.1}{11,16.4,27}}$$

$$Q_e = 13.53$$

$$Q_e = 14 \text{ équipements/mois.}$$

5. Les prévisions à l'aide des séries chronologiques

5.1. Séries chronologiques

Une série chronologique est un ensemble d'observations x_t , $\{t \in T\}$ généré séquentiellement dans le temps, chaque observation x_t peut être considérée comme une réalisation de la variable aléatoire X_t définie sur un espace de probabilité ; autrement dit, une série chronologique est une réalisation d'un processus stochastique X_t , $\{t \in T\}$.

Notons que certains caractères (température, hygrométrie) sont observés de façon continue dans le temps au moyen d'appareillage physique, l'indice t est alors dans un intervalle de \mathbb{R} (une infinité d'observations est disponible) le processus est dit : à temps continu.

Si par contre T est discret, les observations peuvent correspondre à des flux (des périodes de même longueur) ou à des niveaux (des dates bien précises) dans ce cas le processus est à temps discret.

5.2. Composantes des séries chronologiques

Avant le traitement d'une série chronologique, il convient d'en étudier ses caractéristiques stochastiques (son espérance et sa variance), si elles se trouvent modifiées dans le temps la série est considérée non stationnaire. L'analyse des séries temporelles des phénomènes économiques permet de distinguer quatre types d'évolutions des séries dans le temps appelées " composantes de la série temporelle " qui sont :

Tendance : C'est un mouvement persistant dans un sens déterminé pendant un intervalle de temps assez long, il traduit l'allure globale du phénomène, qu'il soit à la baisse ou à la hausse, ce mouvement est en fonction du temps.

Saisonnalité : Elle se manifeste à travers des fluctuations périodiques plus au moins régulières (sous réserve de la variabilité du nombre de jours dans le mois, du nombre de jours fériés dans la semaine). Ce mouvement est donc une fonction du temps et est indépendant de la tendance.

Néanmoins, l'explication de ce mouvement se trouve dans des déterminismes extérieurs à l'activité économique elle-même (particularités du temps astronomique, rythme des saisons, rythme des activités sociales dont les caractères institutionnels s'imposent à l'activité économique).

Cycle : Cette composante décrit un mouvement à moyen terme caractérisé à la fois par la périodicité et par la cyclicité, c'est-à-dire par la régularité de son amplitude comportant une phase croissante et une autre décroissante.

Aléa (résidu) : Autour des mouvements précédents se produisent des fluctuations aléatoires, elles sont généralement de faibles amplitudes à fréquence élevée présentant une allure globale plus au moins stable. Cette composante exprime tout ce que les autres composantes n'ont pu expliquer du phénomène observé (grèves, panne, erreur de mesure).

5.3. Prévisions de séries chronologiques

La prévision est un élément clé de tout processus de gestion. Gérer, c'est tout d'abord prévoir l'évolution de l'environnement de l'entreprise à travers tout les facteurs pouvant exercer une influence sur ses résultats ; c'est ensuite décider, ce qui suppose une prévision de la situation de l'entreprise une fois que les choix auront été effectués, et enfin contrôler, c'est-à-dire comparer les résultats obtenus avec ceux qui étaient prévus.

Horizon de la prévision :

L'horizon de prévision est un intervalle de temps qui sépare le moment où la prévision est effectuée (ce qu'on appelle l'origine de prévision) et le moment pour lequel on désire la prévision.

Type de prévision :

On peut s'intéresser à trois types de prévisions :

- La survenance éventuelle d'un certain événement.
- L'échéance d'un événement c'est à dire la date de survenance d'un événement dont on sait qu'il se réalisera.

La valeur qui sera atteinte à une certaine date par une variable.

Nous allons, dans notre travail, considérer le cas de la prévision de séries chronologiques.

Supposons qu'on dispose de n prévisions $\hat{X}_1, \dots, \hat{X}_n$ qui correspondent aux données X_1, \dots, X_n et donc de n erreurs de prévisions $\{e_1, \dots, e_n\}$, où $e_i = X_i - \hat{X}_i$. Il peut s'agir de prévisions, soit pour toutes les données disponibles, soit pour un sous-ensemble de données récentes. Ces quelques critères suivants sont utilisés pour juger de la validité de

la méthode de prévision.

1. L'erreur moyenne ("mean error") :

$$\bar{e} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i$$

La variance :

$$\text{Var}(e) = (1/n) \sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2$$

L'écart type ("standard deviation")

$$\sigma = \sqrt{(1/n) \sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2} = \sqrt{\text{Var}(e)}$$

L'écart absolu moyen ("mean absolute deviation") :

$$MAD_e = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i - \bar{e}|^2}$$

Le carré moyen des erreurs ("mean squared error") :

$$MSE(e) = \text{var}(e) = (1/n) \sum_{i=1}^n (e_i^2)$$

L'erreur quadratique moyenne ("root mean square error") :

$$RMSE(e) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2} = \sqrt{MSE(e)}$$

6. Le lissage exponentiel

Les méthodes de lissage exponentiel sont initialement proposées pour calculer rapidement des prévisions pour un grand nombre de séries, comme dans un système de gestion des stocks, ces méthodes se sont avérées fournir des prévisions de meilleure qualité que ce qui pouvait être imaginé a priori.

6.1. Principe de base

La méthode de lissage exponentiel repose sur l'idée suivante : les informations contenues dans une série chronologique ont d'autant plus d'importance qu'elles sont plus récentes. Pour effectuer une prévision, il faut affecter aux informations un poids d'autant plus faible qu'elles proviennent d'époques plus éloignées.

6.2. Description de la méthode

Si X_1, X_2, \dots, X_n sont les termes d'une chronique, la méthode du lissage exponentiel consiste à prendre comme prévision :

$$X_{n,h} = (1 - \alpha)X_n + \alpha \hat{X}_{n-1,h}$$

telle que :

$$0 \leq \alpha \leq 1$$

telle que 0 est l'horizon.

Où α , appelée constante de lissage est généralement comprise entre 0 et 1. Pour débiter le processus de lissage, il convient de choisir une valeur pour la constante.

Ce choix est très important car il conditionne la prévision future à travers le degré de pondération que l'on affecte au passé récent et au passé lointain et ceci pour assurer une bonne qualité de prévision.

Chapitre 7

Résolution du problème

D'une manière générale, la performance est un résultat chiffré obtenu dans le cadre d'une compétition.

Au niveau de notre entreprise, la performance exprime le degré d'accomplissement des objectifs poursuivis. Alors elle doit être à la fois efficace et efficiente. Elle est efficace lorsqu'elle atteint les objectifs qu'elle s'est fixés. Elle est efficiente lorsqu'elle minimise les moyens mis en œuvre pour atteindre les objectifs qu'elle s'est fixés.

Comment avons nous mesuré la performance de l'entreprise ?

La performance se mesure avec des critères (ou indicateurs) qualitatifs ou quantitatifs de résultat. Pour mesurer l'efficacité, on utilise un critère qui exprime un rapport entre le résultat obtenu et l'objectif visé. Pour mesurer l'efficience, on utilise un critère qui exprime un rapport entre le résultat obtenu et les moyens mis en œuvre.

Il est aussi nécessaire d'effectuer des mesures à tous les niveaux de notre chaîne logistique pour évaluer la performance, c'est pour cela que nous avons dévisé l'évaluation en deux parties :

Supply Chain : au début nous modélisons notre problématique mathématiquement ensuite, nous visualisons les différents flux au sein de notre construction de projets par le **VSM** à fin de mettre en avant les tâches à valeur ajoutée et d'identifier les différents types de gaspillages comme les stocks. Nous finissons la première partie par les **KPI** (Indicateurs de Performances).

Gestion des stocks : nous avons commencé cette partie par la classification des articles par familles et sous système afin de déterminer les deltas de ces derniers, nous avons ensuite appliqué un lissage à l'aide du logiciel Eviews pour déterminer le stock de secours à mettre en place. Nous finissons la deuxième partie par un schéma fonctionnel de la méthode **MRP2**.

1. Chaîne logistique

1.1. Cartographie des flux (Value Stream Mapping(VSM))

La cartographie processus offre une vue globale du fonctionnement d'un organisme. Elle permet de visualiser ses processus, leurs interactions et distingue les processus de réalisation, les processus support et les processus de management.

La cartographie processus :

- Permet une meilleure compréhension du fonctionnement par le personnel.
- Facilite le pilotage global de l'organisme.
- Facilite l'intégration des nouveaux collaborateurs.
- Met en évidence la finalité des activités et l'implication nécessaire de tous.

Mais une cartographie des processus peut difficilement décrire toutes les interactions, sous peine de devenir incompréhensible. Le plus pratique est souvent de faire une " chaîne de processus" pour formaliser l'ensemble des données qui caractérise chaque processus : intitulé, déroulement et interactions avec les autres processus, acteurs, pilote...

Une cartographie comporte trois parties distinctes nécessaires sont le flux d'informations dans sa partie supérieure, deuxièmement le flux physique dans sa partie centrale qui décrit les étapes majeures d'une transformation d'un traitement et troisièmement une cartouche dans la partie inférieure. De manière conventionnelle on fait figurer le client en haut et à droite de la VSM, celui-ci communique avec son fournisseur en particulier pour lui transmettre les commandes.

Dans notre cas il s'agit d'une entreprise industrielle qui intègre les commandes de ses projets dans son système de gestion ,et aux besoins déclenchent les besoins d'achats et d'approvisionnement aux prés de ses propres fournisseurs.

La lecture d'une VSM commence généralement par le flux physique qui se lit de gauche. Ce flux physique décrit le périple des équipements depuis le départ jusqu'à le dernier point. Dans notre cas il s'agit d'un équipement destiné à un client industriel (projets) qui les utilisera comme composants pour ses constructions[43].

Pour établir une cartographie VSM on se base sur des pièces représentatives dans notre exemple.

On commence par notre flux physique et le stock en équipement figuré par un triangle portant la lettre I (inventory).donc il faut $(N+j)$ jours pour que l'équipement traverse ce stock et se retrouve à l'étape suivante, pour cela on parle du temps traversé dans le stock, noté que nous retenons la valeur la plus importante comme référence au temps traversé. À l'extrémité droite se trouve l'expédition vers le client qui fait en quelques

sortes le pendant des expéditions des équipements depuis le fournisseur vers l'extrémité gauche. La partie inférieure contient une boîte accumulent le total de tout les temps en haut, et le temps total du traitement ou temps de valeur ajoutée en bas. Il est de coutume de faire le rapport entre le temps de valeur ajoutée sur le temps total et de l'exprimer en pourcentage, il est courant dans l'industrie de trouver un temps de valeur ajoutée comparée et en temps total inférieur à 1% ce qui signifie qu'un équipement peut passer plus de 99% de temps à attendre dans le processus.

Le système d'informations de l'entreprise ALSTOM est rudimentaire, il se borne à distribuer un planning de travail hebdomadaire aux différents postes de travail une liste d'expédition quotidienne au service logistique.

Que fait-on avec toutes ces informations ?

La VSM est un outil d'analyse et un support de communication. L'analyse permet de comprendre l'aspect de déroulement des opérations dans un processus et comment ces opérations sont piloter pour l'essentiel l'analyse va vérifier quelles sont les obstacles à l'écoulement du flux physique et les améliorations potentielles pour accélérer le flux ?

Ceci mesure notamment par le temps traverser dans le processus dans son ensemble et par le rassure du temps à valeur ajoutée sur temps total.

