

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abou bekr Belkaid Tlemcen

Faculté de Technologie



THÈSE

Présentée pour l'obtention de diplôme de **Doctorat** 3^{ème} cycle

En : Génie Industriel et Productique

par

Mr. Mohamed Amine CHERIER

Modélisation et optimisation de la production, le stockage et la distribution des produits agroalimentaires : cas de la tomate industrielle

Soutenue publiquement, le 03/07/2021, devant le jury composé de :

Mm. Lamia TRIQUI SARI	MCA	Université de Tlemcen	Présidente
Mr. Fayçal BELKAID	MCA	Université de Tlemcen	Examineur
Mr. Elhouari MAHMOUDI	MCA	École polytechnique d'Oran	Examineur
Mr. Sidi Mohamed MELIANI	Professeur	Université de Tlemcen	Directeur
Mr. Mohammed BENNEKROUF	MCB	École Supérieures en Sciences Appliquées de Tlemcen	Co-Directeur
Mr. Metin TÜRKAY	Professeur	Université de Koç (Turque)	Invité

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

"أَفْرَأُ بِاسْمِ رَبِّكَ الَّذِي خَلَقَ (1) خَلَقَ الْإِنْسَانَ مِنْ عَلَقٍ (2) أَفْرَأُ وَرَبُّكَ الْأَكْرَمُ (3) الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ
(4) عَلَّمَ الْإِنْسَانَ مَا لَمْ يَعْلَمْ (5)".

سورة العلق (1-5)

" إذا أردت الدنيا فعليك بالعلم، وإن أردت الآخرة فعليك بالعلم وإذا أردتهما معاً فعليك بالعلم.
والعلم لا يعطيك بعضه إلا إذا أعطيته كُلك وإذا أعطيته بعضك لم عطيك شيئاً.

يظل المرءُ عالماً ما طلب العلم، فإذا ظنَّ أنه عليم فقد جهل.

طالبُ العلم يُؤثر الآخرة على الدنيا فيربحُهما معاً، بينما الجاهلُ يُؤثر الدنيا على الآخرة
فيخسرُهما معاً."

فضيلة الدكتور: محمد راتب النابلسي

والجهل يهدم بيوت العز والكرم"

"العلم يبني بيوتاً لا عماد لها

أحمد شوقي

Dédicaces

Je dédie cette thèse à

En premier lieu, à ma très chère mère, vous représentez pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.

Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

À la mémoire de mon père, aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous.

Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.

À mes chers frères et sœurs, en témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour vous. Malgré la distance qui nous a éloigné dans la majorité de temps pendant mes années d'études, vous êtes toujours dans mon cœur. Je vous remercie pour votre aide et votre l'encouragement sans égal et votre affection si sincère.

Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.

À mes chers amis sans exception, je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées, vous êtes pour moi des frères, sœurs et des amis sur qui je peux compter.

En témoignage de l'amitié qui nous uni et des souvenirs de tous les moments que nous avons passé ensemble.

Je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.

Remerciements

Ce travail a été effectué au sien de laboratoire de MELT (Manufacturing engineering laboratory of Tlemcen), faculté de technologie de Abou Bekr Belkaid, Tlemcen.

Je remercie, avant tout, Dieu, le Tout-Puissant, de m'avoir accordé parmi ses innombrables grâces, santé et courage pour accomplir ce travail.

J'adresse mes chaleureuses remerciements à toute personne qui m'a aidé de près ou de loin pour finaliser ce modeste travail. J'exprime toute ma reconnaissance aux mes chers encadrants, MM. Sidi Mohammed MELIANI, professeur à l'université de Tlemcen, Mohammed BENNEKROUF, maître de conférences à l'école supérieures en sciences appliquées de Tlemcen et Metin Turkey, professeur à l'université de Koç (Turque).

Je voudrais exprimer ma profonde gratitude à Mm Lamia TRIQUI SARI, maître de conférence à l'université de Tlemcen, pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury de cette thèse.

Ma grande gratitude et mes remerciements vont également aux membres de jury, qui ont accepté de rapporter ce travail. Mr Fayçal BELKAID maître de conférence de l'université de Tlemcen, Mr Elhouari MAHMOUDI maître de conférence d'école natioanle polytechnique d'Oran.

Un grand merci s'adresse l'entreprise « groupe AMOUR » pour l'accueil chaleureux et pour leur participation à la réalisation de cette étude. Un vif remerciement à Mr. Hamza AMOUR, responsable au département de supply chain au sien de cette entreprise pour toutes informations, aides et orientations.

Je voudrais remercier infiniment les professeurs Said GHALEM et Houssine BENAISSA d'avoir m'accueillir dans leur laboratoire « LASNABIO » et pour ses encouragements.

Un merci exceptionnel à Mohamed Yacine Medjadji et sa famille surtout sa mère pour leur soutien et gentillesse, c'était vraiment ma deuxième famille.

J'aimerais bien dire à tous ceux dont je n'ai pas cité les noms et qui ont contribué, de près ou de loin, au succès de ce travail, que je suis profusément reconnaissant.

Je n'oublierais jamais de remercier les membres du laboratoire MELT et particulièrement l'équipe de la chaîne logistique.

Résumé

Dans cette thèse, nous avons traité le problème de l'optimisation de la chaîne logistique agroalimentaire. Le contenu de ce manuscrit est divisé en deux grandes parties. La première partie concerne le problème de choix de fournisseurs alors que la deuxième focalise sur l'optimisation de la production agricole en termes de récolte, transport, production industrielle, stockage et distribution.

Dans la première partie, nous avons intégré trois méthodes MCDM (Delphi, AHP et TOPSIS) afin de proposer une approche d'aide à la décision en ce qui concerne le problème de choix des fournisseurs. Une entreprise algérienne de conserverie de tomate constitue notre cas d'étude où le problème consiste à sélectionner les meilleurs fermes de tomates afin d'assurer une bonne qualité de la matière première fraîche.

Dans la deuxième partie, nous avons proposé un support décisionnel pour l'entreprise concernée. Cet outil vise la minimisation des pertes de la matière fraîche tout en respectant les contraintes liées aux périodes de plantation et de récolte pour chaque variété de tomate. Le support développé consiste en un modèle mathématique qui minimise les pertes et optimise les tâches liées à la plantation, la récolte, le transport, le système de production, le stockage et finalement la distribution des produits finis aux clients finaux.

Mots-clé :

Modélisation, Optimisation, Chaîne Logistique Agroalimentaire, Tomate

Abstract

In this thesis we treated the problem of the optimization of the food supply chain. The content of this manuscript is divided into two main parts. The first part deals with the suppliers selection problem while the second part focuses on the agricultural production optimization, in terms of harvesting, transport, production, storage and distribution.

In the first part, we have integrated three MCDM methods (Delphi, AHP and TOPSIS) in order to propose a decision support approach to the supplier selection problem. An Algerian tomato canning company constitutes our case study where the problem consists to select the best tomato farms to ensure a good quality of fresh raw material.

In the second part, we proposed a decision support for the concerned company. This tool aims at minimizing losses of fresh material respecting the constraints related to the planting and harvesting periods for each tomato variety. The support developed consists of a mathematical model that minimizes losses and optimizes the tasks related to planting, harvesting, transport, production system, storage and finally the distribution of finished products to final customers.

Keywords :

Modeling, Optimization, Food Supply Chain, Tomato

Table des matières

Table des matières	vii
Table des figures	xi
Liste des tableaux	xiii
Introduction générale	1
1 Contexte général de l'étude	4
1.1 Introduction	4
1.2 Définitions	5
1.2.1 Définition de la décision	5
1.2.2 Définition du décideur	5
1.2.3 Définition d'un problème	5
1.2.4 Définition de l'aide à la décision	5
1.2.5 Définition des Méthodes de Prise de Décision Multicritères (MCDM)	5
1.2.6 Définition de fournisseur	6
1.3 Types et Application de MCDMs	6
1.3.1 Application de MCDM	7
1.4 Processus de prise de décision	7
1.5 Classification des problèmes de décision	8
1.6 Sélection des fournisseurs et son influence sur l'efficacité d'entreprise .	9
1.7 Chaînes logistiques	9

TABLE DES MATIÈRES

1.7.1	Logistique	9
1.7.2	Chaîne logistique	9
1.7.3	Gestion de la chaîne logistique	11
1.7.3.1	Flux d'information	12
1.7.3.2	Flux des matières	12
1.7.3.3	Flux financier	13
1.7.4	Décisions dans la chaîne logistique	13
1.7.4.1	Niveau stratégique	14
1.7.4.2	Niveau tactique	15
1.7.4.3	Niveau opérationnel	15
1.7.5	Fonction de la chaîne logistique	16
1.7.5.1	Approvisionnement	16
1.7.5.2	Production	17
1.7.5.3	Stockage	17
1.7.5.4	Distribution et le transport	18
1.7.5.5	Vente	18
1.7.6	Chaîne logistique agroalimentaire	18
1.7.6.1	Chaîne logistique agroalimentaire des produits non-périssables	20
1.7.6.2	Chaîne logistique agroalimentaire des produits périssables	20
1.7.7	Importance de l'optimisation dans la chaîne logistique agroalimentaire	20
1.7.8	Différence entre la chaîne logistique agroalimentaire et d'autres types de chaînes logistiques	21
1.8	Conclusion	21
2	État de l'art et positionnement de nos contributions	23
2.1	Introduction	23
2.2	Revue de la littérature	24

TABLE DES MATIÈRES

2.2.1	Problème de choix de fournisseurs (Supplier Selection Problem, SSP)	24
2.2.1.1	Méthode Delphi	24
2.2.1.2	Méthode AHP (Analytic Hierarchy Process)	27
2.2.1.3	Méthode Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)	30
2.2.1.4	Synthèse de la revue de littérature du choix de fournisseurs	32
2.2.2	Planification et l'optimisation dans la chaîne logistique agroalimentaire	32
2.2.2.1	Synthèse de l'état de l'art et positionnement de notre contribution l'optimisation	37
2.3	Conclusion	37
3	Sélection des fermes de tomate en utilisant les méthode MCDM : Delphi-AHP-TOPSIS	39
3.1	Introduction	39
3.2	Présentation de la problématique	40
3.3	Présentation de la méthodologie proposée	41
3.3.1	Méthode Delphi	41
3.3.1.1	Première étape	41
3.3.1.2	Deuxième étape	41
3.3.2	Méthode Analytic Hierarchy Process (AHP)	42
3.3.2.1	Process de AHP	42
3.3.3	Méthode Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)	44
3.3.4	Motivation à l'intégration d'AHP-TOPSIS	47
3.4	Application de la méthodologie à l'industrie agroalimentaire : étude de cas de la tomate	48
3.4.1	La méthode Delphi	50
3.4.2	Méthode AHP	55

TABLE DES MATIÈRES

3.4.3	Méthode TOPSIS	56
3.5	Résultats et discussion	56
3.6	Conclusion	60
4	Optimisation de la chaîne logistique agroalimentaire et gestion de pertes : entreprise de fabrication de tomate industrielle	61
4.1	Introduction	61
4.2	Industrie de la transformation de la tomate en Algérie	63
4.2.1	Récolté de tomate en Algérie	64
4.2.2	Transformation de tomate	65
4.3	Description du problème	66
4.4	Modèle Mathématique	69
4.4.1	Fonction Objectif	72
4.4.2	Contraintes	73
4.5	Étude de cas et résultats	78
4.5.1	Influence d'optimisation proposée sur la production de TCT . . .	81
4.5.2	Influence d'optimisation proposée sur la production de DCT . . .	81
4.5.3	Gestion de transport	81
4.5.4	Gestion du stock	82
4.6	Conclusion	90
	Conclusions et perspectives	91
	Annexe A	94
	Bibliographie	106

Table des figures

1.1	Méthodes de MCDM existants (Banasik et al., 2018)	7
1.2	Différents flux de la chaîne logistique.	11
1.3	Pyramide de niveaux décisionnels (Mouloua, 2007)	14
1.4	Présentation d'un schéma générale de la chaîne logistique agroalimentaire	19
3.1	Solution idéale positive et la solution idéale négative du diagramme de la méthodologie TOPSIS (adapté de (Hsieh et al., 2006; Joshi et al., 2011))	47
3.2	Fermes productrices de tomates algériennes et entreprise de pâte de tomate (+ : entreprise de pâte de tomate, point noir : ferme de tomates).	48
3.3	Diagramme générale pour la sélection des fournisseurs basé sur la méthodologie Delphi-AHP-TOPSIS.	50
3.4	Modèle hiérarchique proposé pour l'industrie de transformation de la tomate	55
4.1	Calendrier de culture et de récolte des tomates de transformation en Algérie selon les deux variétés (variété 1 : précoce et variété 2 : tardive). .	63
4.2	Processus d'AFSC de transformation de la tomate selon le cas d'étude traité.	68
4.3	Arrivage de camions de tomate fraîche à l'entreprise (modèle basique) .	83
4.4	Arrivage de camions de tomate fraîche à l'entreprise (scénario 1)	83
4.5	Arrivage de camions de tomate fraîche à l'entreprise (scénario 2)	84
4.6	Variation de la fonction objectif avec les scénarios	84
4.7	Pourcentage de gaspillage de tomate fraîche selon les scénarios proposés	85

TABLE DES FIGURES

4.8	Variation de la fonction objectif et le pourcentage de gaspillage de tomate selon les scénarios proposés	85
4.9	Influence d'approche proposée sur la production de TCT	86
4.10	Influence d'approche proposée sur le profit de TCT	86
4.11	Influence d'approche proposée sur la production de DCT	87
4.12	Influence d'approche proposée sur le profit de DCT	87
4.13	Influence de la méthodologie proposée sur la coût de transport	88
4.14	Stockage de TCT dans les différents entrepôts	88
4.15	Stockage de TCT dans les entrepôts selon les trois configurations (Basic model (BM), Scénario 1 (S1) et Scénario 2 (S2)	89
4.16	Le pic de stockage de TCT dans les entrepôts selon les trois configurations (Basic model (BM), Scénario 1 (S1) et Scénario 2 (S2)	89

Liste des tableaux

1.1	Définitions de la chaîne logistique	10
3.1	Échelle de comparaison par paires (Saaty, 2008).	43
3.2	Indice de cohérence aléatoire en fonction du nombre de n (Saaty, 2008)	44
3.3	Critères de sélection des fournisseurs en fonction des auteurs sélectionnés	49
3.4	Matrice comparative en respectant l'objectif final	57
3.5	Matrice de comparaison par paires pour le critère de la production végétale (C_1).	57
3.6	Matrice de comparaison par paires pour le critère de caractéristiques du produit (C_2).	57
3.7	Matrice de comparaison par paires pour le critère du coût de transport (C_3).	58
3.8	Matrice de comparaison par paires pour le critère de la relation avec le fournisseur (C_4).	58
3.9	Matrice de comparaison par paires pour le critère du rendement des cultures (C_{11}).	58
3.10	Matrice de comparaison par paires pour le critère des terrain agricole (C_{12}).	58
3.11	Matrice de comparaison par paires pour le critère de l'infrastructure (C_{13}).	58
3.12	Matrice de comparaison par paires pour le critère de qualité (C_{21}).	58
3.13	Résultat de l'évaluation finale des alternatives	59
3.14	Fermes de tomates sélectionnées	59

LISTE DES TABLEAUX

4.1	Paramètres utilisés dans le modèle mathématique	69
4.2	Variation de taux de détérioration de la tomate industrielle selon la température dans une journée	79
4.3	Résultats économiques entre les données de l'entreprise (modèle de base) et la solution pour le scénario 1	80
4.4	Résultats économiques entre les données de l'entreprise (modèle de base) et la solution pour le scénario 2	80
5	Matrice de jugement des alternatives par rapport au critère de réputation (C_{42})	94
6	Matrice de jugement des alternatives par rapport au critère de faciliter la communication (C_{41})	95
7	Matrice de jugement des alternatives par rapport au critère de coût unitaire du transport (C_{33})	95
8	Matrice de jugement des alternatives par rapport au critère de proximité (C_{32}).	96
9	Matrice de jugement des alternatives par rapport au critère de réputation (C_{42})	96
10	Matrice de jugement des alternatives par rapport au critère de quantité (C_{21})	97
11	Matrice de jugement des alternatives par rapport au critère de disponibilité (C_{23})	97
12	Matrice de jugement des alternatives par rapport au critère de prix de produit (C_{22})	98
13	Matrice de jugement des alternatives par rapport au critère de Brix (C_{213})	98
14	Matrice de jugement des alternatives par rapport au critère d'apparence (C_{212})	99
15	Matrice de jugement des alternatives par rapport au critère de la sécurité du produit (C_{211})	99
16	Matrice de jugement des alternatives par rapport au critère d'équipement (C_{312})	100
17	Matrice de jugement des alternatives par rapport au critère de la disponibilité de la main d'œuvre qualifiée (C_{311})	100

LISTE DES TABLEAUX

18	Matrice de jugement des alternatives par rapport au critère de topologie (C_{122})	101
19	Matrice de jugement des alternatives par rapport au critère d'irrigation (C_{121})	101
20	Matrice de jugement des alternatives par rapport au critère d'humidité (C_{114})	102
21	Matrice de jugement des alternatives par rapport au critère de caractéristiques du sol (C_{113})	102
22	Matrice de jugement des alternatives par rapport au critère de l'éclairage (C_{112})	103
23	Matrice de jugement des alternatives par rapport au critère de température (C_{111})	103
24	Les poids des alternatives et les poids de chaque critère selon la hiérarchie de cas d'étude	104
25	Matrice de décision normalisée pondérée des alternatives	105

Introduction générale

Cette thèse a été effectuée au sein de l'équipe « Supply Chain » dans le laboratoire de « Manufacturing Engineering Laboratory of Tlemcen (MELT) » de l'université de Abou bekr Blekaid Tlemcen sur « La modélisation et l'optimisation de la production, le stockage et la distribution des produits agroalimentaires et de leurs dérivés dans un cadre de développement durable ».

Ces derniers temps, les exigences des clients changent d'une manière très rapide sous l'effet de la globalisation mondiale. Les entreprises visent à minimiser les coûts de fabrication tout en garantissant un produit de bonne qualité et garder un meilleur service, dans le but de gagner une grande part du marché. Pour cela, les entreprises doivent suivre des nouvelles stratégies d'optimisation afin d'augmenter les profits et minimiser les dépenses surtout dans la concurrence mondiale actuelle.

La chaîne logistique est un ensemble des processus, de l'approvisionnement de la matière première jusqu'à la livraison des produits finis aux clients finaux. Cet acheminement passe par plusieurs stations opératives afin d'arriver aux clients finaux. Cependant, la gestion de cette chaîne exige que chaque maillon de la chaîne doive être bien optimisé dans le but d'avoir une meilleure efficacité de tout le système.

L'un des types de la chaîne logistique le plus complexe est la chaîne logistique agroalimentaire (Agri-Food Supply Chain, AFSC). L'AFSC englobe l'ensemble des activités de la plantation dans le champ agricole jusqu'à la table du consommateur final. On peut distinguer deux grands types d'AFSC, la chaîne logistique agroalimentaire périssable, et non périssable. L'optimisation d'AFSC des produits périssables est la plus complexe vu la présence de l'incertitude dans plusieurs parties de la chaîne (le climat, le rendement agricole, et la forte périssabilité après la récolte..etc).

Ce type de chaîne a une grande importance en termes de sécurité alimentaire mondiale. En effet, une bonne gestion d'AFSC mène à minimiser les pertes et le gaspillage d'aliments comme les légumes et les fruits. Le FAO (Food and Agriculture Organization) a déclaré qu'environ un tiers des aliments produits dédiés à la consom-

mation humaine sont perdus ou absolument gaspillés dans le monde entier, c'est effectivement 1.3 milliards de tonnes annuellement (Gustavsson et al., 2011). Ces pertes sont les résultats de comportement du consommateur d'un côté et du manque de la coordination entre les différents maillons de la chaîne logistique, d'un autre côté. C'est pour cela, l'optimisation de cette chaîne devient une nécessité pour minimiser ou éliminer ces pertes à travers une bonne gestion entre les différents acteurs d'AFSC.

Dans cette thèse, nous présentons une optimisation de la chaîne logistique agroalimentaire. Nous choisissons la tomate industrielle comme un cas d'étude pour valider cet optimisation. Nous divisons ce travail en deux grandes parties. Dans la première partie, nous nous intéressons aux choix de meilleures zones productrices (fermes) de tomate en utilisant une hybridation des méthodes d'aide à la décision multicritères MCDM (Multi-Criteria Decision Making). Le choix de ces fermes est principalement basé sur plusieurs critères inspirés de la littérature, les experts d'agriculture et les avis des gestionnaires d'entreprise. Ces critères vont être utilisés par une combinaison de trois méthodes MCDM (Delphi, AHP et TOPSIS). Dans la seconde partie, nous développons un modèle mathématique pour modéliser toutes les parties de la chaîne (transport, production, stockage et distribution) dans le but de minimiser les pertes de la matière fraîche et augmenter le profit d'entreprise. Le modèle développé va prendre en considération toutes les caractéristiques de la chaîne logistique de tomate comme la saisonnalité, la périssabilité, et la variabilité du prix d'achat, dans le but de coordonner et synchroniser entre les différents partenaires composants la chaîne.

Cette thèse comporte quatre chapitres qui sont structurés comme suite :

Le premier chapitre est dédié à la présentation du contexte général de l'étude. Un ensemble de définitions et des concepts relatifs aux méthodes d'aide à la décision, la chaîne logistique et la chaîne logistique agroalimentaire ont été exposés dans ce chapitre, pour enrichir nos connaissances dans ce domaine de recherche. Ce chapitre est divisé en deux parties. Dans la première, nous présentons les définitions des méthodes MCDM ainsi que leurs types, leur application et le processus de prise de la décision. Dans la deuxième partie, nous exposons plusieurs définitions de la chaîne logistique, ses types, sa gestion ainsi que le cycle des décisions à prendre tout au long de la chaîne.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons une revue de la littérature liée à deux grands axes de recherche. Le premier touche la sélection des fournisseurs alors

que le second aborde l'optimisation de la chaîne logistique agroalimentaire. L'exposition des travaux de recherche en lien avec notre travail va nous permettre de bien positionner nos contributions par rapport l'état de l'art lié à ce domaine.

Le troisième chapitre décrit le problème de sélection des fournisseurs en détail. Nous adaptons ce problème à la sélection des fermes productrices de tomate. Ensuite, nous présentons brièvement les méthodes utilisées (MCDM) pour résoudre la problématique. Finalement, nous appliquons ces méthodes sur notre problème afin de présenter les résultats obtenus.

Dans le quatrième chapitre, le problème d'optimisation de la chaîne logistique agroalimentaire sera présenté d'une manière détaillée. Nous exposons par la suite, le cas d'étude réel afin de d'appliquer cet optimisation. Nous décrivons le modèle mathématique développé. Ce dernier est composé d'une fonction objectif qui va présenter les profits d'entreprise moins (-) les dépenses et un ensemble des contraintes illustrant les limitations de notre cas d'étude. Les paramètres et les données de ce modèle mathématique développé seront exposés dans le tableau [4.1](#) .

A la fin de ce manuscrit, une conclusion générale vient montrer quelques perspectives pour les recherches futures liées à nos contributions.

Chapitre 1

Contexte général de l'étude

1.1 Introduction

Les entreprises du monde d'aujourd'hui font face à un marché instable et globalisé. Ceci a poussé les gestionnaires d'entreprise à réfléchir au développement et à l'application de nouvelles méthodes d'optimisation afin de synchroniser entre les différents partenaires de la chaîne logistique, dans le but de gagner une part importante de marché.

Le fournisseur est l'un des partenaires essentiels dans la chaîne d'approvisionnement comme il est responsable de fournir la matière première nécessaire pour la fabrication. De ce fait, le choix de bons fournisseurs est une décision très critique à prendre par les gestionnaires au sein des entreprises. Une bonne gestion de la chaîne logistique requiert l'intégration de tous les maillons de la chaîne, à savoir, la production, le stockage, la distribution et la vente.

L'objectif de ce chapitre est de donner un aperçu général des concepts fondamentaux de notre thèse afin de les introduire aux chapitres qui suivent.

Dans ce chapitre, nous définissons les concepts généraux et fondamentaux liés à notre étude. Cela inclut le concept de « décisions » et de « fournisseur ». Nous présentons ainsi les différentes méthodes utilisées pour la sélection des fournisseurs. De plus, nous profitons de ce chapitre pour survoler un ensemble de définitions liées au concept de « chaîne logistique » en générale puis à la chaîne d'approvisionnement agroalimentaire en précision. Ce chapitre est devisé comme suite : la première partie sera dédiée à la sélection des fournisseurs alors que la deuxième partie sera consacrée aux chaînes logistiques (définitions, gestion, fonctions, types et niveaux de décision).

1.2 Définitions

Dans cette section, nous présentons quelques concepts basiques liés à notre étude :

1.2.1 Définition de la décision

C'est le choix libre d'un individu entre différentes alternatives possibles d'une action dans un moment donné (Agrebi, 2018).

1.2.2 Définition du décideur

C'est un individu ou un ensemble d'individus qui sont supposés connaître le problème et qui sont sensés d'avoir un résultat d'un processus de la décision. La prise de la décision est basée généralement sur les connaissances et l'expérience du décideur.

1.2.3 Définition d'un problème

Le problème peut être défini comme l'insatisfaction, mécontentement ou l'irritation perçue à la suite d'un résultat ou d'une action indésirable d'une situation continue.

1.2.4 Définition de l'aide à la décision

C'est un processus qui mène à une décision d'une action pour déclencher un ensemble des opérations sur un ensemble d'informations tout en se basant sur des connaissances dans un environnement bien déterminé dans le but d'avoir un résultat (Agrebi, 2018).

1.2.5 Définition des Méthodes de Prise de Décision Multicritères (MCDM)

Ceux sont des méthodes qui font partie de la recherche opérationnelle. Elles traitent généralement des problèmes conflictuels et à objectifs multiples (Oguztimur,

2011). Les méthodes MCDM sont utilisées dans l'identification et la qualification de préférences de décideurs dans le but de comparer les alternatives possibles en utilisant deux ou plusieurs critères afin de sélectionner la bonne solution (Huang et al., 2011). Les MCDMs représentent des approches puissantes et capables d'améliorer la transparence et vérifiabilité au processus décisionnels afin d'éclairer le choix (Sofiane, 2018).

1.2.6 Définition de fournisseur

le fournisseur par définition est une personne ou entreprise qui assure une ou plusieurs des opérations suivantes : la fabrication, la transformation, l'emballage, l'importation et/ou la vente des produits (BOUDAHRI, 2013).

1.3 Types et Application de MCDMs

Dans la littérature, plusieurs méthodes MCDM existent. Elles se diffèrent sur le plan qualité, quantité des informations demandées, méthodologie, logiciels associés ainsi que les propriétés mathématiques (Zavadskas and Turskis, 2011). Cependant, aucune méthode entre elles n'est appropriée pour tous les problèmes de décisions. Par conséquent, des méthodes hybrides sont généralement développées pour traiter les différents types d'incertitude (Lee and Yang, 2018).

Les méthodes MCDM existants sont regroupées dans deux grandes catégories selon le nombre de solutions faisables (Banasik et al., 2018) :

- Prise de décision multi-attributs (MADM) : elle est caractérisée par un nombre fini d'alternatives (solutions). L'objectif de MADM est de trouver la bonne solution parmi les alternatives existantes en fonction des attributs connus auparavant.
- Prise de décision multi-objectifs (MODM) : est caractérisée par un nombre infini d'alternatives (solutions). Les MODM visent à choisir les meilleures solutions en satisfaisant les préférences des décideurs.

Les MADM englobent des différentes approches telles que "analytic hierarchy process" (AHP), "elimination and choice expressing reality" (ELECTRE), "analytic network process" (ANP), "preference ranking organization method for enrichment of evaluations" (PROMETHEE), "decision-making trial and evaluation laboratory" (DEMATEL), "technique for order of preference by similarity to ideal solution"

(TOPSIS), et finalement, "utility additive" (UTA). Cependant, les méthodes les plus basiques dans les MODMs sont « Weighting Method », « ϵ -constraint » et « Goal Programming » (Banasik et al., 2018). La figure 1.1 représente les approches de MCDM les plus utilisées.

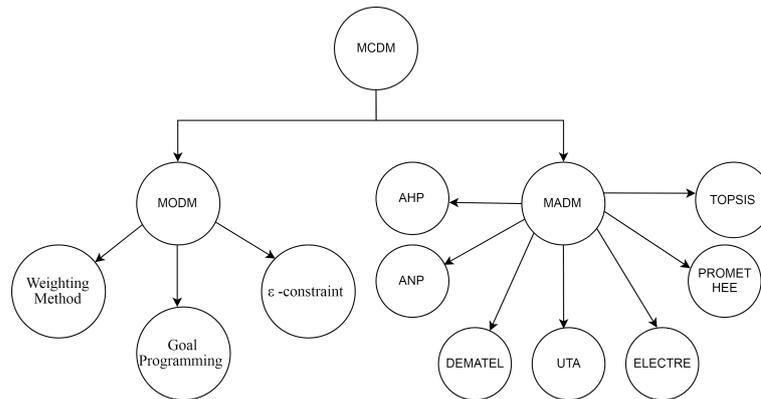


FIGURE 1.1 – Méthodes de MCDM existants (Banasik et al., 2018)

1.3.1 Application de MCDM

les méthodes MCDM sont utilisées dans plusieurs domaines tels que la médecine, l'architecture, l'économie et le génie industriel. Ces approches sont caractérisées par la simplicité de l'utilisation, l'efficacité et la précision des résultats obtenus dans un temps de calcul très rapide.

Dans ces derniers temps, les méthodes MCDM deviennent des approches très utilisées dans le monde d'industrie. Les managers des entreprises ont toujours besoin des solutions optimales dans un temps le plus court possible, surtout dans les situations d'ambiguïtés qui apparaissent souvent dans l'industrie afin de prendre des bonnes décisions.

1.4 Processus de prise de décision

La caractéristique naturelle de l'être humain est de chercher toujours une amélioration continue, donc, passer d'un état moins souhaitable à un état plus souhaitable. Ce mouvement nécessite une décision correcte et un effort supplémentaire. Chaque travail nécessite une bonne décision et une priorité. Mais l'art de la prise de décision est tout simplement justifié par une vie meilleure. Généralement, le processus de la prise de la décision est résumé dans les étapes suivantes :

- **Description du problème** : définir clairement le problème avec les causes profondes, les différentes contraintes existantes et les limitations.
- **Identification des besoins** : justifier clairement le besoin d'avoir une identification de l'espace des solutions faisables.
- **Définition des objectifs** : présenter l'objectif qui va être une solution faisable pour le problème traité.
- **Sélection des alternatives** : les alternatives sont considérées comme des voies pour atteindre les objectives précédemment cités.
- **Identification des critères** :détermination des critères convenables au problème traité pour atteindre les buts cités auparavant.
- **Sélection de l'outil d'aide à la décision approprié** : l'outil le moins compliqué qui donne un résultat sans erreurs à n'importe quel problème est le plus favorisé.
- **Évaluation de toutes les alternatives en fonction de critères** : le choix des meilleures alternatives pour atteindre l'objectif ciblé en se basant sur une évaluation qui peut être objective ou subjectives ou une combinaison entre les deux. Cette évaluation mesure le choix des alternatives tout en respectant les critères fixés.
- **Validation des résultats** : la vérification par regroupement de résultats obtenus est toujours maintenue dans tout le processus de la prise de la décision avant son utilisation.

1.5 Classification des problèmes de décision

Selon [Roy \(1985\)](#), le problème de la décision peut être classé comme suit :

- **Problème de choix** : Ce type de problème consiste à faciliter le choix d'une ou de plusieurs "actions appropriées".
- **Problème de tri** : Ce genre de problème facilite les différentes actions du groupe.
- **Problème de classement** : Ce type de problème facilite le classement des actions en fonction de la préférence prédéfinie.

1.6 Sélection des fournisseurs et son influence sur l'efficacité d'entreprise

Le fournisseur est considéré comme un maillon indispensable dans la chaîne d'approvisionnement, vue qu'il est responsable de fournir la matière première, les composants, les produit semi-fini...etc nécessaires à la fabrication. La relation fournisseur-entreprise et le rapport qualité-prix sont des facteurs clés pour sélectionner les bons fournisseurs dans le but d'améliorer la qualité de service et le produit final de l'entreprise.

Chaque entreprise vise à améliorer ses capacités dans le but d'avoir une grande part de marché. Pour cette raison, il faudra avoir une certaine cohérence dans tous les niveaux de la chaîne logistique. C'est important de citer que le bon choix du fournisseur influence d'une manière très significative sur le rendement et la réputation de l'entreprise. Dans le but d'assurer la matière première nécessaire dans le moment désiré avec une meilleure qualité, la sélection de fournisseur présente une tâche indispensable pour n'importe quelle entreprise. La procédure de sélection se base généralement sur des critères prédéterminés par les managers de l'entreprise selon la nature des produits fabriqués.

1.7 Chaînes logistiques

1.7.1 Logistique

Le mot «logistique» est un mot grec «logistike» qui signifie l'art de calculs et du raisonnement. En effet, la logistique est un terme militaire qui regroupe l'ensemble des stratégies et des techniques mises en œuvre pour assurer le maintien et l'approvisionnement des phalanges dans la période de la guerre (Merzouk, 2007).

