

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

I.1.1.1.1.1

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE SUPERIEURE EN SCIENCES APPLIQUEES



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا في العلوم التطبيقية

تلمسان

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie Industriel
Spécialité : Management Industriel et Logistique

Présenté par :

SAFER Youcef
TAIBAOUI Lakhdar

Thème

**Performance de la chaîne de stockage
et la distribution de la pomme de terre
dans une zone potentielle en Algérie**

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

M : Zaki SARI	Professeur	ESSA. Tlemcen	Président
M : Mohammed BENNEKROUF	MCB	ESSA. Tlemcen	Directeur de mémoire
M : Fouad MALIKI	MCB	ESSA. Tlemcen	Examineur 1
M : Mustapha Anwar BRAHAMI	MAA	ESSA. Tlemcen	Examineur 2

Année universitaire : 2019 - 2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

A decorative floral element consisting of a central flower with several petals and a stem with leaves, positioned at the beginning of the calligraphic text.

DEDICACE I :

*I dedicate this thesis to the memory of my
Grandmother,
Who always believed in me,
To my parents for always being there, their support,
Love and encouragement
Was paramount to getting to this point.
To my brother and sister.
To my friends who shared the experience with me
along the way.
To the doctor.
To everyone who helped shape the man I am today,
Thank you.*

SAFER Youcef

DEDICACE II :

Tout d'abord je tiens à remercier Dieu, le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Je dédie ce mémoire

*A mes chers parent ma mère et mon père
Pour leur patience leur amour leur soutien et leurs
Encouragements*

A mes frères.

*A mes amies et mes camarades
Sans oublier tous les professeurs que ce soit du
Primaire du moyen du secondaire ou de
L'enseignement supérieur.*

TAIBAOUI Lakhdar

REMERCIEMENT :

Nous remercions d'abord et avant tout, Dieu de nous avoir guidé sur la bonne voie et pour nous avoir aidé à la réalisation de notre thèse.

Nos grands remerciements à notre encadreur M. Mohammed Bennekrouf pour tout l'aide, le soutien et les conseils qu'il nous a apporté depuis le début.

Un merci particulier au cœur et à l'âme du département de génie industriel M. Fouad Maliki pour tous ses efforts, ses conseils pour nous, son dévouement pour rendre notre formation la meilleure expérience possible.

Un grand Merci à tous les enseignants impliqués dans notre cursus.

Un grand merci également aux membres du jury :

M. Zakí SARI

M. Fouad MALIKI

M. Mustapha Anwar BRAHAMI

TABLE DE MATIÈRES :

DEDICACE I :	I
DEDICACE II :	II
REMERCIEMENT :	III
TABLE DE MATIÈRES :	IV
NOMENCLATURE:	VIII
LISTE DES TABLEAUX :	X
LISTE DES FIGURES :	XII
INTRODUCTION GENERALE :	XIV
I CHAPITRE I : Généralités sur les stocks, les entrepôts et ses gestions.....	1
I.1 Introduction :.....	1
I.2 La gestion des stocks :.....	1
I.2.1 Définition d'un stock :.....	1
I.2.2 Type des stocks :.....	1
I.2.3 Le rôle du stock :.....	2
I.2.4 La fonction des stocks :.....	3
I.2.5 Les avantages et les inconvénients :.....	3
I.2.6 La gestion des stocks :.....	4
I.2.7 Les activités de la gestion de stocks :.....	5
I.2.8 Les objectifs de la gestion des stocks :.....	6
I.2.9 Quelques méthodes de la gestion des stocks :.....	6
I.3 Entrepôt de stockage :.....	11
I.3.1 Introduction :.....	11
I.3.2 Définition d'un entrepôt :.....	11
I.3.3 Classification des entrepôts logistiques :.....	11
I.3.4 Rôles de l'entrepôt :.....	12
I.3.5 Le fonctionnement d'un entrepôt de stockage :.....	12
I.3.6 Les différents modèles de stockage dans un entrepôt :.....	15
I.3.7 Le stockage par rack ou par rayonnage :.....	16
I.3.8 Le stockage par casiers :.....	16
I.4 La gestion des entrepôts :.....	17
I.4.1 Introduction :.....	17
I.4.2 La pyramide du CIM :.....	17
I.4.3 La gestion des stocks :.....	18

I.4.4	Type de stockage :.....	18
I.4.5	La gestion du magasin (entrepôts) :.....	19
I.4.6	Le magasinage :.....	19
I.4.7	Échanges entre gestion des stocks et gestion du magasin :.....	20
I.4.8	La circulation des produits dans l'entrepôt :.....	21
I.4.9	La Manutention :.....	22
I.4.10	Les Ratios de contrôle des entrepôts :.....	22
I.4.11	La traçabilité :.....	24
I.4.12	Les WMS (Warehouse Management System) :.....	25
II	CHAPITRE II : La chaîne du froid, le transport et l'entreposage frigorifique.....	27
II.1	Introduction :.....	27
II.2	Section I : La chaîne du froid :.....	27
II.2.1	Historique :.....	27
II.2.2	Définition :.....	28
II.2.3	Importance de la conservation des aliments au froid :.....	29
II.2.4	Les principes fondamentaux de l'application du froid :.....	29
II.2.5	Spécificité de la chaîne du froid Selon les différents aliments :.....	30
II.2.6	Ruptures de la chaîne du froid :.....	31
II.3	Le transport frigorifique dans la chaîne du froid :.....	36
II.3.1	Introduction :.....	36
II.3.2	Transport Aérien :.....	36
II.3.3	Transport Maritime :.....	37
II.3.4	Transport routier frigorifique :.....	38
II.3.5	Fonctionnement :.....	39
II.3.6	Les Défis énergétiques des véhicules frigorifiques :.....	39
II.4	L'entreposage frigorifique:.....	40
II.4.1	Les entrepôts frigorifiques :.....	40
II.4.2	Entrepôt réfrigéré :.....	41
II.4.3	Entrepôt congelé :.....	41
II.4.4	L'exploitation des entrepôts frigorifiques :.....	42
II.4.5	L'activité en entrepôt frigorifiques.....	42
II.4.6	Les différents types d'entrepôt frigorifique :.....	44
II.4.7	Réglementation frigorifique :.....	45
III	CHAPITRE III : Le stockage des pommes de terre en Algérie.....	48
III.1	Introduction :.....	48
III.2	Le stockage de pommes de terre :.....	48

III.2.1	Conservation :.....	48
III.2.2	Comportement du tubercule pendant le stockage :.....	50
III.2.3	Maladies et ravageurs :.....	51
III.2.4	Les bonnes pratiques de stockage :.....	52
III.2.5	Limiter la perte de poids des tubercules :.....	52
III.2.6	La maîtrise des maladies de conservation :.....	53
III.2.7	Les modes de stockage par le froid :.....	53
III.3	La gestion de la qualité des pommes de terre en stock :.....	56
III.3.1	Protéger de la lumière :.....	56
III.3.2	Optimiser le stockage :.....	56
III.3.3	Régulation de la température et de l'hygrométrie :.....	56
III.3.4	Température de stockage selon la variété :.....	56
III.3.5	Préserver le produit :.....	57
III.3.6	Surveillance de l'entrepôt :.....	57
III.4	Paramètres de conception du stockage des pommes de terre :.....	58
III.4.1	Structure des bâtiments de stockage :.....	58
III.4.2	La ventilation :.....	62
III.4.3	Régulation de la ventilation :.....	63
III.5	Les capacités de stockage en Algérie :.....	65
III.6	La répartition des infrastructures dans le territoire national :.....	67
III.7	La production de pommes de terre 2008-2017 :.....	68
IV	CHAPITRE IV : Modèle hebdomadaire de la gestion de la distribution entre un réseau d'entrepôts et les marchés de consommations.....	69
IV.1	Le stock de pomme terre en Algérie :.....	69
IV.1.1	Introduction :.....	69
IV.1.2	L'Avantage des stocks :.....	69
IV.1.3	La situation de stock agricole en Algérie :.....	69
IV.1.4	L'importance de stockage pour les pommes de terre :.....	71
IV.1.5	Le stockage de la pomme de terre en Algérie :.....	72
IV.1.6	L'effet de transport et l'objectif de mémoire :.....	73
IV.2	Problématique :.....	74
IV.2.1	Présentations de Notre Problème :.....	74
IV.2.2	Modélisations de notre problème :.....	75
IV.3	Modèle mathématique :.....	77
IV.3.1	Les indices :.....	77
IV.3.2	Les paramètres :.....	77

IV.3.3	Les variables :	78
IV.3.4	La fonction objective :	79
IV.3.5	Les contraintes :	80
IV.4	CPLEX studio IDE.....	81
IV.4.1	Introduction :	81
IV.4.2	Le Solveur ILOG (Notre Choix) :	81
IV.4.3	Présentation et Caractéristiques :	81
IV.4.4	Historique :	82
IV.4.5	Capacités :	82
IV.4.6	Modes d'utilisation :	82
IV.5	La méthodologie de saisir de data :	83
IV.5.1	Les zones et marchés choisis :	83
IV.5.2	La Consommation :	86
IV.5.3	La demande hebdomadaire (D_{kpc}) :	87
IV.5.4	La capacité des entrepôts :	87
IV.5.5	Les couts :	88
IV.5.6	Le stock :	89
IV.5.7	La demande de marché de gros (D_{kpc}) :	90
IV.6	L'exécution de model et interprétation :	92
IV.6.1	L'exécution des programmes dans Cplex studio IDE :	92
IV.6.2	Les statistiques de programme :	92
IV.6.3	La nature de ce modèle est :	92
IV.6.4	La solution optimale est :	93
IV.6.5	Les variables de décision :	93
IV.7	Exemple explicatif :	101
IV.7.1	La demande du marché de gros (D_{kpc}) :	101
IV.7.2	Le stock initial:.....	101
IV.7.3	La quantité nécessaire pour satisfaire la demande :	102
IV.7.4	La quantité restante ($S2_{jpc}$):.....	104
IV.7.5	La quantité reçue (Q_{Lkpc}) :	104
IV.7.6	Conclusion :	105
CONCLUSION GENERALE :		104
PERSPECTIVES :		105
BIBLIOGRAPHIE :		106
RESUME :		110

NOMENCLATURE:

CIM : Computer Integrated Manufacturing.

FRIGOMEDIT : La société des Entrepôts Frigorifiques de la Méditerranée.

SC : Supply chain.

WMS: Warehouse management system.

ERP : Enterprise Resource Planning.

CF : Chaîne du froid.

Q : La quantité économique à commander.

D : La demande.

CS : Coût de stockage.

CC : Coût d'une commande.

N : nombre optimale des commandes.

i : Taux de possession.

RS : Rotation de stock.

CST : Couverture du stock.

S : Indice de Saturation.

PME : Petite ou Moyenne Entreprise.

ETI : Entreprises de Taille Intermédiaire.

U : coefficient de transfert de chaleur.

VT : Ventilation.

HR : Hygrométrie.

MILP : Mixed Integer Linear Problem.

PPC : Programmation Par Contrainte.

CHIP: Constraint Handling in Prolog.

DEM : La demande hebdomadaire.

Ca : Capacité des entrepôts.

CT : cout de transport.

EG : Entrepôt grand.

EI : Entrepôt Intermédiaire.

MG : Marché de gros.

CA : Calibre.

VA : Variété.

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau I-1 : Les questions fondamentales et les activités.....	6
Tableau I-2 : Classification des entrepôts logistiques.....	11
Tableau II-1 : Les différentes températures de conservations des produits alimentaire	28
Tableau II-2 : Les conditions de stockages pour certains fruits et légumes	46
Tableau III-1 : Liste des infrastructures par wilaya dont les capacités sont supérieures à10 000 m3 ...	66
Tableau III-2 : La production de pommes de terre 2008-2017.....	68
Tableau IV-1 : Les zones et marché choisit.....	83
Tableau IV-2 : La Consommation de pomme de terre.....	86
Tableau IV-3 : La demande hebdomadaire de marchés de gros (D_{kpc}).....	87
Tableau IV-4 : La capacité des grands entrepôts (CaG_i).....	87
Tableau IV-5 : La capacité des entrepôts Intermédiaire (CaP_j).....	87
Tableau IV-6 : Cout de stockage des entrepôts Intermédiaire (CtS_j).....	88
Tableau IV-7 : Le cout unitaire d'achat ($DA/tonnes$) (CtA_{pc}).....	88
Tableau IV-8 : Les couts de transport entre les grands et Intermédiaire entrepôts (CTA_{ij}).....	89
Tableau IV-9 : Les couts de transport entre les grands et Intermédiaire entrepôts (CTB_{jk}).....	89
Tableau IV-10 : Le stock initial des grands entrepôts ($S0_{ipc}$).....	89
Tableau IV-11 : Le stock initial des entrepôts de taille moyenne ($S1_{jpc}$).....	90
Tableau IV-12 : La demande de marché de gros (D_{kpc}).....	91
Tableau IV-13 : La quantité de pommes de terre transportées depuis les grands entrepôts principale vers les entrepôts de Taille moyenne (X_{ijpc}).....	93
Tableau IV-14 : les nombre des camions de transports de pomme de terre depuis les grands entrepôts vers les entrepôts de taille moyenne (NA_{ijpc}).....	94
Tableau IV-15 : La quantité des pommes de terre transportés depuis les entrepôts l'intermédiaire vers le marché de gros pour DÉsirÉE et FABULA (Y_{jkpc}).....	95
Tableau IV-16 : La quantité de pommes de terre transportées depuis les entrepôts l'intermédiaire vers le marché de gros pour KONDOR et SPUNTA (Y_{jkpc}).....	96
Tableau IV-17 : La quantité restant en stock ($S2_{jpc}$).....	97
Tableau IV-18 : Les nombre des camions de transports de pomme de terre depuis les entrepôts l'intermédiaire vers le marché de gros pour DÉsirÉE et FABULA (NB_{jkpc}).....	98
Tableau IV-19 : Les nombre des camions de transports de pomme de terre depuis les entrepôts l'intermédiaire vers le marché de gros pour KONDOR et SPUNTA (NB_{jkpc}).....	99
Tableau IV-20 : La quantité livrée au marché de gros (Q_{Lkpc}).....	100
Tableau IV-21 : La demande du marché de gros de la daïra d'Oued Rhiou et la daïra de Ghilizane (D_{kpc}).....	101

Tableau IV-22 : Le stock initial de pomme de terre dans l'entrepôt intermédiaire de Ghilizane ($S1_{jpc}$).	102
Tableau IV-23 : Stock initial des grands entrepôts ($S0_{ipc}$).	102
Tableau IV - 24 : La quantité transporté Entre l'entrepôt grand vers l'intermédiaire (X_{ijpc}).	102
Tableau IV-25 : La quantité restante dans l'entrepôt intermédiaire de Ghilizane ($S2_{jpc}$).	104

LISTE DES FIGURES :

Figure I-1 : Les étapes du processus de prévision.....	4
Figure I-2 : Courbe de Pareto	7
Figure I-3 : Le modèle de Wilson	9
Figure I-4 : Les différents variables qui agissent sur la fonction d'entrepôts	13
Figure I-5 : Les données qui caractérisent le fonctionnement de l'entrepôt	15
Figure I-6 : La pyramide du CIM	17
Figure I-7 : Pyramide du CIM	21
Figure I-8 : La représentation d'un logo du système WMS.....	25
Figure II-1 : Le trépied frigorifique de Monvoisin	30
Figure II-2 : Rupture de la chaîne du froid.....	32
Figure II-3 : Conteneur Reefer.....	37
Figure II-4 : Le reefer cooling unit	37
Figure II-5 : camion frigorifique	38
Figure II-6 : Entrepôt Réfrigéré	41
Figure II-7 : Stocks congelés de viande rouge dans un entrepôt congelé	42
Figure II-8 : Les caristes.....	43
Figure II-9 : Entrepôt a mezzanines	45
Figure III-1 : Stockage de pommes de terre.....	50
Figure III-2 : pommes de terre germée	51
Figure III-3 : Stockage de pommes de terre en vrac	54
Figure III-4 : Stockage de pommes de terre en sacs	54
Figure III-5 : Stockage de pommes de terre en paloxes	55
Figure III-6 : Conditions de conservations optimales selon les variétés	57
Figure III-7 : Bâtiment de stockage de pommes de terre	58
Figure III-8 : Unité d'isolation thermique.	60
Figure III-9 : Une installation du pare-vapeur	61
Figure III-10 : Conception d'un toit en treillis	61
Figure III-11 : Système de ventilation dans un entrepôt de stockage en vrac	63
Figure III-12 : Capteur / Sonde d'hygrométrie (humidité) extérieure	64
Figure III-13 : Les filiales de FRIGOMEDIT	65
Figure III-14 : Localisation des infrastructures en cours de construction	67
Figure IV- 1 : Prix de la pomme de terre fraîche (détail, moyenne nationale).....	73

Figure IV- 2 : Logo d'ILOG CPLEX.....	81
Figure IV- 3 : Suite d'optimisation	82
Figure IV- 4 : La carte des zones sélectionnées.....	84
Figure IV- 5 : La modélisation de la chaîne de distribution.....	85
Figure IV- 6 : Les mouvements des flux de transportation depuis les grands entrepôts vers les entrepôts intermédiaire (X_{ijpc}).....	85
Figure IV- 7 : Les mouvements des flux de transportation depuis les entrepôts intermédiaire vers les marchés de gros (Y_{jkpc}).....	86
Figure IV- 8 : L'exécution de modèle.....	92
Figure IV- 9 : La complexité de programme.....	92
Figure IV- 10 : La quantité transporter Entre l'entrepôt intermédiaire vers le marché de gros (Y_{jkpc}).	103
Figure IV- 11 : La demande du marché de gros de la daïra d'Oued Rhiou et la daïra de Ghilizane (D_{kpc}).....	105
Figure IV- 12 : La quantité reçue du marché de gros de la daïra d'Oued Rhiou et la daïra de Ghilizane (Q_{Lkpc}).....	105

INTRODUCTION GENERALE :

La distribution des produits agroalimentaires en Algérie est généralement désorganisée et doit faire face à divers problèmes et défis pour arriver enfin sur les marchés de gros. Ce phénomène n'est pas quelque chose de nouveau pour l'agriculture Algérienne. L'absence d'une planification claire de la distribution a conduit à ce que de nombreux produits pourrissent après avoir été récoltés. Comme il n'y a pas suffisamment d'infrastructures de stockage, les pommes de terre doivent être distribuées presque immédiatement après la récolte, ce qui n'est pas toujours le cas, et cela entraîne une perte financière considérable.

Le processus de distribution doit être lié et organisé entre les différentes zones du pays afin de garantir son bon fonctionnement. La communication est nécessaire pour une distribution de cette magnitude, chaque entrepôt de stockage doit prendre en considération l'insuffisance et l'excédent des autres qui l'entourent afin d'acheminer les bonnes quantités de pommes de terre vers les bons marchés de gros de la manière la plus efficace. Ce qui est avantageux pour les consommateurs, car les prix seront réduits et, en même temps, un système de distribution efficace sera bénéfique pour l'agriculteur, car ses produits seront transportés avant d'être dégradés.

Le but de ce mémoire est de conceptualiser un modèle à l'aide d'outils informatiques qui permet une distribution efficace des pommes de terre à travers le territoire national. Notre objectif, à partir de ce modèle, est de minimiser les différentes charges nécessaires à la distribution pour satisfaire la demande du client. Dans cette recherche, nous allons nous intéresser aux gestions des stocks, la chaîne de froid et les capacités de stockage en Algérie.

Le Travail de ce mémoire est structuré selon quatre Chapitres :

Dans le premier chapitre nous présentons les notions de bases sur les stocks, en commençant par les définitions, les rôles, les différents types qui existent et sa gestion. Ensuite on passera aux entrepôts de stockages et nous précisons les différentes approches qui sont appliquées sur eux ainsi que leurs systèmes de pilotage. Et on finira ce chapitre par la gestion de ces entrepôts, l'importance de la bonne gestion, la traçabilité des produits et nous mentionnons la valeur des outils informatiques et les WMS dans la gestion des entrepôts

Le deuxième chapitre est composé de trois parties, la première est consacrée à l'introduction de la chaîne du froid, son historique, importance et les effets de sa rupture. La deuxième partie est dédié pour le transport frigorifique avec ces différents mode (Aérien, Maritime, Routier) aussi que ses défis. Pour la troisième partie on se concentre sur la présentation des entrepôts frigorifiques, ses différents modèles et les réglementations frigorifiques.

Le troisième chapitre est également divisé en trois parties, dont la première est dédiée pour le comportement des pommes de terre dans les entrepôts de stockage, les bonnes pratiques de stockage aussi que le control de sa qualité. Pour la deuxième partie on se concentre sur la conception des entrepôts de stockage de pommes de terre et ses outils du maintien de froid. Alors que la troisième partie est consacrée pour la présentation de la situation de stockage de pommes de terre en Algérie et l'examinassions de quelques statistiques de production.

Le quatrième chapitre est consacré à la conception de modèle mathématique et l'utilisation de solveur « CPLEX Studio IDE » pour l'exécuter. Le travail de Ce chapitre est résumé dans les points suivants :

- La recherche et le choix des meilleures variétés de pommes de terre et les plus utilisées en Algérie.
- La divisions des zones de stockages en cinq zones principales sur la base des données recueillies dans le secteur des stocks algériens réel.
- L'étude de la consommation de pomme de terre en Algérie et la formulation d'une demande provisionnelle pour chaque zone.
- La modélisation du problème en un modèle mathématique.
- L'utilisation du solveur « CPLEX Studio IDE » pour la traduction de modèle mathématique en un programme exécutable.
- L'obtention des résultats préliminaires, l'organisation et l'interprétation de ces données pour les présenter d'une manière efficace.

Et on finit par une conclusion et les perspectives de cette thèse.

CHAPITRE I

II CHAPITRE I : Généralités sur les stocks, les entrepôts et ses gestions.

II.1 Introduction :

Dans ce premier chapitre, nous commençons par définir les notions de base sur le stockage, sa gestion, ainsi que son utilité et ses méthodes de gestion. Puis on parlera sur les entrepôts de stockage, leurs rôles et les différentes approches adaptées dans ces entrepôts ainsi que leurs systèmes de pilotage. La dernière partie de ce chapitre adresse la gestion des entrepôts, en commençant par son importance et sa place dans la pyramide du CIM en passant par la maintenance, les ratios de control et la traçabilité des produits. Enfin on le termine par une 'introduction de l'outil informatique et les WMS.

II.2 La gestion des stocks :

II.2.1 Définition d'un stock :

Les stocks regroupent l'ensemble des marchandises, des matières ou fournitures, des déchets, des produits semi-ouvrés, des produits finis, des produits ou travaux en cours et des emballages commerciaux qui sont la propriété de l'entreprise et qui ne sont pas destinés à être récupérés.

Ensemble des marchandises ou des articles accumulés dans l'attente d'une utilisation ultérieure plus ou moins proche et qui permet d'alimenter les utilisateurs au fur et à mesure de leurs besoins sans leur imposer les délais et les à-coups d'une fabrication ou d'une livraison par des fournisseurs^[1].

On peut simplement dire qu'un stock est une provision de produits en instance de consommation. Le stock est utilisé pour faciliter ou pour assurer la continuité de l'activité. Le stock permet de faire en sorte que tout ce qui peut être nécessaire à un moment donné soit disponible.

II.2.2 Type des stocks :

On peut trouver des stocks à différents stade de processus de production ou de commercialisation :

II.2.2.1 Les marchandises :

C'est des Produit achetés pour être revendus en l'état.

II.2.2.2 Les matières premières :

Produits qui servent de base à la fabrication : elles retrouvent dans les produits fabriqués

II.2.2.3 Les matières consommables :

Par opposition aux produits dont l'achat vise à satisfaire un besoin ponctuel et qui, donc, n'ont pas à être conservés en magasin ni à être enregistrés dans un compte de stock.

II.2.2.4 Les produits finis et les emballages :

Correspondants lorsque l'entreprise produit pour le stock, par opposition à la production sur devis. (Les éventuels produits intermédiaires suivent le sort des produits finis correspondants).

II.2.2.5 Les produits semi-finis :

C'est le stock des produits créés par l'entreprise, qui ont atteint un stade déterminé de fabrication, mais à rentrer dans une nouvelle phase de production.

II.2.2.6 Les pièces de rechange de sécurité :

Destinées à remplacer, sur une machine ou dans une installation donnée, des pièces qui risquent de casser et donc à parer aux conséquences d'incidents à caractère aléatoire ; La présence dans le stock de ces pièces se justifie par le souci d'assurer au mieux la continuité ou la sécurité de l'exploitation en éliminant du délai de dépannage ou de réparation le délai d'approvisionnement de la pièce nécessaire.

II.2.2.7 Les déchets :

Enfin, qui proviennent de la fabrication (copeaux de bois, d'acier...) ou de la récupération de démolition (ferrailles, vieux plomb...) ^[2].

II.2.3 Le rôle du stock :

Quels que puissent être les efforts louables de réduction, le « stock 0 » n'est que très rarement souhaitable car le stock a plusieurs fonctions vitales à assurer comme :

- La désynchronisation de la production et de la vente. Les presses à injecter les jouets en plastique tournent 24 heures sur 24 et 364 jours par an alors que 70 % des ventes ont lieu à l'approche de Noël.
- La désynchronisation du transport et de la vente. La livraison par trop petites quantités rendrait prohibitif le coût du transport.
- La garantie contre les imprévus. La production comme le transport sont à la merci d'aléas (pannes, grèves, intempéries, etc.) ; les clients doivent continuer à être livrés.
- L'amortissement des fluctuations de la demande. La prévision des ventes n'est malheureusement pas une science exacte.
- L'accueil des achats d'opportunité. Certains marchés restent spéculatifs ; les achats correspondants doivent être abrités ^[3].

II.2.4 La fonction des stocks :

On constitue les stocks pour différentes raisons :

II.2.4.1 Raisons économiques :

Plaçons-nous dans la situation d'une unité de production ; le lancement de la production entraîne des coûts appelés coûts de lancement : réglage des machines, organisation des équipes, ...

Pour minimiser ces coûts, l'entreprise est amenée à produire la plus grande quantité possible afin d'éviter de supporter ces coûts à chaque fois en produisant de petites quantités. Par contre, cette quantité que l'entreprise produira ne se vendra pas très vite, ce qui l'obligera de la stocker.

En général, l'entreprise a toujours intérêt à produire en grande quantité, car ceci lui permet de répartir les coûts fixes de la production sur un nombre important de produits ; d'où la diminution du coût de revient par unité : c'est ce que l'on appelle le phénomène d'économies d'échelle.

II.2.4.2 Raisons de sécurité :

Lorsque les marchés sur lesquels l'entreprise s'approvisionne sont caractérisés par une certaine instabilité, (conflits armés, conditions climatiques variables) il est de l'intérêt de l'entreprise de constituer des réserves (stocks) pour faire face aux imprévus. D'autre part, la demande des clients de l'entreprise est généralement variable. Un stock de sécurité est alors constitué pour faire face à cette variabilité.

II.2.4.3 Raisons financières :

Le prix des matières premières est sujet à des fluctuations souvent importantes dues aux variations de l'offre et de la demande.

Lorsque les prix sont bas l'entreprise achète des quantités qui dépassent ses besoins et elle les stocks, pour ne pas être obligée d'en acheter lorsque les prix augmentent de nouveau.

II.2.4.4 Raisons techniques :

Le stockage est parfois indispensable pour différents processus, par exemple le séchage du bois et l'affinage du fromage.

II.2.5 Les avantages et les inconvénients :

Si le fait de disposer d'un stock peut être une solution très avantageuse, il peut aussi parfois engendrer des coûts écrasants pour l'entreprise.

Nous examinerons les deux aspects de l'existence d'un stock.

II.2.5.1 Utilité du stock :

- Il sert à parer aux pénuries, permet de se prémunir des retards de livraison et des augmentations des cadences de consommation.
- Il assure une consommation régulière pour des articles dont la production est irrégulière. Il est nécessaire lorsqu'il existe une différence entre le rythme des livraisons et celui des utilisations.

- Il permet de bénéficier d'un prix bas pour des achats faits en grande quantité.
- Il peut servir dans un but spéculatif : acheter à un prix bas ; puis revendre après à un prix plus cher.

II.2.5.2 Les inconvénients :

- Il coûte cher (personnel ; local ; moyens de manutention...).
- Il nécessite un gardiennage et une protection contre le vol, les intempéries, les incendies...
- Il peut donner lieu à des articles non utilisés ou non vendus : (périmés, démodés...): stock mort dont la valeur affecte la trésorerie de l'entreprise.
- Il peut altérer la qualité des produits (casse, détérioration...) surtout pour les articles se conservant mal.

II.2.6 La gestion des stocks :

La gestion des stocks se définit comme l'ensemble des « [...] activités se rapportant à la Planification, à la constitution, au dénombrement, à l'entreposage des stocks et visant à assurer de façon optimale la disponibilité des matières, des composants, des articles de façon à satisfaire, dans les conditions les plus économiques, les besoins de la production et de la vente » (ACGPS, 1993).

Au même titre que la planification et le contrôle de la production, la gestion des approvisionnements, la gestion de la qualité ou encore la gestion des équipements, on considère que la gestion des stocks fait partie du système de pilotage de l'entreprise (Nollet et al., 1994).

Nous ne pouvons pas ignorer l'importance des prévisions dans la détermination des moments opportuns à la reconstitution des stocks. L'utilité des prévisions va bien au-delà de la gestion des stocks, certes, mais permet néanmoins au gestionnaire de gérer les stocks afin de maintenir un niveau donné de service à la clientèle (Gélinas, 1996).

Les étapes du processus de prévision sont présentées à la figure suivante.

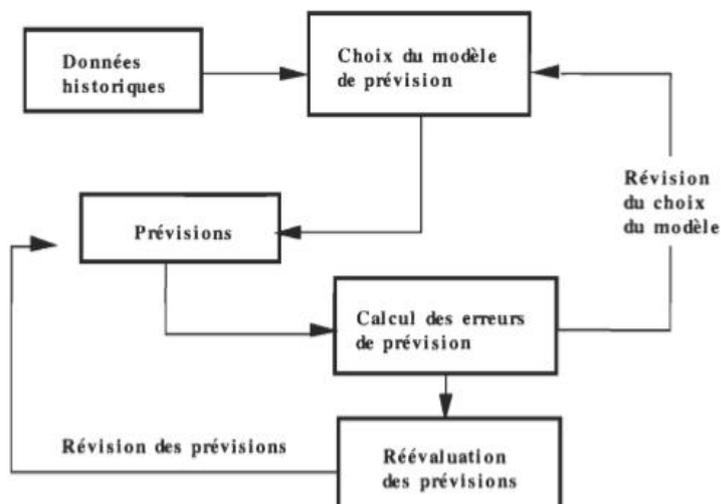


Figure I-1 : Les étapes du processus de prévision.

Il s'agit premièrement de se rapporter aux données historiques de l'entreprise (ventes enregistrées lors des dernières précédentes) pour déterminer un modèle de prévision approprié. La validation du modèle sélectionné s'effectue à l'aide d'une première série de prévisions effectuées en tenant compte de la demande passée.

Le calcul des erreurs de prévision permet, dans un premier temps, d'évaluer l'incertitude de la demande et, dans un deuxième temps, d'évaluer la pertinence et l'adéquation du modèle choisi. Si la méthode est jugée acceptable, les prévisions pourront être faites et la révision périodique de celles-ci permettra de voir si des ajustements doivent être apportés en regard de certains éléments difficilement mesurables et quantifiables (nouveaux produits sur le marché, contexte économique, politiques de prix et de promotion des concurrents, etc.)^[4].

II.2.7 Les activités de la gestion de stocks :

La gestion de stocks soulève trois grandes questions :

Quoi commander, quand commander et combien commander ?

II.2.7.1 Quoi commander ?

Cette question nous ramène au contrôle du niveau des stocks pour chacun des articles. Les activités du gestionnaire s'orientent autour de la recherche, de l'organisation et du traitement d'informations touchant le niveau des stocks et la nature de ceux-ci. Cette information doit, en principe, être d'une grande précision afin :

- D'éviter les situations de rupture de stocks ou de surstockage.
- D'organiser et contrôler l'inventaire périodique.

II.2.7.2 Quand commander ?

Cette question illustre la problématique décisionnelle entourant la détermination des dates de réapprovisionnement. Pour déterminer le moment opportun de lancement d'une commande certaines méthodes reposent sur l'utilisation du point de réapprovisionnement :

- Intervalles de réapprovisionnement variables.
- Intervalles de réapprovisionnement fixes.

Le calcul de ce dernier tient généralement compte de trois facteurs :

- La durée du délai de livraison.
- Le taux moyen de la demande.
- La variabilité de la demande.

II.2.7.3 Combien commander ?

Cette question s'articule autour de la détermination des quantités à commander et des stocks de sécurité. Pour ce faire, le gestionnaire détermine, grâce à des méthodes quantitatives ou qualitatives, les quantités qui feront l'objet de la prochaine commande. Elles sont donc fixées sur la base de plusieurs considérations :

- La demande moyenne durant le délai de livraison.
- La quantité optimale devant être maintenue à l'entrepôt.
- Les coûts de maintien en stocks et les coûts de commande.

Les questions fondamentales et les activités liées à la gestion des stocks sont résumées au tableau :

Questions	Activités
Quoi commander ?	Rechercher, organiser et traiter l'information sur les stocks. Organiser et contrôler l'entreposage.
Quand commander ?	Déterminer les dates de réapprovisionnement
Combien en commander	Déterminer les quantités à commander et les stocks de sécurité

Tableau I-1 : Les questions fondamentales et les activités.