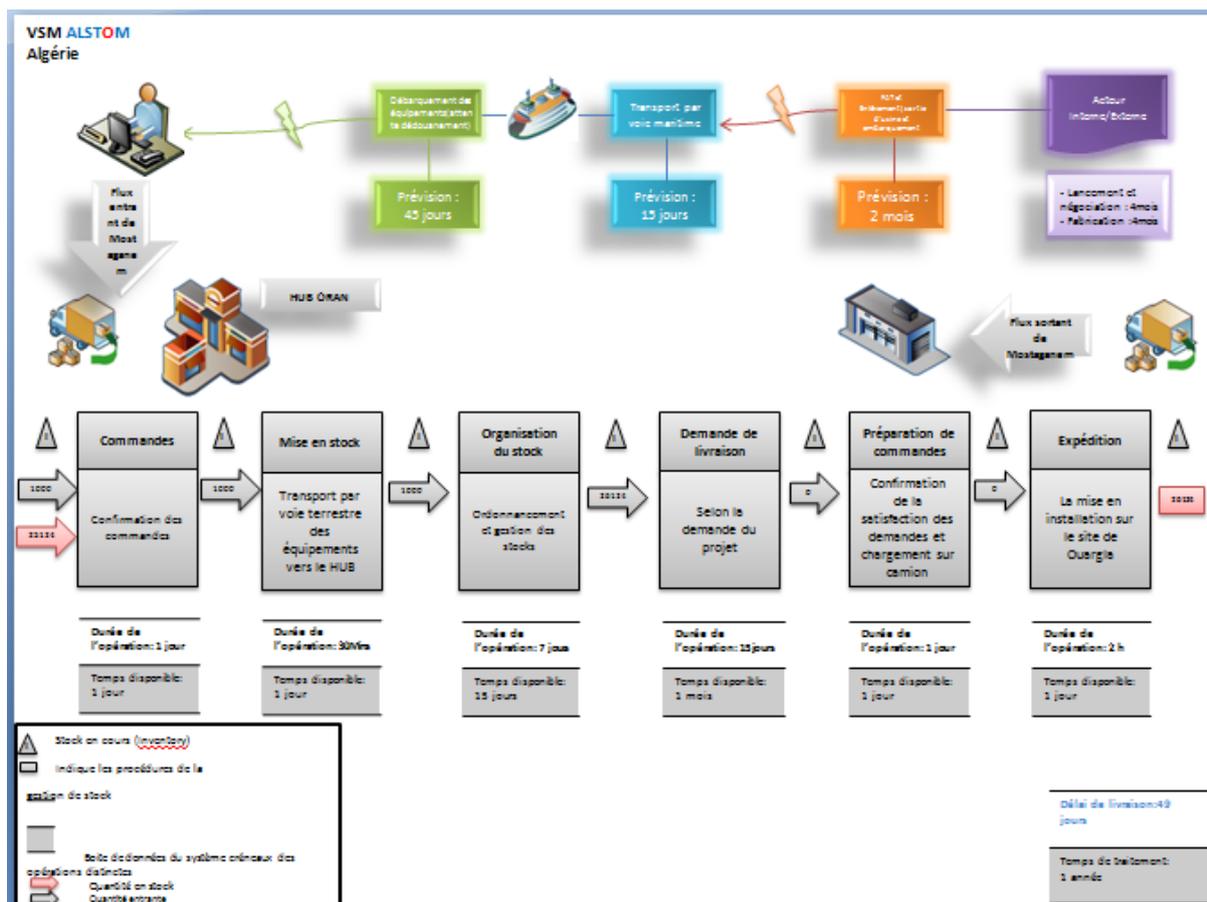


FIGURE 7.1 : Value Stream Mapping de Mostaganem

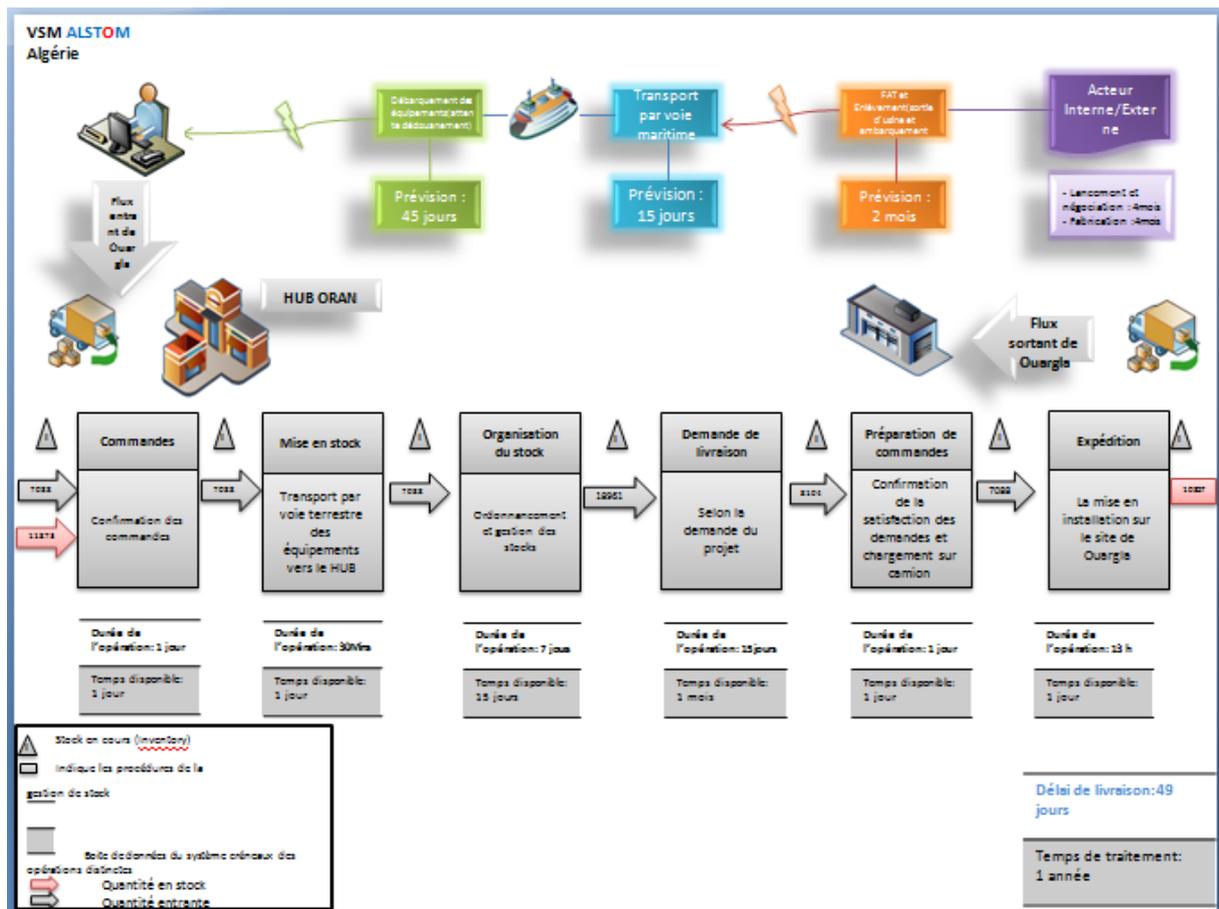


FIGURE 7.2 : Value Stream Mapping de Ouargla

1.2. Les indicateurs de performance (Key Performance Indicator (KPI))

Définition 22 (Généralité)

Un indicateur est une information ou un ensemble d'informations contribuant à l'appréciation d'une situation par le décideur.

Définition 23 (Spécificité)

KPI est un acronyme pour Key Performance Indicator. Les KPI ou ICP (indicateurs clés de performance) peuvent être utilisés, entre autres, dans le domaine du management au sens large, dans le domaine du marketing et de la publicité ou dans le domaine de l'analyse d'audience d'un site web.

Les KPI sont utilisés pour déterminer les facteurs pris en compte pour mesurer l'efficacité globale d'un dispositif commercial ou marketing ou celle d'une campagne ou action particulière. Ils peuvent donc être utilisés de manière ponctuelle pour une campagne

ou de façon permanente pour mesurer les résultats d'un dispositif [27](site e-commerce, magasin, community management, centre de relation client,..). Pour assurer le pilotage d'une activité, les KPI peuvent se regrouper dans un tableau de bord ou dashboard.

Il existe plusieurs centaines de KPI utilisables dans le cadre de l'activité commerciale et marketing.

Les principaux indicateurs de performance sont communiqués mensuellement à la Direction qui les analyse pour :

- ▶ Identifier les écarts par rapport à la cible.
- ▶ Définir des plans d'action correctifs au besoin.
- ▶ Déployer des plans d'amélioration continue.

Le KPI devrait être un reflet exact et honnête de l'efficacité du processus dans la réalisation des résultats.

KPI stockage

INDICATEUR	FORMULE	COMMENTAIRES
Coefficient de rotation des stocks	Achat ou consommation (en quantité ou en valeur) / Stock moyen (en quantité ou en valeur)	Ce ratio indique le nombre de fois que le stock d'un magasin se renouvelle au cours d'une période donnée. Dans les ventes, il détermine le nombre de fois que le stock est complètement renouvelé pour réaliser un chiffre d'affaire donné dans une période. Attention : les valeurs des achats et des stocks doivent être exprimées dans la même unité (en prix d'achat ou en prix de vente).
Consommation moyenne	Somme totale des consommations / nombre total des consommations	Quantité moyenne prélevée lors de chaque sortie de stock. Important à savoir pour arrondir d'autres ratios des stocks.
Durée de rotation du stock moyen (jr)	Durée de la période / coefficient de rotation.	Cet indicateur permet de savoir combien de jour il faut pour écouler le stock moyen. Baisser au maximum la durée de rotation des stocks est un objectif majeur lorsqu'on gère des denrées périssables. Garder longtemps ces produits en stock peut s'avérer finalement

FIGURE 7.3 : Tableau des indicateurs de performances

Une fois les KPI choisis, nous les calculons à partir des données fournies par l'entreprise. Nous effectuons notre étude à partir de l'échantillon de l'exemple du cas pratique cité plus haut dans la partie gestion des stocks modèle déterministe, calcul (quantité économique).

1-Coefficient de rotation des stocks :

Coef de rotation = Consommation / Stock moyen.

Cr = 1092 / 302.5

Cr = 3.6.

2- Consommation moyenne :

consommation Moy = $\sum_0^{30} \text{Consommation} / \text{Nombre de consommation}$.

Cm = 1092 / 61

Cm = 17,90.

3- Durée de rotation du stock moyen en jours :

Durée Rotation = Durée de la période / Coefficient de rotation

D r.s = 90 / 3.6

D r.s = 25 jours.

2. Gestion des stocks

2.1. Etudes et classification des articles

Les différents types de mouvements

Pour simplifier, il y a deux types de mouvements : les entrées et les sorties.

Pour chaque transaction physique de stock, il est essentiel qu'il existe une transaction informatique correspondante, bien documentée. L'accès aux transactions, physique ou informatique doit donc être limité aussi et le personnel chargé de ces transactions, bien formé[11].

Les entrées de stock

Les étapes clés d'une bonne réception :

1. Accueil du transporteur ou du produit.
2. Recherche de la commande.
3. Vérification de l'identité du produit et de sa quantité.
4. Signature du bon de livraison (éventuellement avec réserve).
5. Vérification qualitative du produit.
6. Signature du bon de réception (éventuellement avec réserve) qui va déclencher le paiement s'il n'y a pas de réserve.

Présenter un bon de livraison avec les différentes informations.

Autres types d'entrées en stock : retours clients, retours fournisseurs...

Les sorties de stock Types de sorties de stock :

- . Préparation pour consommation en production ou commande client.
- . Problème qualité.

- . Rebut.
- . Riblonnage.

Etude des Flux hub Oran et magasin Ouargla

Les données récoltées au sein de l'entreprise, dans le but d'avoir le Δ entre les quantités entrantes et sortantes du magasin d'Ouargla et du hub.

Les équipements sont classés selon :

1–Sous Systèmes :

- ▶ Energie.
- ▶ Equipement Dépôt.
- ▶Info Solution.
- ▶Billetique.
- ▶DI/CA/GTB.

2–Familles :

- ▶Cables.
- ▶Connect.
- ▶Consommables.
- ▶Equipements.
- ▶Fixations.
- ▶Logiciel.
- ▶Outil.