1.7.2 Chaîne logistique

Les chaînes logistiques ont fait l'objet de plusieurs études dans la littérature. De ce fait, le concept « chaîne logistique » a été défini de plusieurs manières par différents chercheurs. Ainsi, le sens de ce concept a évolué avec le temps suite au développement des systèmes internationaux de production et de service. Le tableau 1.1

TABLE 1.1 – Définitions de la chaîne logistique

Référence, année	Définition
Fox et al. (1993)	La chaîne logistique est un ensemble d'activités qui regroupe les fonctions de l'entreprises depuis la matière première jusqu'à la finalisation de produit fini dans le but de satisfaire les clientèles.
Fox et al. (1993)	La chaîne logistique est un ensemble d'installations enchaînées qui garantissent les fonctions d'approvisionnement des matières premières initiales, de transformation des différents composants, afin de fabriquer des produits finis dans le but de les commercialiser et satisfaire les clients finaux.
Cox and Blackstone (1998)	Une chaîne logistique peut être définie comme un processus depuis les matières premières initiales jusqu'à la fabrication de produit fini en intégrant les fournisseurs et utilisateurs afin de livrer au client final.
Ganeshan et al. (1999)	La chaîne logistique est un système qui est composé de fournisseurs, de fabricants, de distributeurs, de détaillants et de clients où les matériaux circulent en aval des fournisseurs vers les clients et où l'information circule dans les deux sens.
Genin (2003)	La chaîne logistique est un réseau d'organisations qui se localise dans des endroits généralement séparés afin de réduire les dépenses et accélérer la vitesse de procès entre les fournisseurs et les clients ultimes.
Mouloua (2007)	La chaîne logistique regroupe l'ensemble des moyens et des techniques pour la fabrication d'un produit ou d'un service allant de l'approvisionnement de la matière première jusqu'à la livraison de produit fini en respectant le chemin de transformation et de stockage et de distribution.
Chopra et al. (2013)	La chaîne logistique est un ensemble de fournisseurs, fabricants, entrepôts et détaillants qui assurent la satisfaction de client final tout en répondant à ses besoins.

présente quelques définitions qu'ont été accordées à ce concept.

Généralement, la chaîne logistique comporte trois flux possibles, flux des matières, d'information et un flux financier. Le flux des matières (physique) se déclenche à partir de flux d'information qui est regroupé sous forme de commandes clients. Toute étape de transformation et de distribution demande des entrées qui viennent de différents fournisseurs et des sorties vers des clients intermédiaires ou finaux avec bien sûr un flux d'information. La figure 1.2 représente d'une manière claire les différents flux existants.

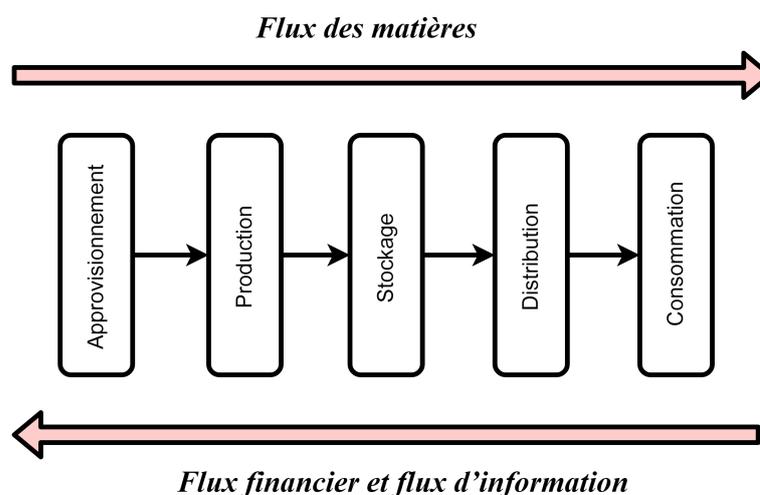


FIGURE 1.2 – Différents flux de la chaîne logistique.

1.7.3 Gestion de la chaîne logistique

Plusieurs définitions de la gestion de la chaîne logistique (supply chain management, SCM) peuvent être trouvées dans la littérature. [Simchi-Levi et al. \(2008\)](#) définissent la chaîne logistique comme un ensemble de techniques utilisées pour intégrer d'une manière efficace les fournisseurs, les producteurs et les centres de distribution de telle sorte que la marchandise soit produite et livrée aux clients avec une bonne qualité, au bon moment et au bon emplacement, dans le but d'optimiser les coûts de production et assurer le niveau de service exigé par les clients.

[Hugos \(2003\)](#) définit le SCM comme la coordination entre les différents participants de la chaîne logistique (la production, le stockage et le transport) pour avoir une bonne combinaison de réactivité et une meilleure efficacité par rapport au marché ciblé.

Selon [Dominguez and Lashkari \(2004\)](#), l'objectif de la chaîne logistique est d'améliorer les ventes tout en plaçant les produits de meilleure qualité au bon endroit, au bon moment, et avec le moindre coût. En effet, le but primordial est d'allouer d'une manière très efficace les ressources de production, distribution, de transport et d'information avec la présence des objectifs qui sont généralement conflictuelles afin de garantir un niveau de service exigé par le client.

[Geunes and Chang \(2009\)](#), définissent la chaîne logistique est l'intégration, la coordination et la synchronisation de ses activités de dans le but d'avoir un avantage compétitif. Donc, la gestion de cette chaîne consiste à traiter et régler les probléma-

tiques stratégiques, financières et opérationnelles.

Le bon déroulement de la chaîne logistique est basé sur une meilleure circulation de ses flux. Ses derniers sont :

1.7.3.1 Flux d'information

Ce type de flux est très nécessaire pour le bon fonctionnement de la chaîne logistique, car il est composé de flux de données et de décisions. Le flux d'information représente les échanges des informations entre les différents partenaires de la chaîne logistique. Les informations partagées sont essentiellement commerciales surtout les commandes qui passent entre les clients et les fournisseurs. La commande contient les informations nécessaires concernant le produit telles que la référence, la quantité demandée, le prix et la date de livraison. L'échange d'information touche même les informations techniques telles que les dimensions du produit, la capacité maximale de production, la technologie utilisée, le transport et la situation du stock. Cet échange d'information permet de synchroniser entre le flux d'information et le flux physique dans le but de rendre la chaîne logistique plus efficace, rapide et compétente.

Le partage des informations entre les partenaires va créer une confiance entre eux (Handfield and Bechtel, 2002). Plusieurs chercheurs ont cité l'effet de l'échange du flux d'information sur l'amélioration des critères de la chaîne logistique tels que la minimisation du coût de stockage (Chopra and Meindl, 2007), l'amélioration de la qualité de service (Zhao et al., 2002), et l'amélioration globale de la chaîne logistique (Kovács and Paganelli, 2003).

1.7.3.2 Flux des matières

Appelé aussi « flux physique », le flux des matières représente les différentes matières qui peuvent circuler dans l'ensemble de la chaîne logistique. L'ensemble des matières circulant dans cette chaîne peuvent être des matières premières initiales, des produits semi-finis, des pièces de rechanges ou un produit fini prêt à être livré au client final. Ce flux est considéré comme un élément indispensable pour la réussite de toute la chaîne logistique, l'absence de ce flux provoque un arrêt total de la chaîne. Le flux des matières se regroupe en trois phases essentielles : production, stockage et transport (Merzouk, 2007).

1.7.3.3 Flux financier

Le flux financier représente la gestion des tâches financières dans une entreprise. Ces dernières sont : l'achat de la matière première, les différents équipements et les outils de production, la vente des produits finis, la location des entrepôts de stockage et local de production, les dépenses du transport associé, et les salaires des travailleurs. Dans n'importe quelle entreprise, le flux financier est généralement géré par le département de finance (comptabilité) en collaboration avec le service achat et le service commercial (Francois, 2007).

Dans les décisions stratégiques des entreprises, le flux financier va contribuer dans des grands investissements comme l'installation d'une nouvelle ligne de production ou expansion de l'entreprise. De plus, la relation d'entreprise avec les systèmes bancaires extérieurs est l'une des fonctions du flux financier.

1.7.4 Décisions dans la chaîne logistique

Généralement, la hiérarchie décisionnelle d'une entreprise est divisé en trois niveaux principaux : stratégique, tactique et opérationnel. Dans la littérature, il n'existe aucune méthode à suivre pour classer les décisions de la chaîne logistique qui vont être prises (Mouloua, 2007). Mouloua (2007) a cité trois grandes différences entre les décisions qui sont :

- La première différence entre les trois niveaux de décisions concerne la vision temporelle de la décision. Les décisions stratégiques tactique et opérationnelle sont à long, moyen et court terme respectivement.
- La deuxième est au niveau d'application. Les décisions stratégiques sont au niveau de l'entreprise en entier, les décisions tactiques sont prises au niveau de l'usine, et les décisions opérationnelles sont prises au niveau de l'atelier de production.
- La troisième différence est les niveaux hiérarchiques de la responsabilité des décideurs. Les décisions stratégiques sont prises par la direction générale de l'entreprise, les décisions tactiques sont prises par les chefs de départements, et les décisions opérationnelles sont prises par les chefs d'ateliers ou d'équipes.

C'est important de mentionner que les décisions stratégiques ont un impact majeur sur les décisions tactiques ou opérationnelles. Autrement dit, la meilleure so-

lution tactique ou opérationnelle dépend de la décision stratégique. La figure 1.3 suivante représente les trois niveaux décisionnels.

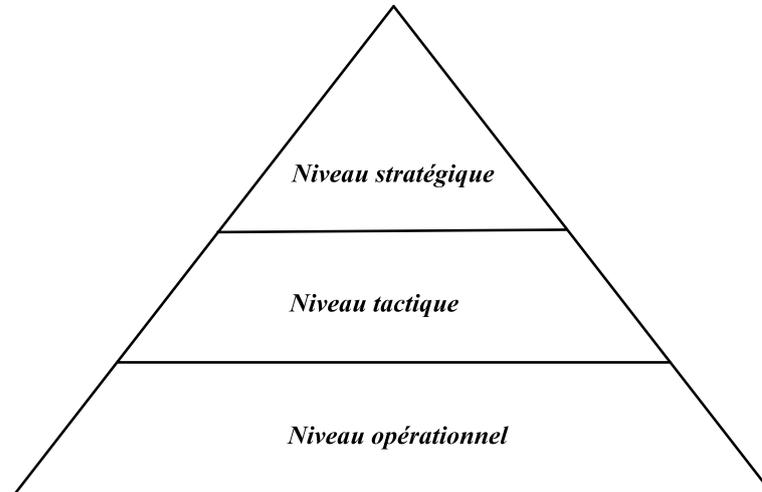


FIGURE 1.3 – Pyramide de niveaux décisionnels (Mouloua, 2007)

1.7.4.1 Niveau stratégique

Les décisions stratégiques permettent d'établir la politique générale d'entreprise sur le long terme, sur un horizon plus de deux ans (l'horizon de planification a une relation directe avec le cycle de vie du produit fabriqué). Ces décisions ont une influence directe sur les performances et la durabilité d'entreprise, car elles touchent toutes les décisions de la conception de la chaîne logistique. Par conséquent, elles ont un impact sur la stratégie concurrentielle et la viabilité d'entreprise à long terme.

La configuration de la chaîne logistique se fait au niveau de ces décisions. Elles définissent les différents maillons essentiels d'entreprise (fournisseurs, usines, centres de stockage et de distribution), et le choix de modes de transports appropriés (Igou-lalene, 2014). Nous citons dans les points suivants, les décisions essentiels au niveau stratégique selon Mouloua (2007) :

- Choisir les partenaires de la chaîne logistique.
- Faire ou faire-faire : les managers de l'entreprise doivent décider d'utiliser leurs propres moyens pour réaliser en interne certaines tâches (faire), ou bien conventionner avec une entreprise extérieure et indépendante (faire-faire).
- Sélectionner les bons fournisseurs et identifier leur nombre.
- Sélectionner la nouvelle technologie utilisée dans les ateliers de production et les endroits d'entreposage.

- Localisation et implantations des sites de production et des entrepôts de stockage de la matière première, produit semi-fini et produits finis.
- Déterminer les capacités des différents sites.
- Choisir les bons moyens de transport adapté au type et activité de l'entreprise.

1.7.4.2 Niveau tactique

Dans ce niveau, les décisions prises sont généralement à moyen terme (18 mois au maximum). Elles permettent de produire les demandes prévisibles avec le moindre coût tout en respectant le plan établi au niveau stratégique de l'entreprise. [Mouloua \(2007\)](#) a mentionné les décisions essentielles de ce niveau dans les points suivant :

- Définir les prévisions les plus fiables possibles, c'est-à-dire, identifier qu'elle est la quantité exigée à produire pour chaque produit et qu'elles sont les quantités des matières premières nécessaires selon les demandes des clients.
- Allouer efficacement les fournisseurs aux sites de production.
- Sélectionner le mode d'utilisation des ressources dans l'entreprise (ex : 2 huit ou 3 huit).
- Établir une planification de production pour chaque niveau.
- Gérer le stock de la matière première, les produits semi-finis, et les produits finis et chercher une meilleure allocation de produits aux zones d'entreposage.
- Minimiser les coûts de livraison à travers la bonne allocation des produits finis aux clients.
- Définir le réseau de transport de telle sorte que les coûts de transport soient minimaux.

1.7.4.3 Niveau opérationnel

Les décisions opérationnelles traitent les opérations et les fonctions qui se font quotidiennement. Donc, ces décisions sont prises à court terme. Dans le monde d'industrie, les entreprises ont besoin de prendre, à tout moment, des décisions dans un temps très réduit afin de mieux répondre à des problèmes qui sont généralement opérationnels. L'un des éléments de mesure de performance de la chaîne logistique est la réactivité de prendre des décisions opérationnelles ([Mouloua, 2007](#)). Dans ce stade, la configuration générale, et la politique de planification de la chaîne logistique sont

déjà fixées dans les niveaux stratégique et tactique respectivement. Les décisions opérationnelles minimisent les incertitudes des informations des commandes des clients vue qu'elles doivent être prises dans un temps très réduit, la chose qui assure la satisfaction de clients d'une manière plus efficace tout en respectant les contraintes établies par les deux niveaux précédents. Nous citons dans les points suivants les décisions opérationnelles les plus importantes :

- Établir un ordonnancement et un pilotage en temps réel dans les lignes de production.
- Définir une politique efficace de livraison.
- Déterminer les activités des maintenances préventives et correctives d'une manière plus efficace.
- Allouer les ressources aux tâches (matérielles et humaines), et faire un emploi du temps des travailleurs en respectant les contraintes juridiques.

1.7.5 Fonction de la chaîne logistique

L'une des définitions de la chaîne logistique est celle de [Lummus and Vokurka \(1999\)](#) : « *Toutes les activités impliquées dans la livraison d'un produit depuis le stade de matière première jusqu'au client en incluant l'approvisionnement en matière première et produits semi-finis, la fabrication et l'assemblage, l'entreposage et le suivi des stocks, la saisie et la gestion des ordres de fabrication, la distribution sur tous les canaux, la livraison au client et le système d'information permettant le suivi de toutes ces activités.* ». Donc, cette chaîne se compose généralement par l'approvisionnement, la production, le stockage, la distribution, le transport, et la vente.

1.7.5.1 Approvisionnement

L'approvisionnement représente la première fonction de la chaîne logistique. Ce processus se focalise à toutes les matières premières et les composants nécessaires pour lancer la production. Ces dernières approvisionnées engendrent environ 70% du coût du produit fini ([Ouzizi, 2005](#)). Dans le processus d'approvisionnement, nous distinguons deux phases. La première consiste à la sélection des bons fournisseurs de l'entreprise. Ce choix se base sur différents critères tels que, la qualité, le prix, le délai de livraison, la disponibilité des fournisseurs, la réputation et aussi bien la capacité de production de l'entreprise. Une fois la sélection des fournisseurs est faite, nous passons à la deuxième phase, cette partie consiste à passer les commandes de

la matières premières et les composants nécessaires à ces fournisseurs en fonction du besoin de la fabrication (Francois, 2007).

La relation fournisseur-client doit être plus coopérative et plus forte par le partage rapide d'information en utilisant les moyens modernes de communication qui facilitent les tâches pour le bénéfice de tous les coopérateurs.

1.7.5.2 Production

La production est considérée comme le cœur de la chaîne logistique. C'est effectivement l'opération de transformation, développement et la fabrication des biens à partir de la matière première. Elle représente la capacité maximale de production et le pouvoir de traiter les demandes de clients qui sont souvent fluctuantes dans la chaîne logistique. L'objectif principal de la gestion de la production est d'accélérer le flux des matières dans les ateliers de la fabrication en utilisant la planification, l'ordonnancement, et l'optimisation de taille de lots. Cependant, l'incertitude des informations représente une grande difficulté dans l'application de la planification de la production (Kilger and Schneeweiss, 2002).

1.7.5.3 Stockage

Nous définissons le stock comme un ensemble de matières premières, de composants, de produits semi-finis et de produits finis accumulés dans l'attente pour une utilisation ultérieure. Il permet d'assurer l'alimentation de la chaîne logistique d'une manière régulière aux différents niveaux afin de garantir le bon fonctionnement de la chaîne. Donc, la présence du stock dans une entreprise est indispensable, tout en respectant le besoin de la chaîne logistique. Par conséquent, le stock sera partagé entre les fournisseurs, les producteurs et les distributeurs. Les chefs d'entreprise cherchent toujours à avoir un bon équilibre du stock, d'un côté, il faut bien répondre aux commandes des clients au bon moment, et d'un autre côté, il faut minimiser le stock puisqu'il engendre un coût de stockage énorme surtout dans le cas des produits de nature périssable.

La bonne gestion du stock reste toujours un élément primordial pour l'optimisation et le succès de toute la chaîne logistique.

1.7.5.4 Distribution et le transport

Le transport est une fonction critique dans la chaîne logistique. Il intervient dans toutes les étapes de la chaîne, transport de la matière première, transport de composantes entre les ateliers, transport de produits fini aux clients...etc. Le coût de transport dépend essentiellement des moyens de transport utilisés pour assurer cette fonction. Le transport par avions est le plus rapide mais ça coûte très chère. En revanche, l'utilisation de la voie ferrée et les camions sont plus pratiques et les moins coûteux, mais le délai de livraison est moins rapide par rapport à la voie aérienne. L'utilisation optimale des moyens de transport est trouvée par la combinaison des moyens de transport de telle sorte que les coûts de cette fonction soient minimaux (Mouloua, 2007).

La distribution peut être définie comme la livraison des produits finis au client final au bon moment en utilisant les moyens de transport, tout en minimisant les coûts de transport. Elle consiste à chercher la meilleure voie à suivre pour passer à tous les clients, sélectionner le bon moyen de transport à utiliser et déterminer la quantité optimale à livrer. Le coût de transport et de distribution présente le tiers des coûts opérationnels globaux selon l'étude de (Hugos, 2003).

1.7.5.5 Vente

L'objectif principal de n'importe quelle entreprise est de gagner de l'argent, cela se traduit par la vente des biens ou des services. La fonction de vente est généralement prise en charge par le département commercial. Ce dernier cherche à améliorer la relation avec le client, trouver une meilleure connaissance de marché, définir les commandes prévisionnelles et gérer les aspects commerciaux et de marketing (publicité, promotion...etc.). Une bonne gestion de vente permet d'avoir un prix compétitif dans le marché afin de garder la concurrence avec d'autres entreprises dans le but d'assurer la durabilité de l'entreprise.

1.7.6 Chaîne logistique agroalimentaire

On peut définir la chaîne logistique d'agroalimentaire (Agri-Food Supply Chain, AFSC) comme la pratique des méthodes de recherches opérationnelles pour gérer efficacement le flux des produits de nature agricole (périssable/non-périssable) dans le but d'optimiser la chaîne entière. Autrement dit, le terme chaînes logistique agro-

limentaire a été inventé pour décrire les activités de la production à la distribution qui apportent des produits agricoles de la ferme à la table du consommateur final (Plà-Aragonés, 2015).

La chaîne logistique agricole représente la planification et la bonne gestion du processus et des activités, commençant de la préparation du sol pour la plantation et jusqu'à la livraison et /ou traitement des produits récoltés. La coordination entre les différentes parties de cette chaîne consiste à piloter et contrôler les flux de la matière première et d'information d'une part, et synchroniser les opérations logistiques ainsi les dispositifs mis en place dans le but de coordonner entre l'ensemble des acteurs dans cette chaîne d'autre part (Borodin, 2014). La chaîne logistique se compose de plusieurs parties qui sont : la production agricole, l'emballage, le traitement et/ ou le stockage et la livraison aux clients finaux à travers les grossistes ensuite les détaillants. La figure 1.4 représente le schéma général de la chaîne logistique agroalimentaire.

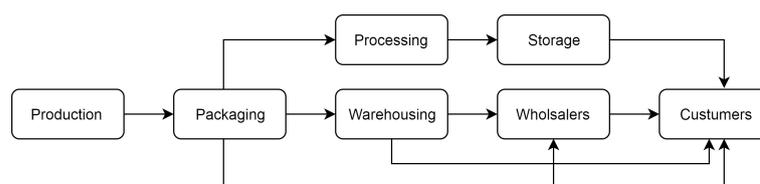


FIGURE 1.4 – Présentation d'un schéma générale de la chaîne logistique agroalimentaire

La chaîne logistique agroalimentaire comme toute chaîne est un ensemble d'individus et d'organisations collaborant entre eux dans les différentes activités et processus, dans le but de mettre un produit ou un service dans le marché (Christopher, 2005). Cependant, en plus des problèmes classiques de la majorité des chaînes logistiques, la chaîne logistique agroalimentaire doit tenir compte des quelques facteurs supplémentaires et importants comme la qualité des aliments, la salubrité et la variabilité liée aux conditions météorologiques (Salin, 1998). De plus, les AFSCs doivent assurer une bonne gestion du « shelf life » (décrit par la durée dans laquelle le produit soit stocké sans avoir une détérioration), et effectivement, la capacité nécessaire du stockage afin de garantir la disponibilité du produit à tout moment (Makeham and Malcolm, 1993).

Dans les AFSCs, nous pouvons distinguer deux catégories de produits, le produit traité peut être périssable ou non-périssable selon sa durée de vie. En effet, les produits périssables sont des produits ayant une durée de vie et de production très courte, alors que les produits non-périssables sont des produits qui peuvent être sto-

ckés à long terme sans avoir besoin à des conditions spécialisées pour le stockage et sans risque de détérioration ou un dommage dans la valeur nutritionnelle du produit.

1.7.6.1 Chaîne logistique agroalimentaire des produits non-périssables

La chaîne logistique des produits agricoles non-périssables regroupe les produits qui ne se détériorent pas rapidement avec le temps, comme les céréales, le thé et le maïs. Cette chaîne se caractérise par la saisonnalité de production et une consommation régulière (Borodin, 2014). Les produits non-périssables sont des produits qui peuvent être stockés à l'aire libre sans exigences des conditions spéciales d'entreposage.

1.7.6.2 Chaîne logistique agroalimentaire des produits périssables

La chaîne logistique agroalimentaire des produits périssables est relativement plus complexe par rapport à celle des produits non-périssable. Ceci est dû à la nature des produits traités ainsi que d'autres facteurs liés principalement au marché, la durée courte du stockage, la planification de récolte et le chemin spécifique de la commercialisation. Cette chaîne regroupe principalement les produits qui détériorent rapidement comme la tomate, l'abricot, le pêche...etc. Ces dernières exigent certaines conditions de stockage élevées afin de garder le produit dans le bon état tout en conservant les valeurs nutritionnelles.

1.7.7 Importance de l'optimisation dans la chaîne logistique agroalimentaire

La demande liée aux légumes et aux fruits est toujours en croissance jour à l'autre. L'approvisionnement de cette demande est un véritable challenge parce que, au niveau mondial, la chaîne logistique actuelle ne pourrait pas être capable de satisfaire le client par la livraison de la quantité suffisante avec une bonne qualité au moment désiré (Plà-Aragónés, 2015). Par exemple, une étude a été faite par le FAO (2011), elle a estimé qu'un tiers des produits agricoles dédiés à la consommation humaine est perdu et totalement gaspillé dans le monde, soit environ 1,3 milliard de tonnes par an (Gustavsson et al., 2011). Cette étude a aussi montré que le gaspillage des produits alimentaires en Europe et en Amérique du Nord était d'environ 95-115 kg/an par habitant. Ce gaspillage est principalement attribué au comportement du consomma-

teur et le manque de coordination entre les différents acteurs de la chaîne. Les pays sous-développés sont les plus touchés par ce phénomène par rapport à d'autres pays ayant des infrastructures à haute technologie.

1.7.8 Différence entre la chaîne logistique agroalimentaire et d'autres types de chaînes logistiques

La chaîne logistique agroalimentaire, comme toute autre chaîne, regroupe les activités de transformation et de production de la matière première jusqu'à la livraison des produits finis aux clients finaux. La particularité de cette chaîne c'est qu'elle se caractérise par d'autres facteurs très sensibles tels que la périssabilité, la sécurité et la sûreté alimentaire, et l'effet de la variabilité climatique sur le rendement du produit récolté (Salin, 1998). De plus, elle doit faire face à la variabilité et à la périssabilité dans une longue durée, de la préparation du sol et de la plantation jusqu'à la récolte et la livraison d'un produit frais. Le shelf life limité, la périssabilité, et la variation incontrôlable de prix et de rendement sont des facteurs cruciaux qui caractérisent cette chaîne, ils la rendent plus complexe à gérer par rapport à d'autres chaînes logistiques (Igoulalene, 2014). Pour bien gérer l'AFSC, il faut bien coordonner entre les différents maillons de la chaîne pour éviter tout type de gaspillage des produits frais.

1.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes définitions de base liées aux choix de fournisseurs et la chaîne logistique en générale et la chaîne d'approvisionnement agroalimentaire en particulier. Ce chapitre se divise en deux grandes parties, dans la première, nous avons exposé quelques définitions relatives aux méthodes MCDM tels que la décision, la prise de décision, les méthodes de prise de décision multicritères, les types de MCDM et leurs applications ainsi que le choix de fournisseurs. Dans la deuxième partie, nous avons vu en détail, la chaîne logistique et sa gestion, la chaîne logistique agroalimentaire, les différents flux et décisions, ainsi que leurs types.

Dans le chapitre suivant, nous allons présenter un état de l'art concernant le choix de fournisseurs et l'optimisation de la chaîne logistique agroalimentaire. Dans la première phase, nous allons présenter les travaux de recherche qui s'intéressent à l'application des méthodes MCDM pour le choix de fournisseurs. Nous allons essayer,

à travers cette partie, de positionner notre première contribution. Dans la deuxième phase, nous allons évoquer une revue de littérature concernant l'optimisation de la chaîne logistique agroalimentaire, dans le but de positionner notre deuxième contribution par rapport aux travaux de recherche existants.

Chapitre 2

État de l'art et positionnement de nos contributions

2.1 Introduction

Ces dernières années, le développement démographique mondiale a vu une explosion remarquable. Cette population a besoin d'une chaîne logistique agroalimentaire fiable pour assurer sa consommation journalière d'une manière régulière. Cette chaîne commence principalement par le choix des bons fournisseurs (agriculteurs) afin de garantir une bonne qualité de la matière première. Ainsi, la chaîne logistique agroalimentaire inclut le transport, la production et la distribution sur la table du dernier consommateur.

Dans ce chapitre, nous présentons un état de l'art sur les différents travaux de recherche liés principalement aux objectifs de cette thèse. En effet, nous devons cette revue de littérature en deux grandes parties. La première concerne le problème de choix de fournisseurs (Supplier Selection Problem, SSP), alors que la deuxième se focalise à l'optimisation de la chaîne logistique agroalimentaire (AFSC).

2.2 Revue de la littérature

2.2.1 Problème de choix de fournisseurs (Supplier Selection Problem, SSP)

Le SSP, appelé aussi problème de sélection des vendeurs, a été traité par plusieurs chercheurs dans divers domaines. Des travaux primaires dans ce domaine ont été proposés dans les années 1960. [Ellram \(1990\)](#) et [Weber et al. \(1991\)](#) ont résumé ces contributions dans leurs revues de la littérature. [Ellram \(1990\)](#) a classé la recherche du SSP en deux catégories, descriptive et prescriptive, en fonction de la manière dont le fournisseur est sélectionné pour un nombre donné de critères. En effet, la sélection des fournisseurs se base généralement sur un certain nombre de critères selon la nature du problème. Par conséquent, le SSP peut être traité comme un problème de décision multicritères MCDM (Multi-Criteria Decision Making).

Dans le cadre de cette étude, nous avons intégré trois méthodes d'aide à la décision multicritères (MCDM) pour traiter ce problème, qui sont Delphi, AHP et TOPSIS.

2.2.1.1 Méthode Delphi

Le Delphi est une méthode formelle de consensus, elle constitue un moyen systématique pour mesurer et développer le consensus entre les différentes parties prenantes ([Humphrey-Murto and de Wit, 2019](#); [Jones and Hunter, 1995](#)). Elle a été développée pour la première fois au sein de l'entreprise de « RAND air force cooperation » dans les années 50 aux États Unis. La méthode de Delphi est une méthodologie de recherche très flexible, utilisée généralement pour explorer des nouveaux concepts à l'intérieur et à l'extérieur des systèmes de connaissance. Il s'agit d'un processus itératif visant à recueillir et modifier les jugements des experts en utilisant une série de techniques de collecte de données, d'analyse et de réflexion sur les problèmes, les solutions et les prévisions sous forme de questionnaires anonymes sans connexion horizontale entre les experts ([Joshi et al., 2011](#)).

Dans ses premières années d'apparition, la méthode de Delphi a été utilisée dans le domaine militaire. Elle est devenue publique après une dizaine d'années, exactement en 1963, pour des raisons de sécurité. La première utilisation de cette méthode hors le domaine militaire était son application dans la planification du développement économique ([Habibi et al., 2014](#)). Après les années 1990s, cette méthode

a pris sa place dans le domaine académique et devenue beaucoup plus publique.

Cette méthode est utilisée dans plusieurs domaines tels que la santé (Berman et al., 2018; Chu and Hwang, 2008; Tsai et al., 2010), l'ingénierie (Cho and Lee, 2013; Habibi et al., 2014; Soon et al., 2012; Vidal et al., 2011), le tourisme (Ocampo et al., 2018), l'agriculture (Strand et al., 2017) et l'économie. Dans ce qui suit, nous citons différentes applications de cette méthode dans divers domaines :

La santé : Berman et al. (2018) ont établi des lignes directrices concernant la gestion périnatale de la malformation congénitale des voies respiratoires pulmonaires (congenital pulmonary airway malformation, CPAM) et de la hernie diaphragmatique congénitale (congenital diaphragmatic hernia, CDH) en utilisant la méthode de Delphi. Les résultats obtenus peuvent efficacement aider à former les chirurgiens pédiatriques qui participent aux soins périnataux de ces patients.

Chu and Hwang (2008) ont proposé une approche basée sur cette méthode pour obtenir l'acquisition des connaissances auprès de multiples experts. Cette nouvelle approche a été appliquée sur le diagnostic du syndrome respiratoire aigu sévère.

Tsai et al. (2010) ont adopté la méthode de Delphi pour accumuler les avis des experts et identifier les déterminants du modèle basé sur la communication marketing intégrée. La méthode Delphi est intégrée avec la méthode de AHP floue dans le but de fournir une bonne politique d'accréditations des hôpitaux taiwanais et la rendre beaucoup plus applicable pour atteindre les objectifs académiques et gouvernementaux du pays.

Engineering : Chu and Hwang (2008) ont présenté dans leur étude un classement des facteurs de succès pour la commercialisation de nouveaux produits et ils ont analysé les facteurs à prendre en compte en priorité. A l'aide de la méthode Delphi et l'analyse documentaire, quatre (04) domaines de décision ont été identifiés. Les auteurs ont classé par la suite seize (16) facteurs par ordre de priorité dans le cadre d'un modèle d'hierarchie structuré par l'approche AHP floue (Fuzzy Analytic Hierarchy Process) .

Habibi et al. (2014) ont proposé un cadre théorique complet pour l'application de la technique Delphi dans la recherche qualitative. Dans ce cadre, ils ont expliqué d'une manière très claire l'application et les principes de consensus de la technique Delphi dans la recherche qualitative.

Soon et al. (2012) ont présenté dans leur travail une mesure de la complexité des projets afin d'aider à la prise de décision, notamment lors de l'analyse de plusieurs

projets d'un portefeuille, ou lors de l'étude des différents domaines d'un projet.

Le tourisme : [Ocampo et al. \(2018\)](#) ont fait progresser la littérature du domaine du développement d'un écotourisme durable en trois phases principales. Premièrement, établir des indicateurs d'écotourisme durable à partir d'un ensemble d'indicateurs de tourisme durable. Deuxièmement, présenter un cas réel d'étude aux Philippines qui est un pays en développement où l'efficacité des activités d'écotourisme est largement prononcée, la chose qui présente une originalité du travail. Troisièmement, l'utilisation d'une approche qui tient compte des intérêts des différentes parties prenantes tout en saisissant l'incertitude inhérente au processus décisionnel. La méthode Delphi floue a été utilisée dans ce travail pour établir des indicateurs d'écotourisme durable.

[Ameyaw et al. \(2016\)](#) ont examiné l'utilisation combinée de la méthodologie Delphi et d'autres méthodes quantitatives dans le domaine de la CEM (Construction Engineering and Management) sur la base d'une analyse de littérature structurée de 88 articles importants publiés dans des journaux réputés entre les années 1992-2012.

La méthode Delphi a été adoptée pour estimer la valeur de la protection de la forêt amazonienne, à l'aide de plus de 200 experts d'environnement sur 37 pays afin d'obtenir le consentement à payer (Willingness-to-Pay, WTP) pour la protection de la forêt d'Amazon par les populations de leur propre pays [Strand et al. \(2017\)](#)

[Bouzon et al. \(2016\)](#) ont intégré la méthode de Delphi floue et la méthode AHP pour identifier et analyser les barrières de la logistique inverse. La méthode Delphi floue a été utilisée pour obtenir les obstacles critiques à l'aide de l'analyse des opinions des experts et les avis des managers industriels. L'approche AHP est utilisée pour classer les obstacles -cité par la méthode Delphi- selon leurs poids.