II.2.8 Les objectifs de la gestion des stocks :

II.2.8.1 Répondre à la demande :

Avoir du stock permet toujours à l'entreprise de répondre à la demande. Le cas contraire, mène celle-ci à la perte d'un chiffre d'affaire considérable.

II.2.8.2 Réduire le prix de revient :

Acheter en grandes quantités permet à l'entreprise de bénéficier de remises et d'augmenter le coût de revient mais sous la contrainte du coût de stockage.

Par exemple : le risque de mortalité, et le risque de perte de caractéristiques d'un produit.

II.2.8.3 Réduire les délais de livraison :

Avoir le produit le plus vite possible (produit saisonnier), et éviter les fluctuations des prix. L'objectif de la gestion des stocks consiste à atteindre le meilleur équilibre entre le coût des stocks et le taux de service.

II.2.9 Quelques méthodes de la gestion des stocks :

II.2.9.1 La loi de Pareto (ABC) :

Inventée par cet économiste italien il y a plus d'un siècle, cet outil d'analyse est souvent appelé aussi classement ABC ou loi des 80/20. En peu de mots, ce mode de classement extrêmement simple

permet, de résoudre 80 % des difficultés d'un problème en ne s'intéressant qu'à 20 % du sujet. Pour élémentaire qu'il soit, cet outil est utilisé quotidiennement par les logisticiens.

Ce type de classement peut se faire sur des critères très différents ; le logisticien devra choisir les critères qui concernent son activité comme :

- Nombre d'articles vendus
- Nombre de lignes de commandes
- Nombre de ventes en conditionnements multiples
- Nombre de ventes par palettes complètes
- Nombre d'erreurs de préparation
- Nombre de retours clients
- Importance de la démarque inconnue

Les seuils habituellement utilisés sont les suivants :

La classe « A » 20 % des références génèrent 80 % des mouvements.

La classe « B » 30 % des références génèrent 15 % des mouvements.

La classe « C » 50 % des références génèrent 5 % des mouvements.

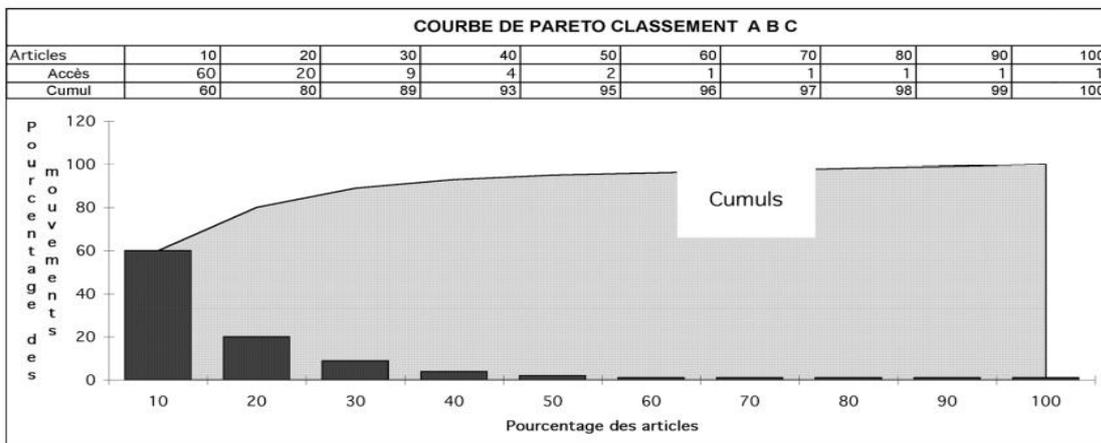


Figure I-2 : Courbe de Pareto ^[5].

II.2.9.2 La formule de Wilson :

Il faut noter que la formule de Wilson n'a pas été inventée par M. Wilson mais par Ford Whitman Harris qui a développé le principe mathématique. C'est ensuite un consultant industriel spécialisé dans la gestion des stocks, M. R. H. Wilson, qui a utilisé et appliqué cette formule à l'optimisation des stocks.

Pour optimiser ses coûts, le logisticien doit trouver un équilibre entre le nombre de commandes d'approvisionnement et la quantité stockée :

- Réapprovisionner fréquemment lui permet de réduire le niveau de stocks, mais grève le coût des commandes.
- Réduire le nombre d'approvisionnements allège le coût des commandes mais augmente le coût de possession de stock.

II.2.9.2.1 Les principales hypothèses de départ de ce modèle :

- La demande annuelle est connue et certaine.
- La consommation est régulière.
- Les quantités commandées sont constantes.
- La pénurie, les ruptures de stock, sont exclues.
- Les coûts sont invariables dans le temps.

La quantité optimale Q à commander est égale à :

Formule-de-Wilson ^[6] :

$$Q = \sqrt{\frac{2D \times CC}{CS}}$$

D : La Demande (ou consommation) en quantité sur la période considérée

CC : Le Coût d'une Commande (ou coût de lancement intégrant : coût de passation de commande + coût de transport + coût de réception).

CS : Le Coût unitaire de possession de Stock.

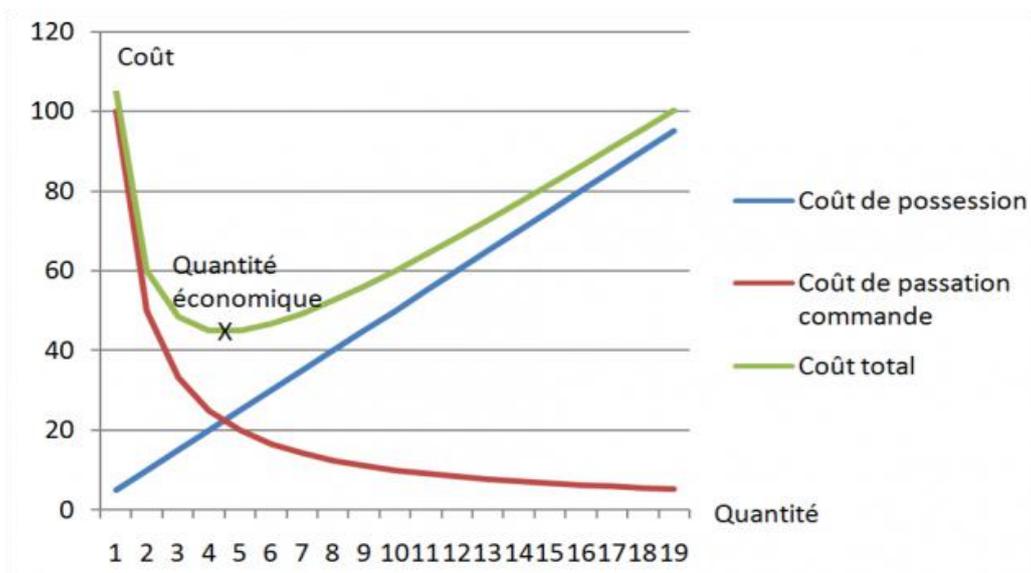


Figure I-3 : Le modèle de Wilson^[7].

II.2.9.2.2 Calcul du nombre optimal de commandes :

Pour connaître le nombre de commandes, il suffit de diviser la demande D par la quantité économique Q . $N = D/Q$

Il est également possible de l'obtenir directement à l'aide de la formule suivante :

$$N = \sqrt{\frac{Dv \times i}{2 \times CC}}$$

N : Le Nombre optimal de commandes

Dv : La Demande en valeur sur la période considérée

i : le taux de possession. ($i = \text{Coût de possession} / \text{Valeur du stock}$)

II.2.9.2.3 Les limites de la méthode de Wilson :

- Si la consommation n'est pas régulière, il y a risque de rupture de stock.
- Cette méthode est valable pour les grandes entreprises qui ont de gros besoins d'achat et de stockage.
- Du fait des hypothèses simplificatrices, ce modèle ne tient pas compte du prix et de la consommation qui sont souvent sujets à des variations.
- Les quantités imposées par les fournisseurs (Q n'est généralement pas atteint).

II.3 Entrepôt de stockage :

II.3.1 Introduction :

Un entrepôt doit être considéré comme un lieu temporaire de stockage des produits et comme un tampon dans les chaînes d'approvisionnement. Il sert, en tant qu'unité statique - pour l'essentiel - à faire correspondre la disponibilité des produits à la demande des consommateurs et, à ce titre, a pour objectif premier de faciliter la circulation des marchandises des fournisseurs aux clients, en répondant à la demande en temps utile et de manière rentable [8].

Un entrepôt doit avant tout être un point de transbordement où toutes les marchandises reçues sont expédiées aussi rapidement, efficacement et au moindre coût possible.

Les processus de base de la gestion des entrepôts restent les mêmes au fil du temps. Nous recevons les marchandises dans l'entrepôt, nous traitons les commandes, nous réapprovisionnons, nous incluons quelques services à valeur ajoutée et ensuite nous expédions le produit.

Les développements dans le domaine de l'entreposage sont généralement liés à l'utilisation croissante de la technologie et de l'automatisation, à l'amélioration de la mesure des performances et à la gestion efficace des ressources.

II.3.2 Définition d'un entrepôt :

Au sens strict du terme, la définition d'un entrepôt désigne un espace de stockage de taille variable. Plus globalement, il s'agit d'un lieu dont l'organisation et la logistique permettent de réduire les coûts d'exploitation d'une activité, et dont l'importance intervient à chaque étape du cycle de production. Il peut s'agir :

- D'entrepôts logistiques, dédiés à la gestion des flux de marchandises.
- D'entrepôts frigorifiques, permettant la bonne conservation de denrées périssables.
- De locaux de stockage (marchandises, matériaux, produits chimiques...) [9].

II.3.3 Classification des entrepôts logistiques :

Entrepôt	Hauteur	Aire de manœuvre	Surface du quai	Autres critères
<i>Classe A : entrepôts de haute fonctionnalité</i>	> 9,3m	Profondeur > 35m	1000m ²	Résistance au sol de 5t/m ² , Chauffage, système d'extinction
<i>Classe B : entrepôts répondant aux standards modernes</i>	> 7,5m	Profondeur > 32m	1500 m ²	Résistance au sol minimale de 3t/m ² Un système d'extinction
<i>Classe C :</i>	Cette catégorie inclut tous les entrepôts qui ne relèvent pas des classes A ou B			

Tableau I-2 : Classification des entrepôts logistiques.

On estime qu'un entrepôt classique représente une capacité de stockage de 1,2 à 1,5 palettes par m². La présence de racks dynamiques (chariots automatisés prélevant les palettes dans leur logement) permet d'augmenter cette capacité à 3 palettes par m².

Les racks dynamiques permettent en effet de stocker sur des hauteurs beaucoup plus importantes et d'avoir des allées entre les racks beaucoup plus étroits^[10].

II.3.4 Rôles de l'entrepôt :

Un entrepôt central bien conçu doit être capable de remplir les fonctions suivantes :

- Réception de tous les produits compris dans l'activité industrielle de l'entreprise propriétaire de l'entrepôt.
- Exécution d'un contrôle de qualité immédiat.
- Contrôle et inventaire des produits stockés.
- Stockage approprié des marchandises.
- Préparation des commandes destinées aux entrepôts régionaux et/ou aux clients.
- Expédition rapide des commandes.

II.3.5 Le fonctionnement d'un entrepôt de stockage :

L'entrepôt est positionné sur la chaîne logistique globale et joue un rôle déterminant en termes d'accélération et de fiabilisation des flux tant physique qu'informationnel. Il apparaît à ce titre comme un outil stratégique au sein de la chaîne logistique de l'entreprise à travers le rôle régulateur qu'il joue dans la supply chain en termes de maîtrise des flux et des délais.

Mais, la reconnaissance de ce rôle stratégique a évolué dans le temps. Par le passé, une « approche traditionnelle » considérait l'entrepôt comme des simples lieux d'entreposage et de manutention de marchandises sans valeur ajoutée où les produits devraient rester les moins longtemps possibles. Aujourd'hui, une « vision systémique » de l'entrepôt permet de mettre en évidence le fait que son action a un impact qui règne sur la performance globale de l'entreprise.

II.3.5.1 Organisation de l'entrepôt selon l'approche traditionnelle :

Le déroulement du processus de gestion des entreprises dans l'approche traditionnelle induit les opérations suivantes :

- Les réceptions de la marchandise
- Les contrôles de marchandise
- Les mises en stock des produits
- Le renseignement des bases de données sur les approvisionnements
- Réception des ordres de commandes
- La préparation des commandes
- Le conditionnement et emballages
- L'allotissement des commandes

- Contrôle des expéditions
- Actualisation des bases de données sur l'exécution des expéditions
- Passation de commande

A ces fonctions peuvent s'adjoindre des tâches physiques à savoir le marquage, l'étiquetage, le reconditionnement, la gestion des garanties de marchandises. Les tâches administratives liées aux inventaires. Les activités de tenue de stocks, gestion de ressources humaine et matérielle, le traitement et le recyclage des déchets.

II.3.5.2 L'approche systématique de la fonction D'entreposage :

Dans cette approche, l'entrepôt est conçu comme une entité qui vit et agit. L'on cesse de percevoir l'entrepôt comme une boîte noire et l'ouvrant, on découvre qu'il est composé d'un système articulé autour d'un ensemble de fonction. Nous allons dans premier temps caractériser le fonctionnement de l'entrepôt vu sur cet angle. Et par la suite, nous allons analyser le modèle de pilotage d'un tel dispositif.

En approchant l'entrepôt, on se rend compte qu'il est un système global constitué de sous-système en interaction. Le modèle identifié se caractérise autour de deux axes à savoir :

Axe action : Caractérisé par la circulation des flux d'informations qui sont données soit par des clients soit par l'ensemble des fournisseurs et qui concerne les produits. Les variables d'action fixent les objectifs à atteindre et définissent le programme global des activités (les horaires d'expédition, les délais de mise en stock...). Elles déterminent les contraintes à respecter qui sont le dimensionnement des moyens en matériels, en équipement et en personnel.

Axe organisation : Qui intègre l'articulation entre le couple commande/client et le couple produit/service que l'on doit réaliser. Elle induit la question du style d'action dans lequel se trouve l'entrepôt ou celui qu'il entend créer.

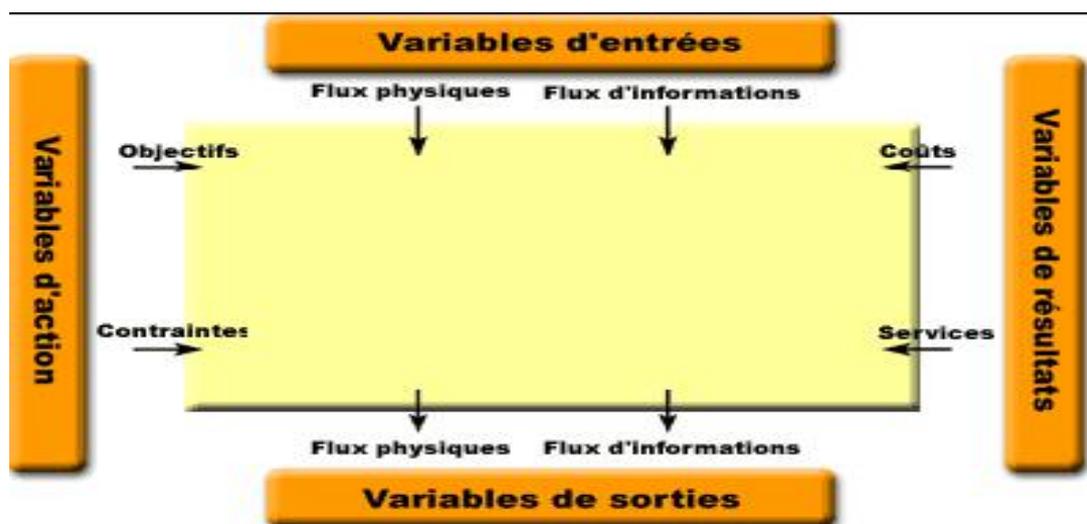


Figure I-4 : Les différents variables qui agissent sur la fonction d'entrepôts ^[11].

II.3.5.3 Le système de pilotage :

Le système de pilotage repose sur la définition d'un procédé d'organisation (process) qui soit à l'articulation des moyens en vue de l'exécution des fins qui lient entre eux des flux physiques et les flux d'informations.

Pour mieux comprendre la fonction d'entreposage, il importe de la positionner dans le contexte économique et commercial suivant :

- i. **La priorité du marketing et de la vente sur l'industriel** : l'entrepôt est un outil opérationnel qui doit soutenir la vente et non une réserve.
- ii. **Le renouvellement accéléré des produits** : l'entrepôt doit tenir compte dans sa gestion du « temps d'écoulement du stock », mais ce temps peut être influencé par les stratégies de niches et les actions d'animations de vente.
- iii. **L'accroissement du nombre de référence** : cet aspect va en droite ligne avec le point précédent et rend la gestion des entrepôts complexes dû à la prise en compte du rythme d'écoulement de chaque référence.
- iv. **L'accroissement du niveau de stock** : au regard des points précédents il peut apparaître paradoxale qu'à l'heure de zéro stock que ces derniers atteignent encore des dimensions importantes.
- v. **Activité de plus en plus cyclique** : le rythme de mode, l'évolution des habitudes, la façon de consommer et des aléas économiques induisent des transformations importantes dans les flux qui sont enregistrables.
- vi. **L'importance du facteur humain dans l'organisation logistique** : l'homme est le moyen le plus flexible et le plus adaptable dans le système de pilotage des entrepôts de part sa réflexion et les transformations de process que l'organisation peut lui demander.
- vii. **Importance du concept de qualité** : ce qui se cache derrière cette pratique est le fait d'habituer les structures à travailler en fonction des normes c'est-à-dire donné de la transparence à toute activité.
- viii. **Maîtrise des processus par leur simplification ce qui est simple fonctionne aisément** : Ceci est rendu possible aujourd'hui par la technologie de l'information et de la communication.

Le schéma suivant présente les éléments d'organisation interne qui vont permettre l'exécution des Ordres et des actions en fonction des entrées et sorties.

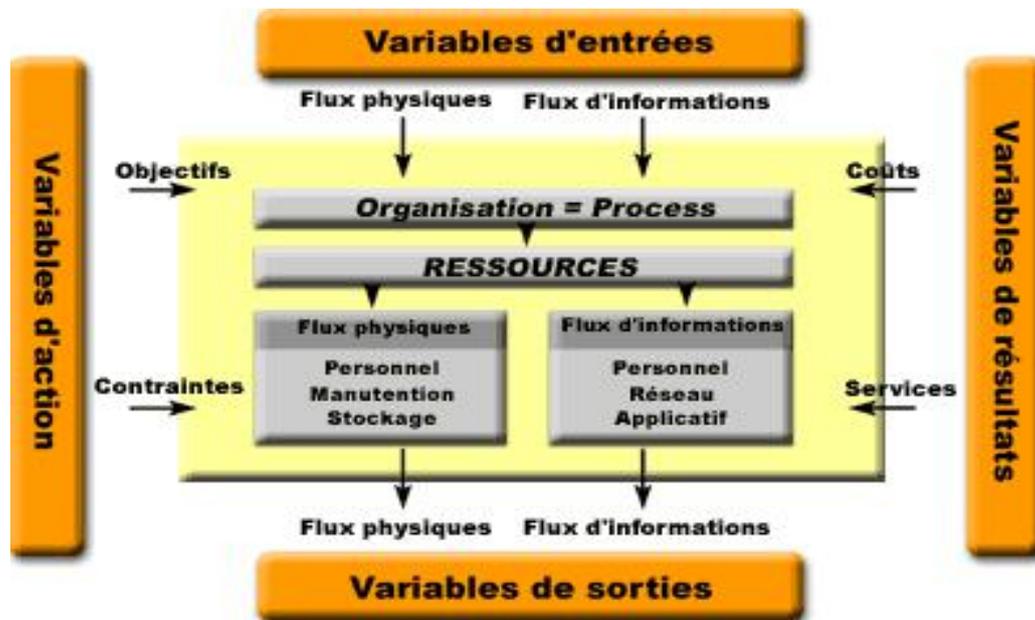


Figure I-5 : Les données qui caractérisent le fonctionnement de l'entrepôt ^[11].

II.3.6 Les différents modèles de stockage dans un entrepôt :

II.3.6.1 Le stockage de masse :

Il consiste à gerber les charges unitaires les unes sur les autres en utilisant au maximum l'espace disponible en surface et en hauteur. Le stockage de masse revient donc à réaliser les piles des charges unitaires. La disposition de ces piles sera différente suivant les impératifs particuliers à chaque activité. Elle varie selon que l'on stocke un produit en grande quantité ou plusieurs produits en petites quantités, selon qu'il s'agit des produits en cours de fabrication ou des produits finis en attente d'expédition.

Le stockage de masse est à la fois plus économique et offre une meilleure utilisation du volume de l'entrepôt (magasin de stockage de cacao, stockage de la farine, du riz en sac, casier de bière). En revanche, il pénalise l'accessibilité des produits et n'est possible que dans la mesure où les charges sont uniformes et gerbables c'est-à-dire superposer les uns sur les autres sans que ce dernier ne se casse.

De manière générale, ce type de stockage est le plus pratique et est le plus facile quand le produit est stocké en grande quantité sur des périodes courtes et quand ils ne doivent pas respecter la loi FIFO.

II.3.6.2 Le stockage par accumulation :

Quand un produit est stocké en grande quantité, le stockage de masse est peu intéressant car une allée de gerbage ne désert que deux allées de charges et l'avantage d'accessibilité n'est pas exploité ; inversement l'occupation du volume est très faible.

Le stockage dit par accumulation permet de constituer les travées non seulement en plusieurs niveaux en hauteur mais plusieurs palettes accumulées les unes devant les autres. L'utilisation de la surface disponible est ainsi considérablement augmentée et le problème d'écrasement des charges que l'on rencontre dans le stockage de masse est supprimé.

Théoriquement, cette solution permet des stockages très compacts. Un couloir ne peut accueillir que des palettes de la même référence et du même lot. Car, l'accès à une référence particulière dans un tel équipement nécessiterait en effet le déstockage de toutes les palettes situées entre la palette recherchée et l'extrémité du couloir, et par conséquent conduirait à un temps opératoire inacceptable.

Ce mode de stockage ne convient que pour un faible nombre de références, des lots importants et des taux de rotation très élevés faute de quoi le taux d'occupation réellement observé devient particulièrement médiocre.

II.3.7 Le stockage par rack ou par rayonnage :

C'est la méthode la plus courante car toutes les palettes sont d'un accès facile et tous les investissements demandés restent relativement faibles. Selon que l'on utilise les chariots frontaux, les chariots à mats rétractables et les chariots à fourches tridimensionnelles ; l'utilisation du volume à grande hauteur permet de rentabiliser la surface du sol. Le clavier à palette classique se compose d'échelles verticales qui supportent les charges et sur lesquels viennent se fixer deux longerons horizontaux. La longueur d'une travée est égale à la dimension d'une palette multipliée par le nombre de palette plus le jeu de manœuvre, nécessaire ou espace de sécurité. La travée est l'ensemble composé d'un compartiment qui compose un Rack.

II.3.8 Le stockage par casiers :

Les casiers de stockage sont des équipements comparables aux palettiers avec un rayonnage destiné au stockage de produits peu encombrant et en petite quantité. Il existe deux sortes de conception. Dans la première conception, les charges sont supportées uniquement sur les côtés de manière à laisser le passage au chariot.

Dans la deuxième conception un dispositif électromécanique permet de se déplacer là où les rangées désirées se trouvent, de façon à ouvrir une allée d'accès aux casiers. En somme le stockage par casiers est un système dans lequel des blocs de casiers simples ou doubles sont rangés de manière à permettre l'utilisation pour un stockage à faible rotation avec un nombre de mouvement réduit. La présence d'une seule allée de gerbage optimise l'utilisation du volume tout en offrant l'accessibilité à chaque palette^[18].

II.4 La gestion des entrepôts :

II.4.1 Introduction :

Il est primordial de bien différencier la gestion du magasin de la gestion des stocks. Même si leurs domaines de responsabilités sont facilement définissables, les confusions restent très fréquentes. Cette différenciation est nécessaire pour bien définir les échanges et interfaces, en évitant toute redondance.

Un outil très intéressant pour mettre en évidence la différence entre ces deux concepts est la pyramide du CIM (Computer Integrated Manufacturing).

II.4.2 La pyramide du CIM :

La pyramide du CIM est une méthode largement généralisée (en particulier dans l'informatique). Il s'agit d'une représentation comportant 4 niveaux auxquels correspondent des niveaux de décision. Plus on s'élève dans la Pyramide du CIM, plus le niveau de décision est important, plus la visibilité est globale et plus les cycles standards s'allongent.

Un niveau supérieur décide ce qu'un niveau inférieur exécute.

Au niveau 3 : la gestion des produits et des stocks, la gestion des approvisionnements, la gestion des clients, des commandes et de la facturation (gérés par les ERP).

Au niveau 2 : la localisation des produits en stocks, les mouvements physiques et la gestion des lots (géré par le système de gestion d'entrepôt).

Au niveau 1 : les automatismes.

Au niveau 0 : les capteurs et actionneurs.



Figure I-6 : La pyramide du CIM ^[12].

II.4.3 La gestion des stocks :

II.4.3.1 Les principes stratégiques et tactiques :

Dans la pyramide du CIM (Computer Integrated Manufacturing), la gestion des stocks se situe généralement au niveau 3. Elle est une fonction-clé de la gestion de production (c'est même la gestion des stocks qui a donné naissance à la gestion de production). Elle décide, ou permet de décider, d'un certain nombre de principes stratégiques et tactiques comme :

- Déterminer les articles qu'il y a lieu de tenir en magasin
- Évaluer en quelles quantités
- Choisir les modes et échéances de réapprovisionnement
- Opter pour un mode de valorisation du stock.

II.4.3.2 Les taches opérationnelles de la gestion des stocks :

- Enregistrer tous les mouvements, entrées et sorties.
- Connaître en permanence l'état du stock (l'inventaire permanent).
- Surveiller en permanence le niveau des stocks et les comparer aux points de commandes ou de lancement de fabrication.
- Vérifier la recevabilité d'une commande (tous les articles de la commande sont-ils bien disponibles en magasin ?).
- Réserver les articles affectés à une commande.
- Gérer, en accord avec les services commerciaux, les manquants et les livraisons partielles.
- Aider au choix de la source d'approvisionnement.
- Lancer les commandes.
- Choisir le type d'inventaire à effectuer, sur quelles références, à quelle date (l'inventaire tournant).
- Donner les instructions correspondantes à la gestion du magasin pour lancer les opérations de comptage.

En résumé la gestion des stocks est responsable du « quoi », du « combien », du « quand » et dû « à quel prix ». La gestion des stocks fait intervenir la direction générale de l'entreprise et les directions marketing, commerciale, fabrication et achats.

II.4.4 Type de stockage :

Parallèlement aux différents types de magasinage existants, les systèmes de stockage peuvent se classer suivant deux principes :

- Le stockage affecté
- Le stockage banalisé.

II.4.4.1 Stockage affecté :

Le stockage affecté consiste à donner à une même référence toujours le même emplacement dans la zone de stockage.

L'avantage est que la gestion des stocks se fait par automatisme : le personnel de manutention sait toujours l'emplacement des références à trouver. L'inconvénient est le mauvais (en tout cas non optimisé) coefficient de remplissage de la zone de stockage.

Il faut toujours que l'emplacement réservé corresponde au maximum de références à stocker. Il est clair que par cette méthode de nombreuses zones de stockage restent vides.

II.4.4.2 Stockage banalisé :

On appelle stockage banalisé ou aléatoire, l'affectation d'un produit à un emplacement disponible quel qu'il soit. À chaque fois qu'un produit entre en dépôt, on lui affecte un emplacement que l'on répertorie immédiatement dans le système du plan de l'entrepôt.

Ce type de stockage impose un système informatique ce qui permet de connaître en permanence la situation de tous les produits et permet d'optimiser les emplacements.

II.4.4.3 Stockage mixte :

Le stockage mixte est le type de stockage le plus utilisé. Il consiste à utiliser les deux systèmes suivant la nature et la rotation des produits : on utilisera de préférence le stockage affecté, par exemple, pour des articles ou matières dont le prélèvement est manuel et le stockage banalisé pour des produits dont le taux de rotation est important.

Ce qui semble important, c'est que chaque entrepôt doit s'astreindre à gérer de manière la plus rigoureuse sa gestion de stock qui sera bien définie au départ^[13].

II.4.5 La gestion du magasin (entrepôts) :

Dans l'architecture CIM, la gestion du magasin se situe au niveau 2. La gestion des magasins à pour rôle de permettre leur pilotage comme de n'importe quelle autre division de l'entreprise et de mettre en œuvre ce qui aura été décidé par la gestion de production et la gestion commerciale.

La gestion des magasins a pour rôle essentiel d'optimiser les flux physiques qui lui sont imposés de l'extérieur. Le magasin est seulement maître des flux internes : réagencement et réapprovisionnement des zones de préparation à partir du stock de masse.

En résumé, la gestion des magasins est responsable du « où ? », du « comment ? » et du « quand ? » mais à très court terme.

II.4.6 Le magasinage :

Les stocks d'une entreprise sont placés dans un ou plusieurs magasins afin qu'ils soient rangés entre leur réception et leur mise à disposition. Cette gestion suppose deux types d'organisation.

II.4.6.1 Gestion mono-magasin :

Dans ce type d'organisation, tous les produits sont stockés et gérés dans un lieu unique. L'avantage en est de simplifier la gestion du stock, mais cela entraîne nécessairement de nombreuses manutentions, donc des délais et des coûts.

II.4.6.2 Gestion multi-magasins :

Afin de minimiser les manutentions, on préfère parfois répartir les stocks dans plusieurs magasins. Chaque magasin regroupe les produits par type (produits finis, matières premières...) ou en fonction de la proximité géographique.

Pour les produits, on peut également dissocier deux modes de gestion.

II.4.6.3 Gestion mono-emplacement :

Chaque article est stocké dans un et un seul emplacement. Ainsi le suivi des quantités de cet article est-il facilité, de même que les opérations d'inventaire sont simplifiées. Cependant, on retrouve l'inconvénient de la gestion mono-magasin : les problèmes de manutention.

II.4.6.4 Gestion multi-emplacements :

Dans ce type de gestion, un article peut être stocké à plusieurs endroits. On facilite ainsi les opérations de manutentions, mais il devient difficile d'avoir une vision globale du stock. Outre les problèmes d'inventaire que ce type de gestion induit, il est possible d'avoir un article en rupture dans un emplacement, alors qu'il est disponible dans un autre emplacement. Cependant, ce type de gestion est plus en accord avec la gestion au point d'utilisation préconisée par l'approche de juste-à-temps^[14].

II.4.7 Échanges entre gestion des stocks et gestion du magasin :

Les principaux échanges de la gestion des stocks vers la gestion des magasins sont les suivants :

- Fichier des livraisons attendues de l'extérieur ou de la production
- Fichier des commandes à exécuter assorties de tous les renseignements nécessaires et des commentaires associés
- Information des changements de statut, libération de quarantaine notamment
- Demande d'inventaire
- Fichier d'anomalies des anomalies constatées.

Les principaux échanges en provenance de la gestion du magasin vers la gestion des stocks sont les suivants :

- Fichier des entrées réelles.
- Fichier des sorties exécutées.
- Comptage d'inventaires.
- Diagnostic des anomalies : perte ou destruction d'articles, indisponibilité due à un écart d'inventaire, retour clients non prévus, dates de péremption dépassées, litiges, etc.

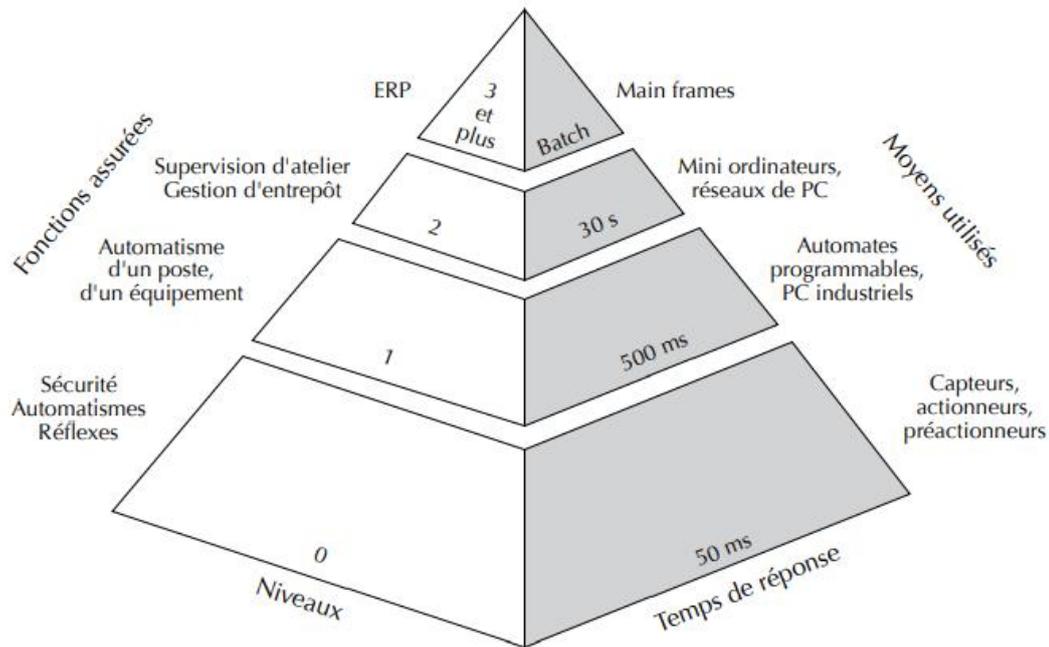


Figure I-7 : Pyramide du CIM ^[15].