A partir de l'inventaire ainsi que du mouvement de stock du premier trimestre (Janvier, Février, Mars) 2017 du Hub d'Oran et du magasin d'Ouargla, nous avons pu réaliser les tableaux suivant :

Quantité mouvementée	ENTRANTE Magasin OUARGLA						
Sous systemes/Familles	Cables	Connect	Consom	Equip	Fixation	Logiciel	Outil
A-Energie	1582	0	7088	101	7800	0	0
B-Equipement Dépôt	0	0	0	3	0	0	0
C-Info Solution	14394	689	4766	841	0	0	0
D-Billetique	0	0	0	46	0	0	0
E-DI/CA/GTB	6815	0	14380	307	0	0	0

Quantité mouvementée	SORTANTE Magasin OUARGLA						
Sous systemes/Familles	Cables	Connect	Consom	Equip	Fixation	Logiciel	Outil
A-Energie	-15850	-380	-8104	-93	-4710	0	0
B-Equipement Dépôt	0	0	0	-1	0	0	0
C-Info Solution	-47389	-134	-2261	-4480	0	0	0
D-Billetique	0	0	0	-1	0	0	0
E-DI/CA/GTB	-3500	0	-12568	-6	0	0	0

Quantité restante	Magasin OUARGLA						
Sous systemes/Familles	Cables	Connect	Consom	Equip	Fixation	Logiciel	Outil
A-Energie	11297	302	11873	122	3130	0	0
B-Equipement Dépôt	0	0	0	3	0	0	0
C-Info Solution	26005	555	4442	1876	0	0	0
D-Billetique	0	0	0	45	0		0
E-DI/CA/GTB	8915	0	10823	301	0	0	0

FIGURE 7.4 : Flux du magasin d'Ouargla

Le premier tableau représente les quantités d'équipements entrantes relatives au d'Ouargla

Le deuxième tableau représente les quantités d'équipements sortantes relatives au magasin d'Ouargla.

Le troisième tableau représente les quantités d'équipements restantes relatives au magasin d'Ouargla.

– De même , nous pouvons avoir les mêmes tableaux relatifs au hub pour chaque projet.

Quantité movimentée	ENTRANTE HUB pour Projet OUARGLA						
Sous systemes/Familles	Cables	Connect	Consom	Equip	Fixation	Logiciel	Outil
A-Energie	0	0	0	0	0	0	0
B-Equipement Dépôt	0	0	0	0	0	0	0
C-Info Solution	0	0	0	0	0	0	0
D-Billetique	0	0	0	0	0	0	0
E-DI/CA/GTB	0	0	0	0	0	0	0

Quantité movimentée	SORTANTE HUB pour Projet OUARGLA						
Sous systemes/Familles	Cables	Connect	Consom	Equip	Fixation	Logiciel	Outil
A-Energie	0	0	0	0	0	0	0
B-Equipement Dépôt	0	0	0	-19	0	0	-3
C-Info Solution	0	0	0	0	0	0	0
D-Billetique	0	0	0	0	0	0	0
E-DI/CA/GTB	0	0	0	0	0	0	0

QTT restantes	HUB pour Projet OUARGLA						
Sous systemes/Familles	Cables	Connect	Consom	Equip	Fixation	Logiciel	Outil
A-Energie	0	0	0	0	0	0	0
B-Equipement Dépôt	0	0	0	0	0	0	0
C-Info Solution	0	0	0	0	0	0	0
D-Billetique	0	0	0	0	0	0	0
E-DI/CA/GTB	0	0	0	0	0	0	0

FIGURE 7.5 : Flux Hub d’Oran pour projet d’Ouargla

- Les quantités entrantes relatives au hub pour le projet Ouargla sont toute nulles.
- Les quantités restantes sont nulle pour tous les équipements.

Remarque :

- Les équipements sortants du hub à destination du projet d’Ouargla sont introuvables au magasin d’Ouargla.

Constat :

- Un équipement peut être fractionné en sous-équipement, ce qui engendre une codification différente de la codification de l’équipement principale.

Quantité mouvementée	ENTRANTE HUB pour Projet MOSTA						
Sous systemes/Familles	Cables	Connect	Consom	Equip	Fixation	Logiciel	Outil
A-Energie	0	0	6	22	84	0	0
B-Equipement Dépôt	0	0	0	0	0	0	0
C-Info Solution	1000	0	0	2	0	0	0
D-Billetique	0	0	0	0	0	0	0
E-DI/CA/GTB	0	0	0	0	51	0	0

Quantité mouvementée	SORTANTE HUB pour Projet MOSTA						
Sous systemes/Familles	Cables	Connect	Consom	Equip	Fixation	Logiciel	Outil
A-Energie	-850	0	0	0	0	0	0
B-Equipement Dépôt	0	0	0	0	0	0	0
C-Info Solution	0	0	0	0	0	0	0
D-Billetique	0	0	0	0	0	0	0
E-DI/CA/GTB	0	0	0	0	-51	0	0

Quantité restante	HUB pour Projet MOSTA						
Sous systemes/Familles	Cables	Connect	Consom	Equip	Fixation	Logiciel	Outil
A-Energie	5735	0	6	22	84	0	0
B-Equipement Dépôt	0	0	0	0	0	0	0
C-Info Solution	26124	0	0	2	0	0	0
D-Billetique	0	0	0	0	0	0	0
E-DI/CA/GTB	0	0	0	0	0	0	0

FIGURE 7.6 : Flux Hub Oran pour projet de Mostaganem

Nous remarquons que les quantités entrantes, sortantes et restantes en équipements au niveau du magasin de mostaganem est petite vu que le projet est gelé.

2.2. Analyse des données :

Les équipements entrants, sortants et restants du magasin de Ouargla sont en général considérables, en particulier les articles appartenant à la famille : câble, sous système : Info Solution, avec un flux entrant de 14394 et un flux sortant (consommé) de 47389.

Les flux du Hub pour le projet de Ouargla est quasi nul excepté pour les Equipement du sous-système : Equipement Dépôt qui sont transférés vers le magasin de Ouargla avec une quantité de 19 équipements.

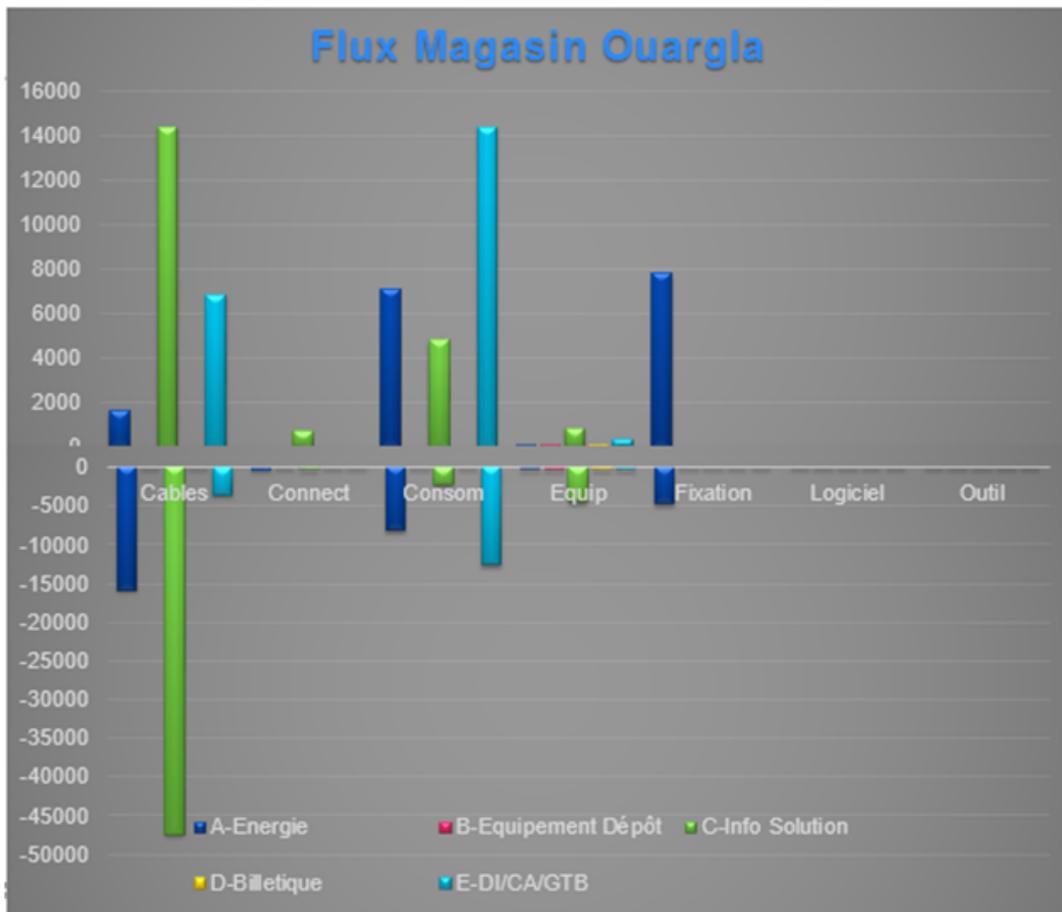


FIGURE 7.7 : Δ des Quantités entrantes et sortantes au magasin d'Ouargla

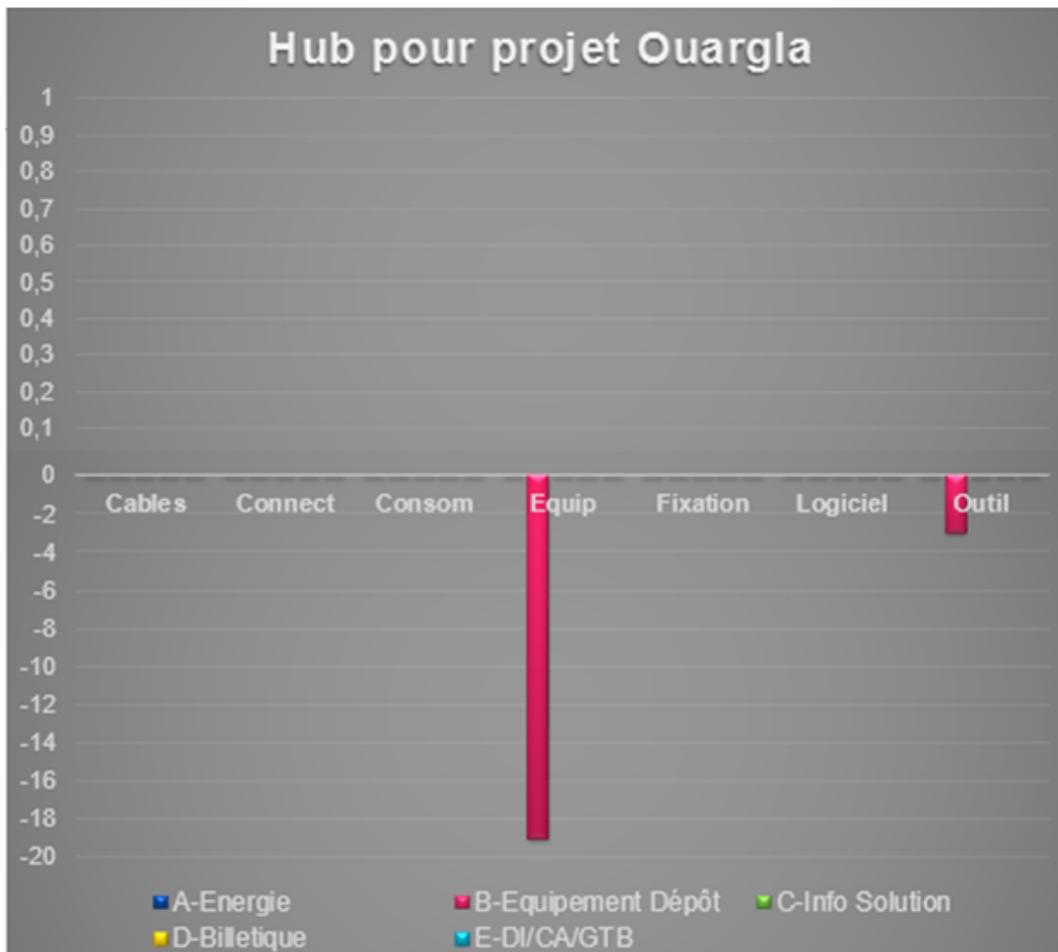


FIGURE 7.8 : Δ des Quantités entrantes et sortantes au hub pour le projet d'Ouar-gla