Dans notre cas, nous avons utilisé la méthode Delphi pour identifier les critères réels utilisés dans le terrain pour la sélection des fournisseurs. Dans ce sens, plusieurs visites dans différentes industries de transformation des tomates et des discussions avec des dirigeants d'entreprises nous ont permis de mieux comprendre les critères utilisés dans la pratique pour sélectionner les fournisseurs.

Ensuite, un comité d'experts comprend 14 membres ont participé pour identifier les critères à utiliser pour l'évaluation des fermes. Les membres viennent de différents champs : 5 chefs d'entreprise, 8 experts académiques (domaine de l'agriculture et le génie industriel), et un expert du ministère de l'agriculture et du développement rurale algérien. De plus, les critères utilisés dans cette application sont basés principalement sur trois axes, la littérature, l'avis des experts d'agriculture et les opinions

des experts du domaine industriel. Les fermes candidates et les critères utilisés dans cette problématique sont tous détaillés dans le chapitre 3, section 3.4.

2.2.1.2 Méthode AHP (Analytic Hierarchy Process)

Cette méthode est apparue dans les années 1980 par le chercheur américain Saaty. Elle est parmi les méthodes MCDM les plus anciennes. C'est une méthode très puissante qui simplifie et facilite la prise de décision tout en organisant les jugements et les compréhensions dans une forme hiérarchique bien organisée, dans le but de prendre une décision correcte (Cherier and Meliani, 2019). AHP permet de décomposer les problèmes complexes à des problèmes de structure hiérarchique multi-niveaux : objectif final, critères (et sous critères) et alternatifs (Saaty, 2008). La méthode AHP est une approche simple, flexible et efficace pour résoudre des problèmes complexes avec des critères multiples dans différents domaines. Toutes ces caractéristiques valorisent l'utilisation de cette méthodologie par un nombre important de chercheurs dans différents domaines. Ces usages vont être présentés dans la partie suivante.

Comme indiqué ci-dessus, le fondateur de cette méthode est Thomas Saaty. Il a présenté dans ses premiers articles en 1980 les principes de base de cette approche ainsi que son application (Saaty, 1980). Une fois que la méthode devient publique et utilisable, elle sera utilisée dans plusieurs champs.

Tsagdis (2008) a présenté dans sa thèse l'évaluation de l'utilisation de la méthode AHP pour la prise de la décision dans l'acquisition de la défense. La prise de la décision va toucher plusieurs cotés tels que les réductions progressives des budgets de la défense, la nécessité d'une répartition efficace des fonds entre les activités concurrentielles, la demande de l'opinion publique en matière de rationalité, de transparence et d'efficacité des dépenses de défense, et la législation compliquée concernant les acquisitions.

Ameseder et al. (2008) ont étudié l'influence du bagage culturel et des informateurs clés uniques sur la confiance entre les organisations avec l'utilisation de la méthode AHP.

Veisi et al. (2016) ont traité dans leur article les stratégies et l'éthiques de la durabilité dans les systèmes agricoles et alimentaires. L'étude a été faite en Iran, avec la participation de différents acteurs dans le domaine agricole, 57 actionnaires du secteur agricole, dont un spécialiste de l'écologie, des experts en vulgarisation et dé-

veloppement agricoles, des agriculteurs et des membres de la société scientifique iranienne d'agroécologie. Les résultats d'étude montrent que les critères de la résilience des systèmes agricoles, les politiques de soutien et d'autonomie, et l'équité, sont les critères les plus influents sur l'agriculture durable Iranienne.

[Sahoo et al. \(2016\)](#) ont intégré la méthode AHP et la méthode de classification grise (grey clustering method) pour l'évaluation de la vulnérabilité environnementale. Ils ont utilisé des facteurs liés aux impacts naturels, environnementaux et humains comme des critères d'évaluation. Cette étude est faite dans la région de Odisha en Inde.

[San Martin et al. \(2017\)](#) ont développé un logiciel pour aider les gestionnaires de déchets à mettre en œuvre une stratégie rigide de valorisation de déchets alimentaire. Cette stratégie dépend essentiellement de certains nombres de facteurs importants qui doivent être quantifiés et évalués. Pour cela, une intégration de la méthode AHP et Système d'Information Géographique (SIG) ont été présentés comme un outil d'aide à la décision pour implémenter la stratégie de la valorisation de déchet alimentaire.

[Raka and Liangrokapart \(2017\)](#) ont étudié les risques associés au processus de développement de nouveaux médicaments génériques. La méthode AHP était appliquée dans ce domaine pour classer ces risques par ordre de priorité. Cette étude a été faite dans un cas réel en Thaïlande.

[Boukhari et al. \(2018\)](#) ont développé un outil méthodologique d'aide à la décision pour évaluer de la durabilité des services d'approvisionnement en eau et d'assainissement, tout en considérant les facteurs quantitatifs et qualitatifs efficaces en utilisant l'approche AHP.

[Goepel \(2018\)](#) a implémenté un système d'AHP en ligne avec des caractéristique adéquats qui analyse en détail les problèmes de décision. Ce système est mis en ligne gratuitement. En effet, l'objectif principal de ce travail est de créer une application web avec un accès ouvert pour tout le monde, pour l'éducation et la recherche dans divers domaines où les calculs et les algorithmes sont bien documentés. Les documents d'entrée et les résultats peuvent être exportés pour une utilisation ou traitement ultérieures.

[Kamaruzzaman et al. \(2018\)](#) ont traité le problème de rénovation de bâtiments en Malaisie dans l'objectif de minimiser l'émission de CO_2 à 45 % dans le plan de 2030. La méthode de AHP a été proposée pour cet objectif, par le classement des thèmes d'évaluation et d'identification de priorités des acteurs participant à l'étude Malaisienne.

[Acharya et al. \(2018\)](#) ont catégorisé les facteurs d'automatisation industrielle dans le but d'examiner leur importance relative pour une meilleure mise en œuvre dans les industries manufacturières. Le classement des facteurs d'automatisation industrielle et l'importance relative dans l'industrie manufacturière ont été réalisés selon trois axes : la littérature, les discussions et les avis des experts et de l'approche du AHP. Cette dernière a énormément aidé les managers d'entreprises à bien gérer leurs usines par une bonne installation et utilisation de l'automatisation industrielle.

[Pedroso et al. \(2018\)](#) ont traité un cas d'étude de trois modes de transport publique à la ville de São Paulo en Brésil. La méthode AHP a été combinée avec une unité fonctionnelle pour accéder aux préférences objectives et subjectives des partenaires et améliorer les performances de ces trois modes de transport.

[Darko et al. \(2019\)](#) ont présenté dans leurs travail un état de l'art sur l'application de la méthode AHP dans le domaine de management de construction. Cette revue de la littérature a exposé 77 articles basés sur l'utilisation de la méthodologie AHP publiés dans huit journaux internationaux réputés dans le domaine de construction pendant dix ans entre 2004 et 2014.

[Baffoe \(2019\)](#) a utilisé l'approche AHP pour hiérarchiser les activités de subsistance dans le but de contribuer à des interventions efficaces et durables de réduction de la pauvreté dans les pays en développement. Vingt-quatre (24) acteurs de développement ont participé dans le processus d'évaluation, les résultats ont montré que AHP a prouvé son efficacité pour traiter cette problématique.

[Sitorus et al. \(2019\)](#) ont développé une méthode intégrée de processus de hiérarchie analytique floue et stochastique sous contraintes (integrated constrained fuzzy stochastic analytic hierarchy process (IC-FSAHP)) pour traiter les problèmes de décisions de groupe sous incertitudes. Ces dernières sont associées généralement par le manque ou l'absence de l'information. Cette méthode est appliqué sur un cas réel d'étude dans le but de clarifier l'application de cette méthode.

[Zhang et al. \(2020\)](#) ont présenté les processus d'identification et d'évaluation des risques des projets de dessalement à grande échelle. Après l'identification des indicateurs de risque, une intégration d'évaluation globale floue et le processus de la méthode AHP est introduite pour avoir des évaluations quantitatives des risques pour les projets de dessalement à grande échelle.

[Dweiri et al. \(2016\)](#) ont proposé une méthodologie basée sur l'AHP pour soutenir la décision sur le SSP appliquée dans l'étude de cas de l'industrie automobile pakistanaise.

2.2.1.3 Méthode Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

TOPSIS est une célèbre méthode de prise de décision multicritères, développée par [Hwang and Yoon \(1981\)](#). Elle aide les gestionnaires à organiser, analyser et prendre la décision en simplifiant les problèmes complexes ([Sekhar et al., 2015](#)). L'objectif de cette approche est d'évaluer un ensemble d'alternatives en utilisant un nombre fini de critères selon les jugements des experts. Le concept de TOPSIS est logique, simple et facile à appliquer, où les alternatives doivent être classées par la mesure des distances. En ce sens, la meilleure alternative doit être la distance la plus proche de la solution idéale positive et la plus éloignée de la solution idéale négative. Par conséquent, les solutions idéales positives ou négatives sont calculées à partir des alternatives envisagées ([Karahalios, 2017](#)). La solution idéale positive présente l'alternative qui maximise les critères de bénéfices et minimise les critères de coûts, tandis que la solution idéale négative présente l'alternative qui minimise les critères de bénéfices et maximise les critères de coûts ([Anojkumar et al., 2014](#); [Joshi et al., 2011](#)). La proximité de la solution idéale est l'indice clé pour classer les alternatives. Par conséquent, la meilleure solution est celle qui est la plus proche de la solution idéale positive et la plus éloignée de la solution idéale négative ([Anojkumar et al., 2014](#); [Kittiyankajon and Chetchotsak, 2018](#)).

TOPSIS est une méthode qui est utilisée dans beaucoup de domaines. Nous exposons dans le paragraphe qui suit un ensemble des travaux qui utilisent la méthode TOPSIS dans plusieurs domaines.

[Cables et al. \(2012\)](#) ont développé une approche d'évaluation basée sur la méthode de TOPSIS. Dans ce papier, les auteurs ont proposé une modification de l'approche TOPSIS en utilisant les variables linguistiques. Cette nouvelle méthode développée a été vérifiée par un exemple réel pour sa clarification. Une étude de phénomène d'inversion du rang dans la méthode TOPSIS est une modification proposée dans l'algorithme de TOPSIS pour résoudre les problèmes. Une démonstration de la modification et un exemple numérique ont été exposés pour clarifier l'utilisation de cette nouvelle approche [Cables et al. \(2012\)](#). [Fattahi et al. \(2013\)](#) ont analysé les caractéristiques et la performance de la chaîne logistique de viande. Cette analyse est basée essentiellement sur le développement d'un modèle faible pour mesurer la performance de cette chaîne dans la région d'Ispahan, en Iran. Ce modèle a été développé à la base de trois méthodes intégrées : Delphi, TOPSIS et l'approche de la carte de pointage équilibrée. [Chen et al. \(2016\)](#) ont développé une nouvelle méthode MCDM

qui est la combinaison entre la méthode de TOPSIS et mesures de similarité entre les valeurs floues intuitionnistes. Selon ces auteurs, cette méthode a donné un meilleur résultat comparant ce dernier avec les autres travaux dans le même domaine. [Vinodh et al. \(2013\)](#) ont utilisé la méthode TOPSIS pour la sélection du meilleur concept durable utilisé - parmi les alternatives existants - pour infuser la durabilité pendant les premières phases de conception et de développement du produit. Une étude a été faite par [Anojkumar et al. \(2014\)](#); L'objectif était de sélectionner le meilleur matériel pour choisir des matériaux des tuyaux dans l'industrie de sucre en utilisant des méthodes MDCM sur la base de critères bien déterminés. Quatre approches ont été utilisées pour ce but, FAHP-TOPSIS, FAHP-VIKOR, FAHP-ELECTRE, FAHP-PROMTHEE avec une comparaison de la performance entre les différentes approchées utilisées. TOPSIS et TOPSIS floue ont été utilisés comme un outil analytique de prise de la décision dans l'exploration des données ([Dharmarajan and Sharmila, 2016](#)). Une revue de littérature actualisée proposée par [Nādāban et al. \(2016\)](#), cette revue expose les développements de TOPSIS floue et les différents modèles de cette méthode ainsi son application dans le domaine de prise de décision.

Vue que notre premier problème est la sélection des fournisseurs, le paragraphe suivant présente l'application de la méthode TOPSIS dans ce domaine.

Par la suite, [Ghodsypour and O'Brien \(1998\)](#) ont développé un modèle permettant de combiner le processus de hiérarchie analytique AHP et la programmation linéaire. Ils ont pris en considération des indicateurs objectifs et subjectifs pour la sélection des fournisseurs afin de minimiser le coût total. [Wang et al. \(2004\)](#) ont adopté le modèle SCOR (Supply Chain Operations Reference) comme critère pour évaluer les performances d'une entreprise de haute technologie à Taïwan. Les auteurs ont combiné la méthode AHP et la programmation des objectifs préventifs PGP (preemptive goal programming) pour le SSP, en tenant compte des indicateurs qualitatifs et quantitatifs. [Boran et al. \(2009\)](#) ont combiné entre la méthode TOPSIS et un ensemble floue intuitionniste pour la sélection des fournisseurs dans un environnement de prise de décision de groupe. [Ni-Di and Ming-Xian \(2010\)](#) ont utilisé la méthode AHP pour traiter le SSP dans la chaîne d'approvisionnement agroalimentaire. [Shahroodi et al. \(2012\)](#) ont présenté une revue de la littérature traitant de la méthode AHP et de son importance pour la procédure de sélection des fournisseurs. [Junior et al. \(2014\)](#) ont comparé l'AHP floue et TOPSIS floue (fuzzy Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) pour le SSP sur l'industrie automobile. [Deng et al. \(2014\)](#) ont proposé une combinaison entre une nouvelle représentation efficace et réalisable des informations incertaines (D-numbers) et l'approche AHP, pour le problème de

la sélection des fournisseurs. [Banaeian et al. \(2018\)](#) ont intégré trois méthodes de prise de décision TOPSIS, VIKOR et GRA pour la sélection multicritère des fournisseurs dans un environnement flou dans une entreprise réelle de l'industrie agroalimentaire. [Luthra et al. \(2017\)](#) ont conçu un cadre conceptuel pour l'évaluation de la sélection des fournisseurs durables tout en intégrant quatre méthodes, à savoir AHP, VIKOR, l'optimisation multicritères et l'approche de solution de compromis. L'étude de [Lau et al. \(2018\)](#) a présenté le développement d'un modèle de décision de processus d'entreprise pour l'évaluation de critère de la sécurité alimentaire non compensatoires dans le but de disqualifier les fournisseurs de denrées alimentaires fraîches qui ne répondent pas à l'exigence de l'entreprise.

2.2.1.4 Synthèse de la revue de littérature du choix de fournisseurs

Selon la littérature, les méthodes Delphi, AHP et TOPSIS sont utilisées dans beaucoup de domaines, et cela prouve leur efficacité et flexibilité. Le problème de la sélection des fournisseurs dans le domaine de la chaîne d'approvisionnement agroalimentaire est moins intéressant en termes de recherche par rapport à d'autres domaines tels que l'électronique et l'automobile, bien que son influence sur l'économie du monde et la sécurité alimentaire est très importante. Il est bien connu que, malgré le grand nombre des études intégrant différentes méthodes MCDM pour le SSP, aucune étude n'a intégré les approches Delphi, AHP et TOPSIS comme solution méthodologique pour résoudre le problème de la sélection des fournisseurs.

Pour combler cette lacune, l'objectif de cette recherche est d'intégrer le Delphi-AHP-TOPSIS pour le SSP sur la chaîne logistique agroalimentaire. L'approche intégrée proposée a été appliquée à la sélection des fermes de tomates dans une entreprise de transformation de tomates en Algérie. Cette étude a fait l'objet d'un article de revue ([Cherier and Meliani, 2019](#)).

2.2.2 Planification et l'optimisation dans la chaîne logistique agroalimentaire

Les travaux scientifiques relatifs à la l'optimisation de la chaîne logistique agroalimentaire sont présentés dans cette partie dans le but de positionner notre contribution dans ce domaine.

Plusieurs auteurs ont résumé les papiers scientifiques publiés dans le domaine

de la chaîne logistique agroalimentaire tels que [Ahumada and Villalobos \(2009\)](#), [Amorim et al. \(2013\)](#), [Kusumastuti et al. \(2016\)](#) et [Soto-Silva et al. \(2016\)](#). Ces dernières années, il est remarqué que ce domaine devient plus riche en termes de recherche vu son importance vitale dans le monde actuelle. Ce qui différencie l'AFSC des autres chaînes logistiques est l'importance jouée par des facteurs tels que la qualité et la sécurité des aliments et la variabilité météorologique. Les autres caractéristiques pertinentes des produits agroalimentaires comprennent leur durée de conservation limitée, leur demande et leur variabilité des prix, ce qui rend la chaîne d'approvisionnement agroalimentaire plus difficile à gérer que les autres chaînes logistiques ([Plà-Aragonés, 2015](#)). Dans cette partie, nous citons les travaux scientifiques les plus récents et plus importants.

Nous commençons par les revues de littérature récentes et les plus importantes. [Ahumada and Villalobos \(2009\)](#) ont examiné les principales contributions dans le domaine de la planification de la production et de la distribution des produits agroalimentaires à base de cultures agricoles. Ils se sont focalisé en particulier sur les modèles qui ont été mis en œuvre avec succès. Une revue de littérature a été présentée par [Amorim et al. \(2013\)](#), elle examine les modèles de planification qui traitent le problème de la périssabilité dans les systèmes de production et la distribution. Les auteurs de ce papier ont devisé leur état de l'art à trois grandes parties. La première partie concerne la classification des modèles de la périssabilité avec caractéristiques de processus multiples. La deuxième est l'exposition de l'importance de la gestion de la périssabilité dans les différentes chaînes logistiques. La dernière, elle expose des axes de recherches qui ne sont pas encore traités par la communauté scientifique. [Kusumastuti et al. \(2016\)](#) ont présenté dans leur revue de la littérature, la planification de la récolte et de la transformation liées aux cultures dans les chaînes logistiques agroalimentaires. Ils se sont concentré beaucoup plus sur l'intégration, ou l'absence d'intégration, de la planification de la récolte et de la transformation et les problèmes liées au contrôle des stocks. [Soto-Silva et al. \(2016\)](#) ont aussi présenté les différents papiers publiés dans les différents journaux internationaux dans le domaine de la chaîne logistique agroalimentaire. Ils ont distingué plusieurs axes, le niveau de décision (opérationnel, tactique, stratégique), approches de la modélisation, le stage de production (plantation, récolte, production, distribution et inventaire) et la nature du produit (périssable ou non-périssable).

Ensuite, d'autres travaux dans le domaine de la gestion d'AFSC sont présentés comme suite :

[Simpson et al. \(2008\)](#) ont proposé une nouvelle procédure d'évaluation économique pour optimiser la conception et le fonctionnement des évaporateurs à effets multiples et de la comparer avec l'approche traditionnelle du génie chimique de minimisation du coût total dans une chaîne logistique agroalimentaire.

[Ahumada and Villalobos \(2011a\)](#) ont présenté un modèle opérationnel qui établit les décisions liées à la planification à court terme pour l'industrie des produits alimentaires frais. L'objectif principal de ce modèle est de maximiser les profits de producteur de produits frais en fournissant des décisions de la production et de distribution dans la saison de récolte.

[Ahumada and Villalobos \(2011b\)](#) ont développé un modèle de planification sur le plan tactique pour la production et la distribution des produits frais. Le modèle vise à maximiser les revenus d'un producteur (agriculteur) qui a un certain contrôle sur les décisions logistiques liées principalement à la distribution de la récolte.

[Ahumada et al. \(2012\)](#) ont développé un modèle stochastique d'optimisation pour la production et la distribution des produits alimentaires frais. Le modèle développé a été appliqué sur un cas d'étude réel de producteurs de produits frais au Mexique avec plusieurs simulations selon les divers scénarios, pour tester la robustesse des décisions de la planification.

[Fahimnia et al. \(2013\)](#) ont étudié la réduction des coûts grâce à l'intégration des décisions de production et de distribution dans une chaîne d'approvisionnement complexe à l'aide d'un modèle de planification de la production et de la distribution non linéaire à nombres entiers mixtes, ce modèle est résolu avec l'utilisation d'un algorithme mimétique personnalisé.

[Yu and Nagurney \(2013\)](#) ont développé un modèle de chaîne logistique alimentaire en réseau dans un contexte de concurrence oligopolistique et de périssabilité, en se concentrant sur les produits frais. Dans ce modèle, une intégration de la détérioration des aliments a été faite par l'introduction de multiplicateurs d'arc, tout en incluant les coûts de mise au rebut associés à l'élimination des produits alimentaires avariés. La chaîne d'approvisionnement agroalimentaire se caractérise par un type de produit, soit périssable ou non périssable. Dans le cas où les produits traités sont périssables, la gestion de cette chaîne devient complexe.

[Catalá et al. \(2013\)](#) ont proposé un modèle stratégique de la planification pour trouver la restructuration optimale d'une ferme de production de poires et de pommes en ce qui concerne les variétés et les densités de plantation. Le modèle développé décide de la politique d'investissement optimale pour une exploitation donnée, tout

en garantissant la maximisation de la valeur actuelle nette de l'entreprise avec la meilleure manière dynamique de sa structure d'implantation sur un horizon temporel bien déterminé selon des scénarios de financement différents.

[Aung and Chang \(2014\)](#) ont adressé des méthodes utilisées pour améliorer la capacité à définir une température optimale pour le stockage réfrigéré de produits multiples.

[Damião Rocco and Morabito \(2014\)](#) ont proposé un modèle mathématique comme support pour soutenir les décisions opérationnelles dans les systèmes de production de vapeur avec plusieurs chaudières industrielles dans une entreprise de production de tomate conservée. Ces décisions sont relativement liées à l'organisation des opérations des chaudières, au réapprovisionnement en combustible et à la composition du combustible consommé par chaque pièce d'équipement.

[Munhoz and Morabito \(2014\)](#) ont développé une approche de modélisation sur la base d'un modèle mathématique linéaire dans le but de soutenir la prise de décision dans le processus de production d'une société d'agrumes avec de multiples produits. Le modèle utilisé prend l'incertitude de certains paramètres en utilisant une approche d'optimisation robuste.

Un livre publié en 2015 par l'éditeur [Plà-Aragonés \(2015\)](#), où il a fourni une image claire sur les méthodes de recherche opérationnelle appliquées en agriculture et une discussion approfondie des applications dérivées dans l'industrie agroalimentaire.

Un autre modèle mathématique a été proposé pour présenter un schéma de plan de production agrégée multi-période et multi-produit. En effet, cette approche utilise une distribution triangulaire des possibilités pour traiter tous les coûts d'exploitation imprécis, les demandes, et les données de capacité ([Chakraborty et al., 2015](#)).

[Richter and Bokelmann \(2016\)](#) ont présenté les résultats exploratoires d'une enquête quantitative menée auprès des grandes entreprises de l'industrie alimentaire allemande pour évaluer la pertinence et la gestion des pertes de denrées alimentaires dans l'industrie alimentaire. Cette enquête montre que le gaspillage alimentaire a un effet négatif sur la performance de cette industrie.

[Jonker et al. \(2016\)](#) ont présenté une étude d'optimisation économique de l'échelle et de la localisation des usines de production d'éthanol compte tenu de l'expansion prévue des régions d'approvisionnement en biomasse. Cette étude est présentée par

un modèle d'optimisation linéaire pour déterminer la localisation et l'échelle optimales des usines de transformation industrielle de la canne à sucre et de l'eucalyptus, tout en considérant la répartition spatiale prévue de l'expansion de la production de biomasse dans l'État de Goiás en Brésil entre les années 2012 et 2030.

[Dinu \(2016\)](#) présentait les composantes de la chaîne logistique agroalimentaire, les principaux indicateurs clés de performance, et la différence entre une chaîne logistique traditionnelle et durable, en analysant la composante de gestion des déchets. Une recherche quantitative a été établie dans le but d'obtenir une expertise professionnelle se référant aux indicateurs clés de performance.

[Rocco and Morabito \(2016a\)](#) ont présenté un schéma conceptuel du problème de planification de la production et de la logistique pour l'industrie de transformation des tomates en Brésil par un modèle de programmation linéaire qui représente et soutient d'une manière efficace la prise de décision dans les activités agricoles et industrielles. Des décisions sur le niveau tactique dans l'industrie de transformation de la tomate ont été intégrées dans le modèle mathématique tels que la taille des champs agricole, le choix des variétés de tomates à cultiver, les périodes de plantation et de récolte, le transport des tomates de zones productrices vers les usines de transformation, à la production de produits semi-finis et de produits finaux, ainsi que la gestion des stocks et le transport de ces produits finis vers les entrepôts dans les usines de production.

[Rocco and Morabito \(2016b\)](#) ont développé un modèle de programmation linéaire et trois modèles d'optimisation robustes pour traiter l'incertitude des données dans l'analyse des cultures, la logistique et la planification tactique dans l'industrie de tomate. Cette étude prend en considération l'analyse des coûts de production et de logistique dus aux impacts des perturbations indésirables sur la quantité de Brix et la quantité de tomates traitées dans le système.

[Chaboud \(2017\)](#) ont examiné les lacunes méthodologiques existantes dans les chaînes logistiques alimentaires afin de proposer un cadre méthodologique pour l'évaluation et la notification des gaspillages et les pertes alimentaires. Le cadre méthodologique a été appliqué à un cas d'étude réel d'une chaîne logistique traditionnelle de tomates à Cali (Colombie) dans le cadre de la gestion des déchets.

2.2.2.1 Synthèse de l'état de l'art et positionnement de notre contribution l'optimisation

Selon la littérature citée auparavant, le domaine de la chaîne logistique agroalimentaire a attiré l'attention des chercheurs dans ces dernières années vu son importance dans le monde actuelle. Les travaux scientifiques exposés dans la partie précédente traitent des cas d'étude réels de produits agricoles dans différents pays du monde, tels que le citron : [Munhoz and Morabito \(2014\)](#), le poire et le pomme : [Catalá et al. \(2013\)](#), la canne à sucre : [Jonker et al. \(2016\)](#) et la tomate : [Soto-Silva et al. \(2016\)](#), [Chaboud \(2017\)](#), [Simpson et al. \(2008\)](#), [Ahumada and Villalobos \(2011a\)](#), [Ahumada and Villalobos \(2011b\)](#), [Ahumada et al. \(2012\)](#), [Damião Rocco and Morabito \(2014\)](#), [Rocco and Morabito \(2016b\)](#), et [Rocco and Morabito \(2016a\)](#).

Dans ce qui suit, nous concentrons beaucoup plus sur l'optimisation de la chaîne logistique de tomate car notre cas d'étude traite le même produit comme benchmark. En effet, il existe plusieurs travaux scientifiques dans ce contexte. Cependant, la minimisation des pertes du produit frais est très peu considérée, alors que la tomate est un aliment qui est très fragile dans sa manipulation. De ce fait, nous proposons une approche de résolution basée sur un modèle mathématique linéaire dans le but de minimiser les pertes de la matière fraîche de la récolte jusqu'à la transformation de la tomate, le stockage et la distribution. Nous avons basé dans notre modèle sur la minimisation du temps d'attente des camions avant d'entrer à la chaîne de production. Ce temps d'attente est souvent très long, le produit est directement exposé au soleil et à l'humidité, la chose qui provoque et favorise la détérioration de produit frais. Notons que notre problématique est inspirée d'un cas d'étude réel lié à une entreprise algérienne de transformation de tomate industrielle.

2.3 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une revue de la littérature des travaux de recherche ayant une relation directe à nos contributions. Nous avons devisé notre état de l'art en deux grandes parties. Premièrement, nous avons présenté les travaux scientifiques liées au choix de fournisseurs dans une chaîne logistique agroalimentaire avec les diverses approches MCDM. Par la suite, nous avons exposé les différentes recherches relatives à l'optimisation et la planification dans la chaîne d'approvisionnement agricole.

Chapitre 2 : État de l'art et positionnement de nos contributions

Après avoir cité les travaux de recherches importants dans ce domaine, nous avons positionné nos contributions par rapport à ce qui existe dans la littérature.

Chapitre 3

Sélection des fermes de tomate en utilisant les méthode MCDM : Delphi-AHP-TOPSIS

3.1 Introduction

Le problème de sélection des fournisseurs (The Supplier Selection Problem (SSP)) représente l'une des décisions clés qui participent efficacement à la planification stratégique globale de la gestion de la chaîne d'approvisionnement (Cheraghali *et al.*, 2018; Dweiri *et al.*, 2016; Shahroodi *et al.*, 2012). Aujourd'hui, dans un monde compétitif, le SSP est devenu une tâche essentielle pour atteindre la performance organisationnelle globale de la chaîne logistique Dweiri *et al.* (2016). Le processus de sélection des fournisseurs a été considéré comme l'une des activités d'acquisition pertinentes. De ce fait, il influe non seulement sur la qualité des produits mais aussi bien la performance de l'ensemble de la chaîne logistique (Joshi *et al.*, 2011). La sélection des fournisseurs est une activité décisionnelle qui assure le meilleur choix des fournisseurs potentiels parmi un ensemble d'alternatives (Asadabadi, 2014; De Boer *et al.*, 2001). De plus, le processus a un impact essentiel sur l'acquisition des objectifs sociaux, environnementaux et économiques de durabilité de la chaîne logistique (Govindan *et al.*, 2015). Un ensemble de critères communs devrait être utilisé pour évaluer les différents fournisseurs. Néanmoins, les détails fournis afin d'évaluer les fournisseurs peuvent varier selon les stratégies de l'entreprise (Kahraman *et al.*, 2003). Le SSP n'est pas apparu récemment, sa première apparition dans la littérature remonte

aux années 1960, où il est traité comme un problème d'optimisation de la fonction objectif du signal (Wang et al., 2004). Vu que les seuls critères qui peuvent être inclus dans la formulation d'optimisation sont les critères quantitatifs, donc, le problème de SSP est considéré comme un problème de prise de décision multicritères MCDM (Multi Criteria Decision Making).

Les problèmes de type MCDM sont des parties pertinentes de la recherche opérationnelle visant des problèmes conflictuels et à objectifs multiples (Oguztimur, 2011). Il est clair que plusieurs objectifs appartenant au même problème mettent le décideur dans une situation d'ambiguïté, où le choix entre les alternatives sera très difficile. Les approches MCDM fournissent un compromis explicite entre plusieurs critères en attribuant des facteurs pondérés pour chaque critère dans la fonction globale, afin de sélectionner les meilleures alternatives parmi les solutions possibles (Aramyan et al., 2007).

3.2 Présentation de la problématique

Une entreprise de transformation de la tomate industrielle est confrontée au problème de sélection des fournisseurs de la tomate dans le but de garantir une bonne qualité de la tomate fraîche. Bien évidemment, la qualité du produit fini est directement influencée par la qualité de la tomate fraîche utilisée. Cette entreprise est située à la wilaya de Blida, et ses fournisseurs sont répartis sur différentes wilayas productrices de la tomate industrielle en Algérie (des variétés de tomate dédiées directement à la transformation). L'objectif principal des managers de l'entreprise est de pouvoir sélectionner les bons fournisseurs. Autrement dit, sélectionner les zones productrices de la tomate comme des fournisseurs.

Ce problème est traité comme un problème de sélection des fournisseurs (supplier selection problem). La procédure de la sélection se base essentiellement sur un objectif commun et des critères bien déterminés. L'objectif est de sélectionner les bonnes zones de la production de tomate. Les critères de sélection sont basés sur trois grands axes, la littérature, l'expérience des expertes de l'agriculture et l'avis des gestionnaires de l'entreprise. Pour cette raison, nous avons utilisé les méthodes d'aide à la décision multicritères (MCDM), afin de traiter ce problème.

Nous avons intégré trois méthodes MCDM : Delphi, AHP et TOPSIS. La méthode Delphi a été utilisée pour l'identification et la définition des critères utilisés pour la

sélection. La méthode AHP est utilisée pour déterminer le poids de chaque critère. Finalement, la méthode TOPSIS a été utilisée pour l'évaluation finale afin de sélectionner les meilleurs fermes.

3.3 Présentation de la méthodologie proposée

3.3.1 Méthode Delphi

La méthode Delphi est une approche d'investigation qui permet de recueillir, de modifier et d'analyser les avis des experts dans le but de parvenir à un consensus afin de résoudre des problèmes de décision complexes (Humphrey-Murto and de Wit, 2019). La méthodologie Delphi a été considérée comme une méthode puissante pour faire ressortir les opinions des experts dans le domaine de la sécurité alimentaire (Wentholt et al., 2010). De plus, il s'agit d'une méthode efficace pour sélectionner les critères en se basant sur les avis des experts (Kamali et al., 2015). L'application de cette approche comporte deux étapes principales :

3.3.1.1 Première étape

- Identifier clairement le problème à résoudre.
- Choisir un groupe d'experts, qui participeront avec leurs connaissances et leurs expériences.
- Élaborer un questionnaire d'enquête qui sera envoyé à des experts anonymes afin d'obtenir leur opinion (première série de questionnaires Delphi).

3.3.1.2 Deuxième étape

Elle consiste à traiter et analyser les réponses des experts. En fonction des résultats de la première étape, le chercheur ou l'investigateur envoie un nouveau questionnaire d'enquête (souvent modifié) à l'équipe d'experts pour une autre révision (la deuxième série de questionnaires Delphi).