II.4.8 La circulation des produits dans l'entrepôt :

Dans tout entrepôt, il existe un processus de base concernant la circulation de la marchandise :

- Déchargement du wagon ou du véhicule.
- Contrôle de conformité quantitative et qualitative avec émissions éventuelles de bons de réserve.
- Recherche de l'emplacement de stockage et transfert vers cet emplacement.
- Déclaration de l'entrée en stock dans le système informatique.

Parallèlement, la sortie des produits va s'effectuer de la manière suivante :

- Préparation des commandes suivant la demande des clients dans la zone de picking.
- Contrôle quantitatif et qualitatif.
- Emballage.
- Transfert jusqu'au quai de chargement.

Le personnel d'un entrepôt est constitué de manutentionnaires, caristes et responsables entrepôt. Ces opérations sont extrêmement importantes et, dans certains secteurs industriels, on peut voir une qualification et un nombre plus important que le personnel de production.

II.4.9 La Manutention :

II.4.9.1 Définition :

Pratique employée de manière générale en entrepôts, usine ou magasin, la manutention est un terme qui a beaucoup évolué et concerne d'autres réalités.

En effet, la manutention appartient au monde de l'industrie et des camions. Ce terme provient du mot main, et signifie qu'une personne prend les charges à la main.

Les manutentions correspondent à des déplacements entre les postes de travail et les zones de magasinage. Les déplacements à l'intérieur d'un poste de travail sont généralement appelés manipulations et demandent rarement des moyens spécifiques.

II.4.9.2 Types de moyens de manutention :

Depuis quelques années, les industriels ont pris conscience de l'importance de la fonction manutention dans le cycle de fabrication d'un produit. Il s'en est suivi un fort développement de ces moyens, tant du point de vue de leur diversité que du point de vue de leurs performances. Suivant les caractéristiques du produit (nature, forme, poids, fragilité...), les cadences et les distances de transport, les moyens de manutention peuvent être :

II.4.9.2.1 Manuels :

Lorsque le poids des produits et les distances de manutention le permettent, les manutentions sont effectuées par les opérateurs eux-mêmes ou par les employés d'un service spécialisé. Dans le cas contraire, nous avons recours à des moyens de manutention discontinus.

II.4.9.2.2 Continus :

Ce sont des dispositifs qui permettent le déplacement d'objets toujours dans le même sens et suivant un circuit prédéfini. Dans cette catégorie, nous trouvons des transporteurs à bande en caoutchouc, à rouleaux, aériens...

Ce type de moyen, dérivé des moyens employés dans les lignes transfert, impose une certaine rigidité qui en limite l'utilisation à la fabrication de produits relativement stables.

II.4.9.2.3 Discontinus :

Ce sont des dispositifs qui permettent le déplacement d'objets à la demande entre différents points de l'atelier. Dans cette catégorie, nous trouvons des palans, des ponts roulants, des chariots automoteurs (filoguidés, autoguidés, odométriques...). Ce type de moyens a l'avantage de permettre une meilleure flexibilité dans les manutentions^[16].

II.4.10 Les Ratios de contrôle des entrepôts :

Pour effectuer une bonne gestion de l'entrepôt et de la manutention, il est nécessaire d'exercer un bon contrôle sur l'activité. Il est donc important d'obtenir des ratios de contrôle qui permettent d'analyser la situation actuelle, ainsi que son évolution.

Ces ratios doivent posséder des caractéristiques concrètes, comme la facilité de calcul, la fiabilité, la simplicité et nous proportionner des données significatives pour le suivi de l'activité.

Nous ne définirons que les ratios les plus importants parmi ceux qui permettent la gestion de l'entrepôt.

II.4.10.1 Rotation de stock (RS) :

Il nous donne une idée du nombre de fois qu'on refait le stock tout au long de l'année.

Plus la rotation des stocks est élevée, plus elle est avantageuse, car une rotation élevée des stocks signifie généralement qu'une entreprise vend des biens très rapidement et qu'il existe une demande pour son produit.

Un faible RS, en revanche, indiquerait probablement un affaiblissement des ventes et une baisse de la demande pour les produits d'une entreprise.

Formule :

$$RS = \frac{\text{Coût des marchandises vendues}}{\text{Stock moyen}}$$

Stock moyen = (stock du début + stock de la fin) ÷ 2. Il peut être calculé en valeur ou en quantité.

Valorisation :

- Un indice bas nous indique un stock excessif.
- Un indice très élevé nous indique un stock optimum.

Ce ratio est d'une grande importance pour évaluer le niveau du stock avec lequel on travaille. Il relativise le stock absolu dont on dispose et nous permet de le comparer avec n'importe quel autre, au moyen du nombre de fois qu'on le déplace.

Cet indice doit être le plus haut possible. La tendance à suivre pour toute entreprise est de l'augmenter si elle veut être compétitive.

II.4.10.2 Couverture du stock (CTS) :

La CTS mesure le nombre de jours nécessaires pour que les stocks se transforment en ventes.

La couverture des stocks, également appelée jours d'inventaire, est calculée en prenant l'inverse du taux de rotation des stocks multiplié par 365.

Formule :

$$CTS = \frac{\text{Stock moyen}}{\text{Coût des marchandises vendues}} \times 365$$

Stock moyen = (stock du début + stock de la fin) ÷ 2. Il est calculé en valeur ici.

L'idéal serait de réduire la couverture des stocks, car cela se traduirait par un nombre de jours moins élevé pour transformer les stocks en argent liquide.

Toutefois, les valeurs de couverture des stocks peuvent varier d'un secteur à l'autre. Il est donc important de comparer la couverture des stocks d'une entreprise avec celle de ses pairs.

II.4.10.3 Saturation (S) :

Elle nous proportionne la mesure du niveau du stock par rapport à la capacité de l'entrepôt.

Formule :

$$S = \frac{\text{le niveau du stock}}{\text{La capacité de l'entrepôt}}$$

Cet indice doit être proche de 1, ce qui signifie que l'entrepôt fonctionne à plein rendement et que nous n'avons pas d'espace non exploité. Il doit bien sûr être accompagné d'un indice de rotation haut.

II.4.11 La traçabilité :

La norme internationale ISO 8402 définit la traçabilité comme « l'aptitude à retrouver l'historique, l'utilisation ou la localisation d'une entité au moyen d'identifications enregistrées ». La traçabilité fait partie des obligations faites à certaines professions par exemple la pharmacie, les fabricants d'organes de sécurité de véhicules, l'agroalimentaire. La traçabilité est également imposée par les normes ISO 9000 touchant à la qualité totale. Chaque acteur de la « Supply Chain » n'est responsable du suivi que dans sa propre entreprise. La reconstitution complète exigera donc de consulter tous les maillons de la chaîne. On distingue la traçabilité ascendante et la traçabilité descendante.

II.4.11.1 La traçabilité ascendante :

Elle désigne l'aptitude que l'on a à identifier les composants d'un produit fini et à retrouver leur origine et leur « curriculum vitae ». Le plus généralement cette traçabilité est de la responsabilité de la fabrication. Il n'en reste pas moins vrai que le magasin de matières premières est un lieu de passage obligé des composants, et que le magasin devra pouvoir transmettre toutes les informations utiles dont il dispose pour alimenter les fichiers de la production.

II.4.11.2 La traçabilité descendante :

C'est celle qui va permettre de retrouver où a été expédié tel article. Elle est de la responsabilité de l'activité logistique. Il est du ressort du magasin de gérer les fichiers d'historiques correspondants. Cette historisation peut mobiliser des moyens informatiques non négligeables, et il devra en être tenu compte lors de la définition du système informatique.

II.4.11.3 Le rôle de la traçabilité :

Pour bien illustrer l'importance et le rôle de ces deux aspects de la traçabilité, voici un exemple. Un constructeur s'aperçoit qu'un produit fini est défectueux. L'analyse montre que le défaut est dû à tel lot de composants primaires. La traçabilité ascendante va permettre de remonter à l'origine de ce lot de composants et d'identifier la cause du défaut. Ensuite la traçabilité descendante va permettre de retrouver quels sont les autres produits finis concernés par le lot du composant incriminé et où ils ont été dispersés. Si le défaut constaté est sérieux, le constructeur pourra décider de rappeler les produits finis en cause et seulement ceux-là. Sans traçabilité, le constructeur aurait comme seule issue de lancer des messages dans les médias. Il n'est pas certain que tous les clients concernés entendent le message ; mais par contre il y a tout lieu de penser que l'image de marque du constructeur aura été sensiblement dégradée.

II.4.12 Les WMS (Warehouse Management System) :

II.4.12.1 Définition :

Un logiciel WMS (Warehouse Management System) ou système de gestion d'entrepôt est un outil de gestion des opérations d'un entrepôt de stockage. Son objectif est de mieux connaître en quantité et en qualité l'activité d'un entrepôt et des stocks, d'éviter les erreurs de préparation de commandes, d'optimiser l'exploitation des ressources et des espaces et enfin d'améliorer la traçabilité de la marchandise en interne. Il est envisageable de gérer un entrepôt via WMS quel que soit le type d'entreprises : PME, ETI ou grande entreprise. Ceci, car ces logiciels sont versatiles et s'adaptent aux besoins de chaque organisation.



Figure I-8 : La représentation d'un logo du système WMS.

II.4.12.2 Les fonctionnalités des logiciels WMS :**II.4.12.2.1 Gestion de l'entrepôt :**

En premier lieu, le WMS est un logiciel de gestion d'entrepôt de manière globale. En d'autres termes, il vise à optimiser les flux entrants et sortants pour améliorer l'efficacité de la chaîne logistique. Pour y arriver, plusieurs paramètres vont être mis en place tels que les différentes zones de stockage au sein de l'entrepôt ou une catégorisation stricte des articles.

Au niveau des emplacements, les informations du logiciel de gestion permettent de connaître les dimensions précises de chaque emplacement, sa disponibilité, mais aussi le type et le nombre d'unités logistiques qu'il pourra accueillir ou encore la catégorie de produits et les seuils de réapprovisionnement pour chaque emplacement.

Le but est d'arriver à une rationalisation des processus au sein de l'entrepôt. Tous les aspects sont pris en compte : réception, stockage et préparation des commandes. Cela va permettre par exemple de disposer les produits à forte rotation plus accessibles^[17].

II.4.12.2.2 Gestion des réceptions :

Le logiciel de gestion des entrepôts va vous permettre d'optimiser et d'automatiser les arrivées de marchandises et autres flux entrants. Il vous permettra aussi de faciliter les opérations de mise en stock et de rangement.

II.4.12.2.3 Gestions des stocks :

Grâce à la fonctionnalité de gestion des stocks vous allez pouvoir optimiser voire réduire votre volume de stocks. En effet, l'objectif est d'optimiser les temps de trajets lors des manipulations ainsi que d'optimiser au mieux l'espace. Cette fonctionnalité vous permettra de toujours avoir une connaissance parfaite de vos stocks en temps réel.

II.4.12.2.4 Préparation des commandes :

Un outil de gestion d'entrepôt WMS facilite aussi le traitement des commandes. Le traitement des commandes est plus fluide car toutes les informations les concernant telles que le numéro de commande, la quantité ou les références des produits concernés, sont centralisées dans le logiciel.

II.4.12.2.5 Vision globale et contrôle :

Le logiciel de gestion des entrepôts vous permettra de suivre certains indicateurs ainsi que d'obtenir des données et des statistiques sur vos entrepôts. Ces informations vous donneront une vue globale et vous permettront de vous rendre compte des dysfonctionnements, mais ils vous permettront aussi de vous améliorer et d'améliorer ainsi le service client grâce à un fonctionnement rapide et efficace.

L'outil de gestion des entrepôts peut aussi devenir très puissant lorsqu'il s'agit des inventaires, en effet il vous permettra de faciliter ce processus souvent long, fastidieux et gourmand en ressources^[18].

CHAPITRE II

III CHAPITRE II : La chaîne du froid, le transport et l'entreposage frigorifique.

III.1 Introduction :

Dans ce chapitre on va introduire la notion de la chaîne de froid, son historique et son importance dans le transport des produits alimentaire ainsi que les effets de ça rupture. Ensuite sur la deuxième partie en passera au transport frigorifique dans la chaîne du froid avec ses différents modes (Aérien, Maritime et Routier). Ainsi que les spécificités de chacun de ces modes. Pour la dernière partie on présentera les entrepôts frigorifiques avec leurs différents modèles et on discutera l'activité à l'intérieur de ces entrepôts ainsi que les réglementations frigorifiques.

III.2 Section I : La chaîne du froid :

III.2.1 Historique :

La caractéristique saisonnière des aliments, ainsi que les variations de production, ont très tôt conduit les Hommes à envisager des solutions pour les conserver. Ils se sont, de plus, rapidement aperçus que la nourriture se conservait dans de meilleures conditions l'hiver que l'été.

Ainsi, depuis la plus haute Antiquité, on a su employer la neige pour conserver les aliments. Les Romains enveloppaient de neige les poissons du Rhin, les langoustes de Sardaigne ou les huîtres d'Armorique, pour les transporter jusqu'à Rome en bon état. Jusqu'à la fin du XIXe siècle, de grandes quantités de glace étaient entreposées dans des silos, faisant office de glaciers. Mais tout cela reste très empirique et des progrès ne furent réalisés que le jour où l'on put produire du froid artificiellement.

Les recherches scientifiques sur la chaleur et thermométrie ont commencé au XVIIe siècle, mais l'avènement des machines frigorifiques s'est fait au XIXe siècle, grâce à l'approfondissement des connaissances en thermodynamique.

La première réalisation pratique date de 1857 où un français, Ferdinand CARRE, fit la démonstration d'une machine qui fabriquait des cubes de glace. La seconde réalisation est également l'œuvre d'un français, Charles TELLIER qui équipa un navire de 650 tonnes, le 'Frigorifique' en 1876, pour transporter une cargaison de viande congelée de France jusqu'en Argentine.

Le premier camion frigorifique à froid ventilé utilisant un groupe autonome à compression de vapeur est apparu en 1937 aux États-Unis, et seulement en 1947 en Europe. L'utilisation des isolants actuels ne s'est généralisée et industrialisée que dans les années 1970, ouvrant la voie au développement à grande échelle d'une chaîne du froid de qualité ^[19].

Avec le développement de la consommation de produits réfrigérés et congelés, la maîtrise de la chaîne du froid est devenue, aux yeux des pouvoirs publics, une exigence qui a conduit à mettre en place des réglementations septiques pour la maîtrise des températures ^[20].

III.2.2 Définition :

La chaîne du froid consiste à maintenir des aliments frais ou surgelés à une température basse qui leur permet de rester sains tout en gardant leur goût initial et leurs qualités nutritionnelles. En effet, le froid limite la propagation des micro-organismes (bactéries, levure, moisissure). Les aliments frais périssables doivent être maintenus entre 0° et 8°C selon leur nature :

- Entre 0° et 4°C pour les denrées très périssables telles les viandes, poissons, produits tripiers, volailles, produits traiteurs frais, charcuterie, laits pasteurisés, fromage frais...
- Inférieur à 8°C les denrées périssables telles que le beurre et matière grasse, desserts lactés, produits laitiers frais autres que les précédents...

Les produits surgelés doivent être maintenus à -18°C.

Ces températures sont les suivantes pour les différentes catégories de denrées alimentaires :

Catégorie de denrées	Températures de conservation
Poissons, crustacés et mollusques cuits, viandes cuites, produits en cours de décongélation, produits frais entamés, plats cuisinés maison, etc.	Entre 0° C à + 4° C
Viandes crues, poissons non cuits, charcuteries, pâtisseries à la crème, produits frais au lait cru, fromages découpés, etc.	+ 4° C maximum
Fruits et légumes prêts à l'emploi	+ 4° C
Produits laitiers frais, œufs, desserts lactés, beurres et matières grasses, etc.	Entre + 6° C à + 8° C
Tout aliment congelé	- 12° C
Tout aliment surgelé, glaces, crèmes glacées et sorbets	- 18° C

Tableau II-1 : Les différentes températures de conservations des produits alimentaire ^[21].

D'un point de vue purement logistique, la chaîne du froid est l'ensemble des dispositions prises pour qu'un produit frais reste à la bonne température tout au long de son cheminement depuis ses matières premières initiales jusqu'à sa consommation finale, en passant par toutes les étapes de stockage et de transport.

Le mot « chaîne » souligne l'importance de la continuité des étapes sans rupture d'aucun maillon.

L'effort général est ainsi maintenu pour parvenir, en bout de chaîne, à récupérer un produit préservé de tout échauffement car il n'aura subi aucune rupture de la chaîne du froid.

III.2.3 Importance de la conservation des aliments au froid :

A l'égard des aliments le froid agit essentiellement en retardant l'apparition des phénomènes d'altération et en ralentissant la multiplication microbienne, notamment pour les microorganismes pathogènes.

De ce fait le recours au froid permet d'allonger la durée de vie des denrées alimentaires et d'accroître la sécurité sanitaire. Cela correspond à des effets bénéfiques pour tous les acteurs, du fabricant au consommateur final, en leur permettant, entre autres, une plus grande souplesse dans la gestion des produits.

Ainsi, aujourd'hui, la grande majorité des denrées alimentaires passent, avant leur consommation, par au moins une étape de réfrigération ou de congélation^[22].

III.2.4 Les principes fondamentaux de l'application du froid :

Définis par Alexandre MONVOISIN (1928), les principes fondamentaux de l'application du froid à la conservation des denrées périssables sont énoncés sous le vocable de « trépied frigorifique de MONVOISIN » :

III.2.4.1 Application du froid sur des produits sains :

La réfrigération ayant comme conséquence le ralentissement des phénomènes d'altération et de multiplication microbienne, il est essentiel que les aliments soient initialement d'excellente qualité et peu contaminés.

III.2.4.2 Précocité :

Le froid est à appliquer aussitôt que possible après l'abattage ou la récolte, avant que les diverses altérations n'aient commencées.

III.2.4.3 Continuité :

Chaque type de produits réfrigérés est à maintenir à une température appropriée (par exemple, une température de 4°C maximum pour les viandes, les volailles,).

Toute élévation sensible de la température du produit au-dessus de cette valeur provoque une accélération de la multiplication microbienne et des phénomènes de dégradation. La température de conservation des denrées doit rester aussi constante que possible en dessous de cette limite, depuis

l'abattage ou la récolte jusqu'à la consommation. On parle ainsi de « chaîne du froid », l'efficacité de celle-ci dépendant de celle du maillon le plus faible.

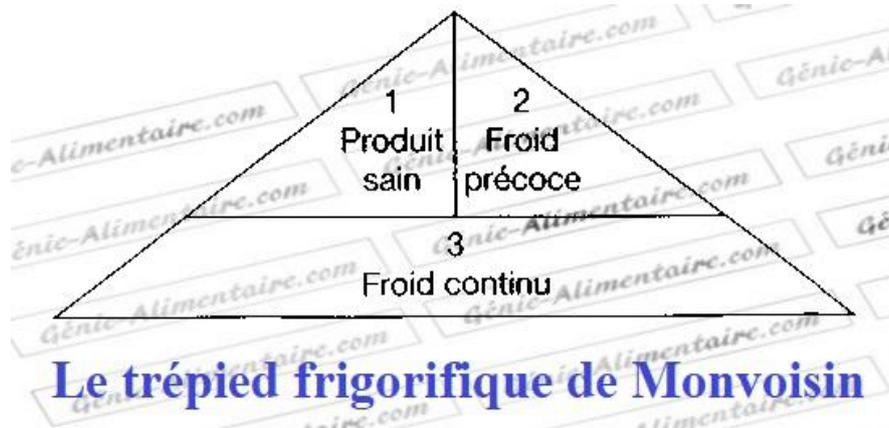


Figure II-1 : Le trépied frigorifique de Monvoisin ^[23].

III.2.5 Spécificité de la chaîne du froid Selon les différents aliments :

III.2.5.1 Les fruits et légumes :

Le froid a pour conséquence essentielle d'allonger la durée de vie des fruits et légumes en retardant leur altération. En effet il inhibe les réactions enzymatiques, notamment celles qui sont à l'origine de la biosynthèse de l'éthylène par les fruits et légumes. Ce gaz est responsable de leur sénescence et de leur mûrissement.

Cependant la température de conservation doit être appropriée car en dessous d'une certaine valeur les fruits et légumes développent des altérations particulières regroupées sous le vocable de « maladie physiologique du froid » ou « chilling injury ».

Le mécanisme exact de cette pathologie reste à ce jour inconnu. Le facteur déclenchant responsable est une conservation réalisée en dessous d'une certaine température et pendant un certain délai, spécifiques de l'espèce et de la variété de fruits ou légumes

Concernés (ex. : piment 5°C 3 j ; patate douce +7°C 2 semaines) ^[24].

III.2.5.2 Viandes :

Juste après l'abattage la viande est sèche et dure, les caractères organoleptiques (succulence, tendreté, flaveur agréable, couleur rouge vif) désirés par le consommateur n'apparaissent qu'après une phase d'une huitaine de jours, dite de maturation.

Les mécanismes qui y participent sont essentiellement biochimiques et enzymatiques. Le froid permet cette maturation tout en retardant les phénomènes de multiplication microbienne, responsables, entre autres, de la putréfaction des viandes. En effet, pour un même abaissement de température, les réactions de maturation sont moins freinées que les phénomènes d'altérations microbiennes.

Ainsi, pour une température de 20°C, la putréfaction apparaît, en moins de 24 heures, avant la maturation. Par contre, à 0°C, la phase de maturation est de 10 jours, tandis que les premiers signes d'altération ne se manifestent qu'au bout de 12 à 16 jours.

La conservation de la viande au froid est donc une nécessité ^[25].

III.2.5.3 Poissons :

Le poisson est un produit dont la qualité se dégrade très rapidement du fait, principalement, de réactions protéolytiques dues à des enzymes digestives, tissulaires et microbiennes.

Sa conservation au froid permet de ralentir cette activité. La température doit être aussi proche que possible de 0°C depuis la capture jusqu'à la remise au consommateur.

Le processus d'altération débutant dès la mort de l'animal, l'application du froid doit donc être particulièrement précoce. Pour les poissons d'élevage ceci ne pose guère de problèmes du fait de la mise en œuvre immédiate des procédés de réfrigération.

Par contre, pour les autres types de pêche, notamment en mer, des difficultés sont rencontrées. Des moyens efficaces de refroidissement et de conservation sont à mettre en œuvre sur les bateaux de pêche. L'utilisation de glace seule peut s'avérer insuffisamment performante. Le recours à des mélanges liquide/glace est plus efficace mais plus délicat à maîtriser ^[26].

III.2.5.4 Lait et produits laitiers :

La durée de conservation du lait et des produits laitiers dépend essentiellement de la qualité microbiologique initiale du lait, avant son traitement thermique et/ou son éventuelle transformation.

De ce fait une réglementation a été mise en place spécialement sur ce point. D'une part elle préconise des mesures d'hygiène (nettoyage-désinfection des matériels, vérification de l'absence de mammite,) à adopter lors de la traite afin de limiter les contaminations.

D'autre part elle rend obligatoire l'application précoce au froid pour lutter contre la multiplication des microorganismes. Aussi les éleveurs sont-ils amenés à assurer, à la ferme, le refroidissement du lait en ayant recours à des équipements spécifiques. La marque « NF Refroidisseurs de lait » est l'un des meilleurs pour garantir que ces matériels possèdent bien des performances satisfaisantes.

Le lait peut être ainsi stocké à la ferme quelques heures à quelques jours avant d'être transporté par camion frigorifique vers les usines de transformation et/ou de conditionnement.

III.2.6 Ruptures de la chaîne du froid :

Comme on peut l'observer sur la figure ci-dessous, le terme de « rupture de la chaîne du froid » recouvre des réalités très diverses dont le point commun est que le produit ne répond plus aux attentes du client, que ce soit du point de vue de l'hygiène (contamination microbiologique), de la durée de conservation ou de ses caractéristiques organoleptiques (couleur, apparence, goût, etc.) ^[27].

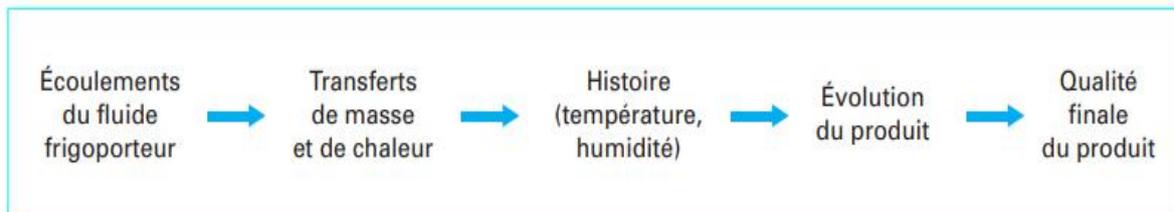


Figure II-2 : Rupture de la chaîne du froid.

La conséquence d'une rupture de la chaîne du froid est que le produit sera compromis et impropre à la consommation. En raison de l'historique des conditions auxquelles ledit produit a été exposé. C'est pourquoi il est crucial de respecter la chaîne du froid, quel qu'en soit le coût pour éliminer les nombreuses causes de sa rupture.

Les causes qui peuvent conduire à ces types de situations sont multiples mais peuvent être recherchées dans cinq directions.

III.2.6.1 Méconnaissance des conditions optimales de conservation des produits, en particulier pour les fruits et légumes :

Les produits alimentaires évoluent au cours du temps, en fonction de la température mais aussi des conditions d'ambiance (humidité, éclairage, composition gazeuse). La température optimale de conservation peut être différente pour différents types de produits. Des températures trop basses pour certains produits peuvent conduire à des dégradations.

Exemple : les bananes doivent être conservées entre 12 et 15,5 °C, les avocats entre 5 et 12 °C.

En revanche, des températures trop élevées écourtent la durée de vie de nombreuses denrées.

Exemple : la durée de conservation de la poire Packmans est de 8 mois à - 1 °C et seulement de 4 mois à 0 °C.

Pour les produits surgelés, il a été mis en évidence que les variations de température provoquent, au-delà des pertes en eau, des phénomènes de fusion des cristaux de glace et de recristallisation qui conduisent à une augmentation de la taille des cristaux, voire à une migration des solutés, qui ont des conséquences sur la texture du produit et ses qualités organoleptiques.

III.2.6.2 Hétérogénéité de la température du produit :

Les produits sont généralement emballés en cartons et palettes pour l'entreposage et le transport. Ces emballages s'opposent à la circulation du fluide de refroidissement, l'air dans ce cas, qui circule selon des écoulements privilégiés. Les transferts thermiques qui en résultent conduisent à une hétérogénéité des températures et, par conséquent, des caractéristiques de qualité des produits, notamment ceux qui connaissent une fermentation ou une maturation.

Des sources de chaleur localisées peuvent montrer ces hétérogénéités :

- Dégagement de chaleur dû à la respiration des fruits et légumes ou à la fermentation des produits (fromages, etc.)

- Exposition au rayonnement (éclairage, parois chaudes)
- Ouvertures de portes ou encore contact ponctuel avec des parois chaudes.

Ces sources de chaleur provoquent des remontées locales de température lorsque la chaleur n'est pas correctement évacuée par le fluide de refroidissement.

Des méthodes ont été utilisées dans l'industrie pour caractériser la variabilité des traitements thermiques et de s'orienter vers, d'une part, des adaptations des pratiques avec des équipements existants. Et d'autre part, des critères pour la conception de nouvelles installations.

III.2.6.3 Conception et conditions de fonctionnement des équipements :

Plusieurs aspects relatifs aux équipements peuvent avoir des conséquences directes sur la maîtrise de la température du produit : la conception, la surveillance, la maintenance, les réglages et le pilotage.

III.2.6.3.1 La conception :

Les équipements sont en général conçus pour délivrer des puissances frigorifiques calculées globalement, mais pas toujours pour les délivrer de façon homogène et adaptée aux besoins spécifiques en tout point du produit.

Il peut y avoir des zones de réchauffement aux endroits où l'air circule mal ou sur le trajet de courants d'air extérieur entrant. Les caractéristiques des équipements sont à connaître précisément en fonction de leur utilisation. Ainsi, les équipements prévus pour maintenir les produits en température (véhicules à température dirigée, meubles frigorifiques de vente) ne peuvent être considérés comme des équipements destinés à refroidir les produits qui seraient à une température trop élevée avant le chargement.

III.2.6.3.2 La maintenance :

La maintenance des équipements, les réglages, la programmation des dégivrages, l'installation d'alarmes, s'imposent progressivement et constituent des moyens de réduire les pannes et dysfonctionnements et représentent des investissements indispensables pour réduire les pertes de produits.

L'analyse d'une installation frigorifique comprend donc l'examen des points suivants :

- L'existence d'enregistrements des températures.
- L'existence d'alarme en cas de remontée de la température et le contrôle de la température de consigne fixée pour le déclenchement de l'alarme.
- Les dispositions prises en cas d'alarme : délai nécessaire pour réparer l'installation et pour ramener la température à un niveau satisfaisant, etc.
- Les plans de maintenance préventive pour éviter les pannes.
- Les solutions de secours en cas de coupure d'électricité ou de panne de carburant.

Le givrage des évaporateurs conduit à une perte de leur efficacité, et leur dégivrage à une remontée en température de l'ambiance et des produits. De ce fait, la programmation des

dégivrages est une caractéristique importante pour l'efficacité de l'installation dans son ensemble.

III.2.6.3.3 Le réglage :

La gestion technique d'installations frigorifiques importantes, telles que les plates-formes de distribution ou les installations frigorifiques de supermarchés, est souvent confiée par l'opérateur à l'installateur ou à des sociétés spécialisées.

Des cahiers des charges bien conçus peuvent, dans ce cas, conduire à un meilleur fonctionnement global de l'installation.

III.2.6.3.4 Le pilotage :

Pour certains produits alimentaires évoluant sensiblement au cours du temps, en fonction de la température mais aussi des conditions d'ambiance (humidité, éclairage, composition gazeuse), il est nécessaire de « piloter » l'évolution du produit en adaptant, à chaque instant, les conditions d'ambiance comme la température, l'humidité, la vitesse d'air ou la composition gazeuse.

Il peut s'agir, par exemple :

- De limiter la perte en eau des fruits au cours du stockage.
- De contrôler la teneur en éthylène, qui catalyse les phénomènes de mûrissement.

Afin de suivre les évolutions de la demande du marché. Des algorithmes de pilotage, s'appuyant sur des connaissances fines du comportement du produit obtenues en laboratoire, permettent de faire suivre au produit des trajectoires temps-température meilleures que les consignes fixes traditionnelles, ou de respecter des contraintes comme la diminution de la consommation énergétique.

III.2.6.4 Étapes de transition (chargement, déchargement) :

La réglementation prévoit des tolérances pour des remontées en température ponctuelles limitées dans le temps lors d'étapes de transition comme le chargement et le déchargement. Pour les surgelés, l'amplitude maximale autorisée est de 3 °C au-dessus de - 18 °C.

Les opérateurs d'entrepôts frigorifiques et de plates-formes, pour limiter les remontées de température, ont multiplié les dispositifs tels que les quais de chargement et de déchargement climatisés, les portes à fermeture rapide ou les dispositifs mécanisés pour le chargement et le déchargement rapide des véhicules.

Certains opérateurs ont opté pour des équipements permettant le franchissement des interfaces en limitant la remontée de température des produits tels que des housses

isolantes ou des petits conteneurs isothermes^[28].

III.2.6.5 Écart entre la température mesurée ou enregistrée (température d'air en général) et la température réelle du produit :

La température mesurée ou enregistrée est en général une température d'air à la reprise. Elle donne une indication de la température la plus élevée de l'air, mais ne peut rendre compte de la dispersion des températures des produits à l'intérieur de l'équipement considéré, meuble de vente, véhicule frigorifique ou chambre froide.

Il est alors utile de prévoir les effets des variations des conditions d'ambiance sur la température des produits. C'est ce que permettent l'étude des transferts thermiques et les outils numériques modernes de mécanique des fluides : en modélisant des situations réelles élémentaires, il est possible de simuler numériquement les transferts thermiques et de prévoir les variations de la température en tout point du produit.

De tels outils sont utilisés pour connaître les élévations maximales de température prévisibles dans des schémas logistiques définis, et pour préciser les conditions d'utilisation des équipements (par exemple, la durée de conservation maximale de produits surgelés dans une glacière refroidie par des plaques eutectiques ou la durée maximale de transport de produits périssables protégés par une housse isolée en véhicule non réfrigéré).

III.3 Le transport frigorifique dans la chaîne du froid :

III.3.1 Introduction :

Le transport frigorifique constitue sans nul doute un maillon essentiel de la chaîne du froid, dont la finalité est de fournir au consommateur des produits périssables avec toutes garanties de sécurité et de qualité. Les produits concernés sont des denrées périssables ou des produits non alimentaires tels que des fleurs, des plantes, des produits pharmaceutiques ou chimiques.

Les trois modes de transport de base sont :

- Le transport maritime (navires frigorifiques spécialisés, navires porte-conteneurs).
- Le transport terrestre (routier, ferroviaire).
- Le transport aérien.

Le transport intermodal combine au moins deux de ces modes de transport.

L'évolution la plus marquante dans ce domaine est la recherche de la polyvalence et de la flexibilité. Ainsi plus de la majorité des véhicules frigorifiques peuvent maintenant assurer un maintien en température compris entre -20°C et $+12^{\circ}\text{C}$, leur permettant de transporter à la demande soit des denrées réfrigérées soit des denrées surgelées ou des crèmes glacées. Les véhicules à plusieurs compartiments et à plusieurs températures représentent aujourd'hui 30% des ventes de véhicules frigorifiques.

Ces véhicules permettent, en déplaçant la cloison mobile intérieure, un chargement adapté aux volumes à transporter.

Enfin, pour le transport des fruits et légumes, certains camions ont été équipés de façon à assurer dans leur enceinte intérieure le maintien d'une humidité élevée.