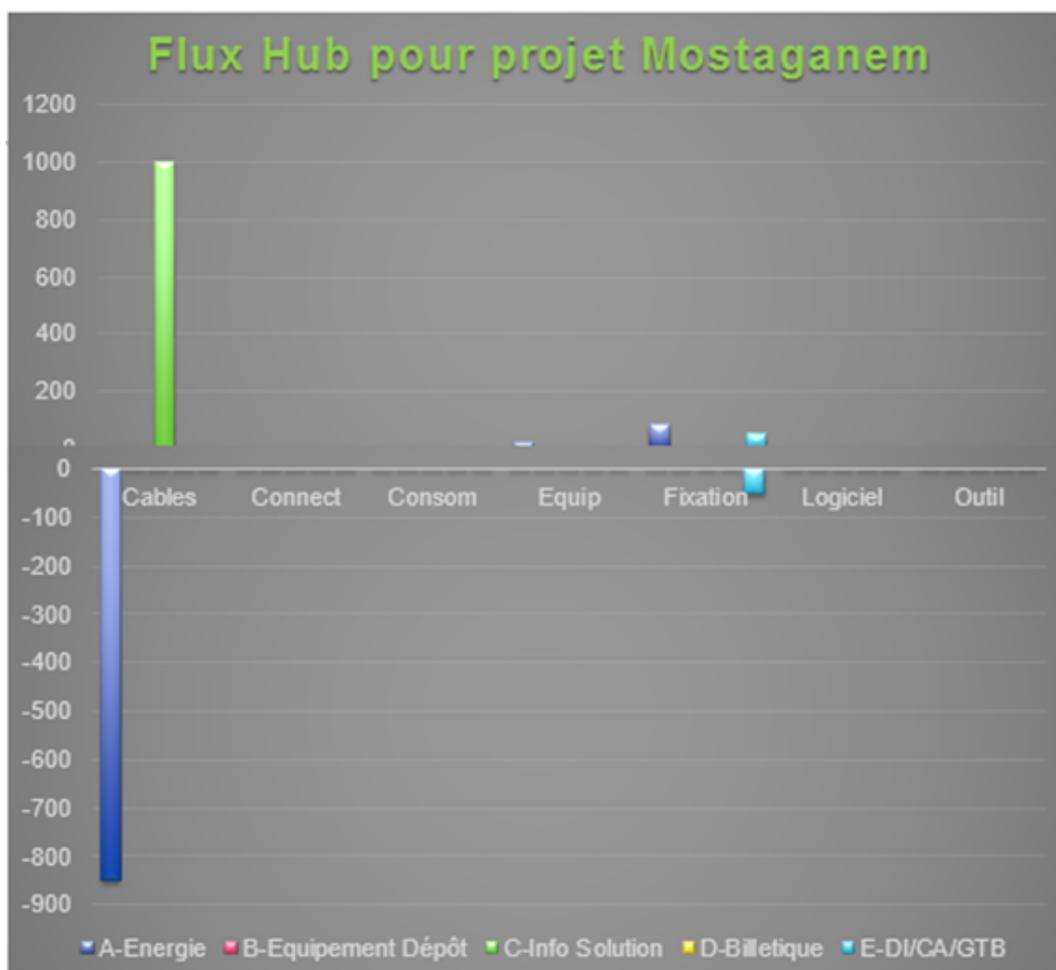


FIGURE 7.9 : Δ des Quantités entrantes et sortantes au hub pour le projet de Mostaganem

Sous systemes	Magasin OUARGLA	
	Nb article	Nb article mouv
A-Energie	641	137
B-Equipement Dépôt	16	4
C-Info Solution	469	123
D-Billetique	9	8
E-DI/CA/GTB	136	92

FIGURE 7.10 : Nombre d'articles total et mouvementés Magasin Ouargla

Le tableau ci-dessus est un tableau récapitulatif du nombre d'articles ainsi que du nombre d'articles mouvementés pour le magasin d'Ouargla.

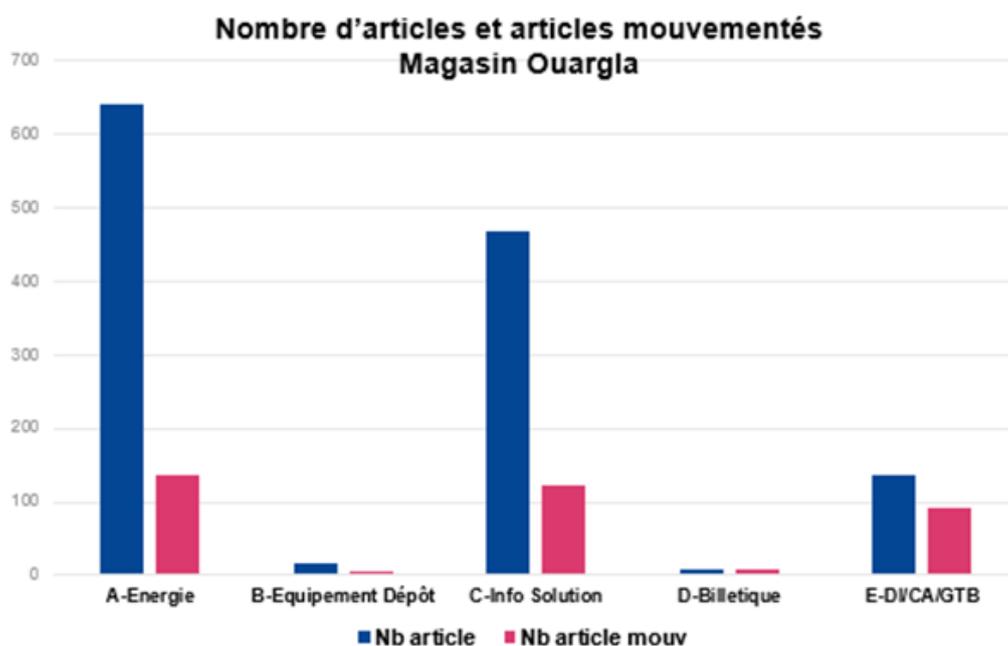


FIGURE 7.11 : Diagramme des articles et du mouvement d'article Magasin Ouargla

La figure (7.11) ci-dessus représente l'historique du nombre d'articles ainsi que du nombre d'articles mouvementés en fonction des sous-systèmes pour le magasin d'Ouargla.

Sous system	HUB pour Projet MOSTA		HUB pour Projet OUARGLA	
	Nb articles	N mouvements	Nb articles	N mouvements
A-Energie	353	16	337	0
B-Equipeme	326	0	40	16
C-Info Soluti	543	3	344	0
D-Billetique	26	0	10	0
E-DI/CA/GTB	1	1	0	0

FIGURE 7.12 : Articles et articles mouvementés Hub Oran

Le tableau ci-dessus est un tableau récapitulatif du nombre d'articles ainsi que du nombre d'articles mouvementés du Hub d'Oran pour les projets de Mostaganem et d'Ouargla.

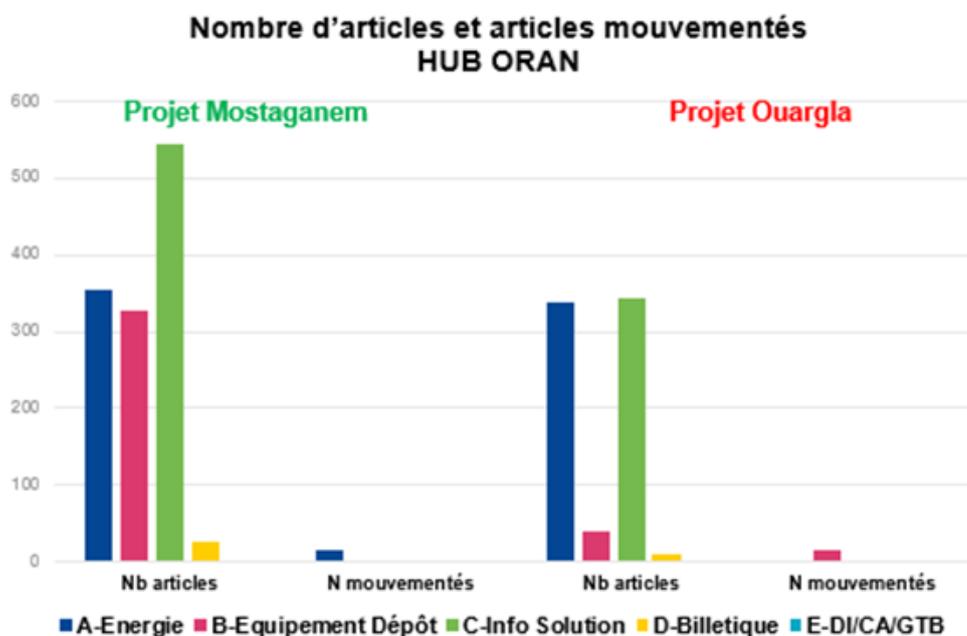


FIGURE 7.13 : Diagramme des articles et du mouvement d'article Hub Oran

La figure (7.13) ci-dessus représente l'histogramme du nombre d'articles ainsi que du nombre d'articles mouvementés en fonction des sous-systèmes du hub d'Oran pour les deux projets (Mostaganem, Ouargla).

3. Analyse de la série Erreurs de Planification de consommation

La gestion de stock est basée sur plusieurs fonctions de calcul. L'une des plus importantes est l'exécution des prévisions des consommations futures d'un article donné. L'évaluation des consommations futures se fait par extrapolation des données sur une échelle de temps. Il est cependant important de noter que :

Les prévisions sont faites à une période précise afin de permettre aux gestionnaires de planifier les approvisionnements des magasins situés en amont sur les périodes à venir.

Dans la pratique, elles sont rarement exécutées pour tous les articles, on préfère les appliquer sur des catégories bien sélectionnées (les articles les plus rentables, les plus coûteux, les plus sensibles, en bref les stocks désignés comme critique).

3.1. Notation

La série EPQCM est l'actif qui correspond aux erreurs de prévision de la quantité à commander au magasin d'un équipement établie par Alstom Algérie. Ces valeurs représentent la différence entre le stock existant dans le magasin de Ouargla et la consommation de ce dernier au jour j pour le projet Tramway Ouargla Algérie.

3.2. Identification

Supposons les données de la série EPQCM s'étalent sur une période de trois mois, les observations représentent les quantités ayant subi un mouvement (entrée-sortie) elles sont prises du 01 janvier 2017, au 30 mars 2017 en moyenne de 3 jours, soit 29 observations.

3.3. Présentation graphique de la série

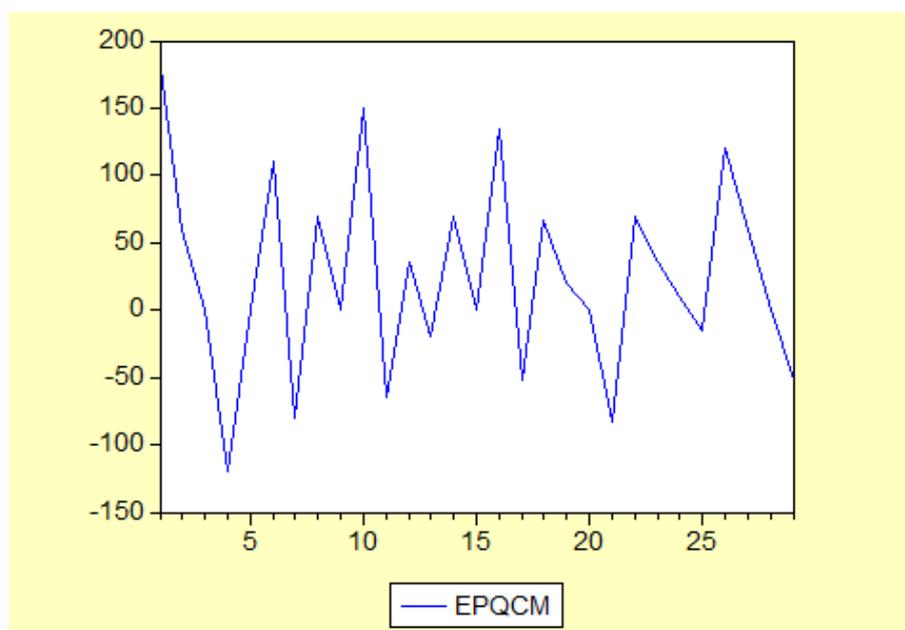


FIGURE 7.14 : La série EPQCM sous Eviews

- ▶ Les valeurs positives du graphe représentent le surstock.
- ▶ Les valeurs négatives représentent les ruptures de stock.