- Le deuxième cycle doit être répété jusqu'à ce que le consensus soit atteint (généralement atteint lors du deuxième ou du troisième cycle) (Emovon et al., 2018).

Il est important de noter que l'anonymat est une caractéristique indispensable de la méthode Delphi pour obtenir de bons résultats.

La solution méthodologique proposée présente plusieurs avantages. Premièrement, chaque expert sélectionné a le pouvoir de participer dans toute partie de la procédure Delphi. Deuxièmement, tout expert peut librement exprimer son opinion sans avoir besoin d'une argumentation (Kim et al., 2013). Troisièmement, par rapport aux autres méthodes de collecte de données, l'approche Delphi a conduit à un consensus d'experts. Pour cette raison, elle a été considérée comme une meilleure méthodologie de la politique de brainstorming.

3.3.2 Méthode Analytic Hierarchy Process (AHP)

AHP est l'une des méthodes appartenant au Multiple Attribute Decision-making (MADM). C'est un outil d'aide à la décision utilisé pour les problèmes complexes et non structurés. La méthode AHP est considérée comme une approche puissante qui facilite la prise de décision en organisant les jugements, les sentiments et les compréhensions en une structure hiérarchique organisée, afin de prendre une décision cohérente. AHP se caractérise par la décomposition d'un problème complexe en une structure hiérarchique multi-niveaux : objectif final, critères, sous-critères et alternatives (Saaty, 2008). Cette méthode a prouvé sa flexibilité et sa capacité à résoudre des problèmes complexes avec des critères multiples sur des champs différents (Oguztimur, 2011). Elle est considérée comme un outil efficace qui aide les décideurs à structurer les différentes composantes d'un problème en une famille d'arbres afin de faciliter la prise de décision (Ni-Di and Ming-Xian, 2010). AHP peut combiner des facteurs qualitatifs et quantitatifs pour classer les solutions réalisables (Saaty, 2008; Wang, 2010). Bien qu'il existe de nombreuses méthodes proposées dans la littérature pour résoudre les problèmes de décision multicritères, AHP demeure le meilleur outil pour traiter ce type de problèmes en raison de son applicabilité dans plusieurs domaines et de sa facilité d'utilisation (Harputlugil et al., 2011).

3.3.2.1 Process de AHP

C'est une approche simple et facile à utiliser pour l'évaluation et le classement des alternatives pour les problèmes complexes et non-structurés en attribuant des poids. La méthode AHP peut être présentée en trois phases principales :

- Identifier la structure de la hiérarchie.

- Comparaison par paires.
- Prendre la meilleure décision parmi les alternatives faisables (Oguztimur, 2011).

Pour la première phase, l'identification de la structure hiérarchique est requise en sélectionnant les critères, les sous-critères et les alternatives.

Dans la deuxième phase, une formation de la matrice d'évaluation par paires sera établie afin d'évaluer l'importance de chaque facteur. Les experts et les décideurs utilisent les valeurs numériques indiquées dans l'échelle de Saaty (tableau 3.1) pour évaluer chaque comparaison par paires.

TABLE 3.1 – Échelle de comparaison par paires (Saaty, 2008).

Valeur	Signification de valeur
1	L'importance égale de deux facteurs i et j
3	Faible préférence (facteur i par rapport au facteur j)
5	Préférence forte (i par rapport au j)
7	Préférence très forte (i par rapport au j)
9	Préférence extrême (i par rapport au j)
2, 4, 6, 8	Valeurs intermédiaires entre deux jugements (i et j)

Le résultat de la comparaison par paires, qui doit être évalué par des experts, et aboutit à une matrice M.

$$M(m_{ij}) = \begin{bmatrix} 1 & m_{12} & m_{13} & \cdots & m_{1n} \\ m_{21} & 1 & m_{23} & \cdots & m_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{n1} & m_{n2} & m_{n3} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad m_{ii} = 1, m_{ji} = 1/m_{ij}, m_{ij} \neq 0 \quad (3.1)$$

M est une matrice de comparaison qui prendra le nombre 1 dans sa diagonale et (m_{ij}) nombre pour la comparaison par paires entre les éléments i et j, ($i, j = 1, 2, 3, \dots, n$). Lorsque la matrice de comparaison est formée, le calcul du vecteur de poids W est déterminé en résolvant l'équation 3.2, où λ_{max} est la valeur propre moyenne maximale (Joshi et al., 2011). La méthode du vecteur propre droit principal est utilisée pour déterminer le vecteur poids de la matrice de comparaison par paires (Saaty, 2008).

$$MW = \lambda_{max} \otimes W \quad (3.2)$$

Ensuite, les décideurs doivent vérifier la cohérence du résultat en calculant le facteur CR. CR est une moyenne détectée qui permet aux décideurs d'assurer la fiabilité de la comparaison par paires. Nous pouvons le calculer efficacement par l'équation mathématique 3.3.

$$CR = CI/RI \quad (3.3)$$

RI : Indice de cohérence aléatoire de (tableau 3.2)

CI : Indice de consistance, déterminé par l'équation 3.4

$$CI = \lambda_{max}/(n - 1) \quad (3.4)$$

n : nombre de lignes de la matrice de jugement.

La matrice de jugement est cohérente si le CR est inférieur à 0,10. Par conséquent, le résultat de la matrice des valeurs considérées cohérentes. Autrement, les experts sont appelés à faire une autre révision pour réduire les incohérences (Saaty, 2008).

Dans la troisième phase, qui est l'étape finale, elle vise à choisir les meilleures alternatives après analyse et évaluation du résultat.

TABLE 3.2 – Indice de cohérence aléatoire en fonction du nombre de n (Saaty, 2008)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0.52	0.89	1.12	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58	1.59

3.3.3 Méthode Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

TOPSIS est une célèbre méthode de prise de décision multicritères, développée par (Hwang and Yoon, 1981). Elle aide les gestionnaires à organiser, analyser et prendre des décisions en simplifiant les problèmes complexes (Sekhar et al., 2015). Le but de cette approche est d'évaluer un ensemble d'alternatives en utilisant un nombre fini de critères en fonction de l'avis des experts. Le concept de TOPSIS est

logique, simple et facile à appliquer où les alternatives doivent être classées par la mesure des distances. En ce sens, la meilleure alternative doit être la distance la plus proche de la solution idéale positive et la plus éloignée de la solution idéale négative. Par conséquent, les solutions idéales, positives ou négatives, sont calculées à partir d'alternatives envisagées (Karahalios, 2017). La solution idéale positive présente l'alternative qui maximise les critères de bénéfice et minimise les critères de coût. Cependant, la solution idéale négative présente l'alternative qui minimise les critères de bénéfice et maximise les critères de coût (Anojkumar et al., 2014; Joshi et al., 2011). La proximité de la solution idéale est l'indice clé pour classer les alternatives. Par conséquent, la meilleure solution est celle qui se rapproche le plus de la solution idéale positive et la plus éloignée de la solution idéale négative (Joshi et al., 2011; Kittiyankajon and Chetchotsak, 2018).

Le processus de la méthodologie TOPSIS comprend plusieurs étapes mentionnées ci-dessous :

- **Étape 1** : Déterminer la matrice de décision. La structure de la matrice est illustrée comme suit :

$$X(x_{ij}) = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \cdots & \cdots & C_n \\ A_1 & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_m & x_{m1} & x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3.5)$$

où les A_i présentent les alternatives i , $i = 1, 2, \dots, m$; C_j représentent les attributs/critères de décision j , $j = 1, 2, \dots, n$, qui sera utilisé pour évaluer les alternatives i et X_{ij} indique les valeurs d'évaluation de la $i^{\text{ème}}$ alternative en respectant le $j^{\text{ème}}$ attribut/critère.

- **Étape 2** : Calcul de la matrice de décision normalisée $R (= [r_{ij}])$. L'objectif principal de cette étape est d'unifier les différentes unités d'échelle d'une unité mutuelle afin de faciliter le processus de comparaison. Les valeurs matricielles normalisées peuvent être calculées à l'aide de la formule mathématique suivante :

$$r_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (3.6)$$

- **Étape 3** : Calculer la matrice de décision normalisée pondérée. Il est important de mentionner que l'importance de chaque critère est différente de celle des autres. Par conséquent, les valeurs normalisées pondérées peuvent être calculées en multipliant chaque valeur de décision normalisée par le poids correspondant, comme illustré dans cette formule :

$$v_{ij} = w_j \otimes r_{ij} \quad i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n \quad (3.7)$$

où W_{ij} est le poids de chaque $j^{\text{ième}}$ critère. Nous pouvons obtenir ces poids à l'aide de méthodes différentes dans la littérature telles que AHP.

- **Étape 4** : Déterminer les solutions idéales positives et négatives.

$$A^+ = \{v_1^+, \dots, v_n^+\} = \left\{ (\max_i v_{ij}, j \in I) (\min_i v_{ij}, j \in J) \right\}, \quad i = 1, \dots, m \quad (3.8)$$

$$A^- = \{v_1^-, \dots, v_n^-\} = \left\{ (\min_i v_{ij}, j \in I) (\max_i v_{ij}, j \in J) \right\}, \quad i = 1, \dots, m \quad (3.9)$$

Où I est associé à des critères de prestations et J à des critères de coûts.

- **Étape 5** : Calculer les mesures de séparation. La séparation peut être obtenue en mesurant la distance euclidienne n-dimensionnelle pour chaque alternative à la solution idéale positive et à la solution idéale négative respectivement.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_i^+)^2} \quad i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n \quad (3.10)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_i^-)^2} \quad i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n \quad (3.11)$$

- **Étape 6** : Calculer la proximité relative de la solution idéale. La proximité relative RC_i de chaque alternative à la solution idéale est donnée comme suit :

$$RC_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad i = 1, \dots, m \quad (3.12)$$

- **Étape 7** : Classer toutes les alternatives par ordre décroissant en fonction de

la proximité relative RC_i .

La solution optimale est l'alternative qui a la valeur RC maximale.

3.3.4 Motivation à l'intégration d'AHP-TOPSIS

L'approche intégrée AHP-TOPSIS a été utilisée par divers chercheurs dans différents domaines tels que l'évaluation des entreprises de transport de déchets dangereux (Gumus, 2009), évaluation des systèmes de traitement des eaux de ballast par les exploitants de navires (Karahalios, 2017), amélioration de la performance de la chaîne logistique froide (Anojkumar et al., 2014), etc.

L'utilisation de TOPSIS pour le classement après AHP a pour but d'éviter la situation difficile où les unités évaluées ont les mêmes valeurs et ne peuvent être classées de manière appropriée (Hsieh et al., 2006). Pour illustrer cela, nous donnons l'exemple suivant : A_1 , A_2 sont deux alternatives, A^+ est la solution idéale positive, et A^- est la solution idéale négative, comme le montre la figure 3.1. Selon la méthode AHP, le segment A_1A^+ est égal à A_2A^+ , ce qui signifie que $[A_1A^+] = [A_2A^+]$. Si nous considérons uniquement la valeur de la distance par rapport à la solution idéale positive $[A_1A^+] = [A_2A^+] \Rightarrow A_1 = A_2$. Cependant, si on considère la distance de la valeur à la solution idéale négative, le segment A_1A^- est plus grand que A_2A^- , c'est-à-dire $[A_1A^-] > [A_2A^-]$. Par conséquent, A_1 est le plus éloigné que A_2 selon l'approche TOPSIS. Donc, nous pouvons juger que $A_1 > A_2$, comme le montre la figure 3.1. C'est la principale raison d'intégrer les deux approches, AHP et TOPSIS.

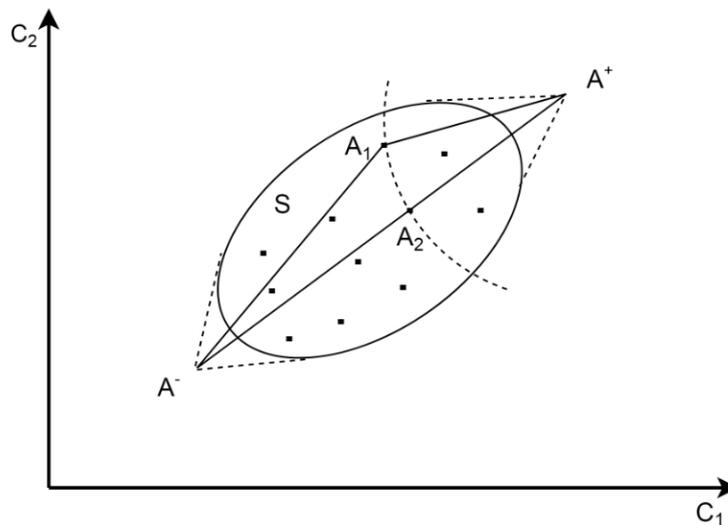


FIGURE 3.1 – Solution idéale positive et la solution idéale négative du diagramme de la méthodologie TOPSIS (adapté de (Hsieh et al., 2006; Joshi et al., 2011))

3.4 Application de la méthodologie à l'industrie agroalimentaire : étude de cas de la tomate

Comme on a déjà mentionné auparavant, une entreprise algérienne de transformation de tomates a besoin de sélectionner des fournisseurs (fermes) afin de garantir la qualité et la quantité des produits frais dans les délais souhaités. Cette entreprise est spécialisée dans la transformation de tomates fraîches en produits semi-finis, puis en produits finis pour répondre à la demande du marché. En d'autres termes, notre chaîne comprend une conserverie située dans la wilaya de Blida, en Algérie qui fabrique du concentré de tomates à partir de tomates fraîches, et un ensemble de zones de production de tomates (fermes) réparties dans différentes régions algériennes, comme le montrent les figures 3.2a et 3.2b. L'objectif est de sélectionner des fermes productrices de tomates pour assurer l'alimentation de l'entreprise en tomates fraîches de régions agricoles afin d'alimenter la chaîne de production pendant la saison de récolte. Pour ce faire, un ensemble de critères devrait être pris en compte pour la procédure de sélection. Ces critères sont attribués en fonction de cas d'étude de la nature de la chaîne logistique traitée. Les critères les plus utilisés dans la littérature pour le problème du choix de fournisseurs sont présenté dans le tableau 3.3.

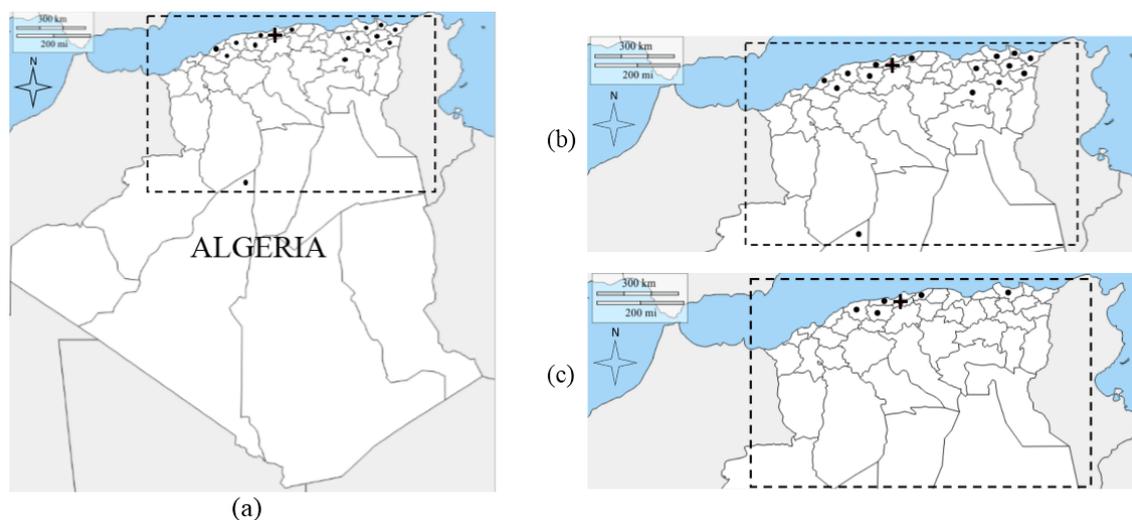


FIGURE 3.2 – Fermes productrices de tomates algériennes et entreprise de pâte de tomate (+ : entreprise de pâte de tomate, point noir : ferme de tomates).

En ce sens, la méthode Delphi a été utilisée pour déterminer les critères et sous-critères afin d'évaluer les alternatives en fonction de la nature du problème traité. Par la suite, l'évaluation des alternatives sélectionnées sera réalisée à l'aide de deux

TABLE 3.3 – Critères de sélection des fournisseurs en fonction des auteurs sélectionnés

Référence	Critères proposés par le(s) auteur(s)														
	Flexibility	Service	Reliability	Price	Quality	Proximity	Financial stability	Supplier's profile	Risk factor	Delivery	Culture	Technology	Relationship	Design	Manufacturing
Ellram (1990)	x						x	x		x	x	x	x	x	x
Stamm and Golhar (1993)	x				x	x	x		x		x	x			
Wilson (1994)		x		x	x			x	x						
Choi and Hartley (1996)	x	x	x	x	x		x		x		x				
Hirakubo and Kublin (1998)				x	x	x			x		x			x	x
Ghodsypour and O'Brien (1998)		x		x	x										
Kannan and Tan (2002)	x	x		x	x	x	x	x	x		x	x			
Bhutta and Huq (2002)		x			x							x			x
Sarkis and Talluri (2002)	x			x	x						x	x	x		
Chan (2003)			x	x											x
Kahraman et al. (2003)					x		x						x		
Wang et al. (2004)	x		x	x			x		x						
Chan and Kumar (2007)	x			x	x	x	x	x	x		x				
Kirytopoulos et al. (2008)		x		x	x			x	x						
Ku et al. (2010)	x			x	x	x			x		x				
Wang (2010)				x	x	x	x	x	x		x	x	x		
Ni-Di and Ming-Xian (2010)		x		x	x				x						
Shahroodi et al. (2012)			x	x	x			x	x		x				
Junior et al. (2014)				x	x				x				x		
Deng et al. (2014)		x		x	x			x	x						
Banaeian et al. (2018)		x			x	x									
Lau et al. (2018)		x	x	x	x			x	x				x		

méthodologies proposées : AHP et TOPSIS. Une fois les critères sont déterminés, nous utilisons la méthode AHP pour calculer le poids de chaque critère, ces poids obtenus seront utilisés comme entrée pour l'approche TOPSIS. Finalement, sur la base des résultats de l'AHP et du processus de calcul de la méthode TOPSIS, l'évaluation des fermes est effectuée afin de sélectionner les meilleures alternatives. Toutes les étapes de la méthodologie utilisée sont présentées clairement dans la figure 3.3.

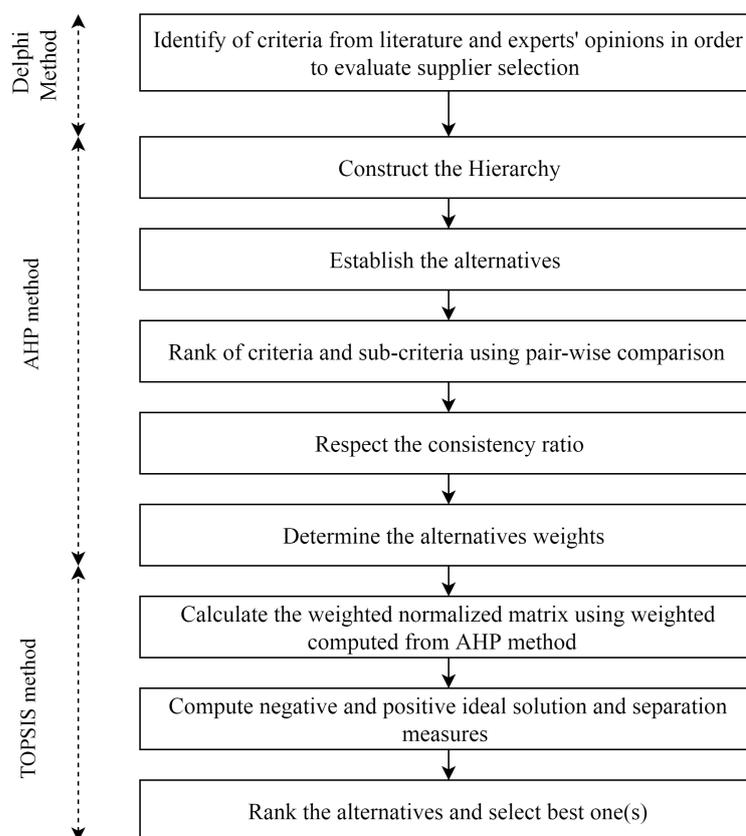


FIGURE 3.3 – Diagramme générale pour la sélection des fournisseurs basé sur la méthodologie Delphi-AHP-TOPSIS.

3.4.1 La méthode Delphi

Premièrement, plusieurs visites dans différentes industries de transformation de la tomate et des discussions avec des gestionnaires d'entreprises nous ont permis de mieux comprendre les critères utilisés dans la pratique pour sélectionner les fournisseurs. Ensuite, un panel d'experts composé de 14 membres : cinq chefs d'entreprise, huit experts universitaires (du département d'agriculture et du département de génie industriel) et un expert du ministère algérien de l'agriculture ont participé

à cette recherche afin d'identifier les critères à utiliser pour évaluer les fermes. Par conséquent, les critères pris en compte dans cette application sont basés sur trois sources principales : la littérature, les experts agricoles et les préférences des gestionnaires de l'industrie. De plus, 15 fermes (alternatives) sont fixées pour être évaluées et 27 critères ont été considérés pour évaluer les fermes dans ce cas d'étude. Le processus de la méthode Delphi a été suivi comme décrit dans la section 3.3.1. Les critères utilisés sont mentionnés comme suit :

Production agricole (C_1) : La production agricole est la quantité de récolte (en tonnes) qui dépend principalement de la superficie (en hectare) et du rendement spécifique (tonnes/hectare).

Rendement de cultures (C_{11}) : En agriculture, le rendement de cultures (production agricole) est le rapport de la quantité récoltée sur une surface cultivée donnée dans un horizon de temps bien déterminé, il pourrait être rapporté en (tonne/hectare). Plusieurs paramètres peuvent avoir une influence directe sur le rendement, tels que la température, l'éclairage, l'humidité et les caractéristiques du sol.

Température (C_{111}) : La température est nécessaire à la croissance des plants de tomates et à la maturation des fruits. Le degré de température optimal est de 18-27 °C comme l'indique l'Institut technique des cultures maraîchères industrielles d'Alger (ITCMI, 2010). Au-delà de ces valeurs, la plante commence à s'endommager.

Éclairage (C_{112}) : La lumière est un facteur vital pour la vie de toute plante. Cette énergie est nécessaire à la production de photosynthèse pour la croissance de la plante. La tomate est une plante très exigeante en termes de lumière, elle a besoin de 12-14 heures de lumière par jour, soit environ 1200 heures dans sa vie (ITCMI, 2010).

Caractéristiques du sol (C_{113}) : Le sol est le support de toute culture agricole. Ses caractéristiques influent directement sur la qualité du produit et le rendement de la culture. La tomate adépte dans les sols salés et certains degrés d'eau saline d'irrigation 1,92 à 3,2 g/l. La valeur optimale du pH pour la culture de la tomate est entre 5,6 entre 6,9 (ITCMI, 2010).

Humidité (C_{114}) : L'efficacité de l'humidité est double. D'une part, il garantit une taille calibrée avec une bonne coloration. D'autre part, il élimine les gerçures. Le degré d'humidité optimal est de 70 % pour la culture de tomates. Un taux d'humidité élevé couplé à une température élevée favorise le développement de bactéries et de maladies.

Terrain agricole (C_{12}) : La surface agricole est la zone arable, appropriée quand

les agricultures peuvent cultiver leurs plantes. Elle est exprimée en hectare. Récemment, les usines de transformation souhaitent conclure des contrats avec des fermes agricoles ayant une surface énorme (Rocco and Morabito, 2016a).

Irrigation (C_{121}): La culture de la tomate est une culture très exigeante en termes d'eau, l'irrigation est donc une tâche essentielle. Il consomme environ 5 000 à 6 000 m³/hectare. L'étape la plus consommatrice d'eau est la production et l'expansion des fruits.

Topologie (C_{122}): L'utilisation de machines dans la culture de la tomate devient une nécessité, afin de faciliter les activités agricoles (plantation, irrigation, récolte, etc.). Cette mécanisation nécessite une topologie uniforme pour assurer son fonctionnement dans les meilleures conditions possibles (Rocco and Morabito, 2016a).

Infrastructure (C_{13}): Toute entreprise cherche à être efficace. Par conséquent, les entreprises ont besoin d'un certain niveau de compétences techniques de la part de leurs fournisseurs pour atteindre cet objectif. Surtout lorsqu'il s'agit de développer de nouveaux produits ou services (Kahraman et al., 2003). Pour faciliter la manipulation de ce produit périssable, les agricultures ont besoin d'une main d'œuvre expérimentée et de machines modernes (planteurs, cultivateurs, tracteurs) afin d'accélérer les tâches agricoles telles que la plantation, l'irrigation, l'entretien et la récolte pour mieux répondre aux exigences de l'entreprise. Cela comprend la disponibilité de la main d'œuvre qualifiée et de l'équipement.

Disponibilité de main d'œuvre qualifiée (C_{131}): La disponibilité d'une main d'œuvre qualifiée est obligatoire dans les domaines agricoles. Elle assure le bon déroulement des activités agricoles (soins des plantes, plantation, récolte, etc.), surtout en l'absence de machines spécialisées pour les tâches agronomiques.

Équipement (C_{132}): Récemment, il est remarqué que les dirigeants d'entreprises cherchent à contractualiser avec des fermes qui disposent d'équipements de plantation, de récolte et de stockage afin de répondre rapidement à tout changement inattendu.

Caractéristiques du produit (C_2): Les produits de la chaîne logistique agro-alimentaire ont des caractéristiques particulières, surtout lorsqu'ils sont périssables comme la tomate. Elle doit être de haute qualité, avec un prix raisonnable et disponible dans temps désiré afin d'assurer la bonne fonctionnalité de la ligne de production.

Qualité (C_{21}): La qualité alimentaire est l'indicateur le plus pertinent pour tout

produit alimentaire industriel. Les produits alimentaires doivent être sûrs et frais, sans contamination. Elle peut être mesurée par les caractéristiques physiques (apparence, goût et couleur), la sécurité alimentaire et la fraîcheur du produit (Aramyan et al., 2007; Joshi et al., 2011). La qualité du produit final dépend principalement de la matière première. Pour cette raison, l'entreprise exige au fournisseur de respecter certaines caractéristiques des tomates.

Sécurité des produits (C_{211}) : Ce critère n'est pas largement mentionné dans la littérature. Cependant, la sécurité des produits est un critère clé dans le cas de la chaîne logistique agroalimentaire. De ce fait, la tomate doit être fraîche, propre et ne doit pas avoir en aucun effet dangereux pour la santé humaine avec une marge de risque acceptable (Aramyan et al., 2007).

Apparence (C_{212}) : L'apparence de la tomate est un critère très important. Tout dommage ou contamination du produit frais pourrait entraîner la perte du jus de tomate, ce qui aurait une influence négative sur le rendement de production et la qualité du produit final. Elle pourrait être mesurée par le pourcentage de dommages, la couleur d'acceptation et la forme du produit (Aramyan et al., 2007).

Brix (C_{213}) : L'un des indicateurs de qualité les plus pertinents est le degré Brix ($^{\circ}\text{Bx}$). Il peut être défini comme la concentration de matière sèche soluble dans une solution aqueuse (dans 100 grammes de solution aqueuse : n grammes de saccharose égal n degré Brix). Il s'agit d'une unité de mesure de la concentration en sucre des tomates fraîches et des concentrés de tomates. Sur la base de cet indicateur, les responsables industriels peuvent décider d'accepter ou de refuser des tomates fraîches réceptionnées des fermes agricoles en fonction de la valeur acceptable des Brix mentionnée dans le contrat.

Prix (coût) : Le coût est un facteur essentiel pour gagner une grande part du marché. Elle a une relation directe avec le coût d'acquisition (Junior et al., 2014; Ni-Di and Ming-Xian, 2010). Dans la chaîne d'approvisionnement agroalimentaire, le coût du produit frais joue un rôle important dans la détermination du prix du produit final. Elle apparaît donc comme l'un des critères indispensables à la sélection des fournisseurs (Lau et al., 2018). On peut distinguer deux types de prix :

Prix du produit (P.Produit) (C_{22}) : Qui se réfère au prix du produit frais.

Coût unitaire de transport (coût C.U.T) (C_{33}) : Qui correspond au prix unitaire du transport \times quantité de tonne par un kilomètre.

Disponibilité (C_{23}) : La disponibilité des matières premières est un critère vi-

tale pour assurer le bon fonctionnement de la chaîne de production. Le manque ou l'absence de cette matière provoque un dysfonctionnement ou un arrêt de la chaîne logistique. De plus, en raison du caractère périssable et saisonnier de la tomate, l'indisponibilité de ce produit pendant la période de récolte influe négativement à la satisfaction des commandes des clients pendant toute l'année.

Frais de transport (C_3) : Le déplacement de la tomate des fermes à l'usine de transformation par camions coûte à l'entreprise d'énormes dépenses, qui ont un impact significatif sur le coût de production et, par conséquent, sur le prix du produit fini. Le coût du transport dépend de la quantité transportée, de la distance parcourue et du prix du transport par kilomètre.

Quantité (C_{31}) : La quantité de tomates transportées à l'usine détermine le nombre de camions utilisés pour assurer le transport de la matière première entière des zones agricoles à l'entreprise de transformation. Elle peut être déterminée en tonnes.

Proximité (C_{32}) : La proximité a été choisie comme critère crucial par plusieurs auteurs (Chan and Kumar, 2007 ; Kannan and Tan, 2002 ; Ku et al., 2010 ; Wang, 2010). Les entreprises visent à signer des contrats avec des fournisseurs proches en raison des frais de transport et des délais de livraison (Rocco and Morabito, 2016a). La proximité a été choisie comme critère clé dans cette contribution pour deux raisons principales. La première raison est relativement liée à la périssabilité du produit, qui doit être transformé immédiatement après la récolte. La seconde est liée à l'absence de transports et d'infrastructures fiables dans les pays en développement par rapport aux pays développés.

Relation avec le fournisseur (C_4) : La relation fournisseur-entreprise est très importante pour garantir des bénéfices à long terme et le bien-être des deux partenaires. Cette relation nécessite des aspects spécifiques pour être forte, elle implique une communication ouverte, un échange d'informations facile et transparent et une confiance mutuelle (Deng et al., 2014 ; Ellram, 1990 ; Junior et al., 2014).

Facilité de communication (C_{41}) : Aujourd'hui, la communication entre le fournisseur et l'entreprise devient une tâche indispensable, surtout avec l'évolution rapide de la technologie, du produit et du système. Elle est liée à la capacité de partager les attentes et les objectifs, à la rapidité d'intervention en cas d'urgence, et aux problèmes d'utilisation des outils/applications de communication (Internet, courriel, téléphone, etc.) (Kannan and Tan, 2002).

Réputation (C_{42}) : La bonne réputation du fournisseur donne un avantage majeur à être sélectionné par les entreprises (Lau et al., 2018). Elle joue un rôle essentiel

pour accroître le niveau de confiance et renforcer les relations entre les fournisseurs et les entreprises. Dans la littérature, plusieurs auteurs comme [Choi and Hartley \(1996\)](#), [Ameseder et al. \(2008\)](#) et [Junior et al. \(2014\)](#) ont utilisé la réputation comme critère critique pour la sélection des fournisseurs.

3.4.2 Méthode AHP

Maintenant, après l'identification des critères et sous-critères de l'approche Delphi, la première étape consiste à construire une hiérarchie selon l'étude de cas, comme le montre la figure 3.4. La deuxième étape consiste à établir une comparaison par paires des critères et des sous-critères afin de préciser la préférence de chaque critère en fonction de l'avis des experts. Par conséquent, une autre évaluation des solutions (alternatives) avec ces critères doit être effectuée en respectant la hiérarchie de cas d'études. A l'étape finale, après ces calculs, les pondérations des alternatives peuvent être calculées afin de les utiliser comme des entrées dans la méthode TOPSIS pour l'évaluation finale.

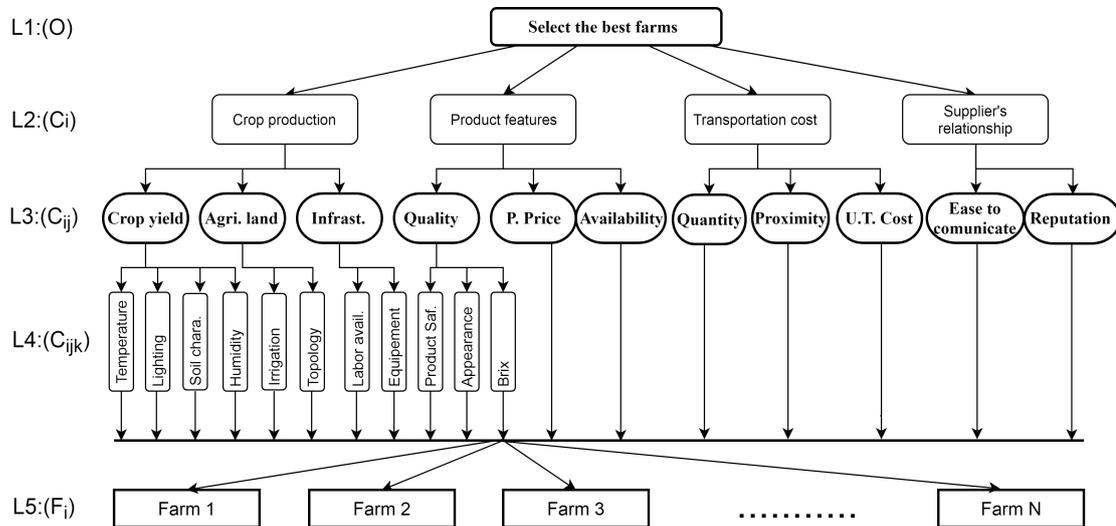


FIGURE 3.4 – Modèle hiérarchique proposé pour l'industrie de transformation de la tomate

La matrice de comparaison par paires des critères respectant l'objectif principal et leurs pondérations calculées est illustrée au tableau 3.4. Les tableaux 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, 3.11 et 3.12 présentent toutes les matrices de décision de comparaison avec les pondérations calculées de tous les critères et sous-critères selon la hiérarchie de cas d'étude. Après avoir calculé les poids des critères, les fermes de to-

mates doivent être évaluées pour chaque critère. Toutes les matrices d'évaluations entre critère-alternative sont calculées indépendamment, et présenté dans l'[Annexe A](#). Finalement, le tableau 24 résume tous les coefficients de pondération calculés par comparaisons par paires et les coefficients de pondération de chaque critère.