Mais malgré ces progrès techniques il reste essentiel de respecter les bonnes pratiques professionnelles. Ainsi au cours du chargement la répartition des palettes dans le camion doit permettre une circulation de l'air froid suffisante et homogène. Il faut également veiller, pendant les arrêts de livraison, à limiter les temps d'ouvertures de portes^[29].

III.3.2 Transport Aérien :

Le transport aérien permet de transporter rapidement des produits très périssables et de grande valeur sur de longues distances, mais il ne permet pas de contrôler l'environnement comme il est possible pour les autres modes.

Le stockage en vol se fera à température de maintien et, bien qu'elle puisse être assez basse sur la plus grande partie de la distance, la qualité du produit dépendra fortement d'un traitement rapide et efficace dans les aéroports. L'exposition aux conditions climatiques locales en attendant d'être chargé dans un avion ou d'être transporté vers et depuis l'aéroport peut constituer une partie importante de la durée de transport totale.

Des chambres froides sont prévues dans certains aéroports pour stocker les produits immédiatement avant et après le transit.

III.3.3 Transport Maritime :

Le transport maritime se faisait à l'origine dans des cabines isolées intégrées aux navires. Il ne reste que peu parmi eux, en raison des coûts de manutention élevés. La plupart des échanges maritimes utilisent maintenant des conteneurs, soit avec leurs installations de refroidissement individuelles, soit reliés à un système de réfrigération central sur le navire.

III.3.3.1 Les conteneurs Reefer :

« Reefer » est le nom générique appliqué à un conteneur ISO standard à température contrôlée (figure).



Figure II-3 : Conteneur Reefer ^[30].

L'installation frigorifique intégrée (Figure) dans ces conteneurs isolés est équipée d'un système de contrôle qui permet de maintenir la température souhaitée sur un large intervalle de températures extérieures. Des dispositifs de surveillance et d'alarme assurent la sécurité des produits.



Figure II-4 : Le reefer cooling unit ^[31].

Le refroidissement est généralement nécessaire, mais dans certaines conditions, le chaud peut aussi être nécessaire. Il sera ensuite possible de régler la température du conteneur à la température nécessaire pour le transport spécifique, et le système de contrôle intégré maintiendra alors les conditions. Les températures habituelles sont de 13,5 °C pour les bananes, 0,5 °C pour certains produits frais et réfrigérés, -18 °C pour la viande congelée, -29 °C pour les poissons ou les crèmes glacées.

Pour les marchandises réfrigérées et les marchandises à température plus chaude qui ne doivent pas être congelées, la température de l'air fourni est contrôlée, tandis que pour les marchandises congelées, le contrôle se fait par la température de l'air qui retourne à la machine. Il est nécessaire de rester dans un intervalle de température prédéfini pour préserver l'intégrité d'un envoi, sinon des dégradations irréversibles et coûteuses peuvent se produire, causant une perte de valeur des produits sur le marché.

III.3.3.2 Les Reefers dans le transport maritime :

Les navires porte-conteneurs sont équipés avec des compartiments pour l'alimentation électrique des "reefers", et il existe également des navires porte-conteneurs spécialisés dans les reefers qui sont généralement de taille réduite.

À bord des navires porte-conteneurs, les reefers sont reliés à l'alimentation du navire et peuvent être surveillés à distance. La surveillance peut être étendue par satellite à l'expéditeur qui, à son tour, peut surveiller sa cargaison coûteuse de produits réfrigérés ou congelés.

Des slots sont également disponibles sur le port, à partir desquels les reefers sont soit dispersés dans des entrepôts frigorifiques pour le transbordement, soit déchargés dans des véhicules routiers.

III.3.4 Transport routier frigorifique :

Un camion frigorifique est un camion spécialement conçu pour produire et conserver des frigos afin de pouvoir transporter les denrées périssables, tels que des aliments surgelés, de la viande, du poisson, du lait, des fruits et les légumes, des produits pharmaceutiques et chimiques...

C'est un élément essentiel de la logistique du froid, principalement utilisé pour le respect de la chaîne du froid (enjeu de sécurité du froid) dans le domaine agroalimentaire, mais il est parfois aussi utilisé pour transporter des produits chimiques sensibles à la température. Plus les portes restent ouvertes longtemps, plus le groupe frigorifique doit fonctionner et donc consommer de l'énergie.



Figure II-5 : camion frigorifique ^[32].

III.3.5 Fonctionnement :

Les camions réfrigérateurs étaient autrefois refroidis à la glace. Ils sont aujourd'hui le plus souvent équipés de l'un des divers systèmes frigorifiques mécaniques alimentés par des moteurs diesel à faible cylindrée, ou utilisant dioxyde de carbone (soit glace sèche ou sous forme liquide) comme agent de refroidissement.

Certains de ces camions sont équipés de portes ouvrant sur les côtés. D'autres sont équipés d'un système de porte souple permettant de perdre moins de froid et donc économiser le carburant consommé par le groupe frigorifique.

Des études et modélisations aérodynamiques, ont cherché à améliorer la maîtrise de la circulation de l'air dans la zone froide (l'air chaud tend à monter et l'air froid à descendre, mais des turbulences perturbent la masse d'air lors des ouvertures de portes, des chargements et déchargements ; il est possible de créer un rideau d'air froid qui limite les pertes de frigorifiques lors des ouvertures de portes).

Les avantages du camion frigorifique :

- Il permet le transport de denrées périssables ou de médicaments spécifiques.
- Il résiste aux intempéries, en particulier en cas de très fortes chaleurs.
- Il est le maillon indispensable afin de garantir la chaîne du froid.
- Son utilisation est facilitée avec des moyens de suivi particulièrement fiables.

III.3.6 Les Défis énergétiques des véhicules frigorifiques :

La consommation d'énergie des véhicules a baissé de façon significative au cours des 20 dernières années, mais il existe encore une marge de progression, surtout en ce qui concerne les équipements frigorifiques.

Afin de relever les défis liés à l'environnement et en matière de durabilité, l'innovation dans le transport frigorifique suit plusieurs axes. On s'inspire souvent des innovations dans d'autres domaines du froid avant de les adapter au transport frigorifique dont les caractéristiques et exigences sont particulières.

III.3.6.1 La formation des chauffeurs :

La durabilité du transport frigorifique est aussi une affaire de personnel. Les chauffeurs routiers peuvent réduire leur consommation de carburant en adoptant un mode de conduite écologique. Pendant les livraisons, les chauffeurs devraient limiter la durée des ouvertures de portes, car ces dernières constituent une source importante de déperditions thermiques.

III.3.6.2 Déperditions thermiques :

Les ouvertures de portes constituent la source principale des déperditions thermiques dans les camions, surtout pendant les livraisons, et il est bien connu que les fuites d'air depuis la caisse constituent une source importante d'inefficacité énergétique.

Dans d'autres systèmes frigorifiques tels que les meubles frigorifiques de vente ou les chambres froides, des systèmes régulant l'écoulement d'air ou des portes automatiques sont souvent utilisés

pour réduire les fuites d'air froid. Cette technologie devrait être adaptée aux camions frigorifiques afin de mieux appréhender les gains réalisables sur le plan de l'efficacité.

Les joints utilisés pour les caisses isothermes ont été améliorés, mais d'autres améliorations peuvent encore être apportées, notamment en ce qui concerne la fermeture des portes latérales et le vieillissement des joints.

III.3.6.3 Isolation :

La recherche destinée à développer une meilleure isolation porte sur la conductivité thermique des matériaux. Des changements apportés aux agents expansifs des mousses isolantes au cours des 10 dernières années ont entraîné une légère baisse de la qualité de l'isolation utilisée pour les caisses refroidies. De nouveaux matériaux isolants, par exemple de nouveaux types de mousse, de panneaux d'isolation sous vide et d'aérogels ont fait leur apparition sur le marché récemment.

Il va falloir tester ces nouveaux matériaux dans le transport frigorifique. En outre, l'isolation devrait être améliorée en employant des structures composites complexes, dans lesquelles la protection des rayonnements thermiques et la réflexion peuvent améliorer les caractéristiques de l'isolation. La réduction des ponts thermiques devrait être étudiée également, surtout dans les cloisons.

III.3.6.4 Equipements multi-températures :

Les équipements multi-températures permettent des économies d'énergie, car un seul véhicule peut être utilisé pour livrer des produits à des températures différentes lors de la même opération de livraison au même endroit ^[33].

III.4 L'entreposage frigorifique :

III.4.1 Les entrepôts frigorifiques :

Généralement, un entrepôt frigorifique est un ensemble de bâtiments thermiquement isolés destiné pour l'entreposage des produits périssables dans des conditions d'humidités relatives et températures bien définies.

Dans ce secteur, l'évolution la plus significative de ces dernières années est l'émergence d'unités de volume important spécialisées dans ce domaine. Celles-ci disposent d'un arsenal d'outils pour limiter les variations de températures : ouvertures temporisées, doubles portes à lanières plastiques, quais réfrigérés, boudins gonflables assurant une meilleure étanchéité thermique au niveau de la liaison quai camion ^[34].

L'entreposage frigorifique est divisé en deux grandes catégories. Il y a les entrepôts frigorifiques conçus pour maintenir les produits à des températures au-dessus du point de congélation (ou de type réfrigéré).

Puis, les entrepôts frigorifiques conçus pour garder les produits à des températures inférieures au point de congélation (ou de type congelé). En général, plus les plages de températures sont froides, plus le bâtiment et l'équipement seront spécialisés.

III.4.2 Entrepôt réfrigéré :

Dans sa forme la plus simple, on retrouve dans la famille des entrepôts réfrigérés, des entrepôts climatisés qui sont conçus pour rester en dessous d'une température maximale lors des chaleurs de l'été. Généralement, un entrepôt régulier peut être utilisé comme entrepôt climatisé, bien qu'une meilleure isolation donne souvent un rendement supérieur.

eCool



Figure II-6 : Entrepôt Réfrigéré ^[35].

III.4.3 Entrepôt congelé :

Entreposage à des températures sous zéro est, sans grande surprise, plus complexe. On y retrouve plusieurs sous-catégories :

III.4.3.1 Le congélateur rapide (Blast freezing ou Flash freezing) :

Il est souvent utilisé dans un plus petit espace à l'intérieur d'un grand congélateur. C'est l'option habituellement retenue pour abaisser rapidement la température des produits avant de les entreposer dans un congélateur de longue durée.

III.4.3.2 Le congélateur de longue durée :

Il est utilisé pour des entrepôts avec très peu de mouvement de produits, comme des bleuets, canneberges, etc.

III.4.3.3 Le congélateur de centre de distribution :

Il est souvent utilisé dans des entrepôts abritant plusieurs gammes de produits, nécessitant plusieurs mouvements d'entrée et de sortie. Cette option requiert plus de capacités de réfrigération, principalement sur les quais de réception et d'expédition^[36].



Figure II-7 : Stocks congelés de viande rouge dans un entrepôt congelé^[37].

III.4.4 L'exploitation des entrepôts frigorifiques :

Les entrepôts frigorifiques sont exploités par :

- Les producteurs et/ou importateurs de matières premières (fruits et légumes, viandes, poissons), les fabricants de produits périssables (surgelés, produits frais...).
- Le commerce et la distribution (grossistes distributeurs, hypermarchés, supermarchés, détaillants spécialisés...).
- Les grandes entreprises de restauration.
- Les prestataires de services (transporteurs, entrepositaires...)

Les entrepôts frigorifiques peuvent être constitués d'une ou plusieurs chambre(s) froides(s) accolée(s) ou non à une usine de production.

III.4.5 L'activité en entrepôt frigorifiques

La fonction de l'entrepôt frigorifiques est de recevoir des marchandises afin de les stocker un temps déterminé. L'activité de l'entrepôt se résume essentiellement à des opérations de manutention.

On distingue deux fonctions principales dans les entrepôts frigorifiques :

- Les caristes.
- Les préparateurs de commandes.

III.4.5.1 Les caristes :



Figure II-8 : Les caristes.

Dans les entrepôts frigorifiques, la plupart des marchandises sont manutentionnées sous forme palettisée. Les caristes forment donc la main d'œuvre principale de l'entrepôt.

La tâche des caristes consiste à :

- Effectuer le déchargement des camions et wagons.
- Transporter les marchandises aux emplacements de stockage à l'intérieur des chambres froides.
- Effectuer des déplacements de palettes à l'intérieur des chambres froides.
- Sortir des chambres froides les marchandises devant être expédiées.
- Charger les camions et, parfois encore, les wagons.

Elle se donne également pour objectif :

- De mettre à la disposition des préparateurs de commandes les palettes dont ces derniers ont besoin ;
- D'effectuer la reprise des commandes préparées sur palettes.

L'instrument de travail des caristes est naturellement le chariot élévateur automoteur à conducteur porté.

III.4.5.2 Les préparateurs de commandes :

Les marchandises arrivent dans l'entrepôt frigorifique en provenance du producteur sous la forme de lots groupés en une grande quantité de palettes de produits homogènes.

La réexpédition des marchandises n'est effectuée sous cette même forme que lorsque le client commande une quantité importante de cette même marchandise. Quand le client n'en demande qu'une petite quantité, les produits sont reconditionnés sous forme de palettes de produits hétérogènes. Ce travail est effectué par les préparateurs de commandes.

L'activité de préparation de commande consiste à :

- Aller chercher les produits à l'intérieur des chambres froides : cette opération s'appelle le picking.
- Confectionner les commandes avec les produits provenant de palettes entières disposées dans la zone de préparation de commandes par les caristes.
- Filmer les palettes ainsi préparées.
- Charger et décharger les petits camions frigorifiques.
- Activités de nettoyage.

Selon le type d'organisation du travail retenu, ces opérations sont réalisées, soit par du personnel spécialement affecté, soit par les caristes et les préparateurs de commandes ^[39].

III.4.6 Les différents types d'entrepôt frigorifique :

Il existe plusieurs types d'entrepôts frigorifiques, à savoir :

III.4.6.1 Entrepôt traditionnel :

Qui est équipé de :

- Palettiers mobiles (ou non) - certains sont munis de contenants gerbables avec 4 ou 5 niveaux de stockage.
- Systèmes d'empilage de palettes (stockage dit de masse).

III.4.6.2 Entrepôt d'un seul niveau (plate-forme) :

Il est plus particulièrement adapté aux opérations de groupage et de dégroupage. Il intègre :

- Un grand nombre de quais de chargement et de déchargement ;
- Une chambre froide.

III.4.6.3 Entrepôt à mezzanines :

- Il est principalement utilisé pour le stockage et la préparation de commandes.
- Le déplacement des palettes se fait verticalement à l'aide d'un monte-charge ou d'un chariot à fourche.



Figure II-9 : Entrepôt a mezzanines ^[40].

III.4.6.4 Entrepôt frigorifique de grande hauteur :

Ce type d'entrepôt dont la hauteur de stockage, supérieure à 12 m, nécessite un transtockeur généralement automatisé.

Il est prévu pour l'acheminement des marchandises.

III.4.7 Réglementation frigorifique :

Les locaux techniques d'un entrepôt frigorifique doivent faire l'objet d'interventions de maintenance.

Leur équipement est soumis à une réglementation stricte, à savoir ^[41] :

- Une isolation renforcée.
- Un dispositif d'éclairage.
- Un détecteur de fuites et d'incendie, un dégivrage à gaz.
- Un système de contrôle de température, une aération naturelle.
- La présence d'un dispositif d'étanchéité sur le quai de chargement/déchargement.

Dans la suivante figure on peut constater les conditions de stockages pour certains fruits et légumes dans un entrepôt frigorifique :

Entrepôt	Denrée ^a	Température (°C)	Humidité relative (%)	Durée d'entreposage (mois)
Fruits ^b	Pommes	0- 1	90-95	peut aller jusqu'à 12 mois; diffère beaucoup d'une variété à une autre
Frais et humide	Betteraves	0- 1	95+	4- 6
	Choux ^c			2- 6
	Carottes			4- 6
	Panais			2- 5
	Radis			0.5- 3
	Navets			4- 6
Frais et humide	Pommes de terre ^d – de semence	4- 5	90-95	5-10
	– de table	5- 7		
	– de transformation	7-10		
Frais et moins humide	Courges ^e	7-10	70-75	4- 6
	Courgettes ^e			4- 6
	Citrouilles			2- 4
Froid et sec	Oignons ^f – séchés	0- 3	70-75	4- 8

Tableau II-2 : Les conditions de stockages pour certains fruits et légumes ^[42].

CHAPITRE III

IV CHAPITRE III : Le stockage des pommes de terre en Algérie.

IV.1 Introduction :

Dans ce troisième chapitre on commencera par présenter le comportement des pommes de terre dans la période de stockage dans les entrepôts, les changements qui s'y produisent ainsi que les maladies et ravageurs qui se produisent, les bonnes pratiques de stockage qu'il faut suivre et les différents modes de stockage. Ensuite, nous nous concentrons sur le contrôle de la qualité à l'intérieur des entrepôts de stockages (Régulation de lumière, ventilation, hygrométrie...).

Pour la deuxième partie nous exposons les paramètres de conception d'un entrepôt de stockage de pomme de terre du côté structure ainsi que les composants nécessaires pour le maintien du froid à l'intérieur. Enfin pour la dernière partie on va étudier la situation de stockage de pomme de terre en Algérie : en termes de capacités, la répartition des infrastructures disponibles au territoire nationale et les statistiques de production annuelles.

IV.2 Le stockage de pommes de terre :

IV.2.1 Conservation :

Les pommes de terre récoltées à pleine maturation peuvent se conserver de dix à douze mois. La question du stockage se pose pour les pommes de terre dites « de conservation » ainsi que pour celles destinée à la transformation industrielle et à la semence.

Les tubercules, vivants et à teneur élevée en eau, subissent des phénomènes de respiration et de transpiration. Ils sont sujets au fil du temps à des pertes de poids, au flétrissement et au développement des germes. Ils peuvent aussi être exposés à des risques de fermentation et à des attaques bactériennes ou fongiques. Ils doivent être préservés du gel.

Les conditions de stockage à respecter sont les suivantes :

- Obscurité.
- Ventilation et hygrométrie contrôlées.
- Températures maintenues entre 4 à 6 °C.

Des traitements anti germination sont autorisés en phase de stockage à l'aide de substances telles que le prophame ou le chlorprophame par poudrage ou nébulisation, cette dernière technique assurant une meilleure répartition du produit et évitant les risques de surdosage localisé, ou bien par ionisation.

Le consommateur peut garder des pommes de terre pendant plusieurs semaines, plus ou moins selon les variétés, dans un local frais abrité de la lumière. Les pommes de terre « primeurs », récoltées avant complète maturité, ne se conservent que quelques jours ^[43].



Figure III-1 : Stockage de pommes de terre.

IV.2.2 Comportement du tubercule pendant le stockage :

Le tubercule de pomme de terre est un organe vivant. Durant le stockage, il transpire, respire et subit une évolution physiologique conduisant à la germination. Il est, aussi, sujet aux attaques des champignons, des bactéries, des insectes et autres ravageurs.

IV.2.2.1 Transpiration :

Etant une tige souterraine, constituée à 80% d'eau, le tubercule de pomme de terre transpire à travers ses lenticelles en dégageant de l'eau sous forme de vapeur.

Juste après l'arrachage, la transpiration est élevée ; puis elle se stabilise si les conditions de conservation sont adéquates.

La transpiration entraîne une perte de poids et une détérioration de l'aspect des tubercules.

L'intensité de transpiration est assez élevée si :

- Le tubercule a été récolté avant la maturité de la peau.
- Le tubercule a subi des blessures pendant l'arrachage et les diverses manipulations.
- L'hygrométrie de l'air utilisé pour la ventilation des pommes de terre, est inférieure à 80%.

IV.2.2.2 Respiration :

Durant le processus de respiration, le tubercule de pomme de terre :

- Absorbe de l'oxygène du milieu environnant.
- Dégage du gaz carbonique et de la vapeur d'eau.
- Produit de la chaleur.

L'intensité de respiration dépend, beaucoup, de la température de conservation. Elle est multipliée par deux fois et demie lorsque celle-ci augmente de 10°C.

Elle s'accroît également avec la grosseur des tubercules, le nombre et l'importance des blessures.

IV.2.2.3 Germination :

Après une certaine période de stockage, plus ou moins longue, dépendant de la variété et de la température de conservation, les tubercules de pomme de terre commencent à germer.

La germination augmente à la fois la transpiration et la respiration.



Figure III-2 : pommes de terre germée^[44].

IV.2.3 Maladies et ravageurs :

Durant la conservation, les tubercules de pomme de terre peuvent être infectés par :

- Les champignons (*Fusarium* spp, *Phytophthora* spp, *Phoma* spp...).
- Les bactéries (*Erwiniaspp*...).
- Les insectes (teigne) et autres ravageurs.

Bien entendu, les processus de transpiration, de respiration et de germination ainsi que les pourritures occasionnent, quel que soit le type de stockage et à des degrés variables^[45] :

- Des pertes en poids.
- Une détérioration de l'aspect et de la qualité des tubercules.

IV.2.4 Les bonnes pratiques de stockage :

IV.2.4.1 Préparation du local du stockage :

En nettoyant et en désinfectant les locaux de stockage, les risques de persistance de parasites et d'agents pathogènes sont considérablement réduits. En effet, des formes de « survie », dites formes de conservation, existent pour ces organismes et peuvent se maintenir des mois, voire des années, à l'état latent avant de devenir la source de foyers d'infections.

Ces actions préventives sont d'autant plus cruciales lorsque des problèmes sanitaires ont été identifiés au cours de la campagne précédente. Cette même logique s'applique d'ailleurs à tout matériel réutilisé et en contact avec les pommes de terre.

Pour assurer la sécurité des personnels et la salubrité des pommes de terre, il est obligatoire d'avoir recours à des produits homologués de nettoyage et de désinfection des équipements, aptes au contact avec des denrées alimentaires.

L'utilisation de ces produits doit s'effectuer selon la réglementation et conformément aux

Préconisations indiquées par le fabricant.

IV.2.4.2 Ajuster la température et la ventilation :

La maîtrise de la température et de la ventilation est un point critique pour assurer la bonne conservation du lot : l'absence et/ou la réduction de la vitesse de germination et le développement d'agents pathogènes.

Le bon réglage de ces deux paramètres doit aussi s'accompagner d'une attention particulière sur le taux d'humidité brassé dans le local et l'homogénéité de distribution de l'air à travers le tas. Ces deux paramètres ne sont pas à considérer uniquement vers la fin de la période de stockage mais, bien au contraire, dès le début de la conservation.

Afin d'optimiser la ventilation, la règle est simple : ventiler avec de l'air plus froid que la température des tubercules. Une règle simple, mais souvent difficile à mettre en œuvre en l'absence de régulation automatisée de la température et de la ventilation.

Après la mise en conservation, l'objectif est d'atteindre une température optimale d'environ 12°C qui permet de réduire la pression germinative et sanitaire. Pour optimiser la ventilation, celle-ci doit être active lorsque la température de l'air extérieur est inférieure à celle des pommes de terre stockées.

En effet, alors que ventiler avec de l'air froid favorise le séchage, ventiler avec de l'air plus chaud que la température des tubercules contribue à l'humidification du tas et à l'apparition des pourritures. Cette règle s'applique à partir d'une différence de température de 1°C, mais plus la différence est grande et plus la ventilation est efficace.

IV.2.5 Limiter la perte de poids des tubercules :

Lorsque les pommes de terre ont été récoltées et manipulées dans des conditions limitant les endommagements mécaniques, une première partie des précautions à prendre est déjà à l'œuvre.

Une fois les tubercules dans le local de stockage, il conviendra de s'assurer que le taux d'humidité de l'air ventilé est compris entre 90% et 95%. Ce niveau d'hygrométrie préservera le tas d'une perte en eau des tubercules (et donc en poids) et ne sera pas non plus source d'humidification du tas^[46].

IV.2.6 La maîtrise des maladies de conservation :

De bonnes conditions d'arrachage, une cicatrisation correcte des blessures et une maturation suffisante de la peau constituent la meilleure protection contre les maladies de conservation des tubercules.

Le contrôle de la température et du degré d'humidité du stock contribue également à préserver la qualité des tubercules. Lorsque la récolte s'est faite dans de mauvaises conditions et que des risques importants de développement de pourritures sèches sur la récolte existent, il peut être utile de protéger les tubercules au moyen d'un fongicide agréé pour cet usage.

Les produits agréés pour la protection des plants de pommes de terre ne peuvent en aucun cas être utilisés pour protéger les tubercules destinés à la consommation, les résidus étant néfastes pour la santé du consommateur. Le respect des doses agréées et une bonne répartition du produit dans les tas sont indispensables pour éviter tout dépassement des limites en résidus des tubercules^[47].

IV.2.7 Les modes de stockage par le froid :

IV.2.7.1 Le stockage en vrac :

Est envisageable dans le cas où l'entrepôt est équipé d'un système de ventilation forcée.

Les ventilateurs propulsent l'air froid, sous basse pression, dans le tas de pommes de terre à travers des canalisations disposées sous le niveau du sol ou à la surface du sol.

- La capacité de ventilation pendant le séchage est de 100 à 120 m³ d'air/tonne/heure.
- La hauteur de stockage peut atteindre 3 à 4 mètres.

Il est, par ailleurs, très important d'assurer une distribution homogène de l'air à travers le tas pendant toute la durée de conservation.

Note : ce mode de stockage est adapté, plutôt, aux pays à climat tempéré (ni très chaud ni très froid.)



Figure III-3 : Stockage de pommes de terre en vrac ^[48].

IV.2.7.2 Le stockage en sacs de jute à grandes mailles :

La hauteur de stockage peut atteindre 3- 4m.si l'entrepôt frigorifique est équipé d'un système de ventilation forcée Dans le cas où la ventilation est naturelle, les sacs doivent être disposés en piles dont la largeur ne dépasse pas celle de deux sacs et la hauteur celle de six à huit sacs couchés.

Il faut, aussi, séparer les piles de sacs par un espace vide de 30 à 40 cm pour l'aération.



Figure III-4 : Stockage de pommes de terre en sacs ^[49].

IV.2.7.3 Le stockage en paloxes ou en caisses en plastique :

Ce système présente moins de risque de développement des maladies que le stockage en vrac.

Sa capacité de stockage par m³ est, néanmoins, relativement inférieure. Par ailleurs, il faut laisser des espaces vides :

- D'une part, entre les piles de paloxes ou de caisses et les parois de la chambre froide (murs, plafonds, portes).
- D'autre part, entre les piles de paloxes ou de caisses elles-mêmes.

La hauteur limite des piles ne doit pas dépasser celle à laquelle est placé l'évaporateur.



Figure III-5 : Stockage de pommes de terre en paloxes ^[50].

IV.3 La gestion de la qualité des pommes de terre en stock :

IV.3.1 Protéger de la lumière :

La pomme de terre est un tubercule, renflement d'une tige souterraine qui verdit et germe à la lumière.

- Éviter les éclairages directs et intenses.
- Couvrir de préférence boxes, rayons, étalages durant la nuit.

En verdissant, les pommes de terre produisent des toxines (glycoalcaloïdes) qui les rendent impropres à la consommation.

IV.3.2 Optimiser le stockage :

Il faut utiliser le principe de FIFO. Premières arrivées, premières sorties.

- Faire des rotations rapides (maximum 8 jours).
- Ajuster les commandes.
- Contrôler régulièrement la qualité.
- Limiter le stock tampon (48 heures maximum).
- Séparer les variétés, les références et les lots.

IV.3.3 Régulation de la température et de l'hygrométrie :

Après l'arrachage, il convient de sécher rapidement les tubercules et de les refroidir progressivement à 12- 15 C afin de favoriser la cicatrisation de leur épiderme.

Une fois que le local frigorifique est plein, on baissera progressivement la température des pommes de terre de 0,2 à 0,5 C par jour jusqu'à la température souhaitée. La température devra ensuite être la plus stable possible durant toute la durée du stockage.

La pomme de terre est un organisme vivant qui respire et produit du dioxyde de carbone (CO₂). Il ne faut pas laisser ce gaz s'accumuler dans les locaux de stockage afin d'éviter l'asphyxie des tubercules, surtout dans les locaux de stockage bien isolés. On veillera donc à renouveler l'air au moins une fois par jour. L'hygrométrie doit avoisiner les 80-90% afin de prévenir les pertes de poids qui peuvent être importantes si les pommes de terre sont stockées dans une atmosphère trop sèche.

Note : Il est impératif de réchauffer les tubercules avant toute manipulation car un tubercule froid est beaucoup plus sensible aux chocs.

IV.3.4 Température de stockage selon la variété :

Les variétés destinées à la transformation doivent être stockées à des températures plus élevées que celles destinées au marché du frais.

Pour une conservation courte (1 à 4 mois), on stockera les variétés industrielles à une température proche de 9 °C et pour une conservation plus longue (5 à 8 mois), on l'abaissera de 1 ou 2 degrés(s).

Les pommes de terre destinées au marché du frais (à chair ferme) ont généralement une dormance plus courte mais peuvent être stockées à une température plus basse pour retarder le développement des germes. On recommande généralement une température avoisinante 4,5 à 5 °C.

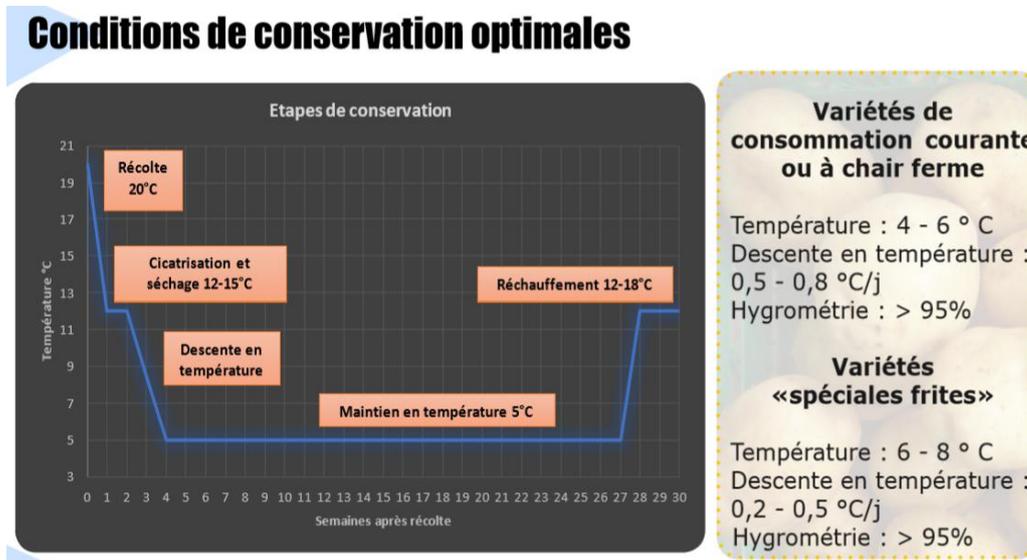


Figure III-6 : Conditions de conservations optimales selon les variétés ^[51].

IV.3.5 Préserver le produit :

La pomme de terre est sensible aux chocs. Soumises à des chocs, les cellules de pomme de terre sont lésées provoquant l'apparition de noircissement interne. Les taches apparaissent généralement un à trois jours après la lésion.

- Ne pas jeter les filets dans les boxes ou les Rolls grillagés.
- 20 cm de chute = noircissements internes.

IV.3.6 Surveillance de l'entrepôt :

Un bon programme d'entreposage doit comprendre des vérifications quotidiennes. S'assurer que les commandes du système de ventilation et les registres d'air fonctionnent bien, surtout quand il fait très froid et que la glace risque de s'accumuler.

- Vérifier la température de l'air et des tubercules à divers points de l'entrepôt avec un thermomètre précis.
- Pour connaître la température la plus élevée dans l'entrepôt, placer un thermomètre ou une sonde à température à un point situé de 50 à 100 cm au-dessous du sommet du tas.
- L'humidité relative peut être vérifiée en même temps avec un hygromètre ou un psychromètre.
- Surveiller les signes d'apparition de la pourriture molle (une odeur âcre comme celle de l'ammoniac) et la présence d'eau dans les conduits d'aération ou de dépressions et de points chauds dans le tas de pommes de terre.

IV.4 Paramètres de conception du stockage des pommes de terre :

Pour obtenir les meilleurs résultats en termes d'efficacité et d'économie, les entrepôts frigorifiques doivent être conçus et construits correctement. La première étape, lors de l'installation d'un entrepôt frigorifique, est la sélection d'un site approprié.

Le bâtiment de l'entrepôt frigorifique est une structure coûteuse et doit être considéré comme un bâtiment permanent. Par conséquent, le site doit être choisi en tenant compte de la planification à long terme des opérations de production et de l'expansion de l'usine.

IV.4.1 Structure des bâtiments de stockage :

Les fonctions de base des bâtiments de stockage sont les suivantes :

- La conservation du produit stocké.
- Protection de la marchandise contre les conditions climatiques.
- Fournir un micro-environnement dans lequel la température, la circulation de l'air, l'humidité relative et la composition de l'atmosphère peuvent être facilement contrôlées.

IV.4.1.1 Le bâtiment de stockage :

Doit être construit sur un sol bien drainé, à un endroit qui répond à toutes les exigences du propriétaire. Des dispositions doivent être prises pour le stationnement, la réception, l'expédition, le stockage des conteneurs vides, l'élimination des déchets et les extensions futures.

Les plans des bâtiments doivent être conçus en fonction de la nature et de la quantité du produit à stocker et à manipuler, de l'espace disponible, du type d'opération prévue et des coûts impliqués.



Figure III-7 : Bâtiment de stockage de pommes de terre [52].