3.4. Prévision EPQCM

La série ne présente ni tendance ni composante saisonnière, on applique la technique de lissage simple à l'aide du logiciel Eviews.

Nous nous situons à la date n et nous souhaitons prévoir la valeur X_{n+h} non encore observée à l'horizon h . Nous notons cette prévision : X_{n+h} .

Avec :

- $X_{n,h} = a_{1,n} + a_{2,n} * h$.
- $a_{1,n}$ et $a_{2,n}$ des coefficients dépendant de n .

Date: 06/26/17 Time: 15:03
 Sample: 1 29
 Included observations: 29
 Method: Single Exponential
 Original Series: EPQCM
 Forecast Series: EPQCMSM

Parameters: Alpha	0.0010
Sum of Squared Residuals	149615.1
Root Mean Squared Error	71.82716

End of Period Levels: Mean	25.81863
----------------------------	----------

FIGURE 7.15 : **Résultat Statistique du Lissage sur EPQCM**

Le tableau ci-dessus comporte :

1- Le coefficient de lissage qui minimise la somme des carrés résiduels et qui est : $\alpha = 0.001$

2- La racine moyenne des carrés résiduels : RMSE=71.82716.

Les prévisions sont calculées pour le mois d'avril 2017.

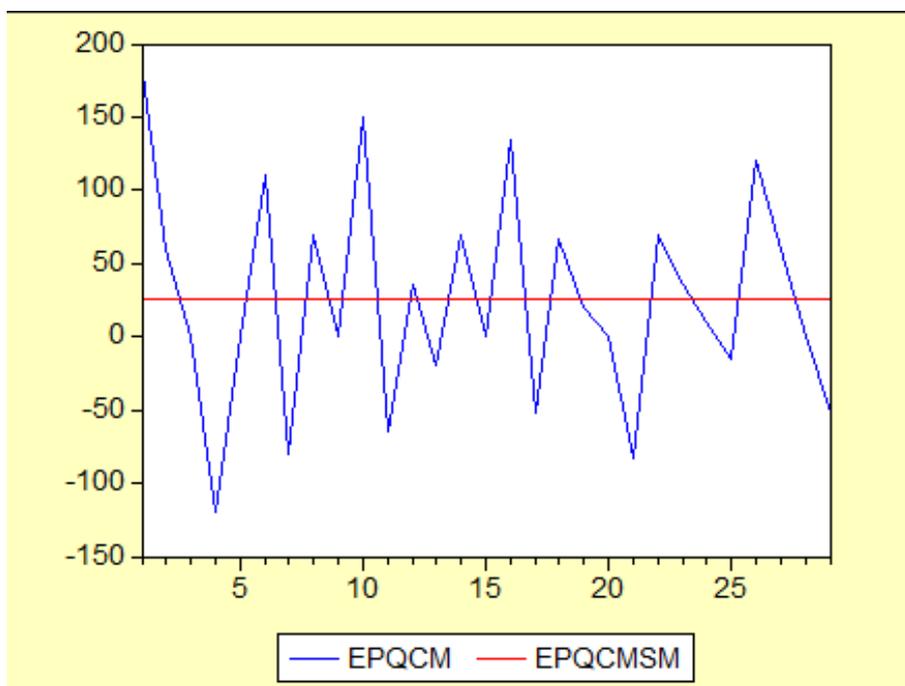


FIGURE 7.16 : **Prévision de la série EPQCMSM**

3.5. Intervalle de confiance de la prévision

X_t : variable aléatoire déterminant l'erreur de prévision de la quantité à commander à affectée pour la date t. La suite de variables aléatoires réels X_t est indépendante et identiquement distribuée, d'après le théorème central limite, la variable aléatoire converge vers une loi normale. L'intervalle de confiance pour une loi normale au seuil de 95% est calculé par : $1,96\sigma$.

C'est à dire :

$$P(X_{tmin} \leq X_t \leq X_{tmax}) = 0.95.$$

Avec :

$$X_{tmin} = \hat{X}_t - 1.96\sigma.$$

$$X_{tmax} = \hat{X}_t + 1.96\sigma.$$

Calcul de l'écart type

L'écart-type est calculé par la formule suivante :

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{T-1} * (X_t - \hat{X}_t)}$$

T : est le nombre d'observations.

Le modèle de la prévision (lissage) appliqué sur EPQCM donne le tableau ci-dessous :

Date	Xt Valeurs observées	X't Valeurs ajustées	E= Xt - X't	E²
01/01/2017	179	27.7142857143	151.285714286	22887.3673469
04/01/2017	59	27.8655714286	31.1344285714	969.352642469
07/01/2017	0	27.8967058571	-27.8967058571	778.22619768
10/01/2017	-120	27.8688091513	-147.868809151	21865.1847198
13/01/2017	0	27.7209403421	-27.7209403421	768.450533452
16/01/2017	110	27.6932194018	82.3067805982	6774.40613244
19/01/2017	-80	27.7755261824	-107.775526182	11615.5640439
22/01/2017	70	27.6677506562	42.3322493438	1792.0193345
25/01/2017	0	27.7100829056	-27.7100829056	767.848694633
28/01/2017	150	27.6823728226	122.317627177	14961.6019183
31/01/2017	-65	27.8046904498	-92.8046904498	8612.71056949
03/02/2017	35	27.7118857594	7.28811424063	53.1166091844
06/02/2017	-20	27.7191738736	-47.7191738736	2277.11955518
09/02/2017	70	27.6714546997	42.3285453003	1791.70574724
15/02/2017	0	27.713783245	-27.713783245	768.053781753
18/02/2017	135	27.6860694618	107.313930538	11516.2796876
21/02/2017	-52	27.7933833923	-79.7933833923	6366.9840332
24/02/2017	67	27.7135900089	39.2864099911	1543.42200999
27/02/2017	20	27.7528764189	-7.75287641893	60.1070927672
02/03/2017	0	27.7451235425	-27.7451235425	769.791880389
05/03/2017	-83	27.717378419	-110.717378419	12258.337884
08/03/2017	70	27.6066610406	42.3933389594	1797.19518813
11/03/2017	35	27.6490543795	7.35094562049	54.0364015154
14/03/2017	10	27.6564053251	-17.6564053251	311.748649005
17/03/2017	-15	27.6387489198	-42.6387489198	1818.06290945
20/03/2017	120	27.5961101709	92.4038898291	8538.47885555
24/03/2017	60	27.6885140607	32.3114859393	1044.0321236
27/03/2017	0	27.7564053251	-27.713783245	768.053781753
30/03/2017	-52	27.7933833923	-79.7933833923	6366.9840332

FIGURE 7.17 : Résultat lissage sur EPCQM (Eviews).

À partir de ce dernier tableau on peut déduire la valeur de l'écart-type qui est égale à :

$$\sqrt{\frac{1}{28} \sum_{i=1}^{29} E_i} = \sqrt{\frac{1}{28} 457777,217509} = 125.64004653.$$

Et donc l'écart-type σ est égale à 125.64004653.

On peut donc déduire les valeurs de X_t (min) et X_t (max) qui définissent l'intervalle de confiance de la prévision et qui sont représentées dans le tableau suivant :

Date	X ^t	X _t (max)	X _t (min)
02/04/2017	25.752102044	331,6761384	-280.1719342
05/04/2017	25.752102045	331,6761384	-280.1719343
08/04/2017	25.752102046	331,6761384	-280.1719344
11/04/2017	25.752102047	331,6761384	-280.1719345
14/04/2017	25.752102048	331,6761384	-280.1719346
17/04/2017	25.752102049	331,6761384	-280.1719347
20/04/2017	25.752102050	331,6761384	-280.1719348
23/04/2017	25.752102051	331,6761384	-280.1719349
26/04/2017	25.752102052	331,6761384	-280.1719350
29/04/2017	25.752102053	331,6761384	-280.1719351

FIGURE 7.18 : Intervalle de confiance de la prévision.

3.6. Calcul du stock de sécurité

La formule du calcul de stock de sécurité est donnée par :

$$SS = F * \sigma.$$

F : facteur de protection qui dépend du taux de couverture (d'après la table de la loi normale).

La consommation pour la journée j est :

La consommation prévue par Alstom pour la date $j + SS$.

Pour par exemple un taux de couverture qui est égale à 97% (relatif à un facteur de protection qui est égale à 2 d'après la table de la loi normale), le stock de sécurité aura la valeur suivante :

$$SS = 125.65 * 2 = 252.$$

4. La politique de planification de type MRP2

4.1. Historique et intérêt

Avec toujours le même souci de fournir les produits au bon moment la gestion des stocks traditionnelle ne suffisait plus car elle présente plusieurs inconvénients :

► Il est supposé que la consommation antérieure des différents articles se répète dans le futur.

- ▶ Les articles sont gérés indépendamment des autres.
- ▶ On ne se préoccupe pas de la date du besoin des différents articles.

On a mis en place une méthode appelée MRP (Material requirements Planning), cette méthode, après plusieurs évolutions, a abouti au MRP2 (Manufacturing Resource Planning) que l'on peut traduire par Management des ressources de la production. Elle permet de planifier les ordres de fabrication ou de commande. Bien que les différences ne soient pas aussi nettes, on peut classer ces différentes évolutions en fonction de leur apparition et aussi de leurs spécificités.

MRP0 : planification des besoins en composants à l'aide d'une nomenclature (années soixante).

MRP1 : planification des besoins en composants avec prise en compte des capacités (années soixante-dix).

MRP2 : la dernière méthode apparue dans les années quatre-vingt découle de MRP1 mais permet d'intégrer des données financières permettant de définir des priorités de fabrication.

Des logiciels plus récents (années quatre-vingt dix) de type ERP (Entreprise Resources Planning) comportent :

- ▶ un module MRP mais intègre des ressources autres que celles de la production (trésorerie, administratif, sous-traitance, achats etc.). Ils sont conçus de façon modulaire et permettent une gestion plus large que celle de la production.

4.2. Structure globale du MRP2

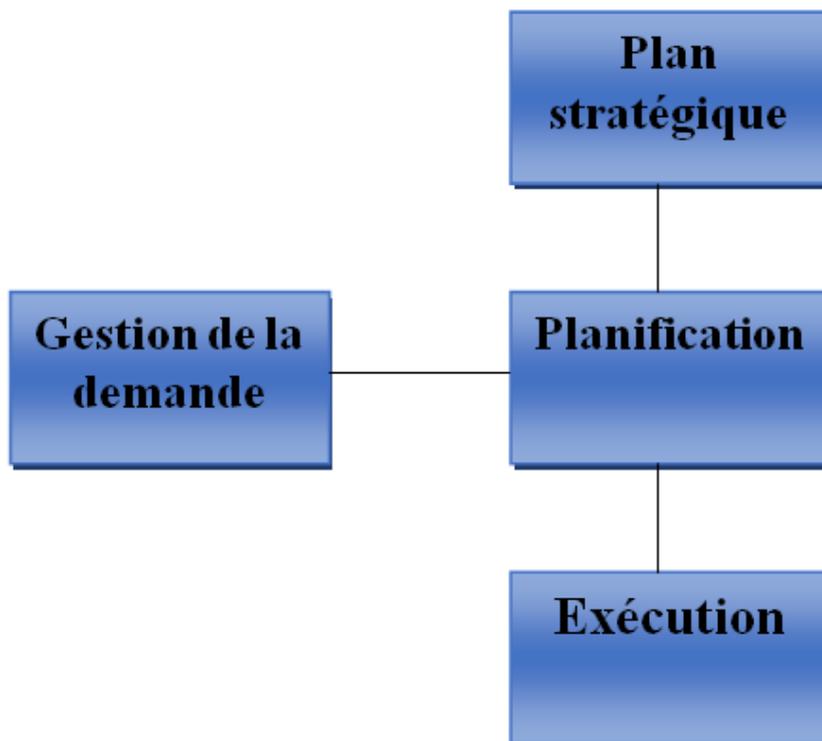


FIGURE 7.19 : Structure globale du MRP2.