3.4.3 Méthode TOPSIS

Après avoir calculé la matrice de poids des alternatives à partir de la méthode AHP, ces résultats peuvent être utilisés avec la méthode TOPSIS pour l'évaluation finale. Par conséquent, la procédure TOPSIS peut commencer à la troisième étape de la méthodologie utilisée (section 3.3.3). La matrice de décision normalisée pondérée des alternatives devrait être calculée. Cette matrice est présentée dans le tableau 25.

Finalement, le résultat de la méthode TOPSIS a été obtenu en suivant ses étapes et calculs. Le classement final des fermes et les fermes de tomates choisies sont présentés dans les tableaux 3.13 et 3.14 respectivement.

3.5 Résultats et discussion

La sélection des fournisseurs dans la chaîne logistique agroalimentaire est un processus complexe en raison de la nature du produit traité et les caractéristiques de la chaîne logistique. C'est une tâche difficile qui coûte beaucoup de temps et d'efforts aux gestionnaires. Cependant, l'approche Delphi-AHP-TOPSIS proposée peut aider les gestionnaires à choisir correctement les meilleures fermes pour l'entreprise. L'objectif de cette recherche est de présenter une méthodologie de prise de décision afin de simplifier la tâche de prise de décisions stratégiques aux gestionnaires.

Les résultats obtenus à l'aide de TOPSIS basés sur les résultats de l'AHP pour l'exemple numérique sont donnés dans le tableau 3.13. L'évaluation de la sélection des fermes a été réalisée et les fermes peuvent être classées comme suite : F14-F5-F5-F7-F9-F9-F12-F10-F10-F6-F6-F2-F1-F1-F13-F8-F15-F15-F4-F11-F3 respectivement, des meilleures aux pires fermes selon les valeurs RC (une valeur élevée est plus préférable).

En Algérie, les fermes potentielles de production de tomates sont présentées dans les figures 3.2a et 3.2b. Il est à noter que chaque ferme de tomates produit une certaine quantité de tomates fraîches pendant la saison de récolte. D'autre part, l'entreprise de transformation de tomates a une capacité de transformation bien déter-

minée au cours de la même période. Pour cette raison, les responsables industriels visent à sélectionner les fermes qui peuvent garantir la quantité suffisante de tomates fraîches pour la transformation pendant la période de récolte en respectant les critères définis. Les fermes sélectionnées ont été choisies sur la base des résultats du classement de la méthodologie AHP-Delphi-TOPSIS. Le résultat est présenté dans le tableau 3.14 et la figure 3.2c. Le tableau 3.14 présente la production de chaque ferme, la somme des tomates récoltées pour cinq fermes de tomates sélectionnées et la capacité maximale de transformation de l'entreprise pendant la saison de récolte. Les dirigeants de l'entreprise sont satisfaits des résultats obtenus, car l'approche intégrée proposée respecte à la fois les critères définis et la capacité de l'entreprise.

TABLE 3.4 – Matrice comparative en respectant l'objectif final

But	C_1	C_2	C_3	C_4	W
C_1	1	2	3	4	0.46
C_2	1/2	1	2	4	0.30
C_3	1/3	1/2	1	1	0.13
C_4	1/4	1/4	1	1	0.11

$$\lambda_{max} = 4.07; CI = 0.023; CR = 0.026 < 0.1$$

TABLE 3.5 – Matrice de comparaison par paires pour le critère de la production végétale (C_1).

C_1	C_{11}	C_{12}	C_{13}	W
C_{11}	1	3	3	0.59
C_{12}	1/3	1	2	0.25
C_{13}	1/3	1/2	1	0.16

$$\lambda_{max} = 3.054; CI = 0.027; CR = 0.052 < 0.1$$

TABLE 3.6 – Matrice de comparaison par paires pour le critère de caractéristiques du produit (C_2).

C_2	C_{21}	C_{22}	C_{23}	W
C_{21}	1	4	2	0.56
C_{22}	1/4	1	1/3	0.12
C_{23}	1/2	3	1	0.32

$$\lambda_{max} = 3.018; CI = 0.009; CR = 0.017 < 0.1$$

TABLE 3.7 – Matrice de comparaison par paires pour le critère du coût de transport (C_3).

C_3	C_{31}	C_{32}	C_{33}	W
C_{31}	1	1/3	1/3	0.14
C_{32}	3	1	2	0.53
C_{33}	3	1/2	1	0.33

$$\lambda_{max}=3.053; CI = 0.027; CR= 0.052 < 0.1$$

TABLE 3.8 – Matrice de comparaison par paires pour le critère de la relation avec le fournisseur (C_4).

C_4	C_{41}	C_{42}	W
C_{41}	1	3	0.75
C_{42}	1/3	1	0.25

$$\lambda_{max}=2; CI = 0; CR= 0 < 0.1$$

TABLE 3.9 – Matrice de comparaison par paires pour le critère du rendement des cultures (C_{11}).

C_{11}	C_{111}	C_{112}	C_{113}	C_{114}	W
C_{112}	1	2	1/2	1/2	0,19
C_{113}	1/2	1	1/3	1/2	0,12
C_{114}	2	3	1	2	0,42
C_{114}	2	2	1/2	1	0,27

$$\lambda_{max}=4.071; CI = 0.023; CR= 0.026 < 0.1$$

TABLE 3.10 – Matrice de comparaison par paires pour le critère des terrain agricole (C_{12}).

C_{12}	C_{121}	C_{122}	W
C_{121}	1	4	0.8
C_{112}	1/4	1	0.2

$$\lambda_{max}= 2; CI = 0; CR= 0 < 0.1$$

TABLE 3.11 – Matrice de comparaison par paires pour le critère de l'infrastructure (C_{13}).

C_{13}	C_{131}	C_{132}	W
C_{131}	1	1/2	0.34
C_{132}	2	1	0.66

$$\lambda_{max}= 2; CI = 0; CR= 0 < 0.1$$

TABLE 3.12 – Matrice de comparaison par paires pour le critère de qualité (C_{21}).

C_{21}	C_{211}	C_{212}	C_{213}	W
C_{211}	1	3	1	0.41
C_{212}	1/3	1	1/4	0.13
C_{213}	1	4	1	0.46

$$\lambda_{max}=3.009; CI = 0.004; CR= 0.008 < 0.1$$

TABLE 3.13 – Résultat de l'évaluation finale des alternatives

Farms	D^+	D^-	RC	Ranking
F1	0,0346	0,0162	0,3187	9
F2	0,0258	0,018	0,4113	5
F3	0,0382	0,0047	0,1104	15
F4	0,037	0,0078	0,1738	13
F5	0,0292	0,022	0,4291	4
F6	0,0311	0,0184	0,3722	7
F7	0,0289	0,019	0,397	6
F8	0,031	0,0139	0,3097	11
F9	0,0258	0,024	0,4818	3
F10	0,0306	0,0175	0,3641	8
F11	0,0379	0,0053	0,1231	14
F12	0,0243	0,0261	0,5184	2
F13	0,0323	0,015	0,3178	10
F14	0,0213	0,0269	0,5588	1
F15	0,0335	0,0124	0,2696	12

TABLE 3.14 – Fermes de tomates sélectionnées

Farms	Production (ton)	Ranking
F1	20 358	9
F2	43 265	5
F3	2 897	15
F4	3 540	13
F5	40 201	4
F6	90 000	7
F7	39 327	6
F8	9 130	11
F9	2 010	3
F10	291 000	8
F11	2 600	14
F12	20 151	2
F13	4 235	10
F14	44 350	1
F15	3 110	12
Sum of selected farms	149 976	
Company capacity	150 000	

3.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté notre première contribution et qui consiste une nouvelle étude utilisant la méthodologie Delphi-AHP-TOPSIS pour traiter le problème de sélection des fournisseurs. L'approche proposée dans ce chapitre a été appliquée à un cas d'étude réel afin d'illustrer l'utilisation de ces méthodes pour le problème de sélection des fournisseurs. Pour ce fait, nous avons utilisé la méthode Delphi pour définir les critères et les sous-critères à utiliser pour l'évaluation. Ensuite, l'approche AHP a été utilisée pour déterminer les poids des critères. Finalement, la méthode TOPSIS nous a servi dans le calcul des pondérations des critères afin de classer les fermes pour l'entreprise de transformation de tomate.

Éventuellement, la méthodologie (Delphi-AHP-TOPSIS) proposée peut apparaître comme un outil puissant, performant et facile à utiliser pour que les gestionnaires puissent prendre des décisions sur la sélection des fournisseurs dans la chaîne logistique agroalimentaire. Cependant, cette méthodologie de prise de décision peut être utilisée pour d'autres applications dans différents domaines.

Finalement, il convient de noter certaines caractéristiques pertinentes de cette recherche. Il s'agit de la première étude portant sur le problème de sélection des fournisseurs dans l'industrie de transformation de la tomate en Algérie et dans le monde. De plus, cet étude peut servir de référence à d'autres entreprises de transformation de la tomate ou à toute autre entreprise qui traite les mêmes caractéristiques que la tomate.

Chapitre 4

Optimisation de la chaîne logistique agroalimentaire et gestion de pertes : entreprise de fabrication de tomate industrielle

4.1 Introduction

Le terme "chaîne logistique agroalimentaire" (Agri-Food Supply Chain, AFSC) englobe toutes les activités de production et de distribution qui garantissent la circulation des produits agricoles de l'entreprise à la table du consommateur ([Aramyan et al., 2007](#)). L'AFSC de produits périssables est une activité relativement complexe en termes de gestion et d'investissement, en raison de plusieurs facteurs incertains tels que la périssabilité élevée du produit frais et la variation fréquente du prix et de la demande. Cette activité sera plus complexe lorsque les objectifs deviendront conflictuels, c'est-à-dire la maximisation des revenus des producteurs, la minimisation de l'embauche de main-d'oeuvre, et la garantie de la satisfaction du client par le respect de la haute qualité des produits ([Ahumada and Villalobos, 2011a](#)). En ce sens, l'optimisation d'une chaîne logistique agroalimentaire consiste à trouver un compromis entre les différentes composantes de la structure de ce système de l'amont à l'aval, tout en respectant les contraintes techniques et opérationnelles.

Dans l'industrie de transformation de la tomate, la meilleure qualité des produits finaux dépend essentiellement de la qualité de la matière première. La culture

des tomates est en évolution depuis la dernière décennie, les données du FAO (Food and Agriculture Organization) ont été rapportées que la production de tomates mondiale est passée de 109 millions de tonnes en 2000 à 182 millions de tonnes en 2017 (FAO, 2017). En outre, les statistiques du FAO (2017) montrent que la tomate est la deuxième culture de légumes la plus produite au monde après la pomme de terre. En Algérie, la production de tomates est passée de 341 447 tonnes en 2000 à 1,28 million de tonnes en 2017, avec un taux de croissance annuel moyen de 3,7 % (FAO, 2017). La superficie moyenne cultivée en tomates (soit pour la consommation directe où pour l'industrie de transformation) se croître de 16.7 mille hectares en 2000 à environ 24 mille hectares en 2017 (FAO, 2017). Cette évolution s'explique par la demande mondiale progressive de produits manufacturés à base de tomate au cours de ces dernières décennies.

Le cycle de production des tomates peut durer entre 100 et 120 jours selon les caractéristiques de la variété plantée et les conditions climatiques en phase de croissance des plantes (Rocco and Morabito, 2016a). Diverses variétés de tomates sont proposées pour la plantation, mais la sélection de la plus appropriée est basée sur les caractéristiques agronomiques (rendement, capacité à résister aux sécheresses, résistance aux maladies, etc). L'un des facteurs essentiels pour le choix de variété à planter est le degré Brix (°Bx). Il peut être défini comme la fraction de saccharose dans un liquide, c'est-à-dire le pourcentage de matière sèche soluble. Le degré Brix est égal au nombre de saccharose dans 100 grammes de solution aqueuse. Cette unité indique la concentration de solides solubles dans la tomate fraîche et concentrée (Rocco and Morabito, 2016a,b).

Un ensemble des décisions opérationnelles, tactiques et stratégiques doivent être envisagées pour gérer la chaîne d'approvisionnement agroalimentaire des produits périssables. Dans l'industrie de transformation de la tomate, les décisions stratégiques concernent la planification financière et la conception des réseaux d'approvisionnement. Les décisions tactiques concernent la détermination de la taille des surfaces à planter, la sélection des variétés adaptées aux régions agricoles sélectionnées, la planification des périodes de plantation et de récolte, Bien que, les décisions opérationnelles concernent la planification du transport entre les fermes et les usines de transformation, l'identification du calendrier de production et la gestion des stocks de produits semi-finis (concentré de pulpe de tomate) et de produits finis (Ahumada and Villalobos, 2009; Rocco and Morabito, 2016b).

La production de tomates est saisonnière, mais la consommation de produits

à base de tomates se fait tout au long de l'année. Cette situation conduit à un conflit entre les agriculteurs et les responsables des entreprises. Les producteurs de tomates cherchent à maximiser la production car le produit est saisonnier alors que l'objectif des responsables industriels est de répondre aux demandes des clients tout au long de l'année. Pour faire face à ce conflit, les tomates fraîches doivent être transformées en pulpe de tomate concentrée (produit semi-fini) afin de l'utiliser par la suite pour la fabrication de produits finis pour répondre aux demandes des consommateurs durant toute l'année.

4.2 Industrie de la transformation de la tomate en Algérie

L'Algérie est un grand pays en termes de superficie. C'est effectivement le dixième pays au monde et le premier en Afrique avec plus de 2,38 millions de kilomètres carrés. Cette grande superficie justifie la diversification des climats entre ses différentes régions algériennes. Les tomates fraîches peuvent être produites massivement dans le nord du pays par rapport au sud grâce à des conditions climatiques appropriées; la disponibilité de zones d'irrigation et de marchés. La culture des tomates destinées à l'industrie de transformation a une période de plantation spécifique, tandis que les tomates destinées à la consommation directe sont plantées tout au long de l'année. La période de plantation des tomates de transformation en Algérie s'étale de mars à juin et la période de récolte va de juin à septembre. Le calendrier de plantation et de récolte des tomates de transformation en Algérie est présenté dans la figure 4.1.

		January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Variety 1	Planting			■	■	■							
	Harvesting						■	■	■	■			
Variety 2	Planting				■	■	■	■					
	Harvesting							■	■	■	■		

FIGURE 4.1 – Calendrier de culture et de récolte des tomates de transformation en Algérie selon les deux variétés (variété 1 : précoce et variété 2 : tardive).

Il existe deux grandes catégories de la tomate industrielle :

- Les variétés fixées dont les caractéristiques génétique se transmettent aux générations qui suites.

- les variétés hybrides F1, du fait de l'effet hétérosis (nommé également vigueur hybride, c'est un croisement des espèces différents (parents) pour avoir des enfants plus performants) qui présente la faculté de réunir plusieurs caractères d'intérêt (la bonne précocité, la qualité, le goût la couleur, la résistance aux maladies et l'augmentation de rendement de production ...etc) (Gaddour et al., 2012).

C'est bien de noter que pour les deux catégories, il existe deux types de tomate classifiés selon la durée de la maturité, tomate de nature **précoce** et **tardive**.

Dans l'industrie de tomate, les entreprises préfèrent utiliser les variétés de tomates de type hybride car elle est très avantageuses comparant par la tomate fixée dans plusieurs critères tels que la résistivité au maladie et de sécheresse, le rendement, la couleur, le Brix et le goût.

Dans notre cas, les variétés utilisées sont des variétés hybrides, une précoce (variety 1) et l'autre est tardive (variety 2). Le planning de plantation et de récolte est présenté dans la figure 4.1. Vu que le produit traité est de nature saisonnier, l'entreprise utilise ces deux types de tomate hybride (précoce et tardive) dans le but de prolonger la durée de récolte pour maximiser la quantité de tomate récoltée afin de la transformer au produit concentré pour l'utilisation ultérieure hors la saison de récolte.

4.2.1 Récolté de tomate en Algérie

La récolté de tomate en Algérie se fait d'une manière manuelle, vue que l'indisponibilité des machines spécialisées qui sont généralement chères pour nos agriculteur d'un coté, et le manque de la culture d'automatisation dans les agricultures algériens car ils préfèrent la méthode de récolte traditionnelle que la moderne pour ne pas investir l'argent, d'autres coté. Néanmoins, la méthode de récolte traditionnelle nécessite un nombre important de main-d'oeuvre.

La planification traditionnelle de la récolte de tomate se déroule uniquement dans la journée parce qu'il n'est pas possible de récolter à la nuit (comme la machine) par le manque d'éclairage dans les champs. Vu que la récolte se fait dans la saison d'été où la température est très élevée, il est impossible de récolter manuellement dans la période entre 11h de matin à 16h d'après-midi (car la température est insupportable dans ces heurs pour un travailleur). Par conséquent, la bonne période de récolte est entre 4h et 11h de matin (rarement après 16h, sauf dans des situations exceptionnelles).

Après la récolte manuelle, les cajous de tomate sont vidés directement dans la remorque de camion afin de la transporter vers l'entreprise de transformation, la chose qui va créer un dommage considérable de produit frais surtout dans la zone d'attente pour le déchargement.

4.2.2 Transformation de tomate

En Algérie, il existe plusieurs entreprises de transformation de la tomate qui se distinguent essentiellement par leurs capacités de production et la nature des relations entre les différents producteurs de tomates et les consommateurs finaux. Chaque année - avant les cinq ou six mois de la saison de plantation - les dirigeants des entreprises de transformation de tomates signent un contrat avec les producteurs de tomates pour fournir la totalité de la production afin d'assurer l'alimentation de leurs lignes de production pendant la saison de récolte. Le prix d'un kilogramme de tomates fraîches, la quantité et le délai de livraison sont les principales conditions fixées dans le contrat. De plus, la relation entre les producteurs de tomates et l'entreprise de transformation de la tomate doit être forte et de nature gagnant-gagnant. Pour cette raison, les entreprises fournissent souvent aux producteurs les besoins agricoles nécessaires (crédit, engrais, pesticides et plants, etc.) afin de garantir une meilleure qualité de la matière première pour leurs productions. En outre, les entreprises engagent des techniciens agricoles pour surveiller toutes les opérations agricoles pendant la plantation, la culture et la récolte. Le degré d'assistance peut varier en fonction de la politique de chaque entreprise et des zones de production.

Le choix des producteurs (fournisseurs) de tomates qui signent des contrats avec les entreprises est basé principalement sur quatre catégories : la production végétale (rendement, caractéristiques des terres agricoles utilisées et disponibilité des infrastructures), les caractéristiques du produit (qualité, prix et disponibilité), les coûts de transport (proximité et coûts de transport) et la relation avec le fournisseur (facilité de communication et réputation du fournisseur), la méthodologie utilisée et les résultats obtenus sont montrés dans le chapitre 3 en détaille et publié dans l'article de (Cherier and Meliani, 2019). Les études montrent que les agriculteurs sous contrat sont moins exposés aux risques de prix car les contrats sont établis à l'avance (Plà-Aragonés, 2015).

En Algérie, l'industrie de la transformation de la tomate est un secteur important en terme d'économie. Malgré la disponibilité de terres agricoles appropriées,

l'irrigation et le climat favorable, l'Algérie reste parmi les pays importateurs de la tomate concentrée, tandis que d'autres pays méditerranéens comme l'Italie, l'Espagne, la Turquie, le Portugal et le Maroc exportent ce produit. Cette situation peut être expliquée par le manque de la coordination entre les différents maillons de cette chaîne. Par conséquent, le défi consiste à planifier la plantation, les opérations agricoles, la récolte, la transformation et la distribution pour répondre aux demandes des clients. Donc, la chaîne de transformation de la tomate doit être organisée à la base des supports de décision comme les modèles mathématiques et des approches d'optimisation. En outre, les économistes ont observé un manque d'investissement pour gérer les opérations d'AFSC de tomate d'une manière appropriée. L'objectif de cette étude est de combler cette lacune et de développer un outil d'aide à la décision pour la gestion de cette industrie.

4.3 Description du problème

Le contrat entre l'entreprise et les agriculteurs garantit que les tâches de plantation et de récolte soient effectuées par les producteurs de tomates et que le transport entre les champs de tomates et les usines de transformation soit la tâche de l'entreprise. Plusieurs variétés de tomates peuvent être plantées dans différentes régions. Ainsi, la sélection de la variété la plus appropriée pour les régions est basée essentiellement sur l'expérience des producteurs, les orientations de l'expert agricole, les caractéristiques agronomiques (productivité, résistance aux maladies et aux mauvaises herbes) et les caractéristiques chimiques telles que la couleur, le pH et le goût. Les deux variétés utilisées dans notre cas d'étude sont des variétés hybrides (précoce et tardive). Ces dernières sont réellement plantées par les agricultures conventionnées avec l'entreprise.

Nous avons pris deux variétés de tomate hybride qui sont réellement utilisées par l'entreprise (selon les données fournies par la société) afin de pouvoir approcher à la réalité.

Le rendement de tomates fraîches dans la période de la récolte peut être estimé en combinant les propriétés (rendement, résistance aux maladies..etc) la variété de tomate sélectionnée avec les caractéristiques de la région plantée. L'entreprise assure le déplacement des fruits de la tomate des champs de culture vers les usines de production pour la transformation à l'aide des camions. L'un des problèmes majeurs des AFSCs est la gestion du transport entre les zones de production agricole et les entre-

prises de production surtout lorsque le produit traité est de nature périssable comme la tomate, l'abricot...etc. Elle peut être considérée comme l'une des tâches difficiles auxquelles sont confrontés les dirigeants d'entreprises. L'arrivée des camions dans le même temps peut entraîner des pertes importantes de jus de tomate en raison de l'attente des files de déchargement (Gameiro et al., 2008).

Le processus de fabrication de cette entreprise est présentés dans points suivants :

- Une fois les camions tomates fraîches arrivent à l'usine de fabrication, ils sont déchargés l'un après l'autre (selon la capacité de chaque entreprise) en utilisant le flux d'eau dans la station de déchargement qui présente le début de la chaîne de production.
- Le produit frais passe à plusieurs étapes dans la chaîne pour fabriquer le produit semi-fini appelé "Triple Concentré de Tomate (TCT)" avec un Brix de 36 °Bx.

Il convient de mentionner que l'objectif principal de l'entreprise pendant la période de récolte est de fabriquer le maximum de quantité de TCT afin de la transformer partiellement, après la dilution, en différents produits selon les demandes des clients durant toute l'année.

- Le TCT fabriqué est emballés dans des sac aseptiques et placées dans des fûts. Le stockage de TCT n'exige pas des conditions spéciales, il est mis directement dans un entrepôt couvert à une température ambiante.
- Ensuite, la quantité de TCT produite doit être envoyée immédiatement après la production aux entrepôts pour le stockage en utilisant des camions. Le TCT stocké dans les entrepôts peut être acheminé de deux façons :
 - La première consiste à le livrer directement à d'autres entreprises (qui produisent d'autres produits à base de tomates) en tant que produit fini.
 - La seconde est de le faire retourner aux usines pour passer sur d'autre ligne de production pour fabriquer le "Double Concentré de Tomate (DCT)" à 28 °Bx afin de satisfaire les demandes des clients finaux qui représentent environ 80 % des produits vendus.
- La livraison des produits finaux aux clients est largement effectuée par l'entreprise.

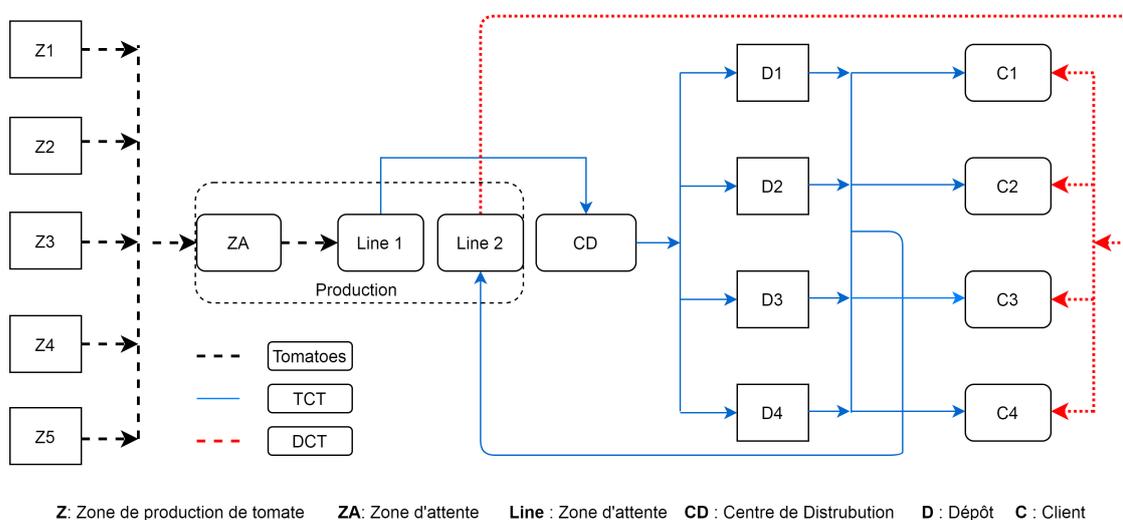


FIGURE 4.2 – Processus d'AFSC de transformation de la tomate selon le cas d'étude traité.

La figure 4.2 présente la chaîne logistique agroalimentaire de l'industrie de transformation de la tomate pour notre cas d'étude. L'ensemble Z_i présente les zones productrices de la tomate. Ces zones sont auparavant choisies en utilisant les résultats de chapitre précédente qui sont : Chlef, Skikda, Boumerdes, Tipaza et Ain Defla présentant les zones Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 et Z_5 respectivement (voir chapitre 3). ZA représente la zone d'attente où les camions attendent leurs tours pour décharger. Line 1 et Line 2 représentent la ligne de production de produit semi-fini (TCT) et fini (DCT) respectivement. CD est le centre de distribution de produit TCT. Ensembles D_i sont les dépôts où le produit TCT va être stocké et finalement ensemble C_i représentent les clients finaux.

Comme indiqué précédemment (section 3.2), l'entreprise de transformation située dans la ville de Blida (Algérie), reçoit quotidiennement une centaine de camions de tomates fraîches qui viennent des champs de production de tomates. Le grand problème rencontré par les dirigeants d'entreprise est le gaspillage des tomates fraîches pendant la période de récolte. Ce gaspillage se fait dans les zones d'attente où les camions attendent leurs tours pour le déchargement, alors que les tomates sont directement exposées à une température et une humidité élevées. L'objectif principal de cette contribution est de présenter un outil d'aide à la décision pour minimiser la perte de matière première fraîche dans l'industrie de transformation de la tomate en proposant un modèle mathématique. En d'autres termes, l'objectif de cet étude est d'optimiser la chaîne logistique de tomate industrielle d'une manière générale et de minimiser la perte de produit frais au niveau de la zone d'attente d'une manière plus

précise.

Le modèle mathématique développé pour ce problème est présenté dans la section ci-dessous. La définition de tous les paramètres et variables utilisés pour ce modèle a été illustrée dans le tableau 4.1.

4.4 Modèle Mathématique

Le modèle mathématique proposé ci-dessous est linéaire et déterministe. Il représente les principales décisions de production et de logistique dans l'industrie de transformation de la tomate. Le modèle intègre les deux grandes parties (agricole et industrielle) afin de fournir un bon support décisionnel pour cette industrie. Les variables de décision et les paramètres sont présentés dans le tableau 4.1, et la fonction objectif et les contraintes sont présentées comme suit :

TABLE 4.1 – Paramètres utilisés dans le modèle mathématique

Paramètres	Explication
Indices et ensembles	
$v \in V$	Variétés de tomates
$z \in Z$	Zones de production
$u \in U$	Usines
$k \in K$	Entrepôts disponibles pour le stockage
$c \in C$	Clients
$t \in T$	Périodes de planification
$d \in D$	Jours de récolte
$h \in H$	Heures de fonctionnement en journée de récolte
Paramètres des données	
Cap_k	Capacité de stockage dans les entrepôts
$D_{c,t}^{TCT}$	La demande du client c du produit TCT au cours de la période t
$D_{c,t}^{DCT}$	La demande du client c du produit DCT au cours de la période t
C^{TCT}	Coût du TCT
Continué dans la page suivante	

TABLE 4.1 – Suite de la page précédente

Paramètres	Explication
C^{DCT}	Coût du DCT
C^{SS}	Coût de vente de la peau et de la graine de tomate (déchet)
C_p^{zvt}	Coût d'achat
C_{fab}^{TCT}	Coût de fabrication du TCT
C_{fab}^{DCT}	Coût de fabrication du DCT
C_I^{TCT}	Coût de stockage du TCT
Bx_v	Brix de la variété v
Bx^{TCT}	Le Brix du produit TCT
C_{zu}^{TRP}	Le coût du trajet entre la zone de production z et l'usine u
C_{uk}^{TRP}	Le coût du trajet entre l'usine u et l'entrepôt k
C_{kc}^{TRP}	Le coût du trajet entre l'entrepôt k et le client c
C_{uc}^{TRP}	Le coût du trajet entre l'usine u et le client c
C_{ku}^{TRP}	Le coût du trajet entre l'entrepôt k et l'usine u
D_{vut}^{SS}	Demande de peau et de graines de tomate (déchet)
I_{t-1}^k	Stock initial dans l'entrepôt k
QH_{zvt}^{Tom}	La quantité récoltée dans la région z de la variété v récoltée dans la période t
Cap_{uk}^{truck}	Capacité du camion pour le transport du TCT entre les usines et les entrepôts
$demand_c^{TCT}$	Demande de TCT des clients c
Cap_{Prod}^{TCT}	Capacité de production de TCT par jour
Cap_{Prod}^{DCT}	Capacité de production de DCT par jour
Cap_{zu}^{truck}	Capacité du camion pour le transport des tomates fraîches entre les zones de production et les différentes usines
$demand_c^{DCT}$	La demande des clients en matière de DCT
$Coef_{Dil}^{DCT}$	Coefficient de dilution du DCT
$Coef^{SS}$	Coefficient de déchet de tomate
$Prtge_{tran}^{DCT}$	Pourcentage de TCT devant être transformé en DCT selon les exigences du DCT
QW_{Wtime}^{Tom}	Quantité de tomates fraîches gaspillée par l'influence du temps d'attente
$unldTime$	Délai de déchargement pour un camion
$arrival$	Nombre de camions par jour

Continué dans la page suivante

TABLE 4.1 – Suite de la page précédente

Paramètres	Explication
NHD	Nombre de jours de récolte
T_h^{Frct}	Fraction de la température
$T_{Duration}$	Tableau de la température et de la durée
$C_{Tom}^{prchase}$	Coût moyen d'achat des tomates
trk	Camion (truck)
Variables de décision	
QM_{ut}^{TCT}	La quantité fabriquée de TCT avec la variété v dans l'usine u au cours de la période t
QM_{ut}^{DCT}	La quantité fabriquée de DCT avec la variété v dans l'usine u au cours de la période t
QM_{ut}^{SS}	La quantité de déchet (les petits grains et la peau de tomate) filtrée par les évaporateurs, produite dans l'usine u de la variété v au cours de la période t
QS_{ukt}^{TCT}	La quantité de TCT envoyée de l'usine u à l'entrepôt k au cours de la période t
I_{kt}	Inventaire de l'entrepôt k au cours de la période t
QS_{kct}^{TCT}	Quantité de TCT envoyée de l'entrepôt k au client c au cours de la période t
QS_{kct}^{DCT}	Quantité de DCT envoyée de l'entrepôt k à l'usine u au cours de la période t
QS_{kut}^{TCT}	Quantité de TCT envoyée de l'entrepôt k à l'usine u au cours de la période t
$I_{k,t}^{TCT}$	Inventaire du TCT dans l'entrepôt k au cours de la période t
NT_{zut}	Nombre de trajets entre la zone de production z et l'usine u
NT_{uk}	Nombre de trajets entre l'usine u et l'entrepôt k
NT_{kc}	Nombre de trajets entre l'entrepôt k et le client c
NT_{ku}	Nombre de trajets entre l'entrepôt k et l'usine u
NT_{uc}	Nombre de trajets entre l'usine u et le client c
WT	Quantité de tomate gaspillée par l'effet du temps d'attente
TH	Quantité de tomates détériorée par l'effet de la température et de l'humidité
Continué dans la page suivante	

TABLE 4.1 – Suite de la page précédente

Paramètres	Explication
QS_{uct}^{DCT}	Quantité envoyée par les usines u au client c au cours de la période t
X	Nombre de minutes d'attente pour chaque camion
Y	Nombre de minutes d'attente dans chaque arrivée
$Am t_{wst}$	Quantité de gaspillage

4.4.1 Fonction Objectif

$$\begin{aligned}
 Max Z = & \sum_c \sum_t D_{c,t}^{TCT} C^{TCT} + \sum_c \sum_t D_{c,t}^{DCT} C^{DCT} \\
 & + \sum_c \sum_t D_{c,t}^{SS} C^{SS} - \sum_z \sum_v \sum_t QH_{zvt}^{Tom} C_{zvt}^p \\
 & - \sum_z \sum_u \sum_t NT_{zut} C_{zu}^{TRP} - \sum_u \sum_t QM_{ut}^{TCT} C_{fab}^{TCT} \\
 & - \sum_u \sum_t QM_{ut}^{DCT} C_{fab}^{DCT} - \sum_u \sum_k \sum_t NT_{ukt} C_{uk}^{TRP} \\
 & - \sum_k \sum_c \sum_t NT_{kct} C_{kc}^{TRP} - \sum_u \sum_c \sum_t NT_{uct} C_{uc}^{TRP} \\
 & - \sum_k \sum_t I_{kt}^{TCT} C_I^{TCT} - \sum_k \sum_u \sum_t NT_{kut} C_{ku}^{TRP} \\
 & - Am t_{wst} \times C_{prchase}^{Tom} \times NHD
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

La fonction objectif 4.1 permet de maximiser les bénéfices de l'entreprise. Elle présente le coût des produits vendus aux clients finaux moins les dépenses. Le premier élément de de la fonction objectif 4.1 représente le revenu des ventes du produit TCT, le deuxième est le revenue de vente du produit DCT et le troisième représente le revenue des ventes les déchets de tomate (la peau et les graines). Le quatrième élément concerne le coût d'achat des tomates fraîches en période de récolte. Il est à noter que le prix des tomates a été déjà fixé dans le contrat entre les producteurs et l'entreprise sur la base du prix des tomates de l'année précédente, mais il doit être définitivement fixé en période de récolte sur la base du prix du marché en respectant un certain prix minimum. Le cinquième élément calcule le coût du transport entre les zones de culture de la tomate et l'entreprise. Les sixième et septième composants représentent le coût de fabrication des produits TCT et DCT respectivement. Les huitième, neuvième et dixième composants concernent respectivement le coût

de transport entre les usines et les entrepôts, le coût de transport entre les entrepôts k et les clients c et le coût de transport entre les usines u et les clients c . Le onzième élément calcule le coût du stockage dans les entrepôts. le douzième élément calcule le coût de de transport entre les différents entrepôts et l'unité de production. Finalement, le dernier élément fait référence au coût des pertes de tomates par l'effet de la température et l'humidité dans la zone d'attente.