Pour les plants et la consommation, le bâtiment doit être obscur, étanche, isotherme et ventilé. L'aire de conditionnement, si elle existe, doit être séparée de l'aire de stockage par une cloison étanche, isolée à la norme si le local de conditionnement n'est pas à cette norme. Un cloisonnement est également nécessaire si plus de 25 % de la surface du bâtiment sont occupés par une aire non utilisée pour le stockage. La pomme de terre est stockée en vrac (hauteur conseillée du tas 3,5 m) ou en caisses-palettes, sur un sol bétonné. Le circuit de ventilation doit être adapté au mode de stockage.

De façon générale, afin d'assurer une bonne unité de conservation (rapidité de remplissage et de déstockage, température de consigne variable), il est conseillé d'éviter de construire des bâtiments de trop grandes dimensions et de réaliser de préférence plusieurs cellules indépendantes dans le cas où le remplissage est susceptible de s'étaler sur plusieurs semaines [53].

IV.4.1.2 Isolation thermique :

Une isolation correcte aide le gestionnaire du magasin à maintenir les conditions environnementales correctes pour le stockage des pommes de terre.

Dans tout calcul d'isolation, ce sont les températures intérieures et extérieures qui sont utilisées, car la température réelle de la surface n'est pas généralement connue. Lorsque la chaleur va de l'intérieur vers l'extérieur, elle entre d'abord dans la structure, puis traverse la structure et enfin sort de la structure. Ces surfaces intérieures et extérieures offrent en fait une résistance au flux de chaleur et la valeur du coefficient de transfert de chaleur (U) doit être prise en compte. Cette résistance de surface peut être importante, en particulier dans le cas d'une structure mal isolée.

$$U = \frac{1}{\text{Somme totale des résistances thermiques}}$$

Où : U = transmission thermique, et

$$\text{Résistance thermique} = \frac{\text{Épaisseur du matériau}}{\text{Conductivité thermique du matériau}}$$

Pour les plants et la pomme de terre de consommation, elle doit être continue avec absence de ponts thermiques tant en parois qu'en plafond. Le coefficient de transmission de chaleur U global du bâtiment et des fondations doit être inférieur à 0,30 W/m² °C pour un bâtiment ventilé et à 0,25 W/m² °C pour un bâtiment réfrigéré sauf murs ou cloisons intérieurs d'un bâtiment déjà isolé à la norme de 0,30 W/m² °C.

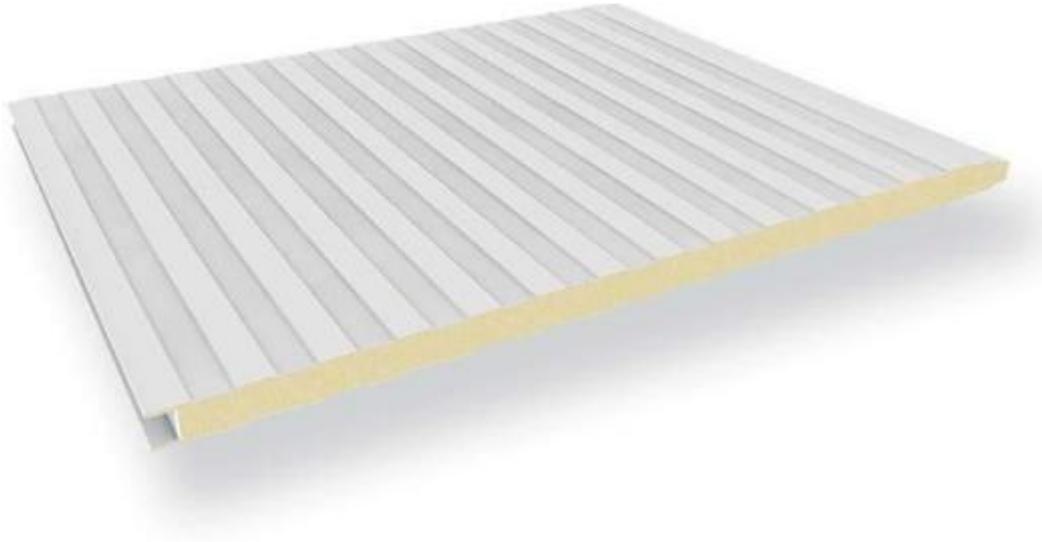


Figure III-8 : Unité d'isolation thermique. [54]

Lorsque les isolants thermiques sont placés à l'intérieur du bâtiment, une paroi de protection est nécessaire pour éviter toute détérioration de ces matériaux, sur une hauteur d'au moins 3,5 m en stockage vrac et de 2 m en stockage caisses.

IV.4.1.3 Résistance des parois à la poussée du tas :

Elle concerne uniquement les stockages en vrac. Pour une hauteur conseillée de 3,5 à 4 m, la poussée sur les parois est de l'ordre de 1 tonne par mètre linéaire.

La résistance des parois doit être adaptée pour résister à cette poussée. La hauteur maximale recommandée au chéneau pour la charpente est de 5,5 m en stockage vrac (hors fécule) et 9 m en stockage caisses. Lorsque la température de consigne visée est supérieure ou égale à 7°C (pommes de terre de transformation), il est possible de stocker les tubercules en caisses avec le seul recours à l'air extérieur en prenant alors en compte les prescriptions techniques du « Ventilation ».

IV.4.1.4 Protection contre l'humidité :

Les pare-vapeur sont importants pour un stockage de pommes de terre à forte humidité. Les méthodes les plus efficaces pour exclure l'humidité des matériaux d'isolation consistent à sceller l'isolation à l'aide des méthodes qui peuvent exclure l'humidité de l'isolation (Raghavan et Garipey, 1984).



Figure III-9 : Une installation du pare-vapeur [55].

A l'exception des polystyrènes extrudés et du polyuréthane projeté, tous les matériaux isolants doivent être protégés contre la pénétration d'humidité par un écran pare-vapeur placé sur chacune des deux faces du matériau [56].

IV.4.1.5 Plafond :

Un bon plafond est important dans tout entrepôt de pommes de terre, en particulier ceux qui ont un toit en treillis. L'espace au-dessus du plafond permettra une bonne ventilation pour l'isolation du plafond. La réduction de l'espace entre les pommes de terre et le plafond entraînera une moindre stratification des températures. Le plafond sera plus chaud pour réduire la possibilité de condensation de l'humidité.

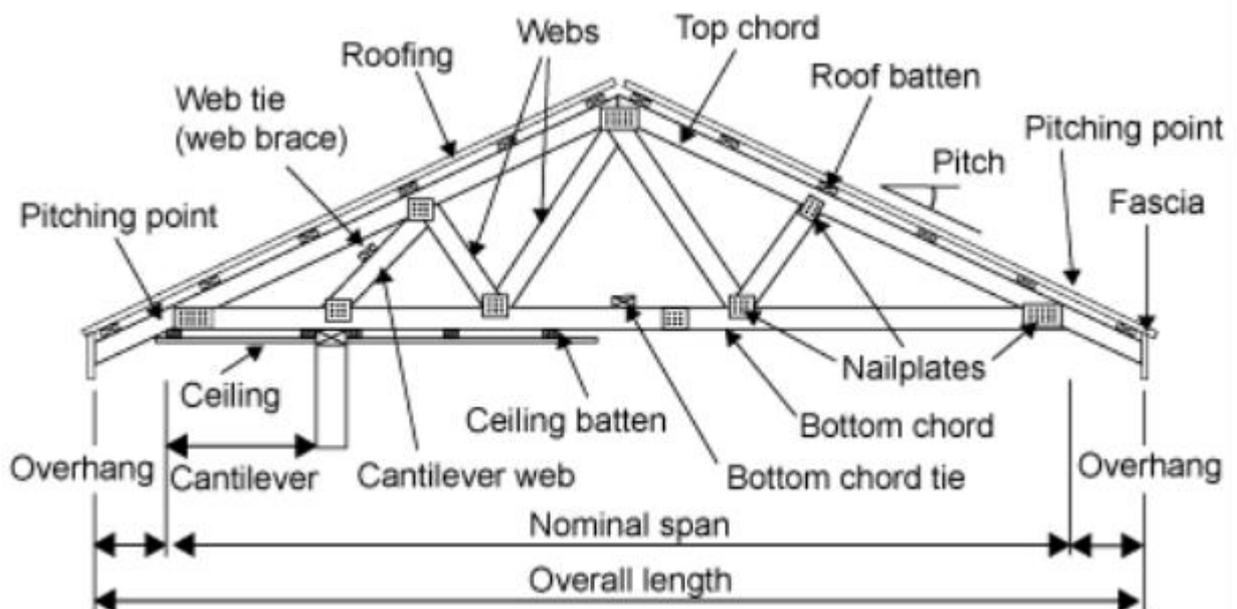


Figure III-10 : Conception d'un toit en treillis [57].

En colorant l'intérieur du plafond en noir, le plafond reste plus chaud qu'une surface de couleur claire. L'utilisation d'un matériau similaire à un mastic d'asphalte permettra de réduire le transfert d'humidité à travers le plafond tout en créant une surface rugueuse avec moins de chance de condensation. Le grenier (créé par le plafond) a besoin d'une surface de ventilation d'environ 1/50ème de la surface du plafond (Brook et al, 1995).

La condensation se produit sur une surface lorsque sa température descend en dessous du point de rosée de l'air avec lequel elle est en contact. La condensation se produit donc lorsque de l'air humide relativement chaud rencontre une surface froide. La condensation doit être évitée dans le stockage des pommes de terre pour trois raisons (Bishop et al, 1980) :

- ✓ Les surfaces de condensation éliminent l'humidité de l'air, qui est en grande partie remplacée par l'humidité de la culture ; chaque litre de condensation est donc une perte directe d'un kg de culture.
- ✓ La perte d'humidité d'une culture peut affecter son apparence et donc sa commercialisation.
- ✓ Si de la condensation se produit au plafond, l'eau peut s'égoutter dans la culture, la rendant plus susceptible de développer des maladies.
- ✓ La formation de condensation peut être évitée en assurant une bonne isolation des murs et du plafond ^[58].

IV.4.2 La ventilation :

Une capacité de ventilation suffisante et une répartition homogène de l'air sont nécessaires pour assurer une conservation de longue durée.

Pour l'utilisation de l'air extérieur, en dehors des stockages féculé pour lesquels la ventilation doit essentiellement permettre de sécher les tubercules après récolte et les maintenir à une température de consigne, les installations destinées aux plants ou à la pomme de terre de consommation doivent permettre :

- D'introduire l'air extérieur en mélange à l'air intérieur.
- De ventiler en circuit fermé avec l'air intérieur au stockage.
- De contrôler l'hygrométrie de l'air extérieur introduit.

IV.4.2.1 Capacité de ventilation :

Pour un stockage vrac (Base retenue : 1 m³ de pommes de terre = 650 kg), elle doit être de 100 m³/h par m³ de pommes de terre. Il est préférable de choisir des ventilateurs de type hélicoïdal, fournissant un grand débit d'air sous faible pression (15 mm de colonne d'eau). Ceux-ci doivent être équipés de clapets anti-retours lorsqu'ils sont mis en œuvre dans un couloir technique.



Figure III-11 : Système de ventilation dans un entrepôt de stockage en vrac ^[59].

Lorsque les pommes de terre sont mises en caisses dès la récolte une introduction d'air extérieur par dispositif de mélange d'air ou extracteur d'air peut être utilisée avec un débit allant jusqu'à 60 m³ /h par m³ de pommes de terre stockées. En phase de conservation et d'utilisation du groupe froid un débit de 30 à 40 m³ /h par m³ de pommes de terre stockées est suffisant.

IV.4.2.2 Nuisances sonores :

Le bâtiment devra respecter la législation en vigueur en matière de nuisance sonore (émergence inférieure à 3 dB la nuit et à 9 dB le jour) au niveau des habitations les plus proches du stockage.

IV.4.2.3 Orientation :

La meilleure façon de placer un entrepôt de pommes de terre est d'est à l'ouest avec les longues dimensions orientées nord à sud.

De cette façon, le soleil levant et couchant brille contre les murs les plus courts.

IV.4.3 Régulation de la ventilation :

Elle doit être automatique, afin d'assurer le refroidissement des tubercules de manière contrôlée en disposant d'une information satisfaisante de leur température (1 sonde de tas pour 150 à 200 t stockées et au minimum 2 sondes par tas) et la valeur de l'air ventilé.

Pour les plants et pommes de terre de consommation, la température de l'air introduit dans le stockage se fera par le principe du mélange d'air (ventilation air extérieur avec mis en place d'une

sonde de température « de gaine »), qu'il s'agisse d'un stockage vrac ou en caisses, ou par le fonctionnement d'un groupe frigorifique (réfrigération).

Lorsque le stockage en caisses réfrigéré n'utilise pas l'air extérieur, il doit cependant disposer d'un dispositif de renouvellement d'air d'au moins 5 m³ /t par jour. Celui-ci sera assuré par un extracteur positionné en partie basse du bâtiment.

Les boîtiers de régulation devront permettre une sauvegarde des données de conservation sur au moins une campagne de conservation à raison d'au moins un enregistrement journalier des paramètres de stockage.

IV.4.3.1 Régulation de l'hygrométrie :

Les installations de ventilation utilisant l'air extérieur pour les plants ou la pomme de terre de consommation doivent être régulées en intégrant le facteur hygrométrie dans cette régulation avec l'ajout d'une sonde d'hygrométrie extérieure.



Figure III-12 : Capteur / Sonde d'hygrométrie (humidité) extérieure ^[60].

Des dispositifs d'humidification d'air pourront être également installés au mieux dans le flux d'air créé par la ventilation de façon à éviter tout risque d'écoulement d'eau dans le tas de tubercules. Leur utilisation sera également régulée par l'automate du bâtiment avec la mise en place d'une sonde d'hygrométrie intérieure fiable.

Afin de garantir dans le temps une bonne régulation du stockage, il est recommandé de prévoir au moins un étalonnage annuel des différentes sondes de régulation (température et hygrométrie) ^[61].

IV.5 Les capacités de stockage en Algérie :

La société des Entrepôts Frigorifiques de la Méditerranée (FRIGOMEDIT) a été créée à la faveur de la résolution n°05/102/17/03/2010 du Comité de Participation de l'Etat en vue du développement des capacités de stockage frigorifique.

FRIGOMEDIT est composé de 7 filiales :



Figure III-13 : Les filiales de FRIGOMEDIT [62].

La vocation principale de cette entreprise est :

- De fournir des capacités d'entreposage de produits nationaux destinés à l'approvisionnement du marché national ou pour l'exportation.
- De contribuer à la régulation du marché pour les produits prioritaires et la constitution de stocks de sécurité alimentaire de produits de consommation et des semences.

L'Etat a initié un programme national pour la construction de chambres froides en mobilisant un budget de 100 milliards DA. Dans le cadre de ce programme, les stockeurs bénéficient de 50% de soutien de l'Etat et des crédits sans intérêt.

Aujourd'hui, le pays compte plus de 60 opérateurs privés possédant des complexes frigorifiques. Le secteur public est propriétaire de 21 unités de stockage dont 12 sont opérationnelles.

L'objectif visé est la réalisation de 1 million de m³ de froid positif et négatif.

Les infrastructures dont la capacité est supérieure à 10 000 m³ sont récapitulées dans le tableau suivant :

Commune	Wilaya	Type	Capacité (m ³)
ADRAR	ADRAR	Entrepôt de collecte	15 000
DJELIDA	AIN DEFLA	Entrepôt de collecte	30 000
AIN TEMOUCHENT	AIN TEMOUCHENT	Entrepôt de collecte	10 000
BERRAHAL	ANNABA	Plateforme logistique	30 000
BATNA	BATNA	Entrepôt moyenne capacité	10 000
BECHAR	BECHAR	Entrepôt moyenne capacité	10 000
BEJAIA	BEJAIA	Plateforme logistique	20 000

BISKRA	BISKRA	Entrepôt de collecte	20 000
BOUFARIK	BLIDA	Plateforme logistique	30 000
BORDJ BOU ARRERIDJ	BORDJ BOU ARRERIDJ	Entrepôt Moyenne capacité	10 000
AIN BESSEM	BOUIRA	Plateforme logistique	20 000
BOUDOUAOU	BOUMERDES	Entrepôt de collecte	20 000
CHLEF	CHLEF	Plateforme logistique	30 000
EL OUED	EL OUED	Entrepôt de collecte	20 000
GHARDAIA	GHARDAIA	Entrepôt Moyenne capacité	10 000
LAGHOUAT	LAGHOUAT	Entrepôt Moyenne capacité	10 000
BENI SLIMANE	MEDEA	Plateforme logistique	20 000
MILA	MILA	Entrepôt Moyenne capacité	10 000
AIN NOUISSI	MOSTAGANEM	Entrepôt de collecte	15 000
M'SILA	M'SILA	Plateforme logistique	15 000
BIR EL DJIR	ORAN	Plateforme logistique	30 000
OUARGLA	OUARGLA	Entrepôt de collecte	15 000
RELIZANE	RELIZANE	Entrepôt Moyenne capacité	10 000
SETIF	SETIF	Plateforme logistique	30 000
EL HARROUCH	SKIKDA	Entrepôt de collecte	15 000
TIARET	TIARET	Plateforme logistique	15 000
TIZI OUZOU	TIZI OUZOU	Entrepôt Moyenne capacité	10 000
TLEMCEN	TLEMCEN	Plateforme logistique	30 000

Tableau III-1 : Liste des infrastructures par wilaya dont les capacités sont supérieures à 10 000 m³ [63].

IV.6 La répartition des infrastructures dans le territoire national :

La carte ci-dessous montre la répartition des infrastructures de FRIGOMEDIT (en projet et en réalisation et ayant une capacité supérieure à 10 000 m3).

Les entrepôts de collecte au nombre de 9, seront situés dans les zones de production agricole : 3 à l'ouest (AIN DEFLA, AIN TEMOUCHENT, MOSTAGANEM), 1 au centre (BOUMERDES), 1 à l'est (SKIKDA) et 4 au sud (ADRAR, BISKRA, EL OUED, OUARGLA).

Les plateformes logistiques (11) seront situées aux principaux nœuds principaux du réseau routier national. Ils ont été convenablement implantés pour couvrir le territoire national (bien que la plateforme d'Oran aurait plus efficace si elle avait été implantée un peu plus au sud sur l'autoroute, et qu'une plateforme à Constantine et une à Biskra auraient mieux couvert l'est).

29 entrepôts de capacités variant entre 4 000 et 10 000 m3 seront implantés sur tout le territoire national. Sur la carte, les entrepôts ayant une capacité de 10 000 m3 sont représentés (BECHAR, BORDJ BOU ARRERIDJ, GHARDAIA, LAGHOUIAT, MILA, RELIZANE, TIZI OUZOU). Ces infrastructures, une fois opérationnelles, permettront d'améliorer la collecte, le stockage et la distribution de la production agricole.

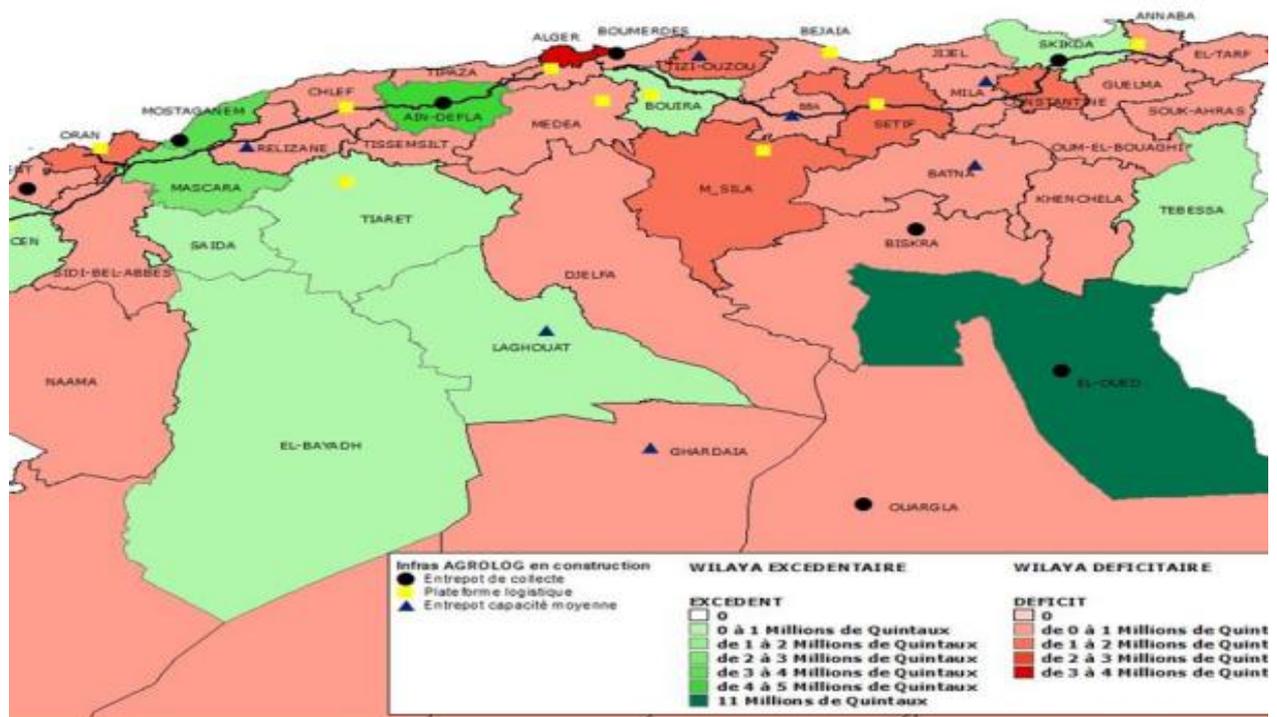


Figure III-14 : Localisation des infrastructures en cours de construction ^[64].

IV.7 La production de pommes de terre 2008-2017 :

Année	Total Superficie	Total Production	Rendement	Population	Disponibilité
2008	80 828	19 374 161	240	34 591 000	56,0
2009	91 986	23 409 822	254	35 268 000	66,4
2010	107 213	29 710 501	277	35 978 000	82,6
2011	119 956	35 002 228	292	36 717 000	95,3
2012	119 357	37 268 231	312	37 495 000	99,4
2013	137 053	42 559 421	311	38 297 000	111,1
2014	132 597	41 031 570	309	39 114 000	104,9
2015	124 722	38 788 049	311	39 963 000	97,1
2016	132 045	41 689 412	316	40 631 500	102,6
2017	129 821	41 342 662	318	41 750 000	99,0

Tableau III-2 : La production de pommes de terre 2008-2017 ^[65].

- Production : quintaux
- Superficie : Hectare (Ha)
- Rendements : (quintaux/ha)
- Population disponibilité (Kg/hab./an)

Alors que la production annuelle de pommes de terre en Algérie est suffisante avec un taux de disponibilité de 99 kg par habitant par an pour satisfaire la demande au niveau du territoire local, mais reste très loin d'attendre le niveau où elle sera capable à exporter ce produit afin de générer un chiffre d'affaire important.

Ayant établi que le pays est relativement capable de satisfaire le besoin local de pommes de terre, on est incontestablement sous-performant au niveau du stockage des pommes de terre produites.

On peut clairement observer dans le tableau ci-dessus que les capacités de stockage sont vraiment limitées et vraiment faibles par rapport à la production annuelle.

Avec 1 million de mètres cubes de capacité d'entreposage frigorifique disponible en Algérie et un taux de production annuel bien supérieur à 40 millions de quintaux par an, on peut constater que le taux de couverture est très insuffisant qui se mesure à seulement 4 % de la production annuelle.

CHAPITRE IV

V CHAPITRE IV : Modèle hebdomadaire de la gestion de la distribution entre un réseau d'entrepôts et les marchés de consommations.

V.1 Le stock de pomme terre en Algérie :

V.1.1 Introduction :

Le stockage est une fonction de commercialisation importante, qui consiste à conserver et à préserver les marchandises depuis leur production jusqu'à leur consommation. Le stockage des marchandises, par conséquent, du moment de la production au moment de la consommation, assure un flux continu de marchandises sur le marché.

La fonction de stock protège la qualité des produits périssables et semi-périssables contre la détérioration. Elle contribue également à la stabilisation des prix en ajustant la demande et l'offre.

Le stockage est nécessaire pendant une certaine période pour l'accomplissement d'autres fonctions de commercialisation. Il fournit aussi un emploi et un revenu grâce à des avantages de prix.

V.1.2 L'Avantage des stocks :

L'entrepôt fournit les installations nécessaires pour stocker les marchandises lorsqu'elles ne sont pas nécessaires à la vente.

Il assure la protection des marchandises, garantit leur sécurité et évite le gaspillage. Il minimise les pertes dues à la casse, à la détérioration de la qualité, à l'altération... etc. Les entrepôts adoptent généralement les dernières technologies pour éviter les pertes.

Le stock rend possible des flux réguliers de matériaux, De nombreuses marchandises comme le riz, le blé...etc. sont produites pendant une saison particulière mais sont consommées tout au long de l'année.

L'entreposage assure un approvisionnement régulier de ces produits saisonniers tout au long de l'année.

V.1.3 La situation de stock agricole en Algérie :

L'entreposage de froid minimise les pertes de stockage dans les produits agricoles. Les entrepôts et les chambres froides pour les produits agricoles permettent d'éviter la vente forcée de ces produits par les agriculteurs pendant la saison de récolte et d'assurer un approvisionnement continu des produits essentiels. C'est-à-dire les céréales alimentaires, les fruits, les légumes, etc. aux consommateurs en dehors de la saison.

Le manque de chambres froides et de moyens de la chaîne du froid devient un obstacle majeur à l'exploitation du potentiel de production en Algérie.

Bien que les efforts se soient concentrés sur l'amélioration de la production et l'amélioration de la chaîne d'approvisionnement alimentaire, les pertes restent un problème relativement négligé. Il est difficile de chiffrer la quantité de nourriture perdue et gaspillée en Algérie aujourd'hui en raison du manque d'infrastructures adéquates.

Le pays ne dispose pas d'une chaîne d'approvisionnement efficace pour la distribution des fruits et légumes. Il est évident qu'un grand nombre de produits sont gaspillés en raison des pertes post-récolte, ce qui entraîne une faible disponibilité des fruits et légumes pour les consommateurs et la nécessité de les importer.

Il y a un manque d'infrastructures de base ainsi que d'infrastructures spécialisées telles que les entrepôts frigorifiques, les fourgons frigorifiques, les chaînes de froid, les chambres de maturation...etc. Il manque également un lien entre la production et le système de recherche et les consommateurs, Le système manque d'informations sur le marché, de recherche et de renseignements.

Les pertes après la récolte sont dues à la mauvaise infrastructure de stockage et à l'absence d'organisation de la vente au détail. Des observations récentes montrent que les agriculteurs algériens sont toujours confrontés à des difficultés telles qu'un climat incertain, une faible pluviométrie, des installations de stockage inappropriées, l'absence de main-d'œuvre qualifiée, le manque de services agricoles et le manque de technologie.

V.1.4 L'importance de stockage pour les pommes de terre :

La qualité de la pomme de terre et sa durée de conservation sont réduites par la perte d'humidité, la pourriture et la dégradation physiologique. Ces détériorations sont directement liées à la température de stockage, à l'humidité relative, à la circulation de l'air et à la composition des gaz.

Pour tenter d'obtenir le stockage souhaité de nombreux systèmes ont été développés au fil des ans en fonction de leur situation géographique, le volume produit, la demande des consommateurs et les stratégies de marketing.

La pomme de terre étant un organisme vivant elle nécessite une gestion efficace de son stockage, La qualité des pommes de terre ne peut pas s'améliorer pendant le stockage. La prévention des chocs est un élément important pour maintenir la qualité des pommes de terre en limitant la perte de poids et les maladies de stockage.

L'objectif du stockage est de maintenir les tubercules dans leur état le plus consommable et le plus commercialisable et d'assurer un flux uniforme de tubercules vers les usines de commercialisation et de transformation tout au long de l'année.

Les quatre variables permettant de déterminer les pertes de stockage sont la variété de pomme de terre, les conditions de pré-stockage, les conditions de stockage et la durée de stockage. Il faut savoir que les pertes de stockage ne peuvent être évitées même par un stock optimal.

Les pertes en stock sont principalement causées par des processus tels que la respiration, la germination, l'évaporation de l'eau des tubercules, la propagation de maladies, les modifications de la composition chimique et des propriétés physiques du tubercule et les dommages causés par des températures extrêmes. Ces processus sont influencés par les conditions de stockage. Toutes les pertes mentionnées dépendent des conditions de stockage et peuvent donc être limitées par le maintien de conditions favorables dans l'entrepôt.

Toutefois, la conservabilité des pommes de terre est déjà déterminée avant le début du stockage, par des facteurs tels que les techniques de culture, le type de sol, les conditions climatiques pendant la croissance, les maladies avant la récolte, la maturité des pommes de terre au moment de la récolte, les dommages causés aux tubercules lors de leur arrachage, du transport et du remplissage au magasin.

V.1.5 Le stockage de la pomme de terre en Algérie :

Après avoir établi la nécessité et l'importance du stockage pour l'industrie de la pomme de terre, on penserait que cela se traduirait sur le terrain et se matérialiserait par des améliorations concrètes sur la capacité du stockage de froid pour les produits agroalimentaires en générale et la pomme de terre en particulier. Malheureusement ce n'est pas le cas, les installations de stockage du froid en Algérie sont presque inexistantes.

Le pays possède actuellement un million de mètres cubes de stockage du froid, pour le mettre en contexte cet espace de stockage peut à peine couvrir 4 % de la production nationale annuelle estimée à environ 42 millions de quintaux.

Ces 42 millions qui atteignant à peine l'autosuffisance, on voit bien qu'il s'agit d'un problème majeur car même aujourd'hui, le pays a du mal à fournir l'espace de stockage pour la production actuelle disponible.

La résolution de ce problème est un élément crucial du développement du secteur de la pomme de terre, le manque d'espace de stockage est actuellement paralysant pour les agriculteurs et empêche d'améliorer encore la production. Car même aujourd'hui, les agriculteurs rencontrent des difficultés pour distribuer rapidement les produits récoltés car ils ne savent pas où les stocker autrement.

Si le problème du manque de stockage n'est pas résolu, il ne sera pas possible de passer à l'étape suivante dans l'industrie de la pomme de terre et de commencer à exporter de grandes quantités qui auront des avantages économiques importants et qui atteindra peut-être un jour un certain niveau lorsqu'elle deviendra une source de revenus fiable à côté de l'exportation d'hydrocarbures.

Ce problème peut être considéré comme l'une des causes principales des fluctuations du prix des pommes de terre. La corrélation est évidente, lorsque l'on ne dispose pas d'un local pour stocker les pommes de terre produites, l'alternative devient alors de vendre ces récoltes le plus rapidement possible pour éviter de perdre le produit entièrement.

L'absence de chambres froides affecte les quantités de pommes de terre sur le marché à un moment donné, il faudrait compter sur les dates de récoltes pour correspondre à la demande du marché avec une immense précision qui est évidemment impossible à réaliser, ce qui est le cas sur le marché

algérien en ce moment. Ce genre de problème conduit directement à des fluctuations de prix comme sur le marché algérien.



Figure IV- 1 : Prix de la pomme de terre fraîche (détail, moyenne nationale)^[66].

On peut donc conclure que Le stockage est un facteur important pour réguler la disponibilité des pommes de terre sur le marché en dehors des périodes de récolte.

V.1.6 L'effet de transport et l'objectif de mémoire :

L'étape suivante de la commercialisation des pommes de terre est le secteur du transport, que ce soit depuis les zones de production vers les entrepôts ou depuis les zones de stockage principales vers les zones intermédiaires, ou directement vers le marché. Le facteur de transport reste un élément essentiel de la chaîne d'approvisionnement de tout produit et les pommes de terre ne sont pas différentes.

Les coûts de transport ne sont pas toujours uniformes, ils peuvent également subir des fluctuations diverses. Les quantités transportées par chaque camion ainsi que les destinations des produits ont une influence sur le prix.

Pour une distribution bien organisée, nous avons donc établi les deux principaux éléments, le stockage et le transport.

L'objectif de ce mémoire est de réguler le flux de sortie des entrepôts de stockage vers les zones de consommation dans un horizon tactique-opérationnel. Pour cela il s'agit de faire une étude de la gestion d'approvisionnement stable du marché en optimisant la distribution par voie de transport vers des zones de marche de gros.

V.2 Problématique :

Notre démarche déclarative pour la résolution du problème de planification d'une chaîne logistique basée sur la programmation par contraintes.

On va passer sur quelques étapes pour résoudre ce problème :

- Il faut préciser le problème que l'on veut résoudre.
- Modélisation basique de notre problème.
- On passe au modèle mathématique qui correspond à notre modélisation de base.
- On choisit suivant un outil informatique qui nous aidera à résoudre le problème.
- Lorsqu'on obtient les résultats, on va ensuite les discuter pour tirer des conclusions sur notre travail.

V.2.1 Présentations de Notre Problème :

Pour résoudre le problème en question, nous devons d'abord définir la nature de ce problème. La première étape consiste à le décrire d'une manière simple et facile à comprendre, et ensuite nous pouvons tenter de le résoudre.

La pomme de terre fait partie des produits alimentaires à large consommation en Algérie. Et bien qu'il soit l'un des aliments les plus consommés sur le territoire national, il est confronté à de nombreux problèmes liés aux fluctuations des prix d'une période à l'autre.

Cela entraîne l'incapacité du citoyen moyen à l'acheter régulièrement. En plus des fluctuations des prix, la qualité n'est pas toujours dans les normes en ce qui concerne les pommes de terre sur les rayons du marché.