4.3. Schéma fonctionnel du MRP2

Le MRP2 permet de gérer la production depuis le long terme jusqu'au court terme, elle permet les communications entre la fonction commerciale et la production.

La gestion de la demande concerne les prévisions commerciales et les commandes clients. La planification comprend plusieurs niveaux :

- ▶ Plan industriel et commercial.
- ▶ Programme directeur de production.
- ▶ Calcul des besoins nets.

Dans le cas que nous traitons le MRP2 va gérer l'importation des équipements depuis les fournisseurs jusqu'à la mise en installation sur site, donc il permet les communications entre la fonction des chaînes logistiques et pilotage des flux entrants et sortants de l'approvisionnement des magasins.

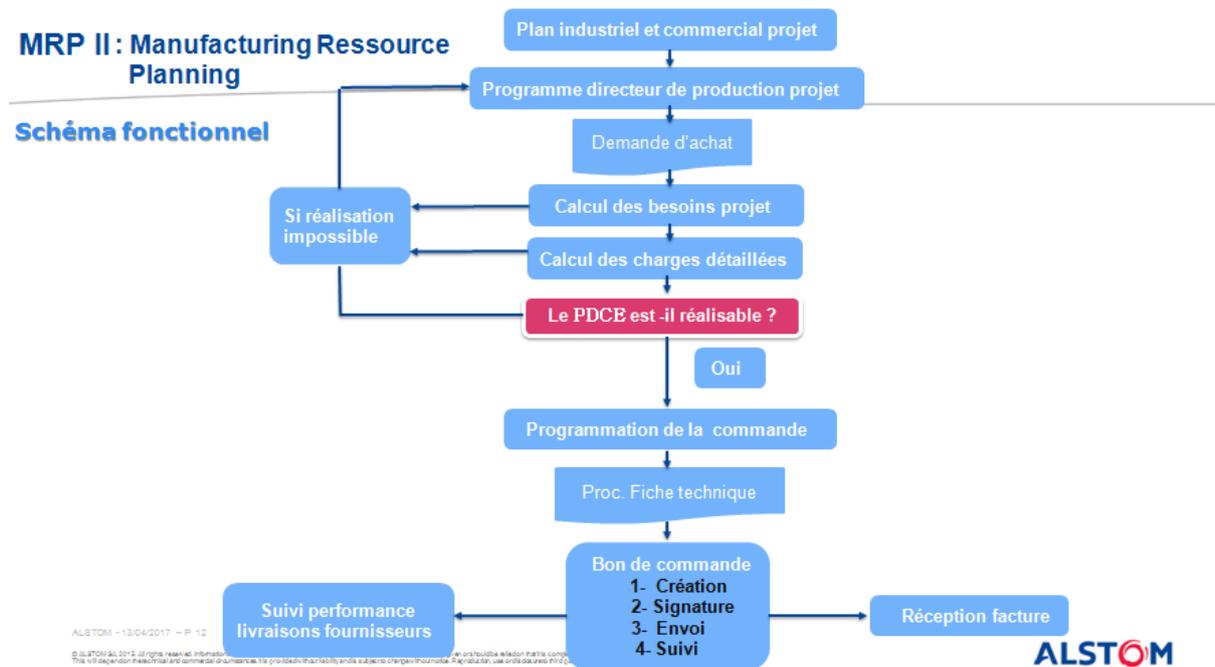


FIGURE 7.20 : Structure globale du MRP2.

PDCE : Programme Directeur de Commande Equipement.

Chapitre 8

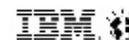
Application

A travers le travail effectué dans les chapitres précédents, nous avons mis en œuvre un logiciel, développé sous Cplex permettant de satisfaire la demande des projets et de minimiser le coût de notre réseau Supply Chain pour l'évaluation des performances et aussi un logiciel, développé sous Matlab, permettant de déterminer le stock de sécurité d'un article au magasin d'une manière à minimiser les pénuries en alerte et donc minimiser les coûts induits.

1. Application Supply Chain

1.1. Logiciel Cplex

IBM Analytics



Xavier Nodet, Program Manager, CPLEX Optimization Studio

IBM CPLEX Optimizer 12.7 Benders decomposition, Modeling Assistance, ...



© 2016 IBM Corporation

FIGURE 8.1 : Cplex

CPLEX est, à la base, un solveur de programmes linéaires. Il est commercialisé par la société ILOG depuis la version 6.0. La dernière version, à ce jour, est la version 11.0. Les composants de la suite d'optimisation ILOG sont illustrés dans la Figure 7.1.

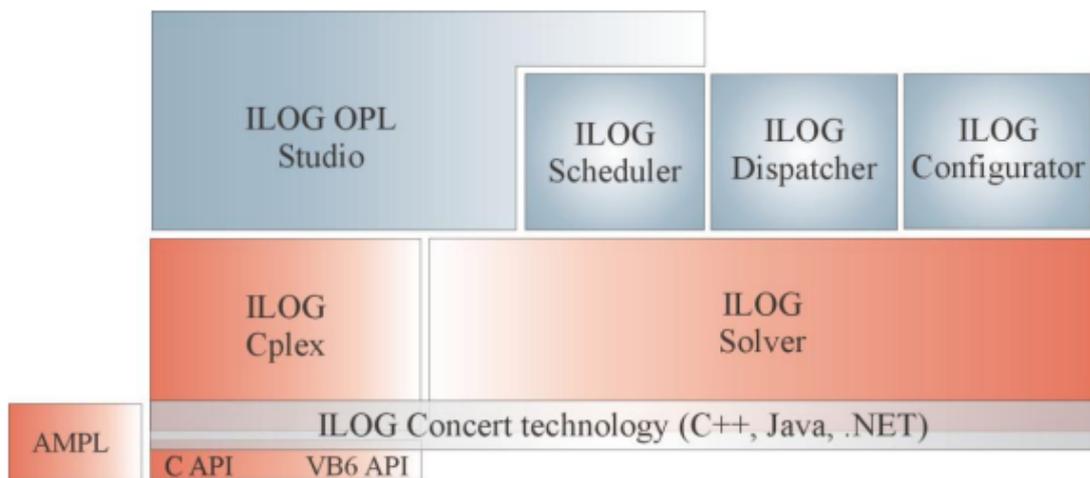


FIGURE 8.2 : **ILOG Optimization Suite**

Initialement, CPLEX est un solveur de programmes linéaires. A ce titre, il repose donc sur une implémentation performante du simplexe primal. Il dispose également du simplexe dual et du simplexe de réseau. Il peut aussi résoudre des programmes linéaires mixtes, en combinant le simplexe, le branch and bound et la génération de coupes. Depuis peu, il intègre également une technique à base de points intérieurs et peut traiter des problèmes quadratiques. Actuellement, CPLEX est un des solveurs les plus performants disponibles, sinon le plus performant. Il peut ainsi traiter des problèmes contenant plusieurs dizaines de milliers de variables et plusieurs centaines de milliers de contraintes. Pour les problèmes mixtes, la limite est sensiblement plus basse, mais elle dépend grandement du type de problèmes et du modèle appliqué.

Les problèmes traités par la suite d'optimisation ILOG sont : les programmes linéaires et linéaires mixtes, les programmes quadratiques et quadratiques mixtes, les programmes avec contraintes quadratiques et avec contraintes quadratiques mixtes.

Dans notre cas nous allons résoudre un modèle de programmation mono-objectif non-linéaire en nombre mixte.

1.2. Description de l'application

L'application que nous avons développée est destinée à la résolution du problème Supply Chain, avec une fonction objectif linéaire, des contraintes linéaires en utilisant la méthode du simplexe.

L'utilisateur doit :

- ▶ Cliquer sur : " Fichier".
- ▶ Saisir le programme adéquat et entrer :
 - ◆ Les variables de décision.
 - ◆ La fonction objectif.
 - ◆ Les contraintes.

1.3. Résolution et discussion

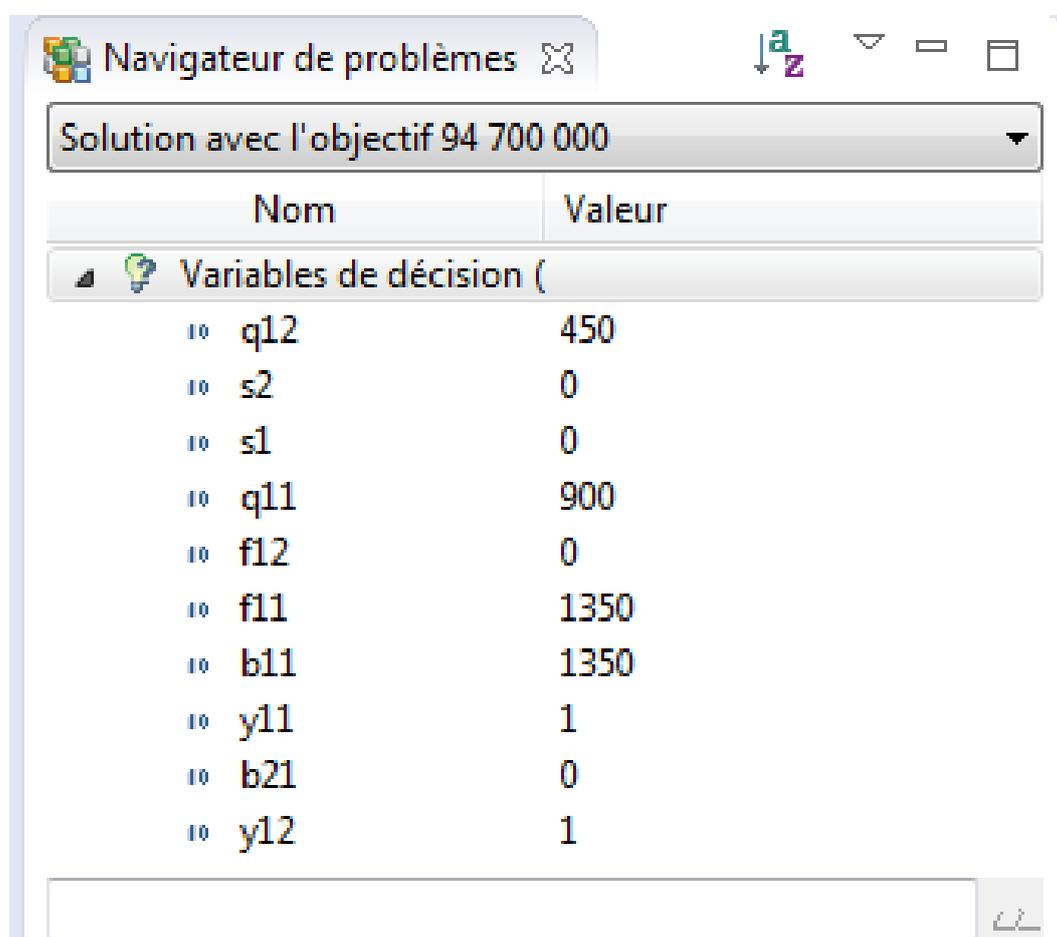
Environnement du test :

L'application a été testé sur machine dont les caractéristiques (Système d'exploitation Wéindows 7, Processeur i3, RAM4GB).

1.4. Exemple d'application

Afin de tester notre application, nous donnons l'exemple suivant qui est notre cas pratique réel pour l'évaluation des performances projet Alstom Hub Oran.