4.4.2 Contraintes

$$QM_{ut}^{TCT} = \sum_z \sum_v (QH_{zvt}^{Tom} - Am t_{wst}) \times \frac{Bx_v}{Bx^{TCT}} \quad \forall u, t \quad (4.2)$$

L'équation 4.2 représente la fabrication du produit semi-fini (TCT). Il convient de mentionner que la demande du marché pour les produits à base de tomate se fait tout au long de l'année, alors que la récolte des tomates a une période spécifique (saisonnière). Pour faire face à ce problème, la société transforme les tomates fraîches en TCT à haut degré de Brix (généralement 36 °Bx) afin de l'utiliser pour répondre à la demande du marché durant l'année par l'opération de la dilution. Ainsi, la production de TCT est très importante pour assurer la satisfaction des clients finaux durant toute l'année (un manque de cette matière peut provoquer une insatisfaction de clientèles).

La quantité de TCT produite (QM_{ut}^{TCT}) peut être calculée en multipliant la quantité de tomate fraîche entrante de l'usine qui est la quantité récoltée moins la quantité gaspillée, par le Brix de la variété (il se change d'une variété à une autre) (Bx_v) sur le Brix du TCT (Bx^{TCT}) qui est généralement fixé à 36°.

$$QM_{ut}^{DCT} = QM_{ut}^{TCT} \times Prtge_{tran}^{DCT} \times Coef_{Dil}^{DCT} \quad \forall u, t \quad (4.3)$$

$$QM_{ut}^{DCT} = \sum_k QS_{kut}^{TCT} \times Coef_{Dil}^{DCT} \quad \forall u, t \in T', (T' \neq t) \quad (4.4)$$

Les équations 4.3 et 4.4 calculent la quantité de produit DCT. L'équation 4.3 représente la quantité produite dans la période de récolte. La quantité de DCT à produire pourrait être calculée en multipliant la quantité de TCT produite dans l'usine, le pourcentage de la quantité de DCT à fabriqué (il est déterminé par les dirigeants d'entreprise en fonction des demandes de clients et des prévisions) et le coefficient de dilution (selon le Brix du produit voulu). Le reste de TCT sera envoyé directement

vers les entrepôts.

Alors que l'équation 4.4 représente la quantité fabriquée du produit fini (DCT) hors la période de récolte. Elle peut être calculée en multipliant la quantité envoyée (QS_{kut}^{TCT}) de l'entrepôt vers l'usine par le coefficient de dilution ($Coeff_{Dil}^{DCT}$).

$$QM_{ut}^{SS} = \sum_z \sum_v QH_{zvt}^{Tom} \times Coef^{SS} \quad \forall z, u, t \quad (4.5)$$

L'équation 4.5 détermine la quantité de déchet de tomate. Nous pouvons calculer ce déchet par la multiplication de la quantité récoltée par le coefficient de déchet de tomate (le pourcentage des grains et de la peau de tomate dans un kilogramme de tomate fraîche).

$$NT_{zut} = \frac{1}{Cap_{zu}^{truck}} \times \sum_v QH_{zvt}^{Tom} \quad \forall z, u, t \quad (4.6)$$

La quantité de tomate récoltée dans les champs est transportée vers l'entreprise en utilisant des camions. La contrainte 4.6 calcule le nombre de voyages nécessaires pour assurer le mouvement de la totalité de la matière fraîche entre les zones de culture et les différentes usines. Dans notre cas, les camions ont une capacité similaire et le coût de chaque voyage dépend essentiellement de la distance parcourue entre champs-usine sous la charge d'entreprise.

Pour le calcul du nombre de voyages, nous divisons la quantité récoltée (QH_{zvt}^{Tom}) sur la capacité de camion (Cap_{zu}^{truck}).

$$\sum_u QS_{ukt}^{TCT} = QM_{ut}^{TCT} \times (1 - Prtge_{tran}^{DCT}) \quad \forall k, t \quad (4.7)$$

$$\sum_k QS_{ukt}^{TCT} \leq Cap_u^{ProdTCT} \quad \forall u, t \quad (4.8)$$

L'équation 4.7 représente la quantité de TCT envoyée de l'usine u à l'entrepôt k. Durant la période de récolte, avant d'envoyer la quantité fabriquée de TCT vers le stockage, le gestionnaire de stock va enlever une quantité de TCT pour passer directement à la ligne 2 en cas de besoin de produit fini sans passer par le stockage (pour minimiser le coût de transport et le coût de stockage).

L'inégalité 4.8 montre que la quantité envoyée de l'usine u vers l'entrepôt k doit respecter à la fois la capacité de production de TCT et la capacité d'entrepôt.

$$NT_{uk} = \frac{1}{Cap_{uk}^{truck}} \times \sum_t QS_{ukt}^{TCT} \quad \forall u, k \quad (4.9)$$

La contrainte 4.9 indique le nombre de trajets entre les usines et les entrepôts. La capacité du camion utilisé peut varier en fonction de la quantité envoyée depuis les usines et les entrepôts. Le prix du voyage dépend de la distance entre deux installations et de la quantité transportée.

$$\sum_c QS_{kct}^{TCT} \leq Cap_k^{TCT} \quad \forall k, t \quad (4.10)$$

$$\sum_k QS_{kct}^{TCT} \geq demand_c^{TCT} \quad \forall c, t \quad (4.11)$$

Les demandes des clients pour le produit de TCT sont exprimées par les inégalités 4.10 et 4.11. La quantité de TCT envoyée des entrepôts aux clients, en tant que produit fini, doit respecter la capacité de l'entrepôt k et satisfaire la demande du client c.

$$NT_{kc} = \frac{1}{Cap_{kc}^{truck}} \times \sum_t QS_{kct}^{TCT} \quad \forall k, c \quad (4.12)$$

L'équation 4.12 calcule le nombre de trajets entre les entrepôts et les différents clients pour le produit de TCT. Le coût du trajet peut se varier d'un trajet à l'autre en fonction de la distance parcourue et de la quantité demandée par les clients.

$$\sum_c QS_{uct}^{DCT} \leq Cap_u^{ProdDCT} \quad \forall u, t \quad (4.13)$$

$$\sum_u QS_{uct}^{DCT} \geq demand_{c,t}^{DCT} \quad \forall c, t \quad (4.14)$$

Les inégalités 4.13 et 4.14 indiquent la quantité de DCT envoyée par les usines aux clients. L'inégalité 4.13 a pour l'objectif de respecter la capacité de production de DCT, et l'inégalité 4.14 vise à respecter les demandes des clients. Il est important de mentionner que le produit final DCT sera stocké dans les usines à une très courte période après la production, tandis que la commande entière sera prête à être livrée aux clients sans passer par les entrepôts. L'entreprise assure le transport le produit fini des usines vers les clients finaux.

$$NT_{uc} = \frac{1}{Cap_{uc}^{truck}} \times \sum_t QS_{uct}^{DCT} \quad \forall u, c \quad (4.15)$$

Le nombre de voyages entre les usines et les clients pour le transport de DCT est présenté par l'équation 4.15. L'entreprise utilise des camions de capacité identiques. Par conséquent, le coût des trajets dépend du camion utilisé et de la distance parcourue.

$$QS_{kut}^{TCT} = QS_{ukt}^{TCT} - QS_{kct}^{TCT} \quad \forall k, u, c, t \quad (4.16)$$

La quantité de TCT envoyée de l'entrepôt k vers l'usine u est présentée par l'équation 4.16. Cette quantité peut être définie comme le reste de la quantité stockée dans les entrepôts moins la quantité vendues. La quantité de TCT qui revient à l'unité de production dépend essentiellement de la quantité de DCT programmée à produire (vu que le DCT est un dérivé de TCT).

$$NT_{ku} = \frac{1}{Cap_{ku}^{truck}} \times \sum_t QS_{kut}^{TCT} \quad \forall k, u \quad (4.17)$$

Le nombre de trajets entre les différents entrepôts et l'unité de production est présenté par l'équation 4.17.

$$I_{kt}^{TCT} = \sum_u QS_{ukt}^{TCT} + \sum_k I_{t-1}^k - \sum_u QS_{kut}^{TCT} - \sum_c QS_{kct}^{TCT} \quad \forall k, t \quad (4.18)$$

La contrainte 4.18 indique le bilan d'inventaire du produit semi-fini (TCT). Selon la stratégie de l'entreprise, les entrepôts peuvent stocker uniquement le produit TCT. Donc, ce dernier a une importance vitale dans cet AFSC. Tous les produits à base de tomate sont fabriqués à partir de TCT.

L'entreprise peut vendre directement le TCT stocké dans les entrepôts autant que un produit fini à d'autres entreprises (qui l'utilisent pour fabriquer leurs produits finis tels que la sauce tomate, le ketchup et le thon). Sinon, il retourne dans les usines pour passer dans des lignes de production spécifiques afin de fabriquer les produits finaux sous forme de DCT.

$$X_{d,h,trlk} = ((arrival_{d,h,trlk} - 1) \times unldTime) \quad \forall d, h, trlk \quad (4.19)$$

La contrainte 4.19 indique le nombre de minutes d'attente pour chaque camion

à chaque heure de chaque jour de récolte. "Arrival" indique la position de camion dans la file d'attente et le "unldtime" indique le temps de déchargement. Par exemple, pour calculer le nombre de minutes attendues par le camion de position 1, $X = (1-1) \times 11.52 = 0$ minutes attendue, alors que le camion de position 2 : $X = (2-1) \times 11.52 = 11.52$ min. Nous signalons que le "arrival" se varient selon l'arrivée de camions, les figures 4.3, 4.4 et 4.5 montre la différence entre les cas réel et les scénarios proposés.

$$Y_h = \sum_{trk} X_{d,h,trk} \quad \forall d, h \quad (4.20)$$

L'équation 4.20 calcule le nombre de minutes attendues dans chaque heure de la journée.

$$WT = \sum_h Y_h \times QW_{Wtime}^{Tom} \quad (4.21)$$

L'équation 4.21 représente la quantité de tomates fraîches gaspillées par l'effet du temps d'attente. Comme indiqué précédemment, chaque camion passe un certain temps en zone d'attente pour le déchargement des tomates, cette tâche entraîne des pertes importantes de matière première. Une fois le nombre de minutes attendus est calculé, nous pouvons calculer la quantité de tomate fraîches gaspillée par l'effet du temps d'attente par la multiplication du nombre de minutes attendues par le coefficient de gaspillage QW_{Wtime}^{Tom} (en kg/min).

$$TH = \sum_h Y_h \times T_h^{Frc} \quad \forall d \quad (4.22)$$

L'équation 4.22 calcule la quantité de tomates fraîches gaspillées par l'effet de la température et de l'humidité. Les camions de tomates attendent longtemps dans une zone d'attente pour décharger la matière première. Les tomates fraîches sont directement exposées à une température et à une humidité élevées vu que la période de récolte se fait à la saison d'été. Ces conditions favorisent la détérioration des matières premières d'une manière accélérée. De plus, l'effet significatif de ces deux facteurs se fait durant la journée, du lever de soleil à 7h au coucher de soleil à 19h. Pendant ce temps, les camions arrivent chaque jour à 8h où chacun doit attendre un certain nombre de minutes en fonction de sa position (en respectant son tour) dans la zone d'attente.

Pour chaque heure, nous calculons le nombre de minutes attendues par les ca-

mions (Y_h). La fraction de détérioration (T_h^{Frc}) des tomates dépend essentiellement de la variation de la température et de l'humidité pour chaque heure de la journée, le tableau 4.2 présente le taux de détérioration pour chaque heure de la journée de récolte. Par conséquent, la quantité de tomates détériorée peut être calculée en multipliant le nombre de minutes attendues par les camions à chaque heure par la fraction de température et d'humidité de l'heure correspondante dans la journée. À titre d'exemple, à 9h, le nombre de minute d'attente égale X_9 (min) et la fraction de température et humidité égale à Y_9 (kg/min), donc nous multiplions X_9 par Y_9 , pour avoir la quantité gaspillée à 9h.

$$Am t_{wst} = TH + WT \quad (4.23)$$

Finalement, l'équation 4.23 permet de calculer la quantité totale des pertes de la tomate fraîche par l'influence de la température et de l'humidité, et l'effet du temps d'attente dans la file d'attente. Cette quantité gaspillée est calculée dans une seule journée de récolte, et pour calculer la quantité totale détériorée, nous multiplions cette quantité fois le nombre de jours de récolte.

4.5 Étude de cas et résultats

Afin de clarifier les performances du modèle mathématique développé, une entreprise algérienne de transformation de tomates a collaboré à cette étude en fournissant des données. Le système agro-industriel de ce cas d'étude comprend cinq zones de culture de tomates (ensemble Z), une usine de transformation (ensemble U), deux variétés de tomates (ensemble V), cinq entrepôts (ensemble K) et six clients (ensemble C). Les données collectées auprès de l'entreprise ont été utilisées dans le modèle mathématique afin de créer un plan de solution optimisé pour le système d'AFSC de tomate. Le modèle développé (4.1-4.23) a été résolu par CPLEX, version 12.10, en utilisant un ordinateur personnel avec un processeur Intel 3. Le processus de simulation a été rapide, environ 0,08 secondes, avec 1101 contraintes, 1305 variables et 47 itérations. Après plusieurs tests, le modèle développé a confirmé qu'il peut résoudre les problèmes de planification logistique et de gestion des pertes de la manière la plus appropriée.

La récolte des tomates dans les fermes a été faite manuellement, ce qui signifie

qu'il n'y a pas de récolte de nuit. La récolte commence tôt à 5 heures du matin pendant 2 à 3 heures, selon la quantité de tomates mûres et le nombre de travailleurs utilisé. Les camions sont chargés de tomate fraîche et envoyés directement après la récolte vers l'entreprise de transformation. Cette situation conduit à recevoir les camions de tomates en même temps. L'entreprise ne peut pas recevoir toute la matière fraîche en même temps en raison de sa capacité de production limitée. Par conséquent, les camions doivent attendre leurs tours pour le déchargement selon la position du camion dans la file d'attente. Dans ces conditions, la matière première peut être rapidement endommagée en raison d'un long temps d'attente avec une exposition directe à une humidité et une température élevées. Les dommages peuvent être estimés à 12 % et plus dans certains cas.

La situation réelle de l'entreprise est présentée avec un modèle de base lorsque le pourcentage de gaspillage est de 12 %. Ce pourcentage de gaspillage est pris en compte lorsque tous les camions arrivent le matin à la même heure, ce qui présente le cas réel de l'entreprise. Avec une capacité de production de 2 500 tonnes par jour et une capacité de 20 tonnes par camion, donc, l'entreprise reçoit chaque jour 125 camions. La zone de déchargement de l'entreprise ne peut recevoir qu'un seul camion avec 11,52 minutes pour effectuer l'opération de déchargement.

Les premier et deuxième scénarios du modèle ont minimisé considérablement la quantité de tomates fraîches gaspillées par la variation du nombre de camions à chaque arrivée. L'arrivée de camions à l'entreprise pour le cas réel (le modèle basique) et les différents scénarios sont présentés dans les figures 4.3, 4.4 et 4.5. Pour le cas réel, les camions arrivent à 8h de matin vue que la récolte se fait dans les premières heures de la journée (à partir de 4h de matin où la température est faible), une fois la matière fraîche est récoltée, elle sera directement envoyée de différentes zones productrices vers l'entreprise de transformation. Alors que pour le premier scénario,

TABLE 4.2 – Variation de taux de détérioration de la tomate industrielle selon la température dans une journée

Heurs (h)	Température (T°)	Taux de détérioration (kg/min)	Heurs (h)	Température (T°)	Taux de détérioration (kg/min)
8	21,66	0,886	14	36,3	4,487
9	25,32	1,329	15	32,64	2,991
10	28,98	1,994	16	28,98	1,994
11	32,64	2,991	17	25,32	1,329
12	36,3	4,487	18	21,66	0,886
13	39,96	6,731	19	18	0,591

TABLE 4.3 – Résultats économiques entre les données de l'entreprise (modèle de base) et la solution pour le scénario 1

Models	Basic model (BM)	Scenario 1 (S1)	Difference ((BM-S1)/BM)
Wastage (%)	12	10.7732	-10.2233
Objective function (Da)	1 200 197 464	1 228 012 624	+2.3175

TABLE 4.4 – Résultats économiques entre les données de l'entreprise (modèle de base) et la solution pour le scénario 2

Models	Basic model (BM)	Scenario 2 (S2)	Difference ((BM-S2)/BM)
Wastage (%)	12	6.4400	-46.3326
Objective function (Da)	1 200 197 464	1 311 298 504	+9.2568

le nombre de camions arrivés pour chaque heure à partir de 8 heures du matin est de 25 camions. Le tableau 4.3 montre que le scénario 1 a minimisé le gaspillage avec 10,22 % de pourcentage, passant de 12 % à 10,77 %. Le temps d'attente pour tous les camions était encore important en raison de la capacité de réception limitée de l'entreprise et du grand nombre de camions reçus. Néanmoins, le changement du nombre de camions à l'arrivée peut apporter un avantage significatif à l'entreprise qui peut être vu comme fonction objectif avec un avantage d'augmentation de +2,31 %, environ 25 000 000 Da, le résultat est montré dans la figure 4.6.

Pour le deuxième scénario, le nombre de camions de tomates qui arrivent par heure est réduit de moitié, ce qui signifie que 12 camions sont reçus par heure. L'objectif est de minimiser le nombre de minutes d'attente pour chaque camion afin de réduire la quantité de tomates fraîches gaspillée. Le tableau 4.4 montre que le pourcentage de gaspillage passe de 12 % dans le cas de base à 6,44 % dans le second scénario avec une réduction de 46,33 %, ce qui a une influence positive sur le gain de la société avec +9,25 % de bénéfice, environ 110 000 000 Da. La figure 4.7 montre clairement la différence entre les scénarios.

En résumé, la bonne gestion des arrivées des camions de tomates peut réduire considérablement les pertes de tomates fraîches ou peut aussi éliminer absolument le gaspillage dans de bonnes conditions de réception. Le modèle a prouvé sa capacité à traiter le problème des pertes de tomates fraîches, et il peut être utilisé comme aide à la décision pour d'autres secteurs de produits frais.

4.5.1 Influence d'optimisation proposée sur la production de TCT

Dans cette partie, nous allons présenter l'influence de la méthodologie proposée sur la production de produit TCT. Nous constatons qu'il y a une augmentation significative de la production de TCT, elle a passé de 22 000 tonnes dans le modèle basique qui présente le cas réel à 22 500 tonnes dans le scénario 1 et jusqu'à 23 400 tonnes dans le scénario 2. Cette augmentation revient à la minimisation de perte de tomate fraîche qu'influencer d'une manière positive sur la production selon l'équation 4.2 de modèle mathématique. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 4.9.

Cet augmentation de TCT démontre un gain considérable de l'entreprise comme il est présenté dans la figure 4.10. Nous remarquons qu'il y a un passage de reviens de 3 080 000 Da à 3 150 000 Da et à 3 270 500 Da dans le modèle basique, scénario 1 et 2 respectivement.

4.5.2 Influence d'optimisation proposée sur la production de DCT

La méthodologie proposée a un impact direct sur l'augmentation de production du produit fini (DCT). Cette amélioration engendre un profit considérable à l'entreprise d'un côté et d'améliorer la qualité de service par la satisfaction des clients finaux. Les quantités de DCT fabriquées dans le cas réel et les deux scénarios proposés sont présentés dans la figure 4.11. Nous remarquons une augmentation de produits de DCT fabriqués selon la minimisation de pertes de matière fraîche vu que le DCT est un dérivé de TCT selon l'équation 4.3. Le profit d'entreprise par rapport à cette amélioration est présenté dans la figure 4.12.

4.5.3 Gestion de transport

Le transport coûte à l'entreprise beaucoup de dépenses car elle assure le déplacement de tous les produits entre les différents maillons de la chaîne. Ces dépenses doivent être minimisées dans le but d'augmenter le profit, et améliorer la performance de notre chaîne logistique. D'après la figure 4.13, nous remarquons une diminution du coût total de transport de -23.72 % (l'équivalence de 32 850 000 Da), il passe de 138 480 000 Da à 105 630 000 Da. Cette diminution est justifiée par le fait que l'entreprise utilise des camions de capacité 15 tonnes et nous proposons de les remplacer par des camions de capacité 20 tonnes. L'étude montre que l'utilisation des camions de 20 tonnes est plus

bénéfique que ceux de 15 tonnes malgré le prix est différents (le prix d'utilisation les camions de capacité 20 tonnes est plus chers que ceux de 15 tonnes).

4.5.4 Gestion du stock

La tomate est un produit saisonnier, et la consommation de ce produit est au cours de tout l'année. Pour répondre mieux au demande de client finaux, l'entreprise doit stocker le TCT dans les entrepôt afin de l'utiliser antérieurement (hors saison de récolte) pour fabriquer les produits dérivés (comme DCT et les sauces tomate) .

Le manque de ce produit (TCT) provoque l'insatisfaction de clients et perdre les parts de marché par le manque de produits finis. Cette situation oblige l'entreprise de stocker le maximum de TCT afin de garder ses client potentiels. L'objectif de l'entreprise est de fabriquer et stocker 25 000 tonnes de TCT dans la période de récolte comme il est indiquer dans la figure 4.14.

D'après la figure 4.14, nous constatons qu'il y a une augmentation remarquable dans le niveau de stock dans les différents entrepôts selon les scénarios proposés. Dans le cas réel (basic model) l'entreprise a atteint 88 % de l'objectif prévu de l'usine, alors que dans le scénario 1, nous avons augmenter le pourcentage par 1.23 % pour attendre 89.23 %, et dans le dernier scénario 2 nous avons arrivé à 93.56 % du stock programmé par les chefs d'entreprise. Nous signalons que l'entreprise vise à attendre ce niveau de stock (25 000 tonnes) pour le but d'augmenter le profit et satisfaire tout client, surtout les clients qui veulent acheter le TCT dans son état brute comme les entreprise qui fabrique le ton de tomate et les différents sauces.

La figure 4.15 présente le déroulement de stock totale de différents entrepôts d'entreprise dans la période de récolte (de 0 à 60 jours) et après 2 mois de consommation. Nous remarquons que la quantité stockée de TCT augmente dans les entrepôts selon les différents scénarios avec des pentes différentes, cet augmentation reviens à la production de TCT dans cette période à cause de la présence de la matière fraîche. De plus, Nous constatons une accélération d'opération stockage de scénario 2 est plus vite par rapport le modèle basique et le scénario 1, cela peut être expliquer par la variation du taux de gaspillage dans chaque configuration. À la fin de période de récolte, au 60^{ème} jour, nous remarquons une différence claire de la quantité de TCT stockée d'une configuration à une autre comme il est indiqué dans la figure 4.16.

Après la période de récolte, nous avons présenté la consommation de TCT dans deux moins qui suivre la récolte (à partir de 61^{ème}) pour clarifier comment le stock

se déroule. Nous constatons que le stock se diminue dans la même pente vu que nous avons pris la même consommation dans les différentes configurations. En effet, la consommation de TCT dépend des demandes de clients (soit sous la forme brute (TCT) ou sous forme produits finis comme le DCT et les sauces à base de tomate). La quantité de TCT restante dans les entrepôts dans le scénario 2 est plus grande que le modèle basique et le scénario 1, la chose qui donne l'avantage à l'entreprise de ne pas tomber dans la situation de rupture de stock qui mène à perdre les clients.

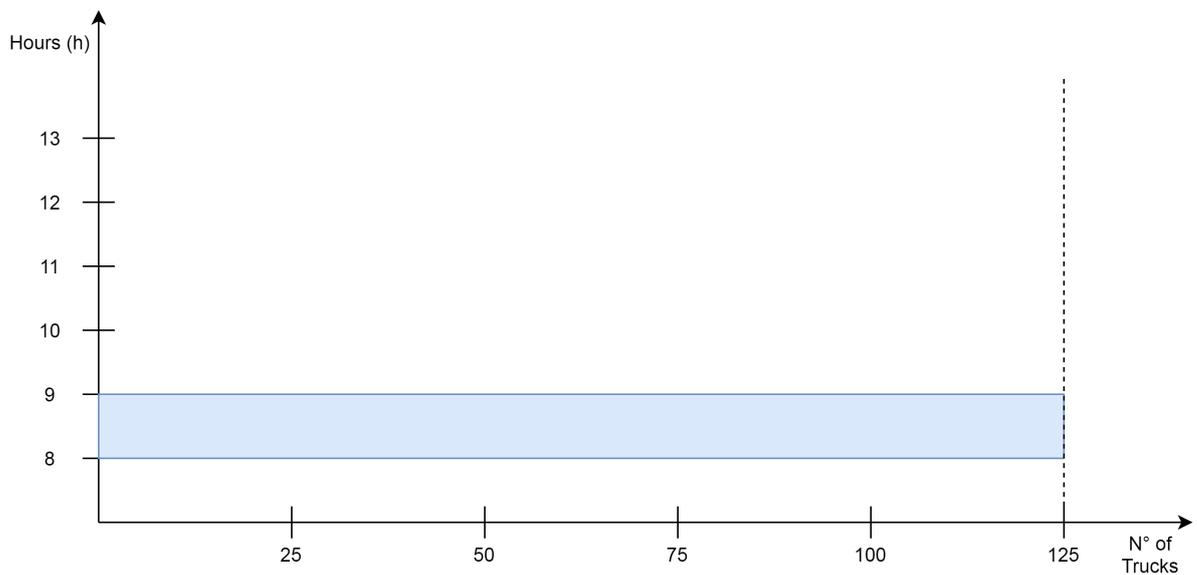


FIGURE 4.3 – Arrivage de camions de tomate fraîche à l'entreprise (modèle basique)

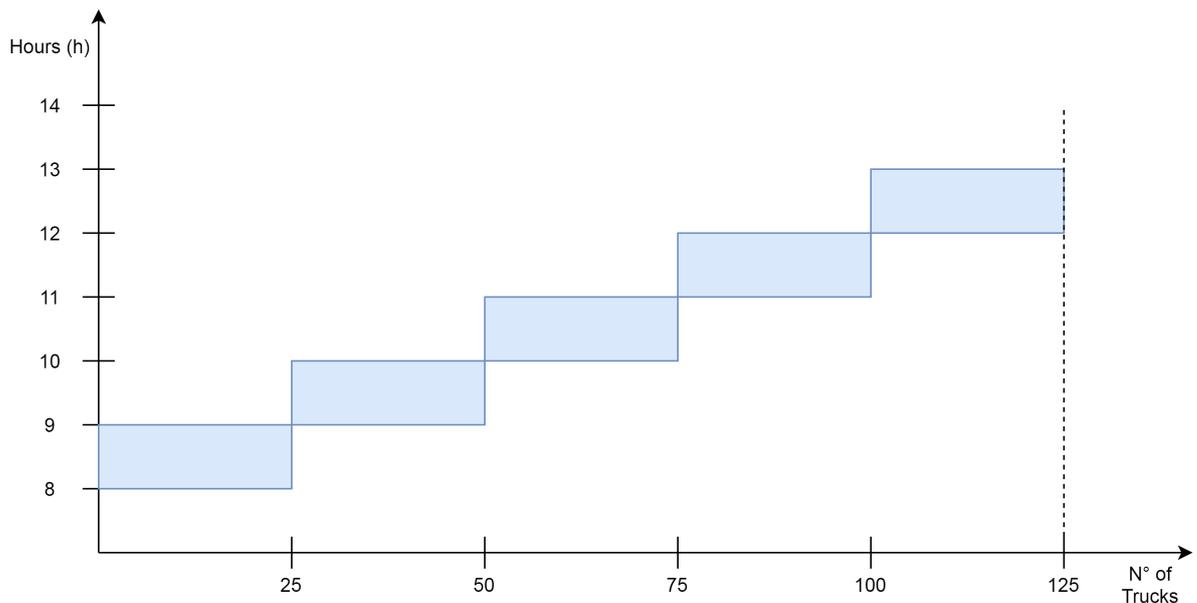


FIGURE 4.4 – Arrivage de camions de tomate fraîche à l'entreprise (scénario 1)

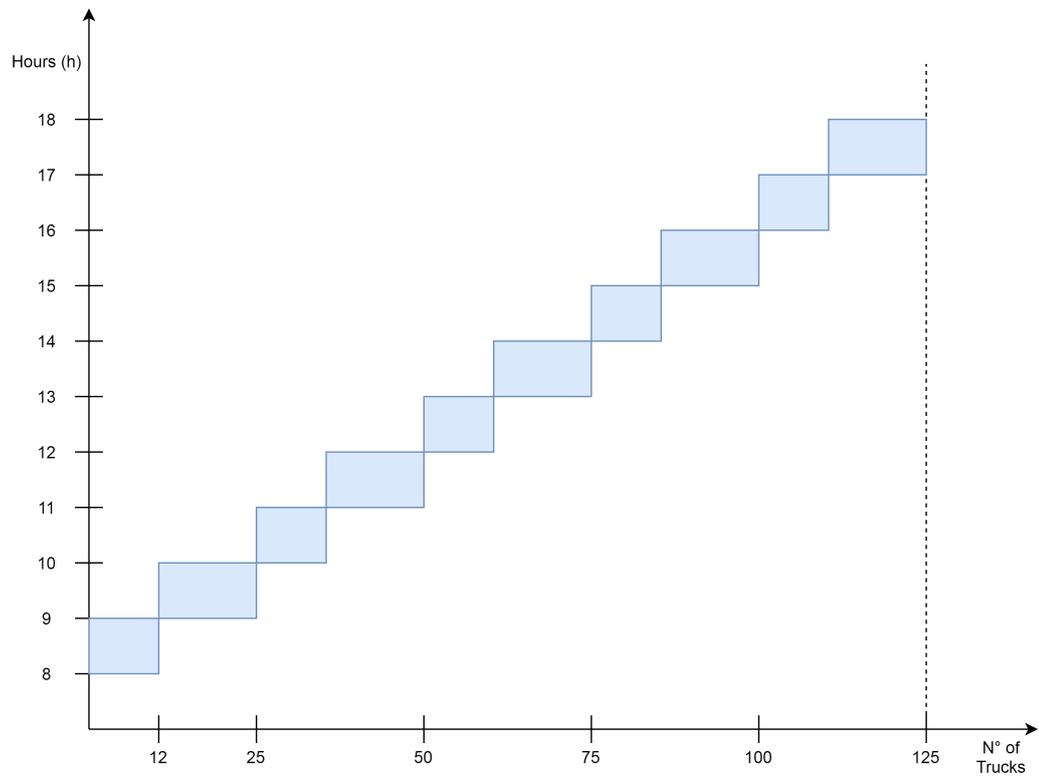


FIGURE 4.5 – Arrivage de camions de tomate fraîche à l'entreprise (scénario 2)