Les principales raisons de ces dysfonctionnements dans le secteur de la pomme de terre sont les suivantes :

Le premier problème qui peut se poser se situe dans la première partie de la chaîne de production qui est l'agriculteur en ne suivant pas les bonnes procédures et normes nécessaires à la plantation de pommes de terre.

Des exemples de violation des bonnes normes est de ne pas suivre la rotation de sol dans les différentes périodes de plantations, le choix d'une mauvaise variété par rapport au sol de plantation, le fait de ne pas respecter les périodes d'arrosage optimal...

Un autre problème qui se pose est que les pommes de terre doivent être manipulées dans une chaîne du froid depuis le moment de la récolte en passant par le transport dans des camions frigorifiques jusqu'au moment de leur entreposage dans les chambres froides.

Tout cela n'est pas respecté dans le secteur algérien de la pomme de terre, ou en tout cas pas aussi bien qu'il devrait l'être. Pour des raisons diverses, principalement en raison du manque de capacité d'entreposage et de l'absence d'un système de transport bien organisé pour les produits agricoles.

De l'autre côté du spectre, en considérant la partie distribution après que les pommes de terre aient été entreposées dans les chambres froides. Le problème du transport vers le marché se pose, les fournisseurs des grands entrepôts n'ont pas des plans de distribution organisés. Ce qui signifie que des frais supplémentaires seront ajoutés, ce qui entraîne une augmentation du prix.

En raison du transport non organisé, certaines zones de marché arrivent à satisfaire leur demande ou même à la dépasser, ce qui se traduit par une baisse des prix des pommes de terre, tandis que d'autres zones de marché ne satisfont pas la demande des clients, ce qui entraîne une augmentation des prix.

Ces pratiques inadéquates dans le noyau structurel de la chaîne de distribution génèrent les fluctuations de prix que le marché algérien a pris l'habitude d'avoir.

Pour équilibrer la consommation par rapport à la demande, l'objectif de ce mémoire est de réguler le flux de sortie des entrepôts de stockage vers les zones de consommation dans un horizon tactique-opérationnel.

Pour cela il s'agit de faire une étude de la gestion d'approvisionnement stable du marché en optimisant la distribution par voie de transport vers des zones de marche de gros dans un horizon d'une semaine.

À partir de notre étude En chercherait les quantités exactes de pomme de terre nécessaire qui sortent depuis les grands entrepôts vers les entrepôts de taille moyenne et ensuite vers le marché de gros.

On va ensuite essayer de minimiser les différentes charges nécessaires à la distribution pour satisfaire la demande du client.

V.2.2 Modélisations de notre problème :

A première étape de la modélisation et de la résolution d'un problème consiste à décrire le problème en langage naturel, en identifiant les variables de décision et les contraintes placées sur ces variables.

Décrivez le problème en langage naturel. Répondez à ces questions :

- Quelles sont les informations connues dans ce problème ?
- Quelles sont les variables ou les inconnues de ce problème ?
- Quelles sont les paramètres qui nous permettent de résoudre le problème ?
- Quelles sont les contraintes placées sur ces variables ?
- Quel est l'objectif ?

V.2.2.1 Quelles sont les informations connues dans ce problème ?

- Il faut d'abord spécifier les variétés les plus consommées et leur calibre sur le territoire national.
- Les zones de stockages disponibles dans le territoire national ainsi que les degrés de la conservation au froid et les charges du transport.
- La chaîne de distribution actuelle de pomme de terre et son fonctionnement.
- Les capacités de stockage de chaque entrepôt dans les zones de stockage disponibles (Grands, taille moyenne et marché de gros.)

CHAPITRE IV : Modèle hebdomadaire de la gestion de la distribution entre un réseau d'entrepôts et les marchés de consommations.

- Les prix d'achat depuis les zones de récolte et les prix de vente au marché du gros pour chaque période.
- La demande du marché algérien de pomme de terre.

V.2.2.2 Quelles sont les variables ou les inconnues de ce problème ?

- La quantité de la pomme de terre transportée depuis les grands entrepôts principale vers les entrepôts de taille moyenne.
- La quantité de la pomme de terre transportée depuis les entrepôts de taille moyenne vers le marché de gros.
- La quantité de pomme de terre qui est livrée vers les marchés de gros.
- Le nombre des camions nécessaires pour transporter les quantités exactes depuis les grands entrepôts principaux vers les entrepôts de taille moyen.
- Le nombre des camions nécessaires pour transporter les quantités exactes depuis les entrepôts de taille moyen vers les marchés de gros.
- La quantité restant dans les entrepôts de taille moyenne après la distribution vers le marché de gros.

V.2.2.3 Quelles sont les paramètres qui nous permettent de résoudre le problème ?

- La capacité des grands entrepôts principale (Tonnes).
- La capacité des entrepôts de taille moyenne (Tonnes).
- Les couts de transport unitaires de la pomme de terre (DA/Km).
- Les couts unitaires de stockage de pomme de terre (DA/ Tonne).
- La demande de marché de gros qui se fait selon les variétés et le calibrage (Tonnes).
- Le prix unitaire de vente (DA/tonnes).
- Le prix unitaire d'achat (DA/tonnes).
- Le stock initial des grands entrepôts.
- Le stock initial des entrepôts de taille moyenne.
- La capacité des camions de transport de pomme de terre.

V.2.2.4 Quelles sont les contraintes placées sur ces variables ?

- La quantité sortant depuis les grands entrepôts vers les entrepôts de taille moyenne doit être inférieur ou égale au stock initial des grands entrepôts.
- Il faut que les quantités entrantes et sortantes ne dépassent pas la capacité de l'entrepôt.
- La somme totale des quantités transportés depuis les entrepôts de taille moyenne vers le marché de gros doit être égale à la quantité livrer depuis les entrepôts de taille moyenne vers le marché de gros.
- La quantité de pomme de terre distribuée doit être égale au nombre des camions disponible multiplier aux leur capacités.
- La quantité de pomme de terre a livré depuis le marché de gros doit satisfaire la demande des clients.

V.2.2.5 Quel est l'objectif ?

Notre objectif, à partir de cette étude est de minimiser les différentes charges nécessaires à la distribution pour satisfaire la demande du client. En cherchant les quantités exactes de pomme de terre nécessaire qui sortent depuis les grands entrepôts vers les entrepôts de taille moyenne et ensuite vers le marché de gros.

V.3 Modèle mathématique :

La transformation du problème qui se pose par un modèle mathématique est la première étape concrète de notre recherche, nous avons commencé par quelques expressions mathématiques simples et nous les avons améliorés au fur et à mesure de la collecte de données. Ce modèle a été modifié à chaque fois jusqu'à ce que nous trouvions finalement le bon modèle.

V.3.1 Les indices :

- i : L'indice qui définit les grands entrepôts principaux de stockage de pomme de terre depuis les zones de production.
- j : l'indice qui définit les entrepôts de taille moyenne de pomme de terre qui sont situés au milieu de la chaîne de distribution qui relie entre les grands entrepôts et le marché de gros.
- k : L'indice qui définit le marché de gros, c'est-à-dire la zone de stockage de client.
- p : l'indice des variétés de pomme de terre utilisées.
Il ya plus de centaine de variété de pomme de terre qui ce peut être produite dans l'Algérie, on a choisi les 4 variétés qui circule le plus dans le territoire national.
De ces quatre variétés on peut distinguer deux types (Rouge et jaune).
 - Pomme de terre rouge : Désirée, Kondor.
 - Pomme de terre jaune : Spunta, Fabula.
- c : L'indice du calibre de pomme de terre (la taille du tubercule).
Le calibre est généralement dépendu de plusieurs critères qui peuvent influencer sur lui.
L'un des critères le plus important et influant sur le calibre est la variété planter.
C'est généralement très compliquer de définir le calibre de manière précis donc on nous faire satisfaisons par les notations suivantes. (Calibre petit, calibre moyen, calibre grand)

V.3.2 Les paramètres :

- ❖ CaG_i : La capacité des grands entrepôts principale des stockages de pomme de terre qui est récolté depuis les zones de plantation.
Ces entrepôts jouent le rôle de fournisseur principal de toute la chaîne de distribution.
- ❖ CaP_j : La capacité des entrepôts de taille moyenne qui sont situés au milieu entre les grands entrepôts et le marché de gros.
Ces entrepôts représentent la clé qui permet de relier ces deux maillons de la chaîne de distribution.

- ❖ CTA_{ij} : Les couts de transport unitaires de la pomme de terre depuis les grands entrepôts (i) vers les entrepôts de taille moyenne (j). Qui se mesure en (DA/Km)
- ❖ CTB_{jk} : Les couts de transport unitaires de la pomme de terre depuis les entrepôts de taille moyen (j) vers le marché de gros (k). Qui se mesure en (DA/Km).
- ❖ CtS_j : Les couts unitaire de stockage de pomme dans les entrepôts de taille moyenne (j) qui se mesure en (DA/ Tonne).
- ❖ D_{kpc} : La demande de marché de gros (k) qui se fait selon les variétés (P) et le Calibrage (C). (En tonne).
- ❖ CtV_{pc} : Le cout unitaire de vente (DA/tonnes).
- ❖ CtA_{pc} : Le cout unitaire d'achat (DA/tonnes).
- ❖ SO_{ipc} : Le stock initial des grands entrepôts (i) de pomme de terre qui contient ces propres variétés (P) et ces propres calibres (C). En (tonnes)
- ❖ $S1_{jpc}$: Le stock initial des entrepôts de taille moyenne (j) de pomme de terre qui Contient ces propres variétés (P) et ces propres calibres (C). En (tonnes).
- ❖ Cp_1 : La capacité des camions de transport de pomme de terre depuis les grands entrepôts (i) vers les entrepôts de taille moyenne (j). Elle se mesure en (Tonnes). Dans notre étude on a choisi des camions de capacité de 20 tonnes.
- ❖ Cp_2 : La capacité des camions de transport de pomme de terre les entrepôts de taille moyenne (j) vers le marché de gros (K) elle se mesure en (Tonnes). Dans notre étude on a choisi des camions de capacité de 6 tonnes.

V.3.3 Les variables :

- ✓ X_{ijpc} : La quantité des produits transportés depuis les grands entrepôts principale (i) vers les entrepôts de taille moyenne (j) selon la variété (P) et le calibre (C). « En tonnes »
- ✓ Y_{jkpc} : La quantité des produits transportés depuis les entrepôts de taille moyenne (j) vers le marché de gros (k) selon la variété (P) et le calibre (C). « En tonnes »
- ✓ Q_{Lkpc} : La quantité de pomme de terre livrée vers le marché de gros selon la variété (P) et le calibre (C).

- ✓ NA_{ijpc} : Un nombre entier qui définit le nombre des camions de transports de pomme de terre depuis les grands entrepôts (i) vers les entrepôts de taille moyenne (j).
- ✓ NB_{jkpc} : Un nombre entier qui définit le nombre des camions de transports de pomme de terre depuis les entrepôts de taille moyenne (j) vers le marché de gros (k).
- ✓ $S2_{jpc}$: La quantité qui reste au stock des entrepôts de taille moyenne (j) de pomme de terre qui contient ces propres variétés (P) et ces propres calibres (C). Après la distribution au gros marché.

V.3.4 La fonction objective :

Dans notre étude, nous avons essayé de conceptualiser une petite chaîne de distribution de pommes de terre qui contient trois éléments essentiels qui sont :

- Les grands entrepôts principaux (i) qui jouent le rôle de fournisseurs pour les entrepôts de taille moyenne(j).
- Les entrepôts de taille moyenne(j) qui est l'entrepôt qui relie entre les grands entrepôts (i) et le marché de gros (k).
- Le marché de gros (k) qui est le dernier élément de notre chaîne de distribution, son rôle est de livrer les pommes de terre au marché de détail ou aux clients.

Notre objectif, à partir de ce modèle, est de minimiser les différentes charges nécessaires à la distribution pour satisfaire la demande du client (D).

En cherchant les quantités exactes de pomme de terre nécessaire (X) qui sortent depuis les grands entrepôts vers les entrepôts de taille moyenne (Y) et ensuite vers le marché de gros.

$$\begin{aligned}
 Z = & \text{Min} \left(\sum_{k=0}^K \sum_{p=0}^P \sum_{c=0}^C QL_{kpc} * CtA_{pc} \right. \\
 & + \left(\sum_{i=0}^I \sum_{j=0}^J \sum_{p=0}^P \sum_{c=0}^C X_{ijpc} * CTA_{ik} \right) \\
 & + \left(\sum_{j=0}^J \sum_{k=0}^K \sum_{p=0}^P \sum_{c=0}^C Y_{jkpc} * CTB_{jk} \right) \\
 & \left. + \left(\sum_{j=0}^J CtS_j \right) \right).
 \end{aligned}$$

V.3.5 Les contraintes :

$$1) \sum_{j=0}^J X_{ijpc} \leq S0_{ipc} \quad \forall i \forall p \forall c$$

La quantité sortant (X) depuis les grands entrepôts (i) vers les entrepôts de taille moyenne (j) doit être inférieure ou égale au stock initial des grands entrepôts (S0) selon la variété (P) et le calibre (C).

$$2) \sum_{i=0}^I \sum_{p=0}^P \sum_{c=0}^C X_{ijpc} - \sum_{k=0}^K \sum_{p=0}^P \sum_{c=0}^C Y_{jkpc} + \sum_{p=0}^P \sum_{c=0}^C S1_{jpc} \leq CaP_j \quad \forall j$$

La quantité qui restera dans les entrepôts de taille moyenne (j) après la livraison vers le marché de gros (k) ne doit pas dépasser la capacité de stockage de cet entrepôt (j).

$$3) \sum_{i=0}^I (X_{ijpc} + S1_{jpc}) - \sum_{k=0}^K Y_{jkpc} = S2_{jpc} \quad \forall j \forall p \forall c$$

La somme de quantités entrantes dans les entrepôts de taille moyenne (j) est égale à la somme de quantités sortantes selon la variété (P) et le calibre (C).

$$4) \sum_{j=0}^J Y_{jkpc} = QL_{kpc} \quad \forall k \forall p \forall c$$

La somme totale des quantités transportés depuis les entrepôts de taille moyenne (j) vers le marché de gros (k) doit être égale à la quantité livrer depuis les entrepôts de taille moyenne vers le marché de gros selon la variété (P) et le calibre (C).

$$5) X_{ijpc} = NA_{ijpc} * Cp_1 \quad \forall i \forall j \forall p \forall c$$

La quantité de pomme de terre (X) sortant depuis les grands entrepôts (i) vers les entrepôts de taille moyenne (j) est un nombre entier qui signifie la quantité totale en tonnes qui se mesure avec le produit du nombre des camions (NA) multiplié par les capacités de chaque camion (Cp_1).

$$6) Y_{jkpc} = NB_{jkpc} * Cp_2 \quad \forall j \forall k \forall p \forall c$$

La quantité de pomme de terre (Y) sortant depuis les entrepôts de taille moyenne (j) vers le marché de gros (k) est un nombre entier qui signifie la quantité totale en tonnes qui se mesure avec le produit du nombre des camions (NB) multiplié par la capacité de chaque camion (Cp_2).

$$7) QL_{kpc} \geq D_{kpc} \quad \forall k \forall p \forall c$$

La quantité de pomme de terre livrée depuis le marché de gros (k) doit satisfaire la demande des clients. Selon la variété (P) et le calibre (C).

Remarque : Notre étude est une planification dans un horizon d'une semaine de distribution de pomme de terre depuis 5 zones de stockage.

V.4 CPLEX studio IDE

V.4.1 Introduction :

Nous devons traduire notre modèle mathématique en un langage de programmation, mais nous utilisons de préférence un solveur pour faciliter l'obtention de résultats et d'une manière beaucoup plus rapide. Il existe beaucoup de solveurs dans ce domaine comme Prolog III, ArtelysKnitro, CHIP (Constraint Handling in Prolog), Comet, Dissolve (Bibliothèque C++). Notre choix était Prolog III (Cplex) en raison de la simplicité et de la familiarité qu'il possède.

V.4.2 Le Solveur ILOG (Notre Choix) :

Le Solveur ILOG sera l'outil utilisé pour trouver une solution au problème car il est fourni une documentations et support pour simplifier utilisations, Il est composé d'un exécutable (CPLEX interactif) et d'une bibliothèque de fonctions pouvant s'interfacer avec différents langages de programmation : C, C++, C#, Java et Python.



Figure IV- 2 : logo d'ILOG CPLEX.

V.4.3 Présentation et Caractéristiques :

<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 IV- 4.

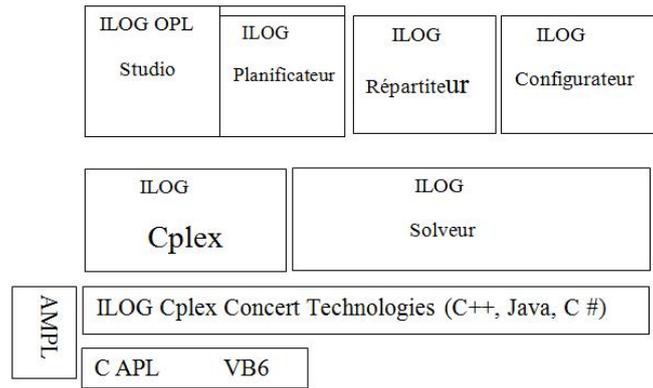


Figure IV- 3 : Suite d'optimisation [68].

1. ILOG CPLEX : Le cœur du système résout des problèmes de programmation mathématique.
2. ILOG Solveur : La partie principale du système résout des applications en utilisant la programmation par contraintes.
3. ILOG concert technologies : Elles sont disponibles pour les langages C++, Java et .NET.
4. ILOG Planificateur : Fournit des extensions pour résoudre des problèmes de planification.
5. ILOG Répartiteur : Fournit des extensions pour la résolution de problèmes de tournées de véhicules.
6. ILOG Configurateur : Ce module contient des utilitaires pour l'optimisation des ventes en ligne (problèmes de e-commerce).
7. ILOG OPL Studio : OPL est un langage pour la modélisation des problèmes d'optimisation,
8. AMPL : C'est un autre langage pour la modélisation, qui interagit avec le module ILOG CPLEX (AMPL a été développé par les laboratoires Bell).
9. C et VB6 APIs : Ce sont des bibliothèques pour des utilisateurs du langage C et de l'environnement VB6. Elles interfacent avec le module ILOG CPLEX.

V.4.4 Historique :

<CPLEX> a été initialement développé par l'équipe de Robert Bixby pour disposer d'un Solveur performant pour résoudre des instances du problème de voyageur de commerce de grande taille. Jusqu'à la version 6.0, il a été Commercialisé par la société <CPLEX>. En 1996, cette société a été rachetée par ILOG pour étoffer son éventail de produits destinés à l'Aide à la Décision.

V.4.5 Capacités :

Initialement, <CPLEX> est un solveur de programmes linéaires. A ce titre. 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 peu traité des problèmes quadratiques. <CPLEX> est un des plus performants,

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.

V.4.6 Modes d'utilisation :

CHAPITRE IV : Modèle hebdomadaire de la gestion de la distribution entre un réseau d'entrepôts et les marchés de consommations.

Il existe deux manières d'utiliser <CPLEX>. La première consiste à travailler de manière interactive en invoquant un interpréteur de commande dédié. La seconde consiste à appeler directement les fonctionnalités du moteur depuis son propre code, que ce soit du C, du C++ ou du Java.

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.

V.5 La méthodologie de saisis de data :

V.5.1 Les zones et marchés choisis :

Nous avons décidé de choisir l'ouest de l'Algérie car leur consommation est importante dans cette région. Nous avons choisi deux zones potentielles, qui sont Ain defla (qui est situé dans le centre d'Algérie) et Mostaganem (qui est situé dans l'ouest).

Entre ces deux wilayas, on a choisi trois zones de stockage qui sont Tessimsilet, Chlef et Relizane. Nous proposons deux grands entrepôts dans Ain defla et l'autre à Mostaganem. De plus, pour chaque wilaya on a choisi un entrepôt de taille moyenne.

Ensuite pour chaque wilaya, nous proposons deux marchés de gros, leurs placements sont les

Suivants :

Entrepôts de taille moyenne	AIN DEFLA		CHELF		GHILIZANE		TISSEMSILT		MOSTAGANEM	
Marché de gros	AIN DEFLA	KHEMIS MILIANA	CHELF	TÉNÉS	GHILIZANE	OUED RHIOU	TISSEMSILT	KHEMISTI	MOSTAGANEM	SIDI LAKHDAR

Tableau IV-1 : Les zones et marché choisis.

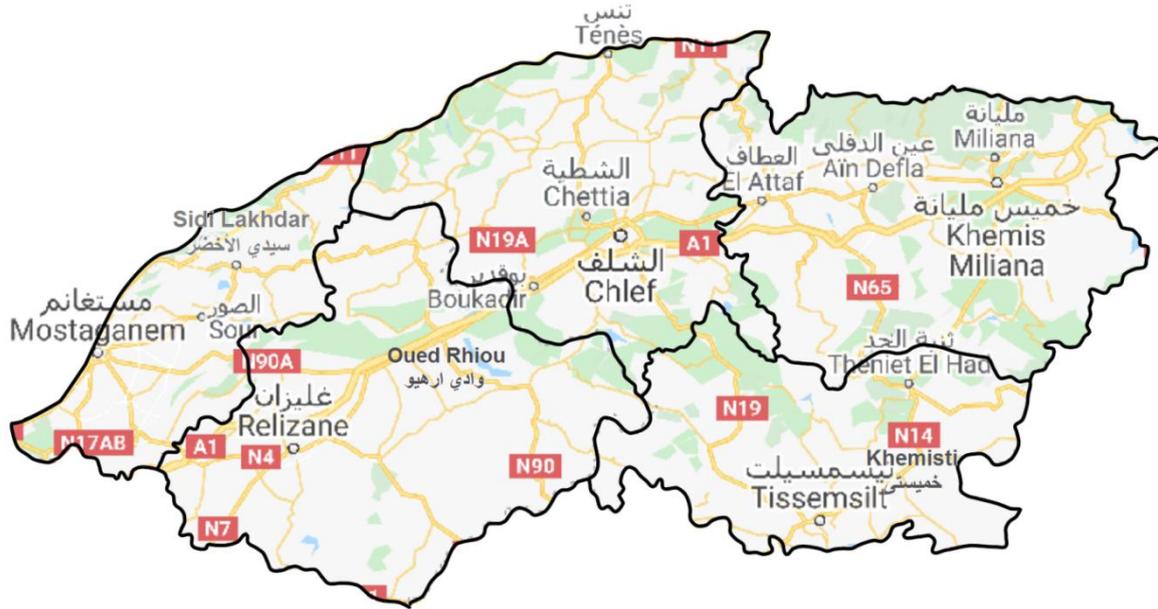


Figure IV- 4 : La carte des zones sélectionnées.

V.5.1.1.1 Le modèle de base de la chaîne de distribution sans flux :

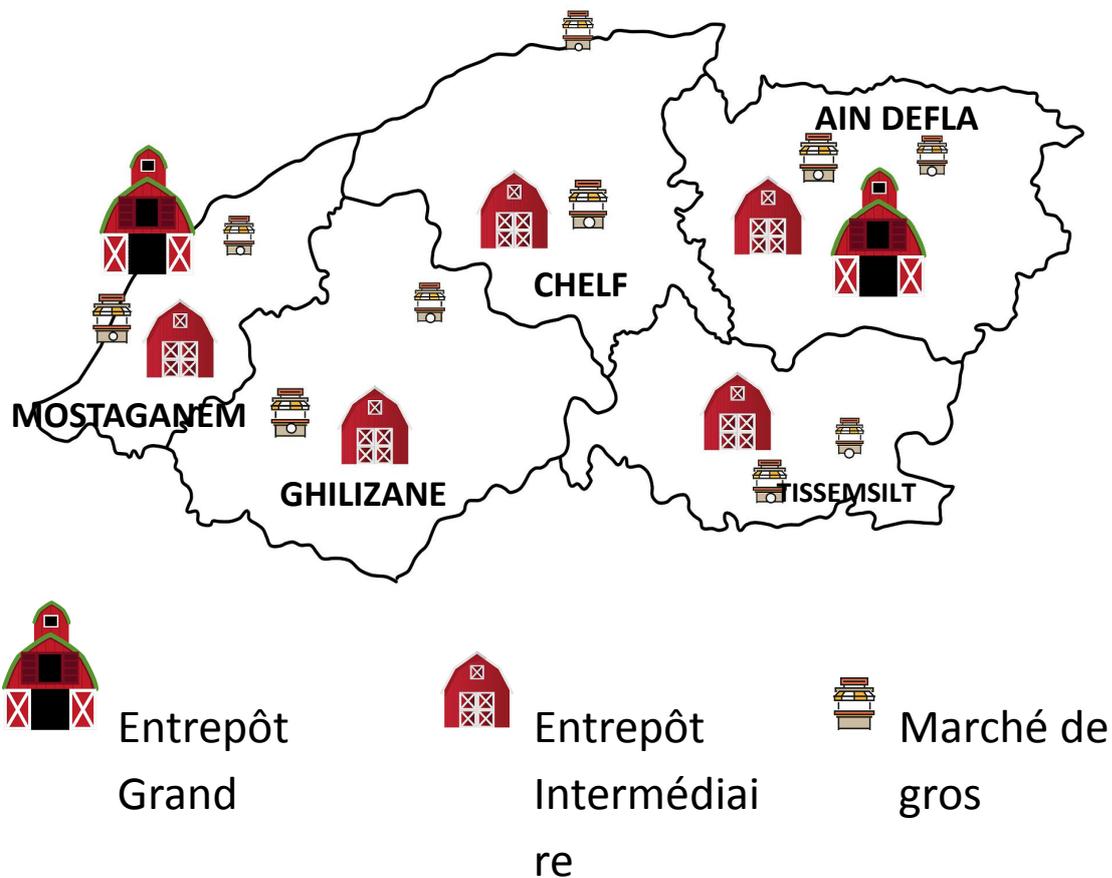


Figure IV- 5 : La modélisation de la chaîne de distribution.

V.5.1.2 Les schémas descriptifs des différents flux de notre conception de la chaîne de distribution :

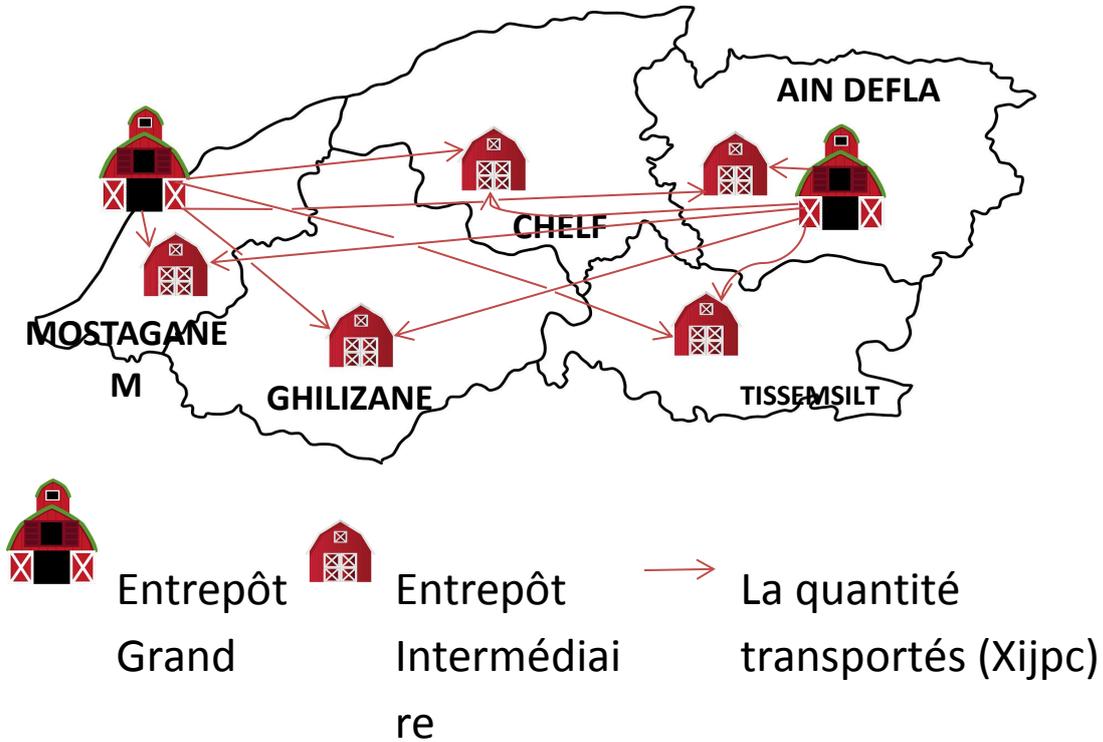


Figure IV- 6 : Les mouvements des flux de transportation depuis les grands entrepôts vers les entrepôts intermédiaire (X_{ijpc}).

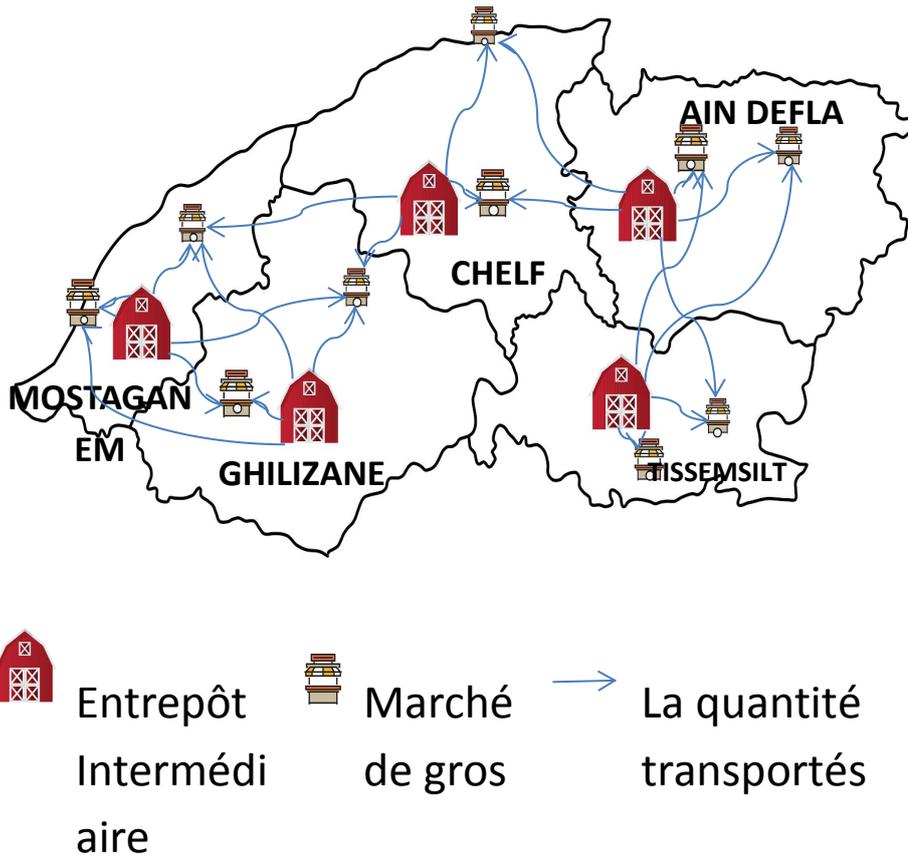


Figure IV- 7 : Les mouvements des flux de transportation depuis les entrepôts intermédiaire vers les marchés de gros (Y_{jkpc}).

V.5.2 La Consommation :

Pour l'année 2017 la production de pomme de terre a été de 41 342 662 quintaux pour une population à fin 2017 de 42,2 millions. La disponibilité atteindrait de près de 98 kg/habitant.

Le tableau ci-dessus montre la population ainsi que la consommation annuelle et hebdomadaire pour les 5 wilayas choisit :

Wilayas	AIN DEFLA	CHELF	GHILIZANE	TISSEMSILT	MOSTAGANEM
Population	930 000	1 250 000	852 000	360 000	900 000
Consommation annuelle (Tonnes)	91 099,8	122 446	83 459,2	35 264,4	88 161,1
Consommation par semaine (Tonnes)	1897,9	2550,9	1738,7	734,6	1836,7

Tableau IV-2 : La Consommation de pomme de terre.

V.5.3 La demande hebdomadaire (D_{kpc}) :

La demande de pomme de terre hebdomadaire (Toutes les variétés et tous les calibres inclus) de chaque marché de gros sélectionné est comme suit :

$$\text{La demande hebdomadaire de marché de gros} = \frac{\text{Consommation par semaine (Wilaya)}}{2}$$

Marché de gros	AIN DEFLA	KHEMIS MILIANA	CHELF	TÉNÉS	GHILIZANE	OUED RHIYOU	TISSEMSILT	KHEMISTI	MOSTAGANEM	SIDI LAKHDAR
Demande par semaine	949	949	1276	1276	870	870	368	368	919	919

Tableau IV-3 : La demande hebdomadaire de marchés de gros (D_{kpc}).

V.5.4 La capacité des entrepôts :

V.5.4.1 La capacité des grands entrepôts (CaG_i) :

Pour les grands entrepôts choisis dans les wilayas de Ain Defla et Mostaganem, on suppose que la capacité maximale des entrepôts sont les suivants :

les grands entrepôts	AIN DEFLA	MOSTAGANEM
CaGii : La capacité (Tonnes)	400000	400000

Tableau IV-4 : La capacité des grands entrepôts (CaG_i).

On a proposé que la capacité de ces entrepôts est importante afin de satisfaire la demande et de permettre à l'utilisateur d'évaluer différentes études de cas.