Exemple 1 :

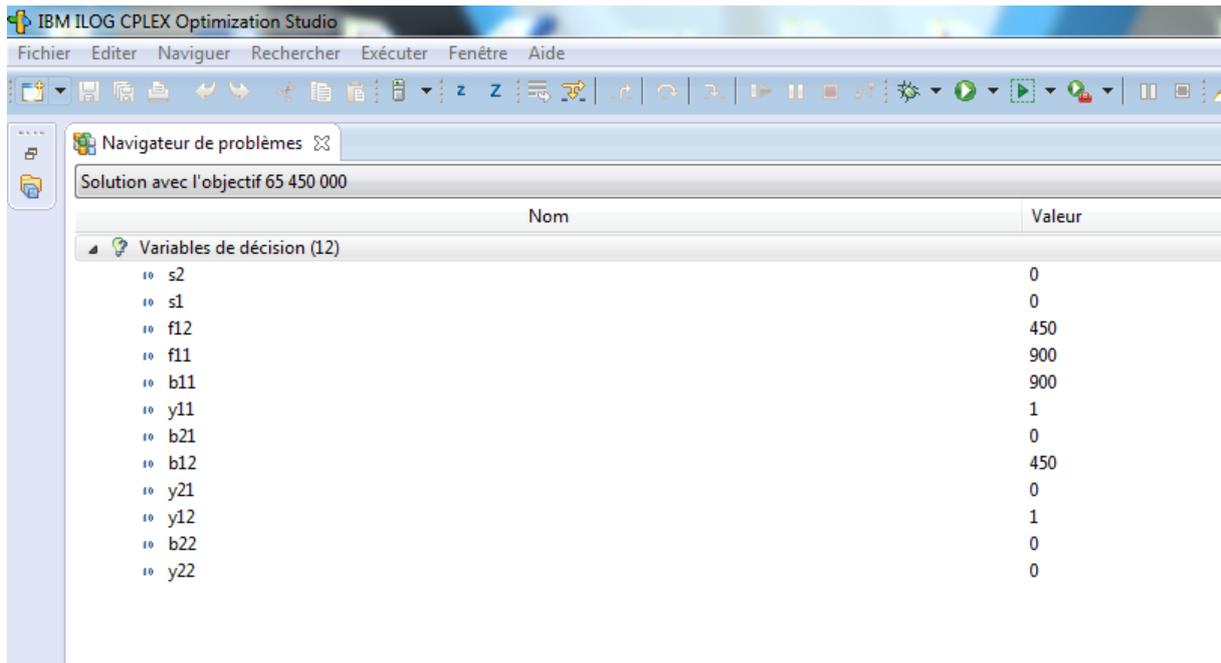


The screenshot shows a software interface titled 'Navigateur de problèmes'. At the top, there is a dropdown menu displaying 'Solution avec l'objectif 94 700 000'. Below this is a table with two columns: 'Nom' and 'Valeur'. The table is titled 'Variables de décision (' and contains the following data:

Nom	Valeur
q12	450
s2	0
s1	0
q11	900
f12	0
f11	1350
b11	1350
y11	1
b21	0
y12	1

FIGURE 8.3 : Solution avec passage par le Hub

Exemple 2 :



Nom	Valeur
Variables de décision (12)	
s2	0
s1	0
f12	450
f11	900
b11	900
y11	1
b21	0
b12	450
y21	0
y12	1
b22	0
y22	0

FIGURE 8.4 : **Solution sans passage par le Hub**

Après compilation et exécution, la solution optimale est affichée pour chaque cas comme le montre figure suivante :

Cas	Quantité d'équipement transportée		Coût total du réseau S.C DZD
	Projet Ouargla	Projet Mostaganem	
Avec passage par le Hub	900	450	94 700 000
Sans passage par le Hub	900	450	65 450 000

FIGURE 8.5 : **Comparatif des résultats**

1.5. Comparaison

- ▶ La quantité transportée est la même dans les deux cas (avec ou sans passage par hub).
- ▶ Le coût total du réseau **S.C** avec passage par le Hub est de 97 700 700 DZD.
- ▶ Le coût total du réseau S.C sans passage par le Hub est de 65 450 000 DZD.

1.6. Résultat

Le Hub est inefficace et engendre des coûts supplémentaires de plus de 20 000 000 DZD.

L'acheminement direct des équipements aux projets est la solution optimale.

2. Application gestion de stock

L'application a été développée en utilisant Matlab 2014, qui est un environnement puissant, complet et facile à utiliser, il est destiné au calcul scientifique. Il apporte aux ingénieurs, chercheurs et à tout scientifique un système interactif intégrant le calcul numérique.

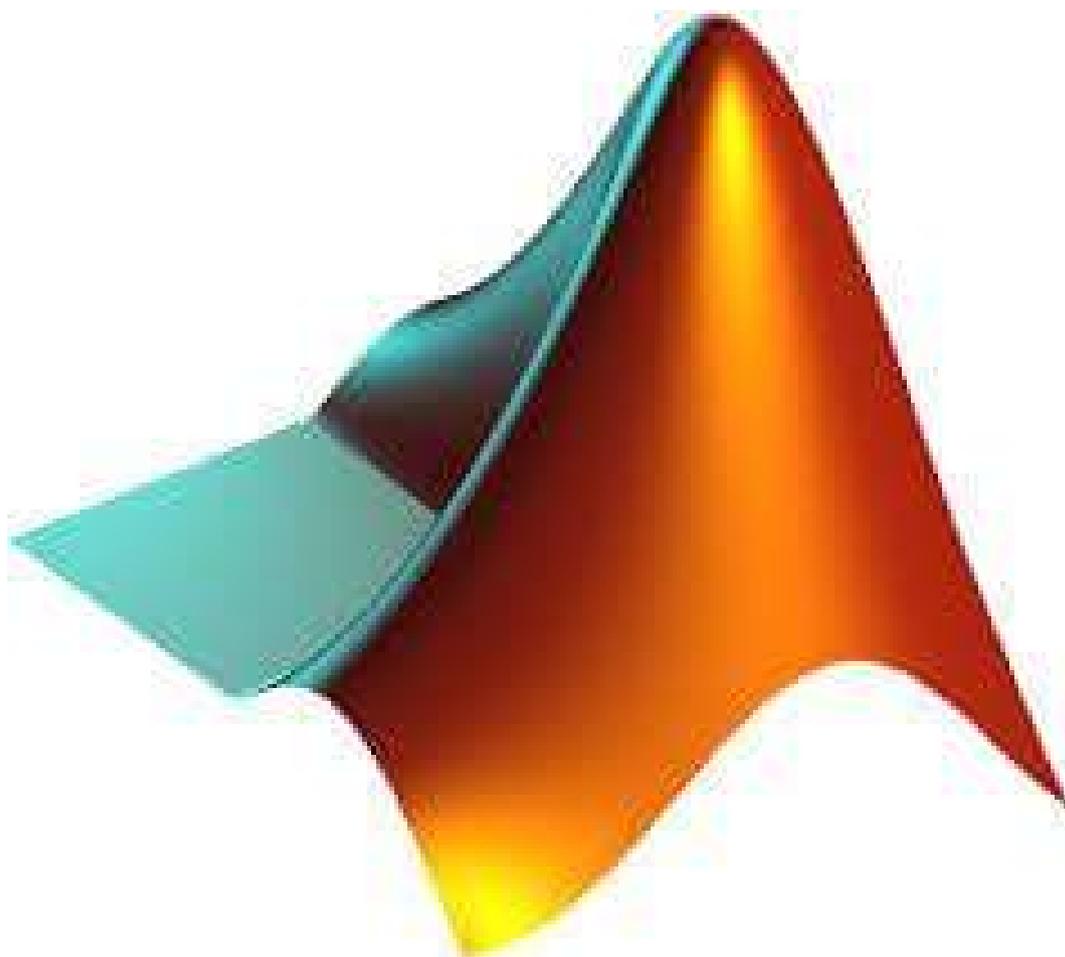


FIGURE 8.6 : **Logiciel Matlab**

2.1. Logiciel Matlab

MATLAB (matrix laboratory) est un langage de programmation et un environnement de développement, il est utilisé à des fins de calcul numérique. Développé par la société The MathWorks, Matlab permet de manipuler des matrices, d'afficher des courbes et des données, de mettre en œuvre des algorithmes, de créer des interfaces utilisateurs, et peut s'interfacer avec d'autres langages comme le C, C++ et Java.

2.2. Présentation de logiciel

Ce programme travaille à partir des données réelles fournies par notre entreprise d'accueil Alstom Algérie :

► Un historique de la différence entre le stock existant dans le magasin d'Ouargla et la consommation de ce dernier. Ces données accessibles sous forme de tables.

Ce logiciel permet de déterminer le stock de sécurité optimal à prévoir pour le magasin.

Dans la suite, nous présentons les différentes composantes de la partie visuelle de ce logiciel.

► Le menu principal comporte le bouton : charger les données



FIGURE 8.7 : Interface Matlab

En cliquant sur charger les données, la fenêtre ci-dessous apparaît :

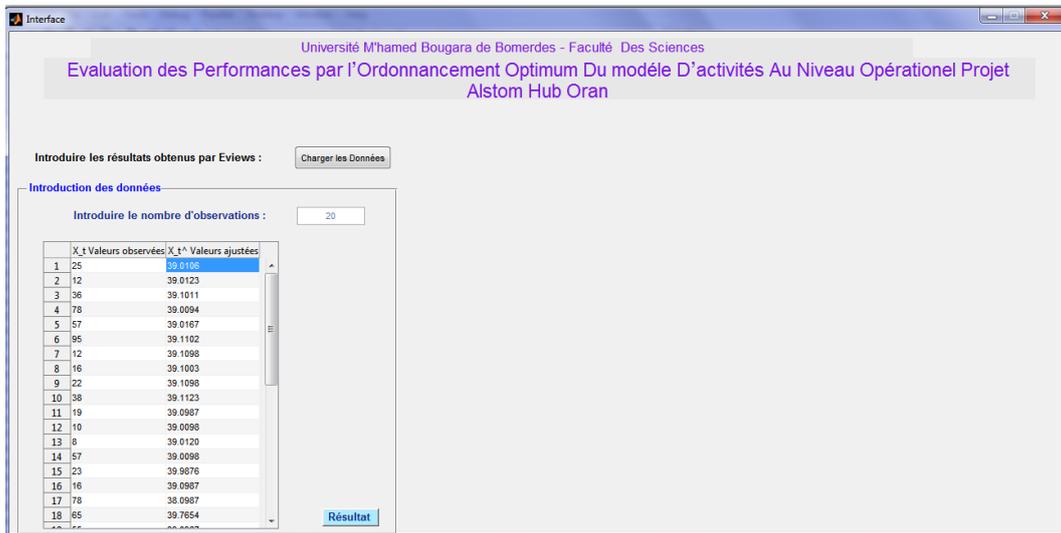


FIGURE 8.8 : Table de données Eviews

Cette fenêtre comporte :

- La case : Introduire le nombre d'observations.
- Un tableau introduction des données récoltées par Eviews comportant les valeurs observées et les valeurs lissées.
- Le bouton résultat

Un simple clic, permet à l'utilisateur d'obtenir l'écart type.