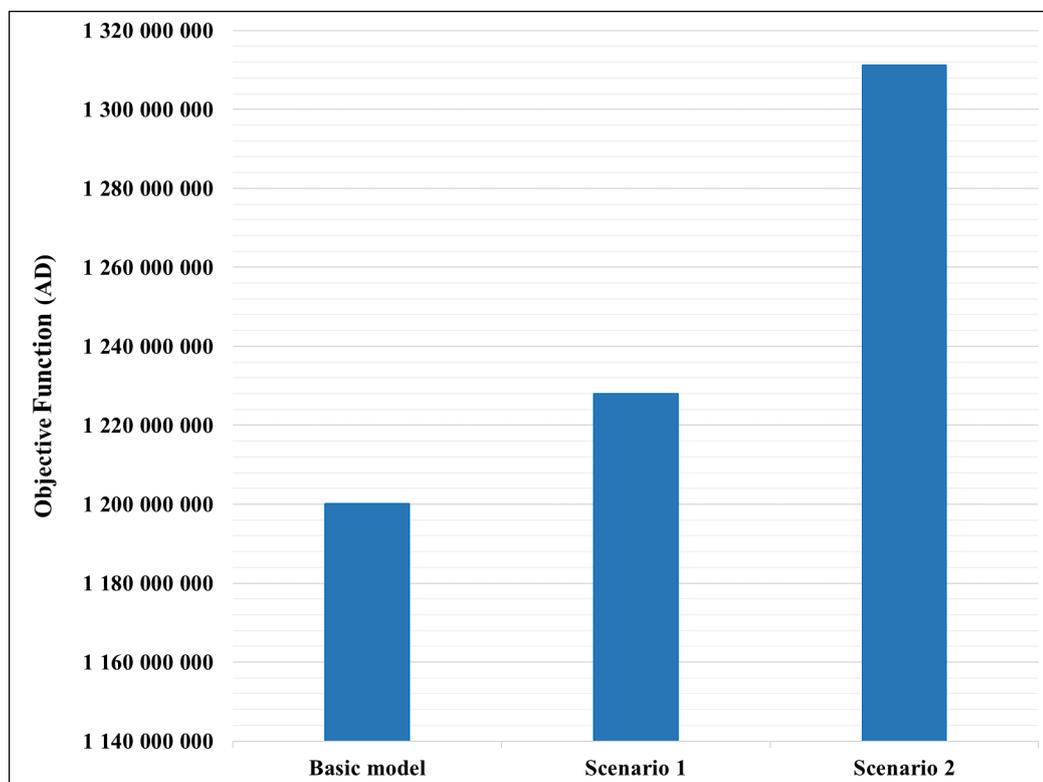


FIGURE 4.6 – Variation de la fonction objectif avec les scénarios

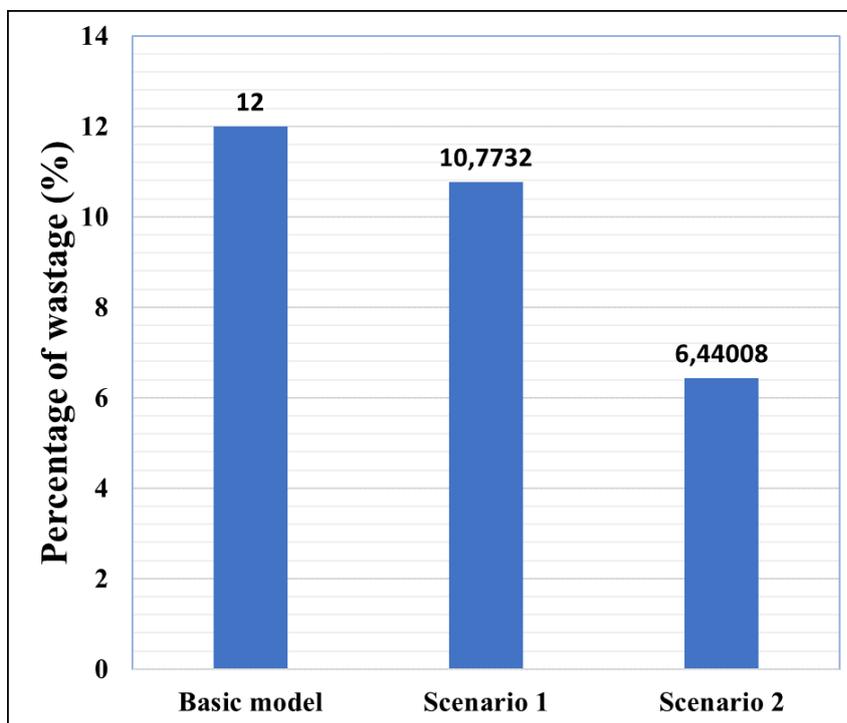


FIGURE 4.7 – Pourcentage de gaspillage de tomate fraîche selon les scénarios proposés

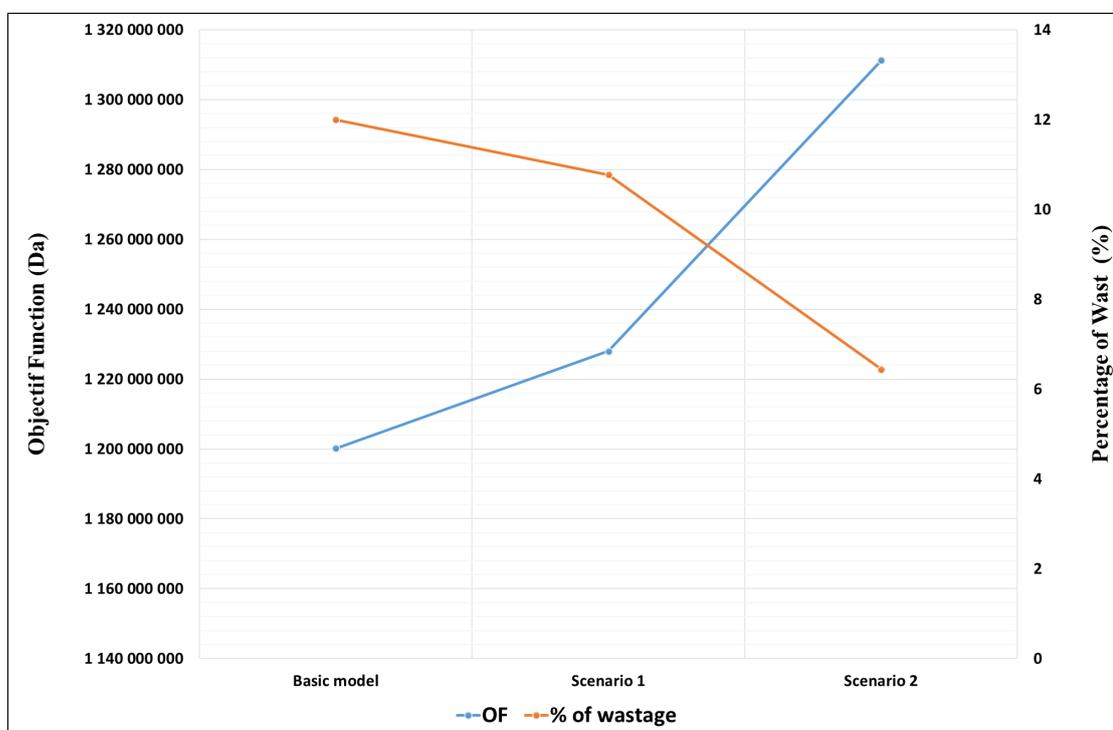


FIGURE 4.8 – Variation de la fonction objectif et le pourcentage de gaspillage de tomate selon les scénarios proposés

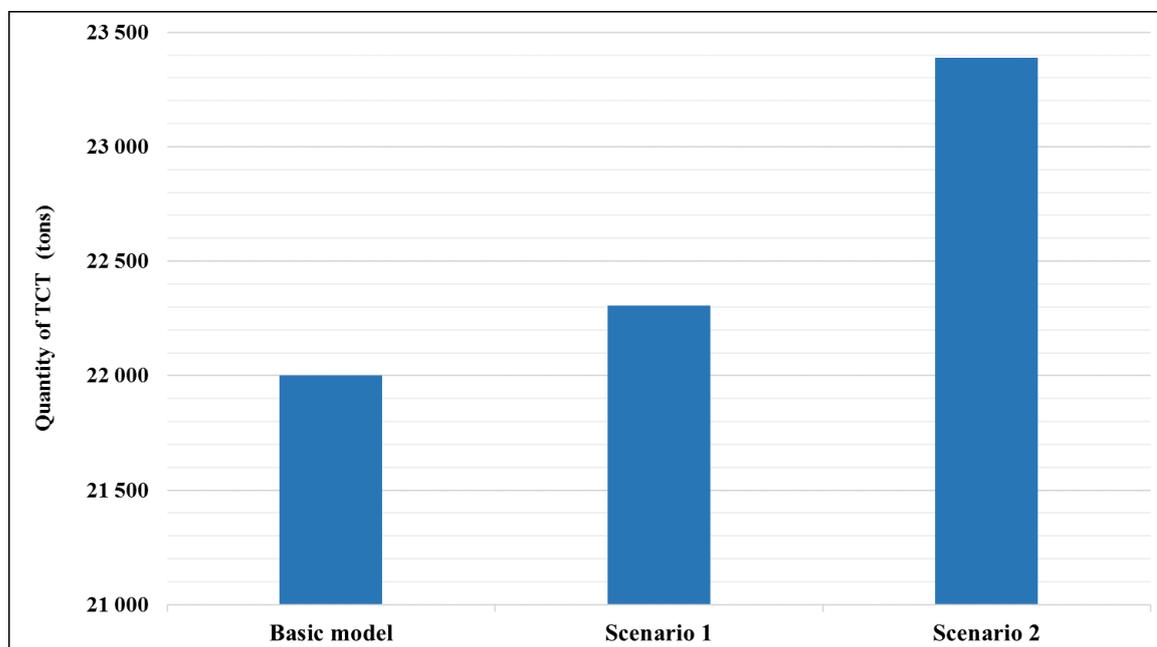


FIGURE 4.9 – Influence d’approche proposée sur la production de TCT

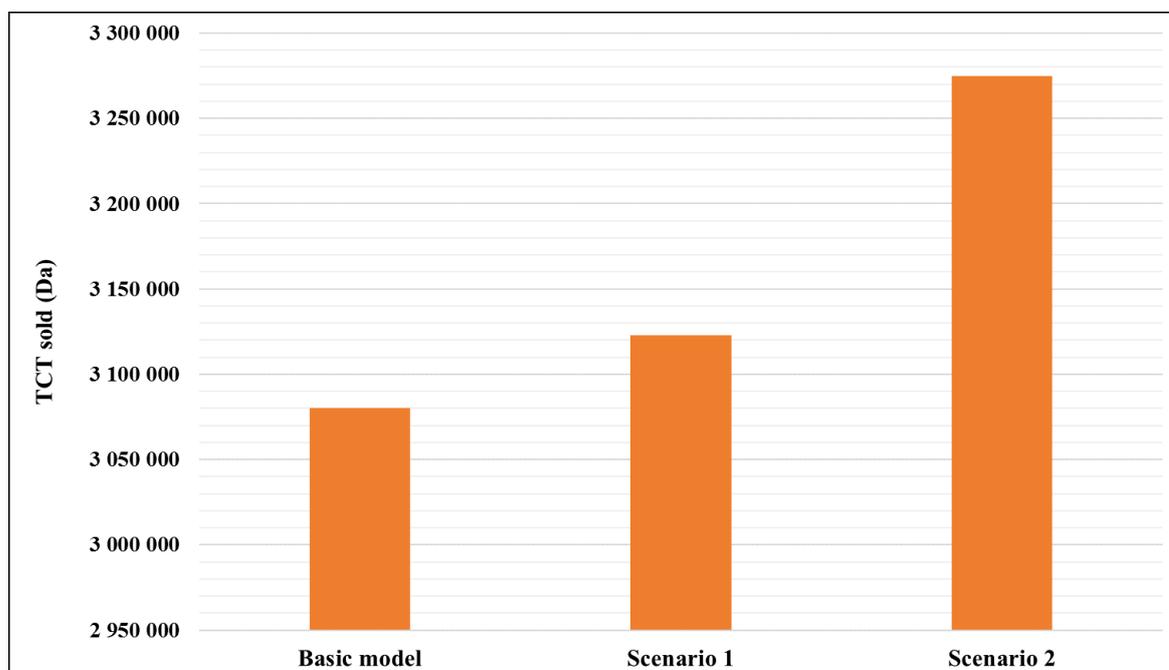


FIGURE 4.10 – Influence d’approche proposée sur le profit de TCT

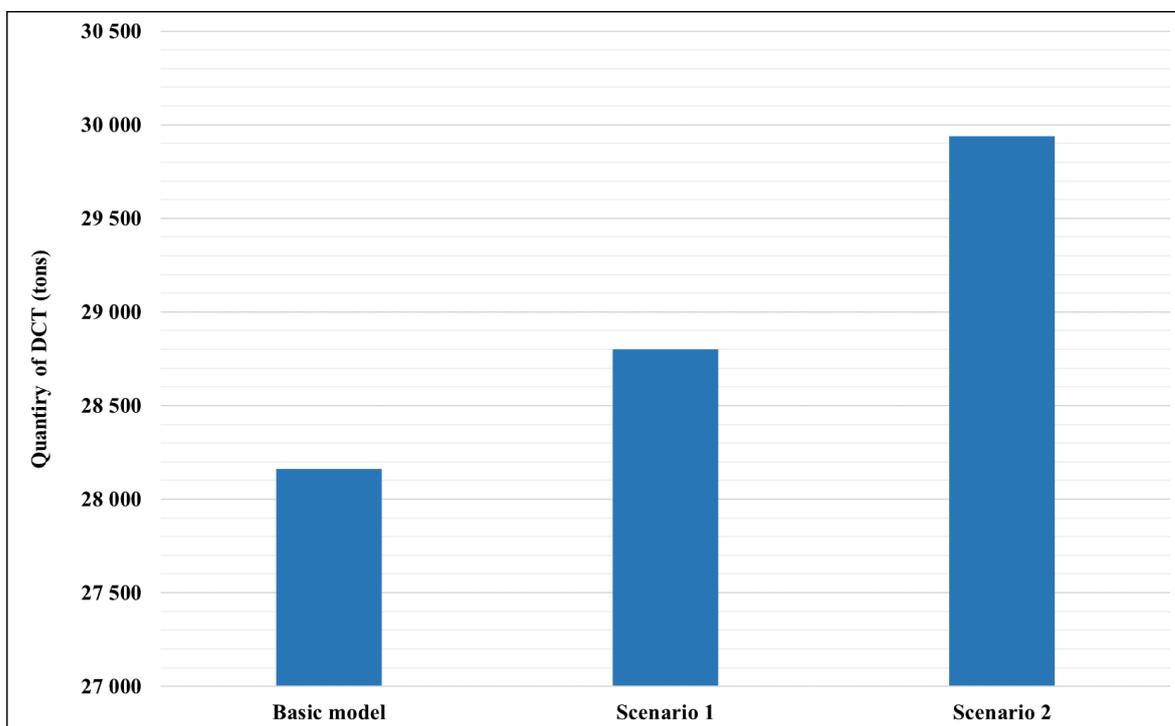


FIGURE 4.11 – Influence d’approche proposée sur la production de DCT

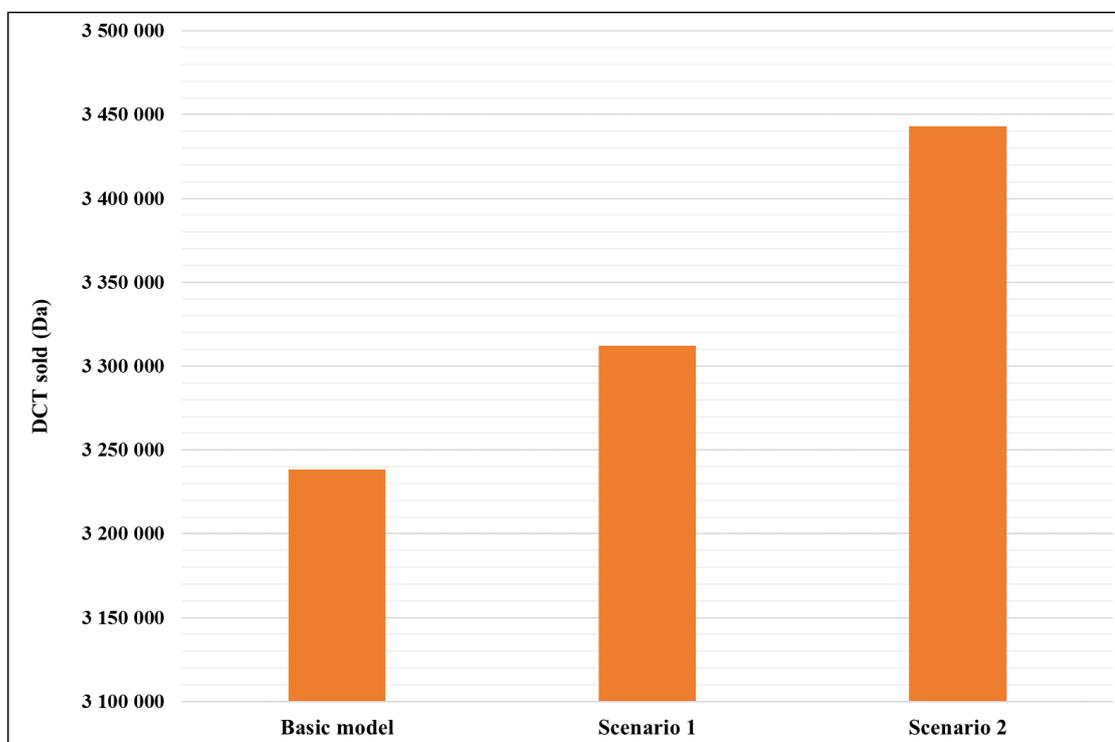


FIGURE 4.12 – Influence d’approche proposée sur le profit de DCT

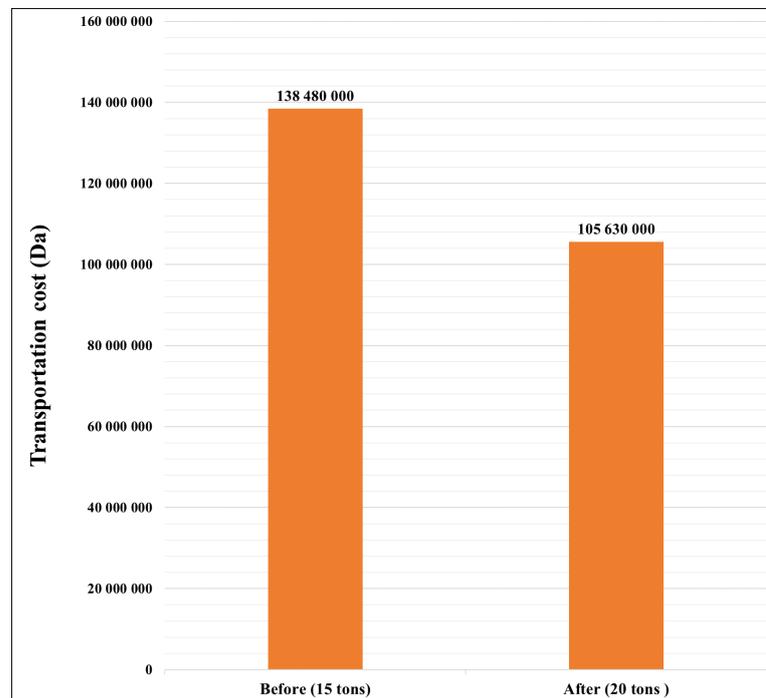


FIGURE 4.13 – Influence de la méthodologie proposée sur la coût de transport

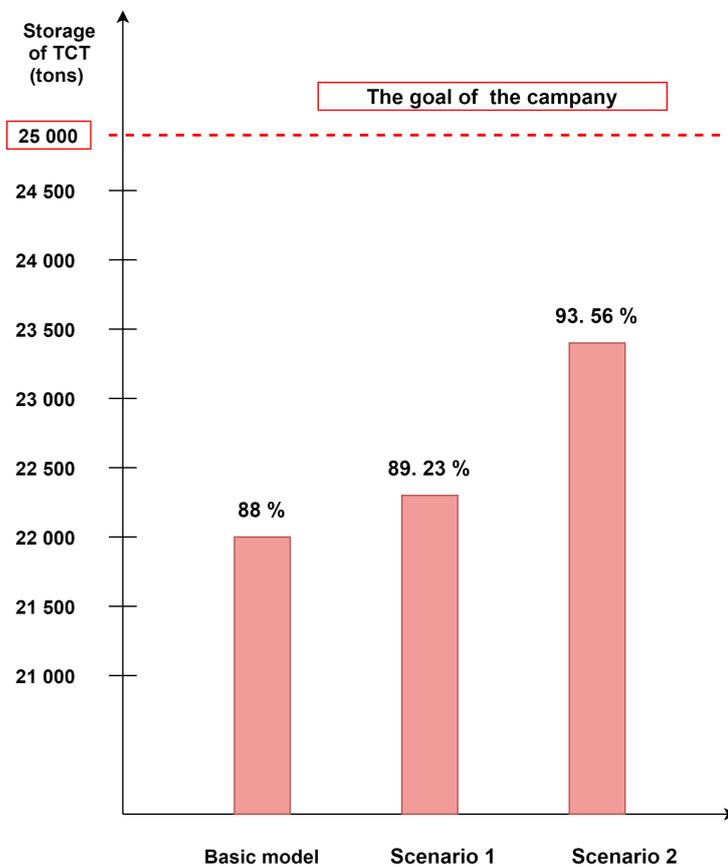


FIGURE 4.14 – Stockage de TCT dans les différents entrepôts

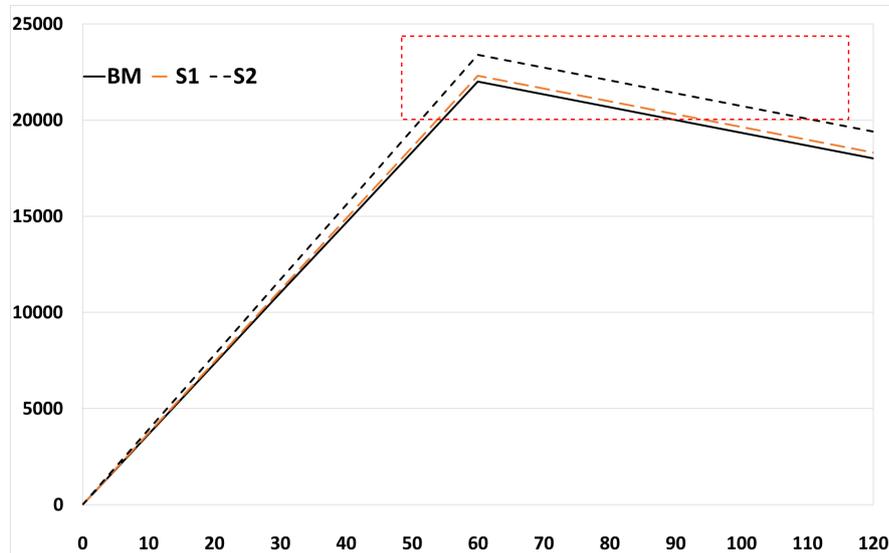


FIGURE 4.15 – Stockage de TCT dans les entrepôts selon les trois configurations (Basic model (BM), Scénario 1 (S1) et Scénario 2 (S2))

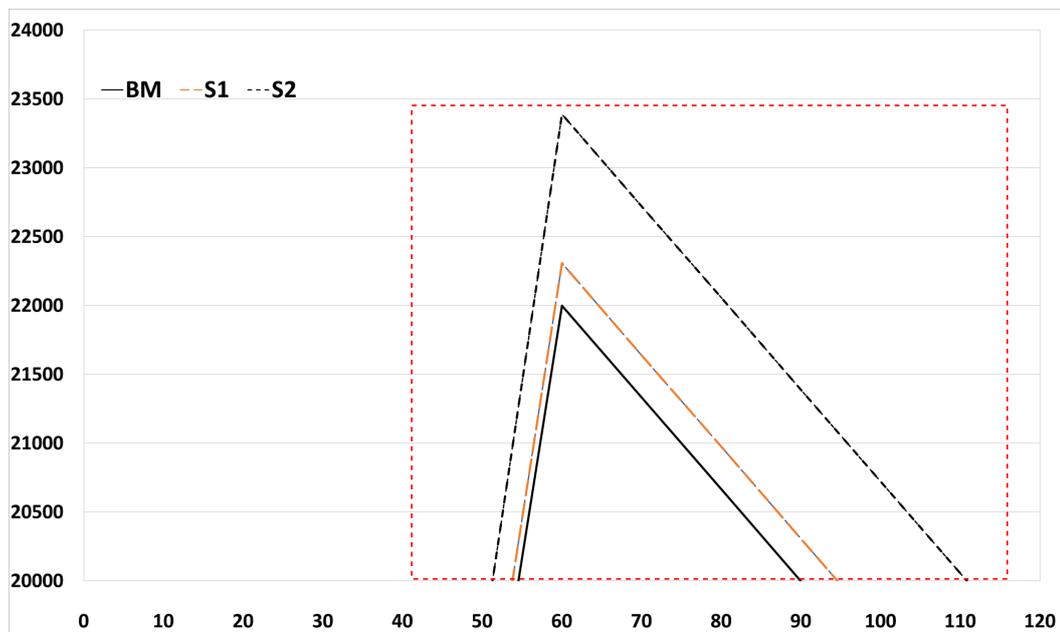


FIGURE 4.16 – Le pic de stockage de TCT dans les entrepôts selon les trois configurations (Basic model (BM), Scénario 1 (S1) et Scénario 2 (S2))

4.6 Conclusion

Cet étude présente un modèle tactique et opérationnel pour l'optimisation de l'industrie de transformation de la tomate en Algérie. Le modèle mathématique développé a permis de fournir des décisions liés à la récolte, la production, le transport, l'entreposage et la distribution dans le but de maximiser les revenus de l'entreprise. Le modèle a été testé pour un cas d'étude réel algérien. De plus, différents scénarios ont été réalisés pour obtenir des solutions qui ont été comparées aux données réelles. Les résultats montrent que le modèle proposé aide l'entreprise à obtenir de meilleurs gains économiques en termes de revenus, et il a conduit à minimiser les pertes de tomates fraîches en tenant compte de l'influence de la température et de l'humidité.

Cette contribution peut être utilisée comme un outil d'aide à la décision dans l'industrie de la transformation des tomates. De plus, le modèle pourrait être adapté à d'autres secteurs de production qui présentent les mêmes caractéristiques que la tomate.

Les pertes de tomates fraîches dues aux longues files d'attente constituent le plus grand défi pour les chefs d'entreprise. Le modèle a donc montré qu'une bonne gestion des arrivées des camions de tomates peut réduire efficacement les quantités gaspillées. En outre, en utilisant ce modèle, les dirigeants de l'entreprise traiteront le problème du gaspillage des tomates fraîches avec beaucoup de souplesse et d'une manière plus simple et efficace. Dans la perspective de travaux futurs, d'autres approches peuvent être appliquées à ce modèle, telles que l'application d'une approche d'optimisation robuste sur le cas d'étude et la comparaison avec l'approche déterministe développée.

Conclusions et perspectives

La coordination entre les différents maillons de la chaîne logistique est une tâche très difficile surtout si le produit traité est de nature périssable. Dans cette thèse, nous avons étudié un ensemble de problèmes liés à la chaîne logistique agroalimentaire afin de proposer des outils d'aide à la décision dans le but d'avoir une meilleure synchronisation entre les partenaires de la chaîne. Dans ce manuscrit, nous avons divisé les travaux en deux grandes parties. Dans la première partie, nous avons traité le problème de sélection des bonnes fermes productrices des tomates. Cette problématique a été traitée par la proposition d'une hybridation des méthodes MCDM, où nous avons intégré trois approches qui sont Delphi, AHP et TOPSIS pour la résoudre. Dans la deuxième partie, nous nous sommes intéressés à l'optimisation de la production, le stockage et la distribution de la chaîne logistique de la tomate industrielle. Dans cette partie, nous avons proposé un modèle mathématique basé sur les données du cas d'étude pour optimiser le processus de cette chaîne d'une manière générale et minimiser les pertes de la matière fraîche en précision, ceci aidera à augmenter le profit d'entreprise.

Les études effectuées dans cette thèse ont été validées par une application réelle. Les approches utilisées dans cette thèse, peuvent être considérées comme des supports de décision pour l'industrie de la tomate ou n'importe quelle industrie qui manipule des produits ayant les mêmes caractéristiques que la tomate. À travers les résultats obtenus, nous espérons que ces contributions vont aider les chercheurs dans ce domaine et les gestionnaires d'entreprises dans le terrain.

Nous avons présenté dans le premier chapitre de cette thèse, les définitions de bases relatives au thématique traitée. Ce chapitre est divisé à deux grandes parties selon les objectifs de la thèse. La première partie a traité la sélection des fournisseurs alors que la seconde a présenté un ensemble de termes liés à la chaîne logistique en générale et à la chaîne logistique agroalimentaire précisément. Nous avons bien détaillé les concepts relatifs à la chaîne logistique parce qu'ils présentent la partie la

plus prenante de la thèse. Nous avons essayé de simplifier les définitions pour aider les auteurs non spécialistes en chaînes logistiques à comprendre le contenu de notre manuscrit.

Après avoir présenté les concepts relatifs aux objectifs de cette thèse, nous nous sommes focalisés dans le deuxième chapitre à positionner nos contributions par rapport aux travaux de recherche existants dans la littérature. Ce chapitre est aussi divisé en deux parties, la première partie est dédiée à la présentation des travaux de recherche liés à la problématique de sélection des fournisseurs et l'application des méthodes MCDM dans ce domaine. La seconde partie est dédiée à présenter les contributions de chercheurs dans le domaine de l'optimisation de la chaîne logistique agroalimentaire. Le positionnement de nos contributions a été précisé dans les deux parties citées ci-dessus.

Dans le troisième chapitre, nous avons proposé une hybridation des approches MCDM pour la résolution du problème de sélection des fermes de la production de tomate. Nous avons adapté le problème de sélection des fournisseurs à notre cas afin de choisir les meilleurs champs producteurs de la bonne tomate industrielle. En effet, nous avons proposé trois méthodes MCDM, à savoir, Delphi, AHP et TOPSIS. L'approche Delphi a été utilisée pour identifier et définir les critères utilisés pour l'évaluation selon le cas réel d'étude. La méthode AHP a été utilisée pour attribuer un poids à chaque critère selon les opinions des experts. Enfin, la méthode de TOPSIS a été utilisée pour la sélection finale des fermes de tomate. Cette hybridation a montré son efficacité dans le cas d'étude traité et peut être considérée comme un bon support de décision dans le monde d'industrie de tomate ou d'autres industries similaires.

Finalement, le quatrième chapitre concernait l'optimisation de la chaîne logistique agroalimentaire pour le cas de la tomate industrielle. Cette optimisation est faite par le développement d'un modèle mathématique qui clôture et coordonne entre les différents partenaires de la chaîne (production agricole, transport, transformation, stockage et distribution). La minimisation de perte de la matière fraîche était l'une des tâches les plus difficiles vu la détérioration rapide du produit traité. Comme toute entreprise vise à augmenter son profit, l'objectif principal de notre modèle est de minimiser ou bien éliminer les pertes et les dépenses dans le but d'augmenter le gain de l'entreprise.

Comme perspectives, nous espérons que ce travail va énormément aider la communauté de recherche pour développer des supports de décision rigides dans l'AFSC, en se basant sur les résultats de cette thèse. Les travaux effectués dans cette thèse vont

ouvrir une bonne base pour les chercheurs qui s'intéressent aux développements des supports de décision pour optimiser et améliorer l'AFSC.

Les résultats obtenus dans ce travail peuvent ouvrir d'autres perspectives de recherche tels que :

- Augmenter le nombre de stations de transformation avec des différentes capacités tout en fabricant plusieurs produits finis.
- Étudier l'influence de la variation de capacités des camions sur le coût du transport (la variation du coût de transport entre les fermes et les usines de fabrication).
- Étudier l'influence de la variation du prix du produit frais (la tomate) sur le coût du produit fini au cours et après la période de récolte.