V.5.4.2 La capacité des entrepôts Intermédiaire (CaP_j) :

On suppose que la capacité maximale des entrepôts de taille moyenne qui sont situés au milieu entre les grands entrepôts et le marché de gros sont les suivants :

Les entrepôts Intermédiaire	AIN DEFLA	CHELF	GHILIZANE	TISSEMSILT	MOSTAGANEM
CaPj : La capacité des entrepôts Intermédiaire	100000	100000	100000	100000	100000

Tableau IV-5 : La capacité des entrepôts Intermédiaire (CaP_j).

On a proposé que la capacité de ces entrepôts est importante afin de satisfaire la demande et de permettre à l'utilisateur d'évaluer différentes études de cas.

V.5.5 Les couts :

V.5.5.1 Cout de stockage des entrepôts Intermédiaire (CtS_j) :

Les couts unitaires de stockage de pomme dans les entrepôts de taille moyenne sont représentés au tableau ci-dessous.

Il est à noter que les frais de stockage de sécurité de la pomme de terre de consommation en vrac sont évalués à 1,5 DA /kg par mois. Alors une semaine de stockage coute 0.38 DA/kg.

EI	AIN DEFLA	CHELF	GHILIZANE	TISSEMSILT	MOSTAGANEM
CtS _j : cout de stockage (Da/Tonnes)	380	380	380	380	380

Tableau IV-6 : Cout de stockage des entrepôts Intermédiaire (CtS_j).

V.5.5.2 Le cout unitaire d'achat (CtA_{pc}) :

Le prix unitaire d'achat depuis les zones de stockage de chaque variété de pomme de terre (Desirée, Fabula, Kondor, Spunta) selon son calibre (Petit, Moyen, Grand) est indiqué dans le tableau ci-dessous.

Notre but est que le prix de vente qui atteint les clients soient un prix raisonnable de 40 DA/Kg, pour avoir ce prix à la fin de la chaine de distribution, il faut que nous achetons avec un prix 25 Da/kg depuis les zones de stockage qui sera ensuite acheté par le marché de gros avec un prix de 30- 35 Da/kg et enfin le client final peut avoir des pommes de terre a 40 Da/kg.

CA / VA	DÉSIRÉE	FABULA	KONDOR	SPUNTA
taille petit	21000	23000	24000	22000
taille moyen	27000	26000	25000	28000
taille grand	18000	20000	21000	19000

Tableau IV-7 : Le cout unitaire d'achat (DA/tonnes) (CtA_{pc}).

V.5.5.3 Le coût de transport :

Après le choix des entrepôts et les marchés de gros, on a utilisé l'outil informatique « Google Maps » pour déterminer les distances entre eux. On a proposé un prix unitaire de 10 000 DA/ camion pour chaque 100 Km et on a calculé les couts sur cette base.

V.5.5.3.1 Les coûts de transport entre les grands et Intermédiaire entrepôts (CTA_{ij}) :

Les couts de transport unitaires de la pomme de terre depuis les grands entrepôts vers les entrepôts de taille moyenne sont les suivants :

Ces valeurs ont calculé telle qu'un voyage d'un camion sur une distance de 100 km se coute 10000 DA.

CHAPITRE IV : Modèle hebdomadaire de la gestion de la distribution entre un réseau d'entrepôts et les marchés de consommations.

EG\EI	AIN DEFLA	CHELF	GHILIZANE	TISSEMSILT	MOSTAGANEM
AIN DEFLA	0	6000	15600	9500	19600
MOSTAGANEM	19600	14300	6800	21200	0

Tableau IV-8 : Les coûts de transport entre les grands et Intermédiaire entrepôts (CTA_{ij}).

V.5.5.3.2 Les coûts de transport entre les grands et Intermédiaire entrepôts (CTB_{jk}) :

Les coûts de transport unitaires de la pomme de terre (DA/Km) depuis les entrepôts de taille moyen vers le marché de gros sont les suivants :

Ces valeurs ont été calculé telle qu'un voyage d'un camion sur une distance de 100 km se coûte 10 000 DA.

EI\MG	AIN DEFLA	KHEMIS MILIANA	CHELF	TÉNÉS	GHILIZANE	OUED RHIOU	TISSEMSILT	KHEMISTI	MOSTAGANEM	SIDI LAKHDAR
AIN DEFLA	0	3000	6500	13600	15600	11300	12000	10700	19600	17800
CHELF	6500	9600	0	5400	9800	5400	10900	11500	13700	12100
GHILIZANE	15600	18700	9800	14200	0	5100	15200	16800	6800	7700
TISSEMSILT	12000	10200	10900	16900	15200	12700	0	1700	21300	19300
MOSTAGANEM	19600	22700	13700	15400	6800	9000	21300	23200	0	5000

Tableau IV-9 : Les coûts de transport entre les grands et Intermédiaire entrepôts (CTB_{jk}).

V.5.6 Le stock :

V.5.6.1 Le stock initial des grands entrepôts ($S0_{ipc}$) :

Le stock initial des grands entrepôts de pomme de terre est le suivant :

On a proposé ces valeurs dans le but d'équilibrer le stock initial pour chaque variété et chaque calibre.

Les grands entrepôts	CA/VA	DÉSIRÉE	FABULA	KONDOR	SPUNTA
AIN DEFLA	taille petit	450	450	450	450
	taille moyen	450	450	450	450
	taille grand	450	450	450	450
MOSTAGANEM	taille petit	450	450	450	450
	taille moyen	450	450	450	450
	taille grand	450	450	450	450

Tableau IV-10 : Le stock initial des grands entrepôts ($S0_{ipc}$).

V.5.6.2 Le stock initial des entrepôts de taille moyenne (S_{1jpc}) :

Le stock initial des entrepôts de taille moyenne est représenté au tableau ci-dessous.

On a proposé ces valeurs dans le but d'équilibrer le stock initial pour chaque variété et chaque calibre.

Les variétés	CA \ EI	AIN DEFLA	CHELF	GHILIZANE	TISSEMSILT	MOSTAGANEM
DÉSIRÉE	taille petit	27	15	20	10	25
	taille moyen	20	28	10	25	20
	taille grand	25	20	26	15	25
FABULA	taille petit	10	10	15	25	16
	taille moyen	20	15	20	10	20
	taille grand	27	20	25	15	10
KONDOR	taille petit	20	15	25	10	10
	taille moyen	10	10	15	25	20
	taille grand	15	10	10	20	24
SPUNTA	taille petit	20	28	20	15	25
	taille moyen	25	25	15	10	18
	taille grand	27	15	10	25	20

Tableau IV-11 : Le stock initial des entrepôts de taille moyenne (S_{1jpc}).

V.5.7 La demande de marché de gros (D_{kpc}) :

La demande de marché de gros selon les variétés et le calibrage sont les suivants :

Ces valeurs sont établies comme suit :

$$\text{La demande d'une semaine} = \frac{\text{la consommation annuel de la wilaya}}{12\text{mois} \times 4\text{semaines} \times 2\text{marchés} \times 4\text{variétés} \times 3\text{calibres}}$$

Variétés	CA \ EI	AIN DEFLA	KHEMIS MILIANA	CHELF	TÉNÉS	GHILIZANE	OUED RHIOU	TISSEMSILT	KHEMISTI	MOSTAGANEM	SIDI LAKHDAR
DÉSIRÉE	taille petit	81	76	109	102	73	72	31	33	79	74
	taille moyen	80	82	100	100	72	74	34	25	78	80
	taille grand	79	78	105	124	70	73	26	37	77	75
FABULA	taille petit	82	76	107	109	71	74	31	27	80	73
	taille moyen	84	80	117	100	79	75	34	30	82	77
	taille grand	76	86	100	105	65	71	27	33	74	83
KONDOR	taille petit	72	82	102	100	74	73	33	31	69	80
	taille moyen	81	84	100	102	75	72	25	34	78	82
	taille grand	76	76	124	110	71	70	37	26	73	74
SPUNTA	taille petit	77	72	100	107	72	71	27	31	74	69
	taille moyen	84	81	102	117	74	79	30	34	81	78
	taille grand	77	76	110	100	73	65	33	27	74	73

Tableau IV-12 : La demande de marché de gros (D_{kpc}).

V.6 L'exécution de model et interprétation :

Après la vérification de toutes les contraintes, le solveur nous donne ces valeurs :

```
// solution (optimal) with objective 251137100
// Quality Incumbent solution:
// MILP objective                               2.5113710000e+008
// MILP solution norm |x| (Total, Max)          2.97840e+004 1.90000e+003
// MILP solution error (Ax=b) (Total, Max)      1.77636e-014 7.10543e-015
// MILP x bound error (Total, Max)              0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x integrality error (Total, Max)        6.63913e-014 1.42109e-014
// MILP slack bound error (Total, Max)          3.90799e-014 1.42109e-014
//
```

V.6.1 L'exécution des programmes dans Cplex studio IDE :

La solution obtenue est :

Figure IV- 8 : L'exécution de modèle.

V.6.2 Les statistiques de programme :

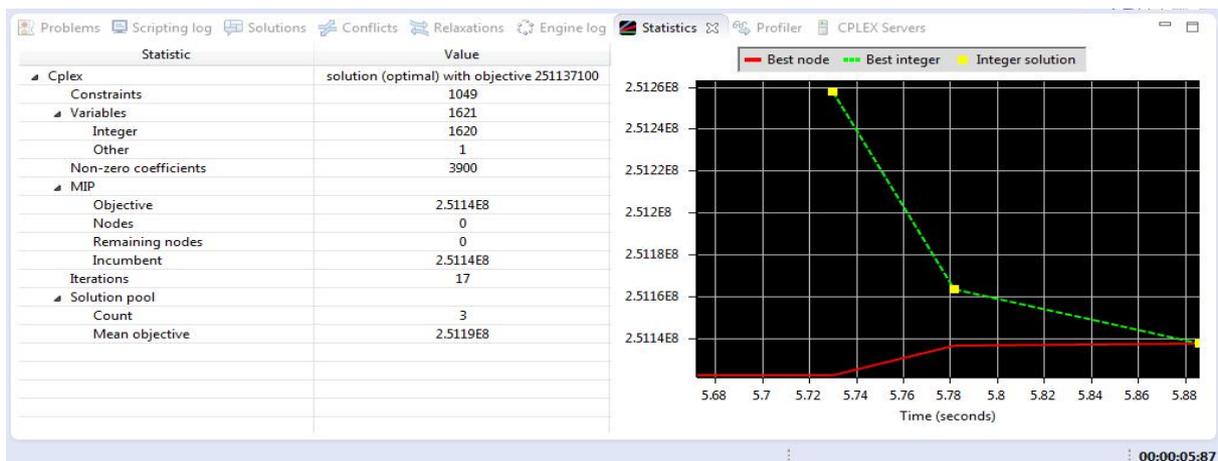


Figure IV- 9 : La complexité de programme.

V.6.3 La nature de ce modèle est :

MILP (Mixed Integer Linear Problem).

V.6.4 La solution optimale est :

Après l'exécution de programme on obtient : 251 137 100 DA.

V.6.5 Les variables de décision :
V.6.5.1 La quantité de pommes de terre transportées depuis les grands entrepôts principale vers les entrepôts de Taille moyenne (X_{ijpc}) :

La quantité des produits transportés depuis les grands entrepôts principaux vers les entrepôts de taille moyenne selon la variété et le calibre après l'exécution du modèle Cplex sont les suivants :

EG / VA	Les Variétés	DÉSIRÉE			FABULA		
Entrepôts Grands	EI \ CA	Taille petit	Taille moyen	Taille grands	Taille petit	Taille moyen	Taille grands
AIN DEFLA	AIN DEFLA	220	200	160	220	160	180
	CHELF	180	100	200	160	180	140
	GHILIZANE	0	0	0	0	0	0
	TISSEMSILT	40	0	0	0	40	0
	MOSTAGANEM	0	0	0	0	0	0
MOSTAGANEM	AIN DEFLA	0	0	0	0	0	0
	CHELF	0	0	0	0	0	0
	GHILIZANE	20	40	20	0	20	0
	TISSEMSILT	0	0	0	0	0	0
	MOSTAGANEM	420	220	180	260	240	240

EG / VA	Les Variétés	KONDOR			SPUNTA		
Entrepôts Grands	EI \ CA	Taille petit	Taille moyen	Taille grands	Taille petit	Taille moyen	Taille grands
AIN DEFLA	AIN DEFLA	140	200	140	160	140	140
	CHELF	180	160	220	160	160	180
	GHILIZANE	0	0	0	0	0	0
	TISSEMSILT	40	0	20	0	40	0
	MOSTAGANEM	0	0	0	0	0	0
MOSTAGANEM	AIN DEFLA	0	0	0	0	0	0
	CHELF	0	0	0	0	0	0
	GHILIZANE	0	0	40	20	0	40
	TISSEMSILT	0	0	0	0	0	0
	MOSTAGANEM	240	260	200	180	260	200

Tableau IV-13 : La quantité de pommes de terre transportées depuis les grands entrepôts principale vers les entrepôts de Taille moyenne (X_{ijpc}).

Exemple :

CHAPITRE IV : Modèle hebdomadaire de la gestion de la distribution entre un réseau d'entrepôts et les marchés de consommations.

La quantité de pomme de terre transportée qui sort depuis le grand entrepôt de AIN DEFLA vers l'entrepôt de taille moyen de CHELF de variété KONDOR et d'un calibre de taille petit est : 80 Tonnes.

V.6.5.2 Le nombre de camion de transports (NA_{ijpc}) :

Les nombres entiers qui définissent les nombres des camions de transports de pomme de terre depuis les grands entrepôts vers les entrepôts de taille moyenne, selon chaque variété et chaque calibre après l'exécution du modèle sont les suivants :

EG / VA	Les Variétés	DÉSIRÉE			FABULA		
Entrepôts Grands	EI \ CA	taille petit	taille moyen	taille grands	taille petit	taille moyen	taille grands
AIN DEFLA	AIN DEFLA	11	10	8	11	8	9
	CHELF	9	5	10	8	9	7
	GHILIZANE	0	0	0	0	0	0
	TISSEMSILT	2	0	0	0	2	0
	MOSTAGANEM	0	0	0	0	0	0
MOSTAGANEM	AIN DEFLA	0	0	0	0	0	0
	CHELF	0	0	0	0	0	0
	GHILIZANE	1	2	1	0	1	0
	TISSEMSILT	0	0	0	0	0	0
	MOSTAGANEM	21	11	9	13	12	12

EG / VA	Les Variétés	KONDOR			SPUNTA		
Entrepôts Grands	EI \ CA	taille petit	taille moyen	taille grands	taille petit	taille moyen	taille grands
AIN DEFLA	AIN DEFLA	7	10	7	8	7	7
	CHELF	9	8	11	8	8	9
	GHILIZANE	0	0	0	0	0	0
	TISSEMSILT	2	0	1	0	2	0
	MOSTAGANEM	0	0	0	0	0	0
MOSTAGANEM	AIN DEFLA	0	0	0	0	0	0
	CHELF	0	0	0	0	0	0
	GHILIZANE	0	0	2	1	0	2
	TISSEMSILT	0	0	0	0	0	0
	MOSTAGANEM	12	13	10	9	13	10

Tableau IV-14 : les nombre des camions de transports de pomme de terre depuis les grands entrepôts vers les entrepôts de taille moyenne (NA_{ijpc}).

Exemple :

La quantité de pomme de terre transportée qui sort depuis le grand entrepôt de AIN DEFLA vers l'entrepôt de taille moyen de CHELF de variété KONDOR et d'un calibre de taille petit nécessite 4 camions de capacité 20 Tonnes.

V.6.5.3 La quantité des produits transportés (Y_{jkpc}) :

La quantité des produits transportés depuis les entrepôts de taille moyenne vers le marché de gros selon la variété et le calibre sont les suivants :

El \ VA	Les Variétés	DÉSIRÉE			FABULA		
Entrepôts Intermédiaire	MG \ CA	Taille petit	Taille moyen	Taille grands	Taille petit	Taille moyen	Taille grands
AIN DEFLA	AIN DEFLA	84	84	84	84	84	78
	KHEMIS MILIANA	78	84	78	78	84	90
	CHELF	6	48	0	42	12	30
	TÉNÉS	0	0	0	0	0	0
	GHILIZANE	0	0	0	0	0	0
	OUED RHIOU	0	0	0	0	0	0
	TISSEMSILT	0	0	0	0	0	0
	KHEMISTI	12	18	42	18	6	36
	MOSTAGANEM	0	0	0	0	0	0
	SIDI LAKHDAR	0	0	0	0	0	0
CHELF	AIN DEFLA	0	0	0	0	0	0
	KHEMIS MILIANA	0	0	0	0	0	0
	CHELF	108	54	108	66	108	72
	TÉNÉS	102	102	126	114	102	108
	GHILIZANE	0	0	0	0	0	0
	OUED RHIOU	0	0	0	0	0	0
	TISSEMSILT	0	0	0	0	0	0
	KHEMISTI	0	0	0	0	0	0
	MOSTAGANEM	0	0	0	0	0	0
	SIDI LAKHDAR	0	0	0	0	0	0
GHILIZANE	AIN DEFLA	0	0	0	0	0	0
	KHEMIS MILIANA	0	0	0	0	0	0
	CHELF	0	0	0	0	0	0
	TÉNÉS	0	0	0	0	0	0
	GHILIZANE	60	60	72	30	60	48
	OUED RHIOU	0	0	0	0	0	0
	TISSEMSILT	0	0	0	0	0	0
	KHEMISTI	0	0	0	0	0	0
	MOSTAGANEM	0	0	0	0	0	0
	SIDI LAKHDAR	0	0	0	0	0	0
TISSEMSILT	AIN DEFLA	0	0	0	0	0	0
	KHEMIS MILIANA	0	0	0	0	0	0
	CHELF	0	0	0	0	0	0
	TÉNÉS	0	0	0	0	0	0
	GHILIZANE	0	0	0	0	0	0
	OUED RHIOU	0	0	0	0	0	0
	TISSEMSILT	36	36	30	36	36	30
	KHEMISTI	24	12	0	12	24	0
	MOSTAGANEM	0	0	0	0	0	0
	SIDI LAKHDAR	0	0	0	0	0	0
MOSTAGANEM	AIN DEFLA	0	0	0	0	0	0
	KHEMIS MILIANA	0	0	0	0	0	0
	CHELF	0	0	0	0	0	0
	TÉNÉS	0	0	0	0	0	0
	GHILIZANE	18	12	0	42	24	18
	OUED RHIOU	72	78	72	78	78	72
	TISSEMSILT	0	0	0	0	0	0
	KHEMISTI	0	0	0	0	0	0
	MOSTAGANEM	84	78	78	84	84	78
	SIDI LAKHDAR	78	84	78	78	78	84

EI \ VA	Les Variétés	KONDOR			SPUNTA		
Entrepôts Intermédiaire	MG \ CA	Taille petit	Taille moyen	Taille grands	Taille petit	Taille moyen	Taille grands
AIN DEFLA	AIN DEFLA	72	84	78	78	84	78
	KHEMIS MILIANA	84	84	78	72	84	78
	CHELF	0	24	0	0	12	6
	TÉNÉS	0	0	0	0	0	0
	GHILIZANE	0	0	0	0	0	0
	OUED RHIOU	0	0	0	0	0	0
	TISSEMSILT	0	0	0	0	0	0
	KHEMISTI	12	18	12	36	6	18
	MOSTAGANEM	0	0	0	0	0	0
	SIDI LAKHDAR	0	0	0	0	0	0
CHELF	AIN DEFLA	0	0	0	0	0	0
	KHEMIS MILIANA	0	0	0	0	0	0
	CHELF	102	78	126	102	90	108
	TÉNÉS	102	102	114	108	120	102
	GHILIZANE	0	0	0	0	0	0
	OUED RHIOU	0	0	0	0	0	0
	TISSEMSILT	0	0	0	0	0	0
	KHEMISTI	0	0	0	0	0	0
	MOSTAGANEM	0	0	0	0	0	0
	SIDI LAKHDAR	0	0	0	0	0	0
GHILIZANE	AIN DEFLA	0	0	0	0	0	0
	KHEMIS MILIANA	0	0	0	0	0	0
	CHELF	0	0	0	0	0	0
	TÉNÉS	0	0	0	0	0	0
	GHILIZANE	48	30	60	60	30	60
	OUED RHIOU	0	0	0	0	0	0
	TISSEMSILT	0	0	0	0	0	0
	KHEMISTI	0	0	0	0	0	0
	MOSTAGANEM	0	0	0	0	0	0
	SIDI LAKHDAR	0	0	0	0	0	0
TISSEMSILT	AIN DEFLA	0	0	0	0	0	0
	KHEMIS MILIANA	0	0	0	0	0	0
	CHELF	0	0	0	0	0	0
	TÉNÉS	0	0	0	0	0	0
	GHILIZANE	0	0	0	0	0	0
	OUED RHIOU	0	0	0	0	0	0
	TISSEMSILT	36	30	42	30	30	36
	KHEMISTI	24	18	18	0	30	12
	MOSTAGANEM	0	0	0	0	0	0
	SIDI LAKHDAR	0	0	0	0	0	0
MOSTAGANEM	AIN DEFLA	0	0	0	0	0	0
	KHEMIS MILIANA	0	0	0	0	0	0
	CHELF	0	0	0	0	0	0
	TÉNÉS	0	0	0	0	0	0
	GHILIZANE	30	48	12	12	48	18
	OUED RHIOU	72	72	72	66	84	66
	TISSEMSILT	0	0	0	0	0	0
	KHEMISTI	0	0	0	0	0	0
	MOSTAGANEM	72	78	78	78	84	78
	SIDI LAKHDAR	84	84	78	72	78	78

Exemple :

La quantité de pomme de terre transportée qui sort depuis l'entrepôt de taille moyen de MOSTAGANEM vers le marché de gros d'OUED RHIOU de variété FABULA et d'un calibre de taille grands est : 72 Tonnes.

V.6.5.4 La quantité restant en stock (S_{2jpc}) :

Les quantités qui restent au stock des entrepôts de taille moyenne selon chaque variété et chaque calibre après la distribution au gros marché sont les suivants :

Les variétés	CA \ EI	AIN DEFLA	CHELF	GHILIZANE	TISSEMSILT	MOSTAGANEM
DÉSIRÉE	taille petit	94	0	0	0	218
	taille moyen	6	0	0	2	8
	taille grands	6	0	0	0	2
FABULA	taille petit	18	0	0	2	10
	taille moyen	14	0	0	0	16
	taille grands	0	0	2	0	8
KONDOR	taille petit	12	0	2	0	2
	taille moyen	10	0	0	2	18
	taille grands	2	0	0	0	8
SPUNTA	taille petit	14	0	0	0	2
	taille moyen	4	0	0	0	2
	taille grands	14	0	0	2	0

Tableau IV-17 : La quantité restant en stock (S_{2jpc}).

Exemple :

La quantité de pomme de terre de variété SPUNTA avec un calibre moyen restant dans l'entrepôt de taille moyen de TISSEMSILT après la distribution aux marchés de gros est de 28 Tonnes.

V.6.5.5 Le nombre de camion de transports (NB_{jkpc}) :

Les nombres entiers qui définissent les nombres des camions de transports de pomme de terre depuis les entrepôts de taille moyenne vers les marchés de gros, selon chaque variété et chaque calibre après l'exécution du modèle sont les suivants :

El \ VA	Les Variétés	KONDOR			SPUNTA		
Entrepôts Intermédiaire	MG \ CA	taille petit	taille moyen	taille grands	taille petit	taille moyen	taille grands
AIN DEFLA	AIN DEFLA	12	14	13	13	14	13
	KHEMIS MILIANA	14	14	13	12	14	13
	CHELF	0	4	0	0	2	1
	TÉNÉS	0	0	0	0	0	0
	GHILIZANE	0	0	0	0	0	0
	OUED RHIOU	0	0	0	0	0	0
	TISSEMSILT	0	0	0	0	0	0
	KHEMISTI	2	3	2	6	1	3
	MOSTAGANEM	0	0	0	0	0	0
CHELF	SIDI LAKHDAR	0	0	0	0	0	0
	AIN DEFLA	0	0	0	0	0	0
	KHEMIS MILIANA	0	0	0	0	0	0
	CHELF	17	13	21	17	15	18
	TÉNÉS	17	17	19	18	20	17
	GHILIZANE	0	0	0	0	0	0
	OUED RHIOU	0	0	0	0	0	0
	TISSEMSILT	0	0	0	0	0	0
	KHEMISTI	0	0	0	0	0	0
GHILIZANE	MOSTAGANEM	0	0	0	0	0	0
	SIDI LAKHDAR	0	0	0	0	0	0
	AIN DEFLA	0	0	0	0	0	0
	KHEMIS MILIANA	0	0	0	0	0	0
	CHELF	0	0	0	0	0	0
	TÉNÉS	0	0	0	0	0	0
	GHILIZANE	8	5	10	10	5	10
	OUED RHIOU	0	0	0	0	0	0
	TISSEMSILT	0	0	0	0	0	0
TISSEMSILT	KHEMISTI	0	0	0	0	0	0
	MOSTAGANEM	0	0	0	0	0	0
	SIDI LAKHDAR	0	0	0	0	0	0
	AIN DEFLA	0	0	0	0	0	0
	KHEMIS MILIANA	0	0	0	0	0	0
	CHELF	0	0	0	0	0	0
	TÉNÉS	0	0	0	0	0	0
	GHILIZANE	0	0	0	0	0	0
	OUED RHIOU	0	0	0	0	0	0
MOSTAGANEM	TISSEMSILT	6	5	7	5	5	6
	KHEMISTI	4	3	3	0	5	2
	MOSTAGANEM	0	0	0	0	0	0
	SIDI LAKHDAR	0	0	0	0	0	0
	AIN DEFLA	0	0	0	0	0	0
	KHEMIS MILIANA	0	0	0	0	0	0
	CHELF	0	0	0	0	0	0
	TÉNÉS	0	0	0	0	0	0
	GHILIZANE	5	8	2	2	8	3
OUED RHIOU	12	12	12	11	14	11	
TISSEMSILT	0	0	0	0	0	0	
KHEMISTI	0	0	0	0	0	0	
MOSTAGANEM	12	13	13	13	14	13	
SIDI LAKHDAR	13	13	13	13	13	13	

EI \ VA	Les Variétés	DÉSIRÉE			FABULA		
Entrepôts Intermédiaire	MG \ CA	taille petit	taille moyen	taille grands	taille petit	taille moyen	taille grands
AIN DEFLA	AIN DEFLA	14	14	14	14	14	13
	KHEMIS MILIANA	13	14	13	13	14	15
	CHELF	1	8	0	7	2	5
	TÉNÉS	0	0	0	0	0	0
	GHILIZANE	0	0	0	0	0	0
	OUED RHIOU	0	0	0	0	0	0
	TISSEMSILT	0	0	0	0	0	0
	KHEMISTI	2	3	7	3	1	6
	MOSTAGANEM	0	0	0	0	0	0
SIDI LAKHDAR	0	0	0	0	0	0	
CHELF	AIN DEFLA	0	0	0	0	0	0
	KHEMIS MILIANA	0	0	0	0	0	0
	CHELF	18	9	18	11	18	12
	TÉNÉS	17	17	21	19	17	18
	GHILIZANE	0	0	0	0	0	0
	OUED RHIOU	0	0	0	0	0	0
	TISSEMSILT	0	0	0	0	0	0
	KHEMISTI	0	0	0	0	0	0
	MOSTAGANEM	0	0	0	0	0	0
SIDI LAKHDAR	0	0	0	0	0	0	
GHILIZANE	AIN DEFLA	0	0	0	0	0	0
	KHEMIS MILIANA	0	0	0	0	0	0
	CHELF	0	0	0	0	0	0
	TÉNÉS	0	0	0	0	0	0
	GHILIZANE	10	10	12	5	10	8
	OUED RHIOU	0	0	0	0	0	0
	TISSEMSILT	0	0	0	0	0	0
	KHEMISTI	0	0	0	0	0	0
	MOSTAGANEM	0	0	0	0	0	0
SIDI LAKHDAR	0	0	0	0	0	0	
TISSEMSILT	AIN DEFLA	0	0	0	0	0	0
	KHEMIS MILIANA	0	0	0	0	0	0
	CHELF	0	0	0	0	0	0
	TÉNÉS	0	0	0	0	0	0
	GHILIZANE	0	0	0	0	0	0
	OUED RHIOU	0	0	0	0	0	0
	TISSEMSILT	6	6	5	6	6	5
	KHEMISTI	4	2	0	2	4	0
	MOSTAGANEM	0	0	0	0	0	0
SIDI LAKHDAR	0	0	0	0	0	0	
MOSTAGANEM	AIN DEFLA	0	0	0	0	0	0
	KHEMIS MILIANA	0	0	0	0	0	0
	CHELF	0	0	0	0	0	0
	TÉNÉS	0	0	0	0	0	0
	GHILIZANE	3	2	0	7	4	3
	OUED RHIOU	12	13	12	13	13	12
	TISSEMSILT	0	0	0	0	0	0
	KHEMISTI	0	0	0	0	0	0
	MOSTAGANEM	14	13	13	14	14	13
SIDI LAKHDAR	13	13	13	13	13	13	

Exemple :

La quantité de pomme de terre transportée qui sort depuis l'entrepôt de taille moyen de MOSTAGANEM vers le marché d'OUED RHIOU de variété FABULA et d'un calibre de taille grande nécessite 12 camions de capacité 6 Tonnes.

V.6.5.6 La quantité livrée (Q_{Lkpc}) :

Les quantités de pomme de terre livrée vers le marché de gros depuis les entrepôts moyens selon chaque variété et chaque calibre sont les suivants :

Les variétés	CA \ MG	AIN DEFLA	KHEMIS MILIANA	CHELF	TÉNÉS	GHILIZANE	OUED RHIOU	TISSEMSILT	KHEMISTI	MOSTAGANEM	SIDI LAKHDAR
DÉSIRÉE	Taille petit	84	78	114	102	78	72	36	36	84	78
	Taille moyen	84	84	102	102	72	78	36	30	78	84
	Taille grands	84	78	108	126	72	78	30	42	78	78
FABULA	Taille petit	84	78	108	114	72	78	36	30	84	78
	Taille moyen	84	84	120	102	84	78	36	30	84	78
	Taille grands	78	90	102	108	66	72	30	36	78	84
KONDOR	Taille petit	72	84	102	102	78	78	36	36	72	84
	Taille moyen	84	84	102	102	78	72	30	36	78	84
	Taille grands	78	78	126	114	72	72	42	30	78	78
SPUNTA	Taille petit	78	72	102	108	72	72	30	36	78	72
	Taille moyen	84	84	102	120	78	84	30	36	84	78
	Taille grands	78	78	114	102	78	66	36	30	78	78

Tableau IV-20 : La quantité livrée au marché de gros (Q_{Lkpc}).

Exemple :

CHAPITRE IV : Modèle hebdomadaire de la gestion de la distribution entre un réseau d'entrepôts et les marchés de consommations.

La quantité de pomme de terre livrée de la variété DÉsirÉE avec un calibre moyen depuis l'entrepôt de Taille moyen de SIDI LAKHDAR vers le marché de gros est de 78 Tonnes.

V.7 Exemple explicatif :

V.7.1 La demande du marché de gros (D_{kpc}) :

La wilaya de Ghilizane a une population active de 852 000 habitants avec un taux de consommation qui atteint 98 kg/habitant.

La consommation de pomme de terre de la wilaya de Ghilizane par semaine est donc de 1738,7 tonnes/Semaine. On propose ensuite qu'il y ait deux marchés dans cette wilaya, le premier est situé dans la daïra de Ghilizane et le deuxième marché est situé dans la daïra d'Oued Rhiou. Avec cette subdivision, nous pouvons ensuite diviser la quantité de pommes de terre consommées dans ces deux daïras d'une manière équilibrée.

Alors la demande de marché de gros sera de 870 tonnes pour la daïra de Ghilizane et 870 tonnes pour la daïra d'Oued Rhiou.

Le tableau suivant illustre la demande de marché de gros en détail des daïras d'Oued Rhiou et Ghilizane pour chaque qualité et chaque calibre.

Les Variétés	DÉSIRÉE			FABULA			KONDOR			SPUNTA		
	taille petit	taille moyen	taille grand	taille petit	taille moyen	taille grand	taille petit	taille moyen	taille grand	taille petit	taille moyen	taille grand
MG\CA												
GHILIZANE	73	72	70	71	79	65	74	75	71	72	74	73
OUED RHIU	72	74	73	74	75	71	73	72	70	71	79	65

Tableau IV-21 : La demande du marché de gros de la daïra d'Oued Rhiou et la daïra de Ghilizane (D_{kpc}).

V.7.2 Le stock initial:

V.7.2.1 Stock Intermédiaire ($S1_{jpc}$) :

Le stock initial de pomme de terre pour chaque qualité et chaque calibre dans l'entrepôt intermédiaire de Ghilizane est représenté par le tableau suivant :

Les Variétés	DÉSIRÉE			FABULA			KONDOR			SPUNTA		
	taille petit	taille moyen	taille grand	taille petit	taille moyen	taille grand	taille petit	taille moyen	taille grand	taille petit	taille moyen	taille grand
E\CA												

GHILIZANE	20	10	26	15	20	25	25	15	10	20	15	10
-----------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Tableau IV-22 : Le stock initial de pomme de terre dans l'entrepôt intermédiaire de Ghilizane (S_{1jpc}).

V.7.2.2 Stock des grands entrepôts (S_{0ipc}) :

Le stock initial des grands entrepôts dans les wilayas de AIN DEFLA et MOSTAGANEM pour chaque variété et chaque calibre sont les suivants :

Entrepôts Grands	CA\VA	DÉSIRÉE	FABULA	KONDOR	SPUNTA
AIN DEFLA	taille petit	450	450	450	450
	taille moyen	450	450	450	450
	taille grand	450	450	450	450
MOSTAGANEM	taille petit	450	450	450	450
	taille moyen	450	450	450	450
	taille grand	450	450	450	450

Tableau IV-23 : Stock initial des grands entrepôts (S_{0ipc}).