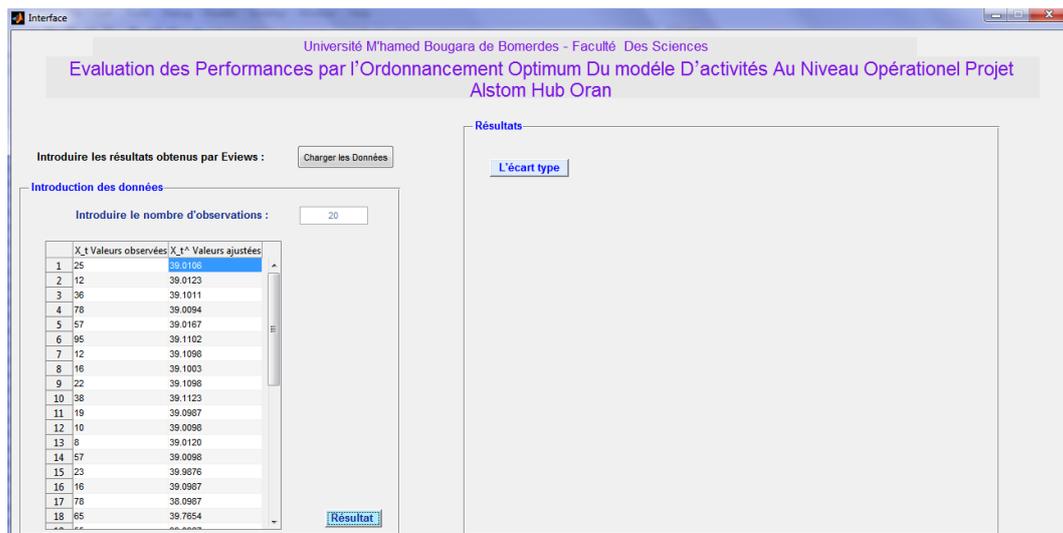


FIGURE 8.9 : **Résultat écart Type**

Le bouton écart type nous donne :

- Le résultat de l'écart type.
- L'instruction : Calcule du stock de sécurité
- L'instruction : choisir l'intervalle de confiance :
 - Taux de couverture à 95%.
 - Taux de couverture à 97%.

Un clique sur un des deux taux de couvertures, nous obtenons :

- Un tableau de la quantité à commander pour chaque équipement.
- La valeur du stock de sécurité.

Interface

Université M'hamed Bougara de Bomerdes - Faculté Des Sciences

Evaluation des Performances par l'Ordonnement Optimum Du modèle D'activités Au Niveau Opérationel Projet Alstom Hub Oran

Introduire les résultats obtenus par Eviews :

Introduction des données

Introduire le nombre d'observations :

X_t	Valeurs observées	Valeurs ajustées
1	25	39.0106
2	12	39.0123
3	36	39.1011
4	78	39.0094
5	57	39.0167
6	95	39.1102
7	12	39.1098
8	16	39.1003
9	22	39.1098
10	38	39.1123
11	19	39.0907
12	10	39.0998
13	8	39.0120
14	57	39.0098
15	23	39.9876
16	16	39.0907
17	78	39.0907
18	65	39.7654

Résultats

L'écart type

Calcul du Stock de Sécurité :

Choisir l'Intervalle de Confiance

Taux de couverture à 95% Taux de couverture à 97%

La valeur du Stock de Sécurité

La quantité à commander :

T1	50.0932
T2	37.0121
T3	40.3425
T4	56.3425
T5	89.3425
T6	110.3425
T7	39.3425
T8	41.3425
T9	52.3425
T10	62.3425
T11	41.3425

FIGURE 8.10 : Données Eviews

Le bouton Quitter permet à l'utilisateur de fermer l'interface.

3. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons programmé deux applications : "la première pour le réseau supply chain associé au problème linéaire en nombre mixte et la deuxième pour la gestion de stock".

Les expérimentations nous ont montré l'efficacité des deux programmes Cplex en termes de solution optimale pour notre traitement au niveau de la Supply Chain.

Ainsi que l'efficacité de notre application basée sur la méthode de la gestion des stocks qui permet de corriger l'erreur de la quantité à commander pour chaque équipement en prévoyant un stock de sécurité, ce qui minimise les risques de tomber en surstock ou de pénurie.

Conclusion générale

Différentes sources d'aléas existent le long de la chaîne logistique telle que la demande en équipement et les délais d'approvisionnement. La gestion des stocks en présence de ces aléas est un problème classique pour notre entreprise. Le plus souvent, cette gestion des stocks est élaborée en considérant des variations possibles sur la demande. En effet, beaucoup de travaux existent sur la planification des réapprovisionnements pour ce type d'aléa. Les modèles qui considèrent des variations sur les autres données du problème sont plus rares, notamment les modèles qui prennent en compte la variabilité des délais d'approvisionnement.

Pourtant, ces délais sont rarement constants, différents événements plus au moins prévisibles le long de la chaîne logistique peuvent causer des perturbations.

En effet, une mauvaise politique de gestion des approvisionnements conduit soit à des retards de livraison, qui engendrent des frais supplémentaires, soit à des surstock ou à des pénuries. Ces derniers peuvent être créés à différents niveaux. C'est pourquoi, nous avons adopté une méthode de gestion des stocks efficace pour prévoir un stock opérationnel ainsi que l'évaluation des performances pour savoir quoi commander, combien et quand.

Nous présentons une méthode exacte d'optimisation basée sur une procédure de simplexe.

Enfin, nous proposons un logiciel qui permettant de résoudre le problème de gestion de stock pour le calcul du stock de sécurité, et un autre logiciel permettant de déterminer le réseau de la Supply chain optimal.

Bibliographie

- [1] ALSTOM ALG–SCS001.17/02/16 PROCEDURE LOGISTIQUE ALGERIE.
- [2] Amiri, A. (2006). Designing a distribution network in a supply chain system : formulation and efficient solution procedure. *European Journal of Operational Research*, 171(2), 567–576.
- [3] Arrow, K. A., Karlin, S. and Scarf, H. E. *Studies in the Mathematical Theory of Inventory and Production*, Stanford University Press, California, 1958.
- [4] Aviv, Y. Gaining Benefits from Joint Forecasting and Replenishment Processes : The Case of Auto–correlated Demand, *Manufacturing Service Operations Management*, vol. 4, pp. 55–74, 2002.
- [5] Axsäter, S. *Inventory Control*, MA : Kluwer, Norwell, 2000.
- [6] Axsäter, S. and Rosling, K. Installation vs. Echelon Stock Policies for Multilevel Inventory Control, *Management Science*, vol. 39, pp. 1274–1280, 1993.
- [7] Axsäter, S. and Rosling, K. Multi–level production–inventory control : Material requirements planning or reorder point policies?, *EJOR*, vol. 75, pp. 405–412, 1994.
- [8] Axsäter, S. and Rosling, K. Ranking of generalised multi–stage KANBAN policies, *EJOR*, vol. 113, pp. 560–567, 1999.
- [9] Babai, M. Z. and Dallery, Y. Impact de l’information sur la demande sur le choix du mode de pilotage de flux dans la chaîne logistique, *MOSIM’04*, Nantes (France), 2004.
- [10] Babai, M. Z. and Dallery, Y. *Inventory Management : A Forecast Based Approach vs. The Standard Approach*, *IESM’05*, Marrakech (Morocco), 2005.

- [11] Babai, M. Z. and Dallery, Y. A Study of Flow Management Policies with Advance Demand Information, 7th ISIR Summer School on Supply Chain Inventory Management, Mannheim (Germany), 2005.
- [12] Babai, M. Z. and Dallery, Y. A study of forecast based flow management policies, Biennial Beta conference, Eindhoven (the Netherlands), 2004.
- [13] Bedworth, D. D. and Bailey, J. E. Integrated Production Control Systems, New York : Wiley, 1987.
- [14] Baglin, G., Bruel, O., Garreau, A., Greif, M. and VanDelft, C. Management logistique et industriel, Economica, Paris, 2001.
- [15] Benton, W. C. and Shin, H. Manufacturing planning and control : the evolution of MRP and JIT integration, European Journal of Operations Research, vol. 110, pp. 411-440, 1998.
- [16] Berkley, B. J. A review of the kanban production control research literature, Production and Operations Management, vol. 1, pp. 393-411, 1992.
- [17] Berry, W. L. Lot sizing procedures for requirements planning systems : A framework for analysis, Production and Inventory Management Journal, vol. 13, pp. 19-34, 1972.
- [18] Chan, F. T. S., Chung, S. H., Wadhwa, S. (2004). A hybrid genetic algorithm for production and distribution. Omega, 33, 345-355.
- [19][FEA05] / Paul Feautrier, " Recherche Operationnelle", 16 novembre 2005.
- [20] Fulya Altiparmak, Mitsuo Gen, Lin Lin, Ismail Karaoglan. (2007). A steady-state genetic algorithm for multi-product supply chain network design, Computers Industrial Engineering 56 (2009) 521-537.
- [21] Ganeshan, Ram, and Terry P. Harrison, (1995). An Introduction to Supply Chain management. Department of Management Sciences and Information Systems, 303 Beam Business Building, Penn State University, University Park, PA, USA.
- [22] Gen, M., Syarif, A. (2005). Hybrid genetic algorithm for multi-time period production/ distribution planning. Computers and Industrial Engineering, 48(4), 799-809.

-
- [23] Guillen, G., Mele, F. D., Bagajewicz, M. J., Espuna, A., Puigjaner, L. (2005). Multiobjective supply chain design under uncertainty. *Chemical Engineering Science*, 60, 1535–1553.
- [24] Gumus, A. T., Guneri, A. F., Keles, S., (2009). Supply chain network design using an integrated neuro–fuzzy and MILP approach : A comparative design study, *Expert Systems with Applications*.
- [25] Jayaraman, V., Pirkul, H. (2001). Planning and coordination of production and distribution facilities for multiple commodities. *European Journal of Operational Research*, 133, 394–408.
- [26] Jayaraman, V., Ross, A. (2003). A simulated annealing methodology to distribution network design and management. *European Journal of Operational Research*, 144, 629–645.
- [27] LEAN version excellence opération management.
- [28] LOGISTIQUE ET SCM
- [29] MO1PDM–0.0–M300–CAI–000–000–0003–H (Plg.GL.PrjGanttrev H du 20.06.16)–1.pdf.
- [30] Murata, T., Ishibuchi, H., and Tanaka, H. (1996). Multi–objective genetic algorithm and its applications to flowshop scheduling. *Computers and Industrial Engineering*, 30(4), 957–968.
- [31] Marc Parizeau, "Introduction à la NP-complétude", Département de génie électrique et génie informatique, Université Laval, 1998.
- [32] Syam, S. S. (2002). A model and methodologies for the location problem with logistical components. *Computers and Operations Research*, 29, 1173–1193.
- [33] Syarif, A., Yun, Y., Gen, M. (2002). Study on multi–stage logistics chain network : a spanning tree–based genetic algorithm approach. *Computers and Industrial Engineering*, 43, 299–314.

- [34] Sabri, E. H., Beamon, B. M. (2000). A multi-objective approach to simultaneous strategic and operational planning.
- [35] Tayur S., Ganeshan R., Magazine M. (1999). Quantitative models for supply chain management. Kluwer Academic Publishers.
- [36] TEAMS FLASH 29 juin 2016 ALGERIA/MEA. INTERNAL COMMUNICATION ALSTOM DESINGNING FLUIDITY.
- [37] TEAMS FLASH 21 décembre 2016 ALGERIA. INTERNAL COMMUNICATION ALSTOM DESINGNING FLUIDITY.
- [38] TEAMS FLASH 10 Avril 2016 Communication Interne ALSTOM DESINGNING FLUIDITY.
- [39] TEAMS FLASH 12 avril 2016 MOYEN-ORIENT ET AFRIQUE, Communication interne MEA / avril 2016 ALSTOM DESINGNING FLUIDITY.
- [40] TEAMS FLASH 10 juin 2016 MOYEN-ORIENT ET AFRIQUE, MEA Communication interne/ Juin 2016 ALSTOM DESINGNING FLUIDITY.
- [41] TEAMS FLASH 2 Février 2017 MEA Communication/ MEA TEAMS FLASH-GLE / JAN 2017 ALSTOM DESINGNING FLUIDITY.
- [42] Truong, T. H., Azadivar, F. (2005). Optimal design methodologies for configuration of supply chains. *International Journal of Production Researches*, 43(11), 2217–2236.
- [43] VSM ALSTOM GDS FLÛX DE SORTIE et pilotage de flux processus.
- [44] lean flow consulting, managements process.
- [45] Yan, H., Yu, Z., Cheng, T. C. E. (2003). A strategic model for supply chain design with logical constraints : formulation and solution. *Computers and Operations Research*, 30(14), 2135–2155.
- [46] Zhou, G., and Gen, M. (1999). Genetic algorithm approach on multi-criteria minimum spanning tree problem. *European Journal of Operational Research*, 114, 141–152.
- [47] [Zpdf] <https://www.isima.fr/duhamel/ESDI/intro-CPLEX-v2>.