V.7.3 La quantité nécessaire pour satisfaire la demande :
V.7.3.1 Entre l'entrepôt grand vers l'intermédiaire (X_{ijpc}) :

Notre programme nous permet de connaître la quantité exacte de pommes de terre nécessaire pour satisfaire la demande du marché. Après l'exécution, nous obtenons les résultats suivants :

La quantité de pomme de terre nécessaire pour satisfaire la demande des marchés des daïras d'Oued Rhiou et Ghilizane vient depuis le grand entrepôt de Mostaganem et non pas de Ain defla tout simplement parce que Mostaganem est plus proche, La distance entre Ghilizane et Mostaganem est de 68 Km donc elle coute 6800 DA et entre Ghilizane et Ain defla est 156 Km donc elle coute 15 600 DA. Donc il est logique d'optimiser les couts de transport.

Le stock initial d'entrepôt de taille moyen est insuffisant pour satisfaire la demande complète telle qu'elle est donc il faut que les quantités restantes soient fourni par le stock initial de grand entrepôt de la wilaya de Mostaganem.

EG \ VA	Les Variétés	DÉSIRÉE			FABULA			KONDOR			SPUNTA		
Entrepôts Grands	EI \ CA	taille petit	taille moyen	taille grands	taille petit	taille moyen	taille grands	taille petit	taille moyen	taille grands	taille petit	taille moyen	taille grands
MOSTAGANEM	GHILIZANE	20	40	20	0	20	0	0	0	40	20	0	40

Tableau IV - 24 : La quantité transporté Entre l'entrepôt grand vers l'intermédiaire (X_{ijpc}).

V.7.3.2 Entre l'entrepôt l'intermédiaire vers le marché de gros (Y_{jkpc}) :

Alors, on va transporter les quantités de pomme de terre suivantes pour satisfaire la demande des marchés d'Oued Rhiou et Ghilizane. Les détails de chaque variété et chaque calibre sont représentés au graphique ci-dessous :

Les entrepôts les plus proches du marché de gros de Ghilizane sont (Ghilizane, Mostaganem et Chlef). Notre programme va livrer la quantité nécessaire de marché de gros de Ghilizane depuis le stock initial de l'entrepôt intermédiaire de Ghilizane et la quantité restant depuis l'entrepôt intermédiaire de Mostaganem.

Et pour le marché de gros d'Oued Rhiou il va livrer ça quantité nécessaire depuis l'entrepôt intermédiaire de Mostaganem.

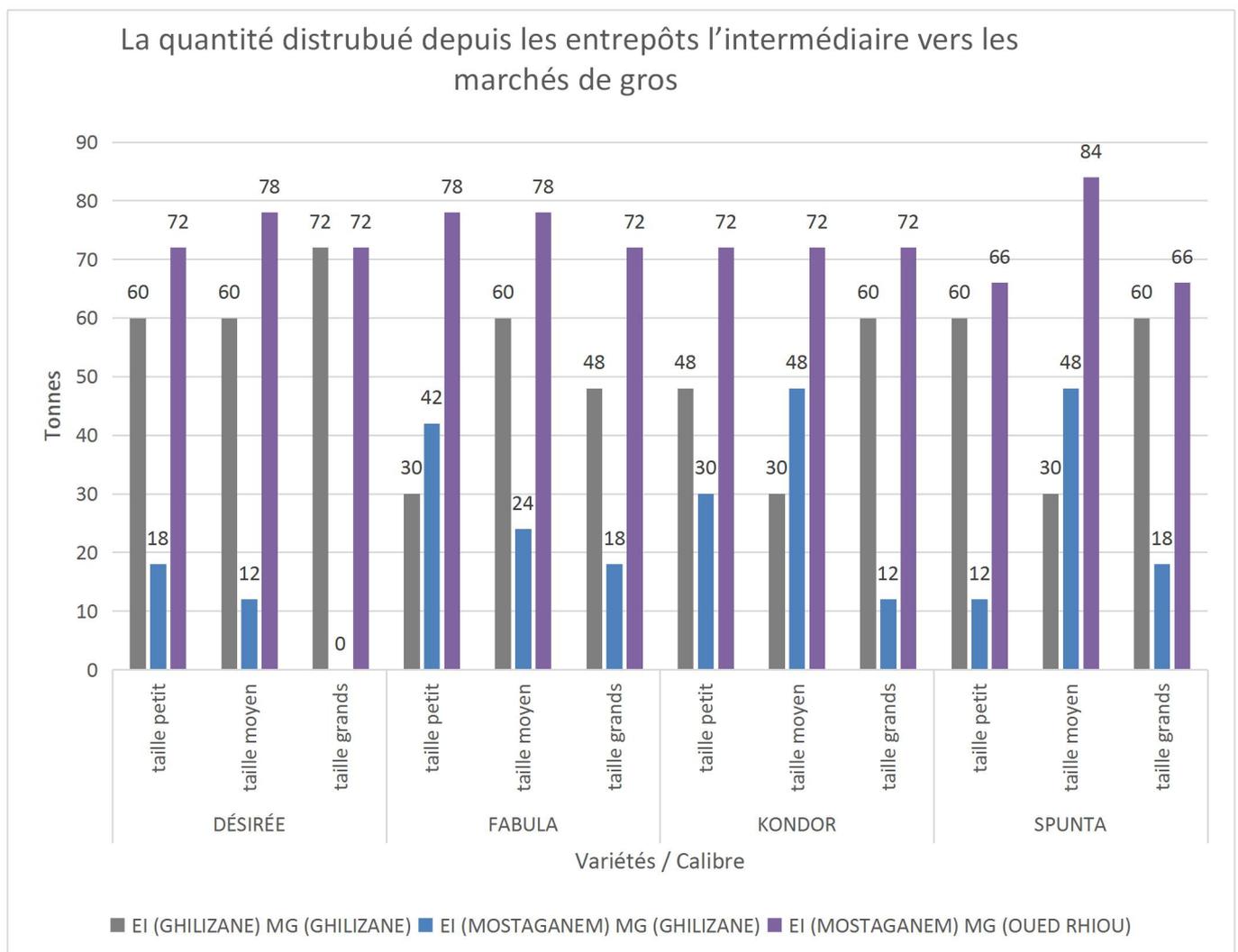


Figure IV- 10 : La quantité transporter Entre l'entrepôt intermédiaire vers le marché de

gros (Y_{jkpc}).

V.7.4 La quantité restante ($S2_{jpc}$):

Les quantités qui restent dans l'entrepôt intermédiaire de Ghilizane pour chaque variété et chaque calibre sont les suivants :

Les Variétés	DÉSIRÉE			FABULA			KONDOR			SPUNTA		
	taille petit	taille moyen	taille grands	taille petit	taille moyen	taille grands	taille petit	taille moyen	taille grands	taille petit	taille moyen	taille grands
GHILIZANE	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0

Tableau IV-25 : La quantité restante dans l'entrepôt intermédiaire de Ghilizane ($S2_{jpc}$).

V.7.5 La quantité reçue (Q_{Lkpc}):

Notre but est de satisfaire la demande hebdomadaire prévisionnelle du marché de la daïra de Ghilizane et la daïra d'Oued rhiou.

Le graphique suivant représente la demande initial des marchés de Ghilizane et Oued Rhiou :

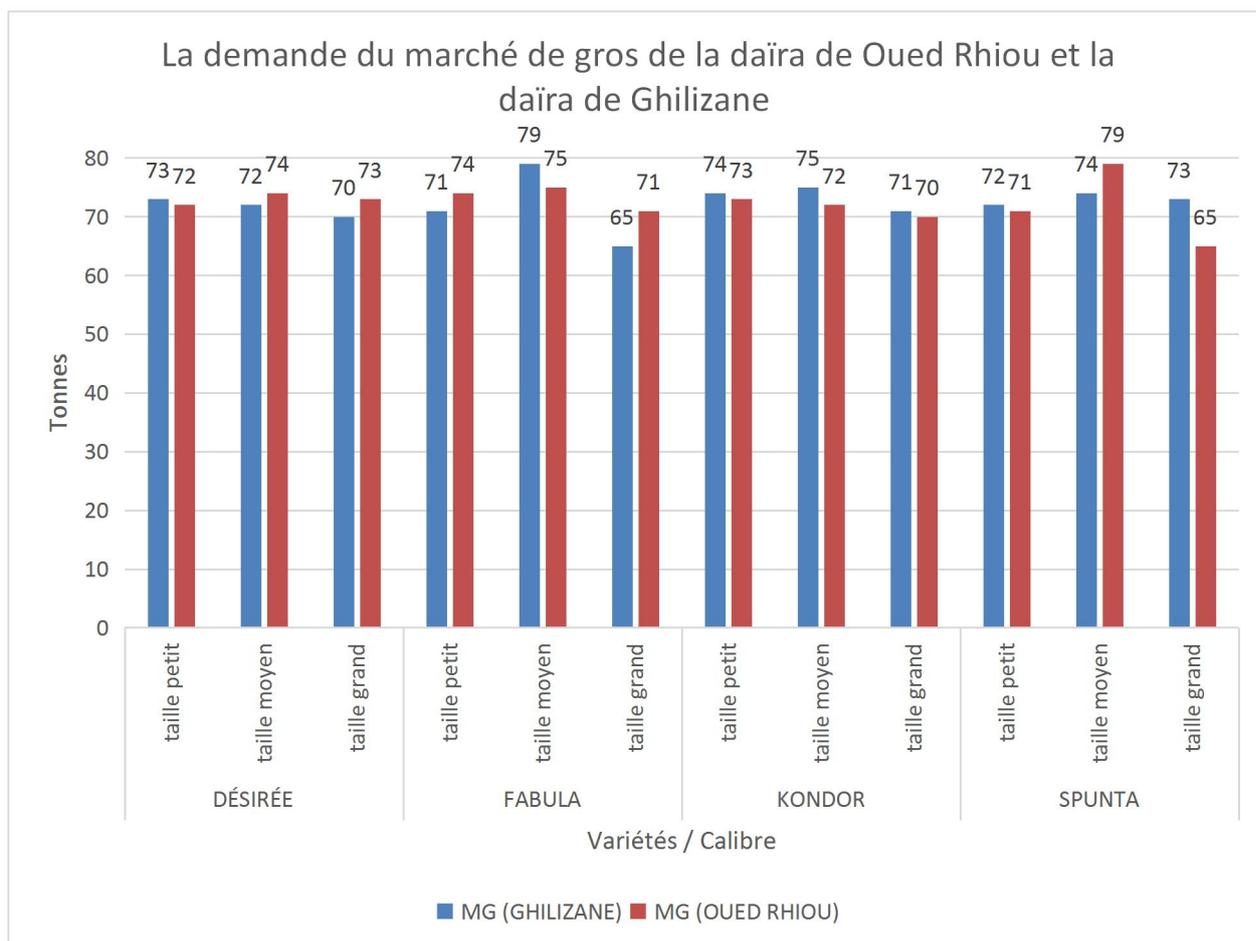


Figure IV- 11 : La demande du marché de gros de la daïra d'Oued Rhiou et la daïra de Ghilizane (D_{kpc}).

Alors Les quantités de pomme de terre livrée vers le marché de gros depuis l'entrepôt moyen d'Oued Rhiou et l'entrepôt moyen de Ghilizane vers les marchés de gros sont représenté sur le graphique suivant :

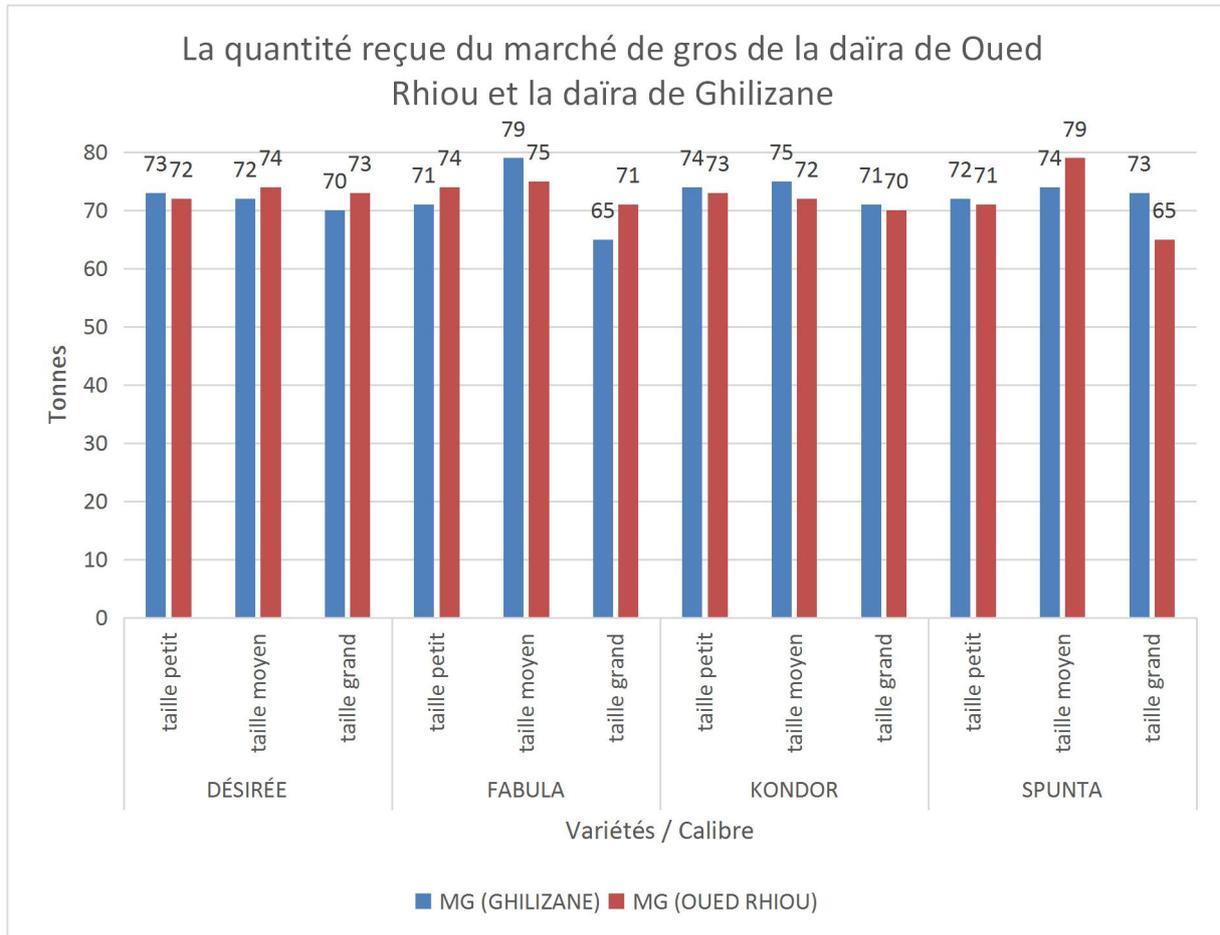


Figure IV- 12 : La quantité reçue du marché de gros de la daïra d'Oued Rhiou et la daïra de Ghilizane (Q_{Lkpc}).

V.7.6 Conclusion :

Puisque la demande initiale du marché de Ghilizane et Oued Rhiou a été entièrement satisfaite, nous pouvons dire avec certitude que l'exécution du programme a été un succès.

Nous avons commencé par les prévisions hebdomadaires de la demande, puis nous avons évalué les quantités initiales disponibles dans les grands stocks et les stocks intermédiaires. Ensuite le programme a déterminé les quantités de pomme de terre nécessaire pour satisfaire cette demande et d'où elles viennent. Tout en minimisant les coûts de transports et finalement satisfaire la demande initiale avec une précision totale.

CONCLUSION GENERALE :

Les différents acteurs du système de stockage en Algérie, qu'ils soient scientifiques ou industriels, En plus de l'absence ou de l'insuffisance des ressources disponibles à l'intérieur des entrepôts de stockage en termes de maintien de la chaîne du froid, néglige souvent l'importance de l'existence d'un lien entre les différents entrepôts qui régleme la distribution des pommes de terre à grande échelle. Ce qui constitue un défaut majeur du système actuel car il y a très peu d'utilisation des systèmes de l'aide de décision. Ceci entraîne souvent une mauvaise distribution qui est la situation actuelle en Algérie.

Dans cette thèse, nous nous sommes intéressés à la conception d'une chaîne de distribution qui se compose de cinq zones réparties à travers le territoire national. Où la demande du marché est toujours satisfaite dans les meilleures conditions et au moindre prix possible. Nous avons ensuite divisé ces cinq zones en deux parties, la première est composée de deux grandes zones (Mostaganem et Ain Defla) qui contient les grands entrepôts, et les trois zones restantes (Ghelizane, Chlef, Tissemsilet) qui ont des entrepôts intermédiaires. L'objectif de ces entrepôts est de satisfaire la demande du marché.

Pour accomplir cette tâche, nous avons dû passer par différentes étapes, dont la première consiste à traduire la vision que nous avons en modèle mathématique. Après cela, les objectifs et les résultats que nous voulions atteindre ont commencé à devenir un peu plus clairs, nous sommes ensuite passés à la traduction de notre modèle mathématique en un langage de programmation à l'aide d'un solveur.

Après avoir examiné nos choix et comparé les différents outils disponibles (ArtelysKnitro, CHIP (Constraint Handling in Prolog), Comet, Dissolve (Bibliothèque C++)) nous avons décidé d'utiliser le solveur ILOG (Cplex) qui est un solveur très puissant, simple à utiliser et qui suit une méthode PPC (Programmation Par Contrainte) qui est parfaite pour notre cas d'étude. Nous avons ensuite procédé à la collecte des données nécessaires pour avoir une description précise de la situation réelle en Algérie. Pour insérer les données dans notre programme, nous avons fait des recherches sur diverses choses, les variétés de pomme de terre les plus utilisées en Algérie, la consommation de la population, l'établissement d'une demande provisionnel a l'aide des statistiques disponibles en Algérie. Ainsi que l'estimation des couts de transport entre les différents entrepôts en utilisant les distances entre eux.

Enfin nous sommes arrivés à l'exécution du programme et aux résultats préliminaires obtenus et la phase d'organisation des données obtenues ont commencé ce qui était un gros défi en raison des grandes quantités de données obtenues (en forme de tableaux très longs) qui ont ensuite été condensés et affinés à l'aide d'Excel Microsoft Office pour pouvoir les présenter efficacement dans cette thèse. En plus de cela, les tentatives de lier le programme avec une interface graphique pour mettre en valeur les résultats obtenus n'étaient malheureusement pas possibles en raison des limites de la version gratuite du programme <CPLEX>. À la fin, nous avons pu atteindre ce que nous voulions faire au début du processus de la réalisation de cette thèse, Le programme a été un succès et a satisfait aux exigences de sa conception.

Travailler sur cette thèse a été une courbe d'apprentissage importante nous avons fait face à de nombreux défis, beaucoup de hauts et de bas, de la frustration parfois, le sentiment d'accomplissement d'autres fois. Ce fut une importante initiation et expérience au monde pratique d'un ingénieur.

PERSPECTIVES :

Notre vision de ce travail était censée inclure toutes les wilayas d'Algérie dans leur totalité avec des données réelles et concrètes sur le terrain. Malheureusement, à cause de la situation du COVID 19, notre période de recherche a été considérablement réduite et nous avons fini par utiliser seulement cinq zones de production entre elles. Ce travail reste un premier pas pour tous ceux qui, à l'avenir, se lanceront dans l'amélioration de la chaîne logistique de la pomme de terre en Algérie.

Notre vision comprenait également que les deux thèses auraient été liées si les données réelles avaient été collectées pour avoir une description précise de l'état actuel de la situation de la chaîne logistique de pomme de terre algérienne.

Dans les travaux qui suivent notre thèse, il serait intéressant d'introduire les ERP afin de disposer d'un système d'information capable de décrire les décisions opérationnelles et d'améliorer l'approche stratégique et tactique que nous avons conceptualisée.

Des tentatives de visualisation du travail réalisé avec une interface ont été faites dans cette thèse, On a commencé le travail sur l'interface en utilisant le langage python, après avoir réalisé un progrès considérable hors ligne on a rencontré quelques problèmes lorsque nous avons décidé d'importer les données à cause des fonctions limitées de la version gratuite de <CPLEX >. Par conséquent nous n'avons pas pu la faire fonctionner en fin de compte. Mais c'était un processus de recherche intéressant pour un futur ingénieur et une façon de comprendre que parfois le produit fini n'est pas toujours comme envisagé dans le monde réel, en dehors de la sécurité de l'aspect théorique auquel nous sommes habitués dans le monde universitaire.

BIBLIOGRAPHIE :

- [1] :«Rigaldies, S. (1970). Gestion économique des stocks, par A. RAMBAUX. Un vol., 5½ po. x 8¾, relié, 253 pages.DUNOD, Paris, 1969. *L'Actualité économique*, 45(4), 830-832.».
- [2] :«Hamiche, T., &Marouf, A. (2019). *Le Supply Chain Management et sa contribution à la performance de l'entreprise Étude de Cas: CEVITAL agroalimentaire* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).».
- [3] :«Optimisez votre plate-forme logistique4e édition, Michel ROUX ,Tong LIU».
- [4] :«PELLERIN, L. (1997). La Formalisation des activités de Gestion des Stocks dans PME Manufacturières Quebequoises».
- [5] : «Michel ROUX, Tong LIU : Optimisez votre plate-forme logistique4e édition».
- [6] : «formule-de-wilson ». www.manager-go.com/logistique/formule-de-wilson
- [7] : «Le modèle de wilson». www.bluelean.fr/blog/production/formule-de-wilson-et-taille-de-lot.
- [8] : «Westra, H. J., Peters, M. J., Esko, T., Yaghootkar, H., Schurmann, C., Kettunen, J., ... &Zhernakova, A. (2013). Systematic identification of trans eQTLs as putative drivers of known disease associations. *Nature genetics*, 45(10), 1238-1243.».
- [9] : « <https://immobilier.jll.fr/blog/article/entrepot-definition-et-avantages>».
- [10] : «logistiqueconseil.org/Articles/Entrepot-magasin».
- [11]: « PRESENTATION ET ROLE DE L ENTREPOT DANS LA SCM : II.LES DECISIONS STRATEGIQUES DANS LE DOMAINE D ENTREPOSAGE ».
- [12] : « Faqlogistique/Les systèmes d'informations en logistique/ La pyramide du CIM. ».
- [13] : « ORGANISATION ET GESTION DE LA PRODUCTION, Georges Javel, Dunod, Paris, 2010 pour la quatrième édition».
- [14] : « Gestion de production Chantal BONNEFOUS-MARTIN Alain COURTOIS Maurice PILLET».
- [15] : « Michel Roux ENTREPÔTS ET MAGASINS Tout ce qu'il faut savoir pour concevoir une unité de stockage ».
- [16] : « ORGANISATION ET GESTION DE LA PRODUCTION, Georges Javel, Dunod, Paris, 2010 pour la quatrième édition».
- [17] : « Article : Logiciel WMS : définition et fonctionnalités, Loïc Bourgoïn/ Outils TMS».
- [18] : « Article conseils : Pourquoi utiliser une solution WMS ? Cegle.fr».

- [19] : «MESSAOUDI, A., & TOUAHAR, N. *Planification de la récolte, le stockage et la distribution dans la chaîne logistique dédiée à la production des dattes* (Doctoral dissertation).».
- [20] : «Anizon, J. Y., Lemaire, B., & Surbled, M. technique de l'ingénieur, traité agroalimentaire. *F*, 3, 060.».
- [21] : « Tableau qui clarifié les différents températures de conservations des produits alimentaireconomie.gouv.fr».
- [22] : «PERRIN, Anne-Elisabeth et SIMON, Chantal. Nutrition de la femme enceinte. *Cahiers de nutrition et de diététique*, 2002, vol. 37, no 1, p. 59-64. ».
- [23] : « Article :La réfrigération des produits agricoles et alimentaires F.AMROUCHE , professeur certifié de Génie Alimentaire».
- [24]: « Willemot C. - Incidence physiologique de la conservation au froid. In : "Technologie des légumes " (Tirilly Y., Bourgeois C.M.), Tec Doc Lavoisier, 2001, 283-296».
- [25] : « Rosset R. - Conservation de la viande : Recours impératif au froid. Problèmes posés et solutions. *Rev. Gén. Froid*, 1995, 85, 18-23».
- [26] : « Vallet J.L. - Le froid « clé de voûte » de l'industrie de transformation du poisson. *Rev. Gén. Froid*, 1997, 978, 15-19».
- [27] : « La chaîne du froid dans l'agroalimentaire par Bernard COMMÈRE et François BILLIARD».
- [28] : « BILLIARD (F.), DEFORGES (J.), DERENS (E.), GROS (J.) et SERRAND (M.). – Maîtrise de la chaîne du froid des denrées surgelées, guide technique. Coordination Association Française du Froid (AFF). Coédition Cemagref AFF. 120 p. (1995) ».
- [29] : « Billard F. - La logistique du froid dans le commerce de détail. *Rev. Gén. Froid*».
- [30] : « Conteneur Reefer ». www.indiamart.com/proddetail/refrigerated-containers
- [31] : « reefer cooling unitwww.mtcontainer.com/reefer-container/».
- [32] : « camion frigorifique<https://www.lecapitaine.com/>».
- [33] : « Cavalier G. 26 Challenges facing refrigerated trucks for sustainable development, ».
- [34]: «Perrin, A. E., & Simon, C. (2002). Nutrition de la femme enceinte. *Cahiers de nutrition et de diététique*, 37(1), 59-64., ».
- [35] : « Entrepôt Réfrigéré ». <http://french.coldroomwarehouse.com/sale-10470134-insulated-panel-assembling-refrigerated-warehouse-air-cooled-cold-room-storage.html>
- [36] : « Article : La construction d'un entrepôt frigorifique, tout un défi ? L'actualité alimentaire».

- [37]: « Stocks congelés de viande rouge dans un entrepôt congelé».
https://fr.123rf.com/photo_66420573_stocks-congel%C3%A9s-de-viande-rouge-dans-un-entrep%C3%B4t-frigorifique.html
- [38] : « caristes ». <https://yesequipment.wordpress.com/2015/04/15/10-lift-truck-accidents-a-professional-lift-truck-operator-should-know-avoid/>
- [39] : « Institut national de Recherche et de Sécurité (France) ; L'entreposage frigorifique, Avril 2010».
- [40] : « Entrepôt a mezzanines ». <https://molloy.co/mezzanines-2/>
- [41] : «https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Ffr.mappy.com%2Fpoi%2F50ae583784ae9be1483cd240&psig=AOvVaw39_opYcl_gs8O4KNfm6hF7&ust=1598533887676000&source=images&cd=vfe&ved=2ahUKEwjI6cf1-LjrAhUD0xoKHW0ICBIQr4kDegUIARCZAQ. ».
- [42] : « ENTREPOSAGE DES FRUITS ET LÉGUMES, Le service de plans canadiens. PLAN M-6000».
- [43] : « Potato storage and value preservation». (http://crosstree.info/Documents/POTATO_STORAGE.pdf), Technical Advisors & Consultants.
- [44]: « pommes de terre germé ». <https://www.canalvie.com/recettes/aliments-ne-pas-manger-crus-1.2613344>
- [45] : « Le stockage traditionnel de la pomme de terre de saison, les bulletins du Centre Technique de la Pomme de Terre».
- [46] : «Wünsch, J. A. (2004). *Intégration des contraintes du marché dans la conduite des cultures: effets de la différenciation des produits sur la conduite de la culture de pomme de terre de conservation dans les exploitations agricoles de Picardie* (Doctoral dissertation).».
- [47] : « Guide de bonnes pratiques phytosanitaires en culture de pommes de terre».
- [48]: « stockage de pommes de terre en vrac ».
<https://www.tolsmagrisnich.com/fr/systeme/conservation/conservation-en-vmrac/>
- [49] : « stockage de pommes de terre en sacs ». https://fr.123rf.com/photo_27462838_vue-sur-les-sacs-et-caisses-de-pommes-de-terre-%C3%A0-la-maison-de-stockage.html
- [50] : « Stockage de pommes de terre en paloxes ». <https://www.paysan-breton.fr/2015/07/pomme-de-terre-un-batiment-neuf-pour-le-plant/>
- [51] : «DE LA BIODIVERSITE, Conservation. Biodiversity Conservation GEF Project. 1993.».
- [52] : « Bâtiment de stockage de pommes de terre ». www.haltec.fr/referance/batiment-de-stockage-de-pommes-de-terre-016/
- [53] : « Stockage et conservation de la Pomme de Terre - Brochure ITCF / ITPT (2001) ».
- [54] : « Unité d'isolation thermique ». www.archiexpo.com/prod/italpannelli/product-90342-920014.

- [55] : « Une installation du pare-vapeur ». www.distriartisan.fr/blog/choix-mise-en-oeuvre-pare-vapeur/
- [56] :« Données pratiques de construction d'un bâtiment de stockage de pomme de terre (1994) - P. CABARET, H. PHILIPPO + additif 2000 rédigé par H. PHILIPPO - Chambre d'Agriculture du Nord ».
- [57] : « conception d'un toit en treillis». <https://emedia.rmit.edu.au/dlsweb/Toolbox/buildright>
- [58] : « M.Eltawil, D.Samuel and O.Singhal "Potato Storage Technology and Store Design Aspects"».
- [59] : « Système de ventilation dans un entrepôt de stockage en vrac ». www.tolsmagrisnich.com/en/systems/storage/bulk-storage/
- [60]: « Capteur / Sonde d'hygrométrie (humidité) extérieure ». <http://www.ses-automation.fr/produit,capteur>.
- [61] : « PRESCRIPTIONS TECHNIQUES APPLICABLES AUX LOCAUX DE STOCKAGE DE POMMES DE TERRE (PLANT, CONSOMMATION ET FECULE) ».
- [62]: «Bessaoud, O., & Lefki, K. (2018). Diagnostic du système de régulation de la pomme de terre en Algérie.page26».
- [63]: «Bessaoud, O., & Lefki, K. (2018). Diagnostic du système de régulation de la pomme de terre en Algérie.page27».
- [64]: «Bessaoud, O., & Lefki, K. (2018). Diagnostic du système de régulation de la pomme de terre en Algérie.page28».
- [65]: «Bessaoud, O., & Lefki, K. (2018). Diagnostic du système de régulation de la pomme de terre en Algérie.page39».
- [66]: «Bessaoud, O., & Lefki, K. (2018). Diagnostic du système de régulation de la pomme de terre en Algérie.».
- [67] : « logo de ILOG <CPLEX> ». <https://www.asonedata.online/2020/02/cours-de-cplexintroduction-ou-ibm-ilog.html>.
- [68] : « Suite d'optimisation ». www.ibm.com.

RESUME :

Les systèmes de stockage sont un élément essentiel de la chaîne d'approvisionnement et de la distribution des produits agricoles. La majorité de ces produits nécessitent des installations de stockage efficaces (chambres froides) afin de conserver une bonne qualité commerciale. Dans cette thèse, notre objectif est de conceptualiser une chaîne de distribution de pommes de terre efficace en Algérie en utilisant le solveur **CPLEX Studio IDE** qui permettra d'atteindre la demande des clients sans rupture et à un prix raisonnable pour les consommateurs en minimisant tous les frais qui peuvent survenir. Dans cette étude, nous commençons par analyser les prix d'achat des pommes de terre venant des zones de plantation ainsi que les prix de vente de chaque zone de stockage en plus de déterminer les quantités qui circulent d'une zone de stockage à l'autre jusqu'à ce que nous atteignons finalement les marchés finaux.

Mots clés : Systèmes de stockage, Chambres froides, Chaîne d'approvisionnement, Chaîne de distribution, Demande des clients, Prix d'achat, Prix de vente, Zones de plantation, Zones de stockage.

ABSTRACT:

Storage systems are a vital part of the supply chain and the distribution of agricultural products; the majority of these products require efficient storage facilities (cold rooms) in order to stay in a good commercial quality. In this thesis our goal is to conceptualize an efficient potato distribution chain in Algeria Utilizing the **CPLEX Studio IDE** solver that will attain the client demand without ruptures and in a reasonable price for the consumers by minimizing all the charges that can occur. In this study we start by analyzing the purchasing prices of potatoes from the plantation zones as well as the selling prices of each storage zone in addition to determining the quantities that circulate from one storage zone to the other till we finally reach the final markets.

Key words: Storage systems, cold rooms, Supply chain, Distribution chain, Client demand, purchasing prices, Selling prices, Plantation zones, Storage zones.

ملخص :

أنظمة التخزين هي جزء حيوي من سلسلة الإمداد وتوزيع المنتجات الزراعية، غالبية هذه المنتجات تتطلب كفاءة مرافق التخزين (غرف التبريد) من أجل نوعية تجارية ممتازة. هدفنا في هذه الأطروحة هو بناء سلسلة لتوزيع البطاطا في الجزائر و لقد استعانا ببرنامج **CPLEX Studio IDE**

الذي مكنا من حل مشاكل تحقيق الطلب بسعر معقول للمستهلكين في الإطار الزمني المناسب وذلك عن طريق التقليل من كل رسوم النقل والتوزيع. وفي هذه الدراسة نبدأ بتحليل أسعار شراء البطاطا من المناطق الزراعية وكذلك أسعار بيع كل منطقة وأسعار التخزين بالإضافة إلى تحديد الكميات التي تنتقل من منطقة تخزين إلى أخرى حتى نصل في الأخير إلى السوق

الكلمات الرئيسية: أنظمة التخزين، غرف التبريد، سلسلة الإمداد، سلسلة التوزيع، طلب المستهلكين أسعار الشراء، أسعار البيع، المناطق الزراعية، مناطق التخزين.