Annexe A

TABLE 5 – Matrice de jugement des alternatifs par rapport au critère de réputation (C_{42})

Ferme	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	W_{31}	
F1	1	3	2	1/2	1	4	2	3	1/2	3	1/2	4	6	1/2	6	0,0897	
F2	1/3	1	1/2	1/5	1/3	3	2	1/3	1	1/5	1	1/4	2	3	1/4	3	0,0343
F3	1/2	2	1	1/2	1/2	4	1	2	1/2	2	1/2	4	4	1/2	4	0,0651	
F4	2	5	2	1	2	4	2	3	1	4	1	4	6	1	6	0,1221	
F5	1	3	2	1/2	1	4	2	3	1/2	3	1/2	4	6	1/2	6	0,0897	
F6	1/4	1/2	1/4	1/4	1/4	1	1/3	1/3	1/4	1/2	1/5	1	2	1/4	2	0,0235	
F7	2	3	1	1/2	1/2	3	1	4	1/2	3	1/2	3	5	1/2	3	0,0703	
F8	1/3	1	1/2	1/3	1/3	3	1/4	1	1/3	1	1/4	2	3	1/3	3	0,0371	
F9	2	5	2	1	2	4	2	3	1	4	1	5	5	1	5	0,1215	
F10	1/3	1	1/2	1/4	1/3	2	1/3	1	1/4	1	1/4	2	3	1/4	3	0,0351	
F11	2	4	2	1	2	5	2	4	1	4	1	4	5	1	5	0,1216	
F12	1/4	1/2	1/4	1/4	1/4	1	1/3	1/2	1/5	1/2	1/4	1	2	4	2	0,0456	
F13	1/6	1/3	1/4	1/6	1/6	1/2	1/5	1/3	1/5	1/3	1/5	1/2	1	1/5	1	0,0158	
F14	2	4	2	1	2	4	2	3	1	4	1	1/4	5	1	5	0,1110	
F15	1/6	1/3	1/4	1/6	1/6	1/2	1/3	1/2	1/5	1/3	1/5	1/2	1	1/5	1	0,0168	

$$\lambda_{max} = 16.4313; CI = 0.1022; CR = 0.0642 < 0.1$$

Annexe A

TABLE 6 – Matrice de jugement des alternatifs par rapport au critère de faciliter la communication (C_{41})

Farms	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	W_{31}
F1	1	2	3	1	2	1/3	1	1/2	4	1/3	2	1	1/3	4	2	0,0660
F2	1/2	1	4	2	3	1/2	2	1	5	1/2	2	2	1/2	4	1	0,0773
F3	1/3	1/4	1	1/3	1/2	1/5	1/4	1/4	2	1/5	1/3	1/3	1/5	1	1/4	0,0203
F4	1	1/2	3	1	2	3	1	1/2	4	1/3	3	1	1/3	3	1/2	0,0536
F5	1/2	1/3	2	1/2	1	1/4	1/2	1/3	3	1/4	1	1/3	1/4	3	1/3	0,0328
F6	3	2	5	3	4	1	3	2	6	1	4	3	3	5	2	0,1351
F7	1	1/2	4	1	2	1/3	1	1/2	4	1/3	2	1	1/3	4	2	0,0564
F8	2	1	4	2	3	1/2	2	1	4	1/2	3	2	1/2	4	1	0,0839
F9	1/4	1/5	1/2	1/4	1/3	1/6	1/4	1/4	1	1/6	1/3	1/4	1/3	1	1/5	0,0159
F10	3	2	5	3	4	1	3	2	6	1	4	3	1	5	2	0,1351
F11	1/2	1/2	3	1/3	1	1/4	1/2	1/3	3	1/4	1	1/3	1/3	2	1/3	0,0338
F12	1	1/2	3	1	3	1/3	1	1/2	4	1/3	3	1	1/3	3	1/2	0,0556
F13	3	2	5	3	4	1	3	2	6	1	3	3	1	5	2	0,1331
F14	1/4	1/4	1	1/3	1/3	1/5	1/4	1/4	1	1/5	1/2	1/3	1/5	1	3	0,0296
F15	1/2	1	4	2	3	1/2	1	1	5	1/2	3	2	1/2	1/3	1	0,0706

$$\lambda_{max} = 16.0886; CI = 0.0777; CR = 0.0489 < 0.1$$

TABLE 7 – Matrice de jugement des alternatifs par rapport au critère de coût unitaire du transport (C_{33})

Farms	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	W_{31}
F1	1	2	2	3	2	3	2	2	2	2	3	1	3	1	1	0,1092
F2	1/2	1	2	3	2	3	3	2	3	3	3	1/2	3	1	1	0,1033
F3	1/2	1/2	1	2	1	2	2	1	2	2	3	1/2	3	1/2	1/2	0,0675
F4	1/3	1/3	1/2	1	1/2	2	1	1/2	2	2	3	1/2	2	1/2	1/2	0,0510
F5	1/2	1/2	1	2	1	2	2	1	2	2	3	1/2	3	1/2	1/2	0,0675
F6	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1	1/2	1/2	1	1	2	1/3	2	1/3	1/3	0,0354
F7	1/2	1/3	1/2	1	1/2	2	1	1/2	2	2	3	1/2	2	1/2	1/2	0,0523
F8	1/2	1/2	1	2	1	2	2	1	2	2	3	1/2	3	1/2	1/2	0,0675
F9	1/2	1/3	1/2	1/2	1/2	1	1/2	1/2	1	1	2	1/3	2	1/3	1/3	0,0675
F10	1/2	1/3	1/2	1/2	1/2	1	1/2	1/2	1	1	2	1/3	2	1/3	1/3	0,0675
F11	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/2	1/3	1/3	1/2	1/2	1	1/3	1	1/3	1/3	0,0252
F12	1	2	2	2	2	3	2	2	3	3	3	1	3	1	1	0,1110
F13	1/3	1/3	1/3	1/2	1/3	1/2	1/2	1/3	1/2	1/2	1	1/3	1	1/3	1/3	0,0262
F14	1	1	2	2	2	3	2	2	3	3	3	1	3	1	1	0,1049
F15	1	1	2	2	2	3	2	2	3	3	3	1	3	1	1	0,1049

$$\lambda_{max} = 15.437; CI = 0.031; CR = 0.019 < 0.1$$

Annexe A

TABLE 8 – Matrice de jugement des alternatifs par rapport au critère de proximité (C_{32}).

Farms	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	W_{31}
F1	1	1/9	1/7	1/7	1/7	1/6	1/7	1/8	1/9	1/6	1/6	1/9	1/7	1/9	1/8	0,0076
F2	9	1	6	6	6	7	7	4	1/3	7	7	1/7	6	1/3	3	0,1075
F3	7	1/6	1	1/2	1	2	1	1/4	1/7	2	2	1/9	1/2	1/7	1/5	0,0240
F4	7	1/6	2	1	2	3	2	1/3	1/7	3	2	1/8	1	1/7	1/4	0,0329
F5	7	1/6	1	1/2	1	2	1	1/4	1/7	2	2	1/9	1/2	1/7	1/5	0,0240
F6	6	1/7	1/2	1/3	1/2	1	1/2	1/5	1/7	1	1	1/9	1/3	1/7	1/5	0,0168
F7	7	1/7	1	1/2	1	2	1	1/4	1/7	2	1	1/8	1/2	1/7	1/5	0,0230
F8	8	1/4	4	3	4	5	4	1	1/6	5	5	1/8	3	1/6	1	0,0615
F9	9	3	7	7	7	7	7	6	1	8	8	1/6	7	1	5	0,1441
F10	6	1/7	1/2	1/3	1/2	1	1/2	1/5	1/8	1	1	1/9	1/3	1/8	1/6	0,0165
F11	6	1/7	1/2	1/2	1/2	1	1	1/5	1/8	1	1	1/9	1/2	1/7	1/5	0,0180
F12	9	7	9	8	9	9	8	8	6	9	9	1	9	6	8	0,2778
F13	7	1/6	2	1	2	3	2	1/3	1/5	3	2	1/9	1	1/7	1/4	0,0326
F14	9	3	7	7	7	7	7	6	1	8	7	1/6	7	1	5	0,1428
F15	8	1/3	5	4	5	5	5	1	1/5	6	5	1/8	4	1/5	1	0,0710

$$\lambda_{max} = 16.995; CI = 0.142; CR = 0.090 < 0.1$$

TABLE 9 – Matrice de jugement des alternatifs par rapport au critère de réputation (C_{42})

Farms	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	W_{31}
F1	1	3	2	1/2	1	4	2	3	1/2	3	1/2	4	6	1/2	6	0,0897
F2	1/3	1	1/2	1/5	1/3	3	1/3	1	1/5	1	1/4	2	3	1/4	3	0,0343
F3	1/2	2	1	1/2	1/2	4	1	2	1/2	2	1/2	4	4	1/2	4	0,0651
F4	2	5	2	1	2	4	2	3	1	4	1	4	6	1	6	0,1221
F5	1	3	2	1/2	1	4	2	3	1/2	3	1/2	4	6	1/2	6	0,0897
F6	1/4	1/2	1/4	1/4	1/4	1	1/3	1/3	1/4	1/2	1/5	1	2	1/4	2	0,0235
F7	2	3	1	1/2	1/2	3	1	4	1/2	3	1/2	3	5	1/2	3	0,0703
F8	1/3	1	1/2	1/3	1/3	3	1/4	1	1/3	1	1/4	2	3	1/3	3	0,0371
F9	2	5	2	1	2	4	2	3	1	4	1	5	5	1	5	0,1215
F10	1/3	1	1/2	1/4	1/3	2	1/3	1	1/4	1	1/4	2	3	1/4	3	0,0351
F11	2	4	2	1	2	5	2	4	1	4	1	4	5	1	5	0,1216
F12	1/4	1/2	1/4	1/4	1/4	1	1/3	1/2	1/5	1/2	1/4	1	2	4	2	0,0456
F13	1/6	1/3	1/4	1/6	1/6	1/2	1/5	1/3	1/5	1/3	1/5	1/2	1	1/5	1	0,0158
F14	2	4	2	1	2	4	2	3	1	4	1	1/4	5	1	5	0,1110
F15	1/6	1/3	1/4	1/6	1/6	1/2	1/3	1/2	1/5	1/3	1/5	1/2	1	1/5	1	0,0168

$$\lambda_{max} = 16.4313; CI = 0.1022; CR = 0.0642 < 0.1$$

Annexe A

TABLE 10 – Matrice de jugement des alternatives par rapport au critère de quantité (C_{21})

Farms	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	W_{31}
F1	1	1/3	4	4	1/4	1/3	1/4	2	4	1/4	4	1	2	1/2	4	0,0630
F2	3	1	4	4	1/3	1/2	1/3	3	4	1/3	4	3	3	1	4	0,0878
F3	1/4	1/4	1	1	1/4	1/3	1/4	1/2	1	1/4	1	1/2	1/2	1/3	1	0,0254
F4	1/4	1/4	1	1	1/4	1/3	1/4	1/2	1	1/4	1	1/2	1/2	1/3	1	0,0254
F5	4	3	4	4	1	2	1	4	5	1	4	3	4	2	4	0,1397
F6	3	2	3	3	1/2	1	1/2	3	4	1/2	4	3	4	2	4	0,1038
F7	4	3	4	4	1	2	1	4	5	1	4	3	4	2	4	0,1397
F8	1/2	1/3	2	2	1/4	1/3	1/4	1	2	1/4	2	1/2	1	1/3	2	0,0374
F9	1/4	1/4	1	1	1/5	1/4	1/5	1/2	1	1/4	1	1/2	1/2	1/3	1	0,0239
F10	4	3	4	4	1	2	1	4	4	1	4	3	4	2	4	0,1380
F11	1/4	1/4	1	1	1/4	1/4	1/4	1/2	1	1/4	1	1/2	1/2	1/3	1	0,0249
F12	1	1/3	2	2	1/3	1/3	1/3	2	2	1/3	2	1	2	1/2	4	0,0515
F13	1/2	1/3	2	2	1/4	1/4	1/4	1	2	1/4	2	1/2	1	1/3	1	0,0352
F14	2	1	3	3	1/2	1/2	1/2	3	3	1/2	3	2	3	1	3	0,0784
F15	1/4	1/4	1	1	1/4	1/4	1/4	1/2	1	1/4	1	1/4	1	1/3	1	0,0252

$\lambda_{max} = 15,684$; $CI = 0.049$; $CR = 0.031 < 0.1$

TABLE 11 – Matrice de jugement des alternatives par rapport au critère de disponibilité (C_{23})

Farms	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	W_{31}
F1	1	1/5	3	3	1/6	1/7	1/6	2	3	1/7	3	1/5	3	1/5	2	0,0352
F2	5	1	6	6	1/4	1/2	1/3	5	5	1/2	5	5	6	1	6	0,0916
F3	1/3	1/6	1	1/2	1/7	1/7	1/7	1/3	1	1/7	1	1/3	1/2	1/6	1/2	0,0146
F4	1/3	1/6	2	1	1/7	1/6	1/7	1/3	2	1/6	2	1/3	1/2	1/6	1	0,0197
F5	6	4	7	7	1	3	2	7	7	3	7	6	7	3	7	0,1962
F6	7	2	7	6	1/3	1	1/3	5	6	1	6	5	6	2	6	0,1158
F7	6	3	7	7	1/2	3	1	6	7	2	7	6	7	3	7	0,1635
F8	1/2	1/5	3	3	1/7	1/5	1/6	1	3	1/6	3	1/2	3	1/5	3	0,0342
F9	1/3	1/5	1	1/2	1/7	1/6	1/7	1/3	1	1/7	1/3	1/2	1/6	1/2	5	0,0149
F10	7	2	7	6	1/3	1	1/2	6	7	1	6	5	6	2	6	0,1205
F11	1/3	1/2	1	1/2	1/7	1/6	1/7	1/3	1	1/6	1	1/3	1/2	1/6	1/2	0,0151
F12	2	1/5	3	3	1/6	1/5	1/6	2	3	1/5	3	1	3	1/5	3	0,0397
F13	1/3	1/6	2	2	1/7	1/6	1/7	1/3	2	1/6	2	1/3	1	1/6	2	0,0230
F14	5	1	6	6	1/3	1/2	1/3	5	6	1/2	6	5	6	1	6	0,0953
F15	1/2	1/6	2	1	1/7	1/6	1/7	1/3	2	1/6	2	1/3	1/2	1/6	1	0,0200

$\lambda_{max} = 16.203$; $CI = 0.086$; $CR = 0.054 < 0.1$

TABLE 12 – Matrice de jugement des alternatifs par rapport au critère de prix de produit (C_{22})

Farms	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	W_{31}
F1	1	1/6	1/4	1/5	1/4	1/4	1/4	1/5	1/6	1/4	1/4	1/6	1/5	1/6	1/6	0,0128
F2	6	1	4	2	4	3	4	2	1/2	3	3	1/2	2	1/2	4	0,1063
F3	4	1/4	1	1/2	1	2	1	1/3	1/5	2	2	1/5	1/2	1/5	1/3	0,0342
F4	5	1/2	2	1	2	2	2	1/2	1/3	2	2	1/3	1	1/3	1/3	0,0505
F5	4	1/4	1	1/2	1	2	1	1/2	1/5	2	2	1/5	1/2	1/5	1/3	0,0349
F6	4	1/3	1/2	1/2	1/2	1	1/2	1/3	1/4	1	1	1/4	1/3	1/4	1/3	0,0275
F7	4	1/4	1	1/2	1	2	1	1/3	1/5	2	2	1/5	1/2	1/5	1/4	0,0338
F8	5	1/2	3	2	2	3	3	1	1/3	3	3	1/3	2	1/3	1/2	0,0686
F9	6	2	5	3	5	4	5	3	1	4	4	1	3	1	2	0,1400
F10	4	1/3	1/2	1/2	1/2	1	1/2	1/3	1/4	1	1	1/5	1/2	1/5	1/4	0,0265
F11	4	1/3	1/2	1/2	1/2	1	1/2	1/3	1/4	1	1	1/2	1/3	1/5	1/4	0,0260
F12	6	2	5	3	5	4	5	3	1	5	5	1	4	1	2	0,1464
F13	5	1/2	2	1	2	3	2	1/2	1/3	2	3	1/4	1	1/4	1/3	0,0524
F14	6	2	5	3	5	4	5	3	1	5	5	1	4	1	2	0,1464
F15	6	1/4	3	3	3	3	4	2	1/2	4	4	1/2	3	1/2	1	0,0930

$$\lambda_{max} = 15.7949; CI = 0.0567; CR = 0.0357 < 0.1$$

TABLE 13 – Matrice de jugement des alternatifs par rapport au critère de Brix (C_{213})

Farms	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	W_{31}
F1	1	3	2	2	1	1	2	4	4	1	2	3	2	1	1	0,1018
F2	1/3	1	1/2	1/2	1/3	1/3	1/2	2	2	1/3	1/2	1	1/2	1/3	1/3	0,0329
F3	1/2	2	1	1	1/2	1/2	1	3	3	1/2	1	2	1	1/2	1/2	0,0560
F4	1/2	2	1	1	1/2	1/2	1	3	3	1/2	1	2	1	1/2	1/2	0,0560
F5	1	3	2	2	1	1	2	4	4	1	2	3	2	1	1	0,1018
F6	1	3	2	2	1	1	2	4	4	1	2	3	2	1	1	0,1018
F7	1/2	2	1	1	1/2	1/2	1	3	3	1/2	1	2	1	1/2	1/2	0,0560
F8	1/4	1/2	1/3	1/3	1/4	1/4	1/3	1	1	1/4	1/3	1/2	1/3	1/4	1/4	0,0214
F9	1/4	1/2	1/3	1/3	1/4	1/4	1/3	1	1	1/4	1/3	1/2	1/3	1/4	1/4	0,0214
F10	1	3	2	2	1	1	2	4	4	1	2	3	2	1	1	0,1018
F11	1/2	2	1	1	1/2	1/2	1	3	3	1/2	1	2	1	1/2	1/2	0,0560
F12	1/3	1	1/2	1/2	1/3	1/3	1/2	2	2	1/3	1/2	1	1/2	1/3	1/3	0,0329
F13	1/2	2	1	1	1/2	1/2	1	3	3	1/2	1	2	1	1/2	1/2	0,0560
F14	1	3	2	2	1	1	2	4	4	1	2	3	2	1	1	0,1018
F15	1	3	2	2	1	1	2	4	4	1	2	3	2	1	1	0,1018

$$\lambda_{max} = 15.091; CI = 0.006; CR = 0.004 < 0.1$$

TABLE 14 – Matrice de jugement des alternatives par rapport au critère d'apparence (C_{212})

Farms	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	W_{31}
F1	1	1/5	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/3	1/7	1/3	1/3	1/7	1/3	1/7	1/6	0,0132
F2	5	1	4	4	4	4	4	2	1/2	5	5	1/2	4	1	1	0,1075
F3	4	1/4	1	1	1	1	1	1/3	1/5	2	2	1/5	1	1/5	1/4	0,0337
F4	4	1/4	1	1	1	1	1	1/3	1/5	2	2	1/5	1	1/5	1/4	0,0337
F5	4	1/4	1	1	1	1	1	1/3	1/5	2	2	1/5	1	1/5	1/4	0,0337
F6	4	1/4	1	1	1	1	1	1/3	1/5	2	2	1/5	1	1/5	1/4	0,0337
F7	4	1/4	1	1	1	1	1	1/3	1/5	2	2	1/5	1	1/5	1/4	0,0337
F8	3	1/2	3	3	3	3	3	1	2	3	3	1/3	2	1/3	1/2	0,0827
F9	7	2	5	5	5	5	5	1/2	1	5	5	1	4	1	2	0,1394
F10	3	1	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/3	1/5	1	1	1/5	1/2	1	1/4	0,0296
F11	3	1	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/3	1/5	1	1	1/5	1/2	1	1/4	0,0296
F12	7	2	5	5	5	5	5	3	1	5	5	1	4	1	2	0,1507
F13	3	1/4	1	1	1	1	1	1/2	1/4	2	2	1/4	1	1/5	1/4	0,0344
F14	7	2	5	5	5	5	5	3	1	1	1	1	5	1	2	0,1387
F15	6	1	4	4	4	4	4	2	1/2	4	4	1/2	4	1/2	1	0,1050

$$\lambda_{max} = 16.179; CI = 0.084; CR = 0.052 < 0.1$$

TABLE 15 – Matrice de jugement des alternatives par rapport au critère de la sécurité du produit (C_{211})

Farms	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	W_{31}
F1	1	1/6	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/6	1/6	1/5	1/5	1/6	1/5	1/6	1/6	0,0121
F2	6	1	2	2	2	3	2	2	1	4	4	1/2	3	1/2	2	0,0979
F3	5	1/2	1	1/2	1	2	1	1/2	1/3	2	2	1/4	1/2	1/4	1/3	0,0454
F4	5	1/2	2	1	2	2	2	1/2	1/2	2	2	1/3	1	1/3	1/3	0,0537
F5	5	1/2	1	1/2	1	2	1	1/3	1/3	2	2	1/4	1/2	1/4	1/4	0,0390
F6	5	1/3	1/2	1/2	1/2	1	1/2	1/3	1/4	1	1	1/5	1/3	1/3	1/4	0,0278
F7	5	1/2	1	1/2	1	2	1	1/2	1/3	2	2	1/4	1/2	1/3	1/3	0,0408
F8	6	1/2	2	2	3	3	2	1	1/2	4	4	1/3	3	1/3	1	0,0801
F9	6	1	3	2	3	4	3	2	1	5	5	1	3	1	2	0,1203
F10	5	1/4	1/2	1/2	1/2	1	1/2	1/4	1/5	1	1	1/5	1/2	1/4	1/4	0,0263
F11	5	1/4	1/2	1/2	1/2	1	1/2	1/4	1/5	1	1	1/5	1/2	1/4	1/4	0,0263
F12	6	2	4	3	4	5	4	3	1	5	5	1	4	3	3	0,1665
F13	5	1/3	2	1	2	3	2	1/3	1/3	2	2	1/4	1	1/3	1/2	0,0521
F14	6	2	4	3	4	3	3	3	1	4	4	1/3	3	1	2	0,1260
F15	5	1/2	3	3	4	4	3	1	1/2	4	4	1/3	2	1/2	1	0,0901

$$\lambda_{max} = 15.810; CI = 0.057; CR = 0.036 < 0.1$$

TABLE 16 – Matrice de jugement des alternatifs par rapport au critère d'équipement (C_{312})

Farms	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	W_{31}
F1	1	1/3	1	1/3	1/2	2	3	2	1/4	1/2	1	1/2	2	1/2	1	0,0460
F2	3	1	3	1	2	3	4	3	1/2	2	2	2	3	2	2	0,1114
F3	1	1/3	1	1/3	1/2	2	2	2	1/3	1/2	1	1/2	1/2	1/2	1	0,0454
F4	3	1	3	1	2	3	3	3	1/2	2	2	2	3	2	2	0,1098
F5	2	1/2	2	1/2	1	2	2	2	1/3	1	2	1	2	1	2	0,0685
F6	1/2	1/3	1/2	1/3	1/2	1	2	1	1/4	1/3	1/2	1/3	1	1/3	1/2	0,0301
F7	1/3	1/4	1/2	1/3	1/2	1/2	1	1/2	1/5	1/3	1/3	1/3	1/2	1/3	1/3	0,0227
F8	1/2	1/3	1/2	1/3	1/2	1	2	1	1/4	1/3	1/2	1/3	1	1/3	1/2	0,0301
F9	4	2	3	2	3	4	5	4	1	4	4	2	4	4	4	0,1766
F10	2	1/2	2	1/2	1	3	3	3	1/4	1	2	1	2	1	2	0,0732
F11	1	1/2	1	1/2	1/2	2	3	2	1/4	1/2	1	1/3	2	1/2	1	0,0476
F12	2	1/2	2	1/2	1	3	3	3	1/2	1	3	1	3	1	3	0,0843
F13	1/2	1/3	1/2	1/3	1/2	1	2	1	1/4	1/2	1/2	1/3	1	1/3	1/2	0,0308
F14	2	1/2	2	1/2	1	3	3	3	1/4	1	2	1	3	1	2	0,0753
F15	1	1/2	1	1/2	1/2	2	3	2	1/4	1/2	1	1/3	2	1/2	1	0,0476

$$\lambda_{max} = 15.449; CI = 0.032; CR = 0.020 < 0.1$$

TABLE 17 – Matrice de jugement des alternatifs par rapport au critère de la disponibilité de la main d'œuvre qualifiée (C_{311})

Farms	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	W_{31}
F1	1	1/2	1	1/2	1/4	1/4	1/4	1/2	1	1/4	1	1/2	1/2	1/4	1/3	0,0256
F2	2	1	2	2	1/3	1/3	1/3	1	2	1/3	2	2	1	1/3	1/2	0,0479
F3	1	1/2	1	1/2	1/4	1/4	1/4	1/2	1	1/4	1	1/2	1/2	1/4	1/3	0,0256
F4	2	1/2	2	1	1/3	1/3	1/3	1/2	1	1/3	2	1	1/2	1/4	1/3	0,0358
F5	4	3	4	3	1	1	1	3	4	1	4	4	3	1	2	0,1206
F6	4	3	4	3	1	1	1	3	4	1	4	4	3	1	2	0,1206
F7	4	3	4	3	1	1	1	3	4	1	4	4	3	1	2	0,1206
F8	2	1	2	2	1/3	1/3	1/3	1	2	1/3	2	2	1	1/3	1/2	0,0479
F9	1	1/2	1	1	1/4	1/4	1/4	1/2	1	1/3	2	1	1/2	1/4	1/3	0,0302
F10	4	3	4	3	1	1	1	3	3	1	4	4	3	1	2	0,1186
F11	1	1/2	1	1/2	1/4	1/4	1/4	1/2	1/2	1/4	1	1/2	1/2	1/4	1/3	0,0246
F12	2	1/2	2	1	1/4	1/4	1/4	1/2	1	1/4	2	1	1/2	1/4	1/3	0,0331
F13	2	1/2	2	1	1/3	1/3	1/3	1/2	1	1/3	2	1	1/2	1/4	1/3	0,0358
F14	4	3	4	4	1	1	1	3	4	1	4	4	3	1	2	0,1229
F15	3	2	3	3	1/2	1/2	1/2	2	3	1/2	3	3	2	1/2	1	0,0774

$$\lambda_{max} = 15.269; CI = 0.019; CR = 0.012 < 0.1$$

TABLE 18 – Matrice de jugement des alternatifs par rapport au critère de topologie (C_{122})

Farms	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	W_{31}
F1	1	1	3	3	1/2	1/2	4	1	1	4	2	1/2	2	1/2	1/2	0,0684
F2	1	1	3	3	1/2	1/2	4	1	1	4	2	1/2	2	1/2	1/2	0,0684
F3	1/3	1/3	1	1	1/3	1/3	2	1/3	1/3	1/2	1/2	1/3	1/2	1/3	1/3	0,0281
F4	1/3	1/3	1	1	1/3	1/3	2	1/3	1/3	1/2	1/2	1/3	1/2	1/3	1/3	0,0281
F5	2	2	3	3	1	1	4	2	2	4	3	1	3	1	1	0,1075
F6	2	2	3	3	1	1	4	2	2	4	3	1	3	1	1	0,1075
F7	1/4	1/4	1/2	1/2	1/4	1/4	1	3	3	1	1/2	1/4	1/2	1/4	1/4	0,0402
F8	1	1	3	3	1/2	1/2	1/3	1	1	4	2	1/2	2	1/2	1/2	0,0620
F9	1	1	3	3	1/2	1/2	1/3	1	1	4	2	1/2	2	1/2	1/2	0,0620
F10	1/4	1/4	2	2	1/4	1/4	1	1/4	1/4	1	1/2	1/4	1/2	1/4	1/4	0,0265
F11	1/2	1/2	2	2	1/3	1/3	2	1/2	1/2	2	1	1/3	1	1/3	1/3	0,0392
F12	2	2	3	3	1	1	4	2	2	4	3	1	3	1	1	0,1075
F13	1/2	1/2	2	2	1/3	1/3	2	1/2	1/2	2	1	1/3	1	1/3	1/3	0,0392
F14	2	2	3	3	1	1	4	2	2	4	3	1	3	1	1	0,1075
F15	2	2	3	3	1	1	4	2	2	4	3	1	3	1	1	0,1075

$$\lambda_{max} = 16.132; CI = 0.081; CR = 0.051 < 0.1$$

TABLE 19 – Matrice de jugement des alternatifs par rapport au critère d'irrigation (C_{121})

Farms	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	W_{31}
F1	1	1/4	1/2	1/2	1/4	1/4	1/3	1/4	1/4	1/2	1/2	1/4	1/3	1/2	1/2	0,0217
F2	4	1	3	3	1	1	2	1	1	2	3	1	3	2	3	0,1031
F3	2	1/3	1	1	1/3	1/3	1/2	1/3	1/3	1	1/2	1/3	1/2	1/2	1/2	0,0313
F4	2	1/3	1	1	1/3	1/3	1/2	1/3	1/3	1	1/2	1/3	1/2	1/2	1/2	0,0313
F5	4	1	3	3	1	1	2	1	1	2	3	1	3	2	3	0,1031
F6	4	1	3	3	1	1	2	1	1	2	3	1	3	2	3	0,1031
F7	3	1/2	2	2	1/2	1/2	1	1/2	1/2	2	3	1/3	1	2	2	0,0628
F8	4	1	3	3	1	1	2	1	1	2	3	1	3	2	3	0,1031
F9	4	1	3	3	1	1	2	1	1	2	3	1	3	2	3	0,1031
F10	2	1/2	1	1	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1/2	1/3	1/2	1/2	1/2	0,0372
F11	2	1/3	2	2	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	2	1	1/3	1/3	1/2	1/2	0,0380
F12	4	1	3	3	1	1	3	1	1	3	3	1	3	2	2	0,1093
F13	3	1/3	2	2	1/3	1/3	1	1/3	1/3	2	3	1/3	1	2	2	0,0569
F14	2	1/2	2	2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	2	2	1/2	1/2	1	1	0,0513
F15	2	1/3	2	2	1/3	1/3	1/2	1/3	1/3	2	2	1/3	1/2	1	1	0,0441

$$\lambda_{max} = 15.519; CI = 0.037; CR = 0.023 < 0.1$$

TABLE 20 – Matrice de jugement des alternatives par rapport au critère d’humidité (C_{114})

Farms	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	W_{31}
F1	1	4	3	3	4	3	3	4	4	3	3	4	3	4	4	0,2005
F2	1/4	1	3	3	1	1	3	1	1	3	3	1	3	2	2	0,0855
F3	1/3	1/3	1	1	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1	1	1/3	1	1/2	1/2	0,0307
F4	1/3	1/3	1	1	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1	1	1/3	1	1/2	1/2	0,0307
F5	1/4	1	3	3	1	1	3	1	1	3	3	1	3	2	2	0,0855
F6	1/4	1	3	3	1	1	3	1	1	3	3	1	3	2	2	0,0855
F7	1/3	1/3	1	1	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1	1	1/3	1	1/2	1/2	0,0307
F8	1/4	1	3	3	1	1	3	1	1	3	3	1	3	2	2	0,0855
F9	1/4	1	3	3	1	1	3	1	1	3	3	1	3	2	2	0,0855
F10	1/3	1/3	1	1	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1	1	1/3	1	1/2	1/2	0,0307
F11	1/3	1/3	1	1	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1	1	1/3	1	1/2	1/2	0,0307
F12	1/4	1	3	3	1	1	3	1	1	3	3	1	3	2	2	0,0855
F13	1/3	1/3	1	1	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1	1	1/3	1	1/2	1/2	0,0307
F14	1/4	1/2	2	2	1/2	1/2	2	1/2	1/2	2	2	1/2	2	1	1	0,0508
F15	1/4	1/2	2	2	1/2	1/2	2	1/2	1/2	2	2	1/2	2	1	1	0,0508

$$\lambda_{max} = 15.437; CI = 0.031; CR = 0.020 < 0.1$$

TABLE 21 – Matrice de jugement des alternatives par rapport au critère de caractéristiques du sol (C_{113})

Farms	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	W_{31}
F1	1	1/2	2	5	1/2	1	1/3	1/2	1/5	1/3	2	1/3	1/3	1/4	2	0,0355
F2	2	1	3	5	1	2	1/3	1	1/4	1/2	2	1/2	1/3	1/5	3	0,0481
F3	1/2	1/3	1	4	1/3	1/2	1/5	1/3	1/5	1/3	1/2	1/3	1/5	1/6	1	0,0223
F4	1/5	1/5	1/4	1	1/5	1/5	1/6	1/5	1/6	1/5	1/4	1/6	1/6	1/6	1/3	0,0124
F5	2	1	3	5	1	2	1/3	1	1/4	1/2	2	1/2	1/3	1/5	3	0,0481
F6	1	1/2	2	5	1/2	1	1/3	1/2	1/5	1/3	2	1/3	1/3	1/7	2	0,0340
F7	3	3	5	6	3	3	1	3	1/2	2	4	2	1	1/3	4	0,1040
F8	2	1	3	5	1	2	1/3	1	1/4	1/2	2	1/2	1/3	1/5	3	0,0481
F9	5	4	5	6	4	5	2	4	1	3	5	3	2	1/2	5	0,1529
F10	3	2	3	6	2	3	1/2	2	1/3	1	3	1	1/2	1/2	4	0,0741
F11	1/2	1/2	2	4	1/2	1/2	1/4	1/2	1/5	1/3	1	1/3	1/3	1/4	2	0,0301
F12	3	2	3	6	2	3	1/2	2	1/3	1	3	1	1/2	1/3	4	0,0741
F13	3	3	5	6	3	3	1	3	1	2	3	2	1	1/3	4	0,1021
F14	4	5	6	6	5	7	3	5	2	3	4	3	3	1	4	0,1907
F15	1/2	1/3	1	3	1/3	1/2	1/4	1/3	1/5	1/4	1/2	1/4	1/4	1/4	1	0,0225

$$\lambda_{max} = 15,790; CI = 0.056; CR = 0.035 < 0.1$$

TABLE 22 – Matrice de jugement des alternatifs par rapport au critère de l'éclairage (C_{112})

Farms	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	W_{31}
F1	1	2	3	3	4	4	3	2	4	3	3	4	3	2	2	0,1592
F2	1/2	1	2	2	3	3	2	1	3	2	2	3	2	1	1	0,0984
F3	1/3	1/2	1	1	2	2	1	1/2	2	1	1	2	1	1/2	1/2	0,0543
F4	1/3	1/2	1	1	2	2	1	1/2	2	1	1	2	1	1/2	1/2	0,0543
F5	1/4	1/3	1/2	1/2	1	1	1/2	1/3	1	1/2	1/2	1	1/2	1/3	1/3	0,0302
F6	1/4	1/3	1/2	1/2	1	1	1/2	1/3	1	1/2	1/2	1	1/2	1/3	1/3	0,0302
F7	1/3	1/2	1	1	2	2	1	1/2	2	1	1	2	1	1/2	1/2	0,0543
F8	1/2	1	2	2	3	3	2	1	3	2	2	3	2	1	1	0,0984
F9	1/4	1/3	1/2	1/2	1	1	1/2	1/3	1	1/2	1/2	1	1/2	1/3	1/3	0,0302
F10	1/3	1/2	1	1	2	2	1	1/2	2	1	1	2	1	1/2	1/2	0,0543
F11	1/3	1/2	1	1	2	2	1	1/2	2	1	1	2	1	1/2	1/2	0,0543
F12	1/4	1/3	1/2	2	1	1	1/2	1/3	1	1/2	1/2	1	1/2	1/3	1/3	0,0302
F13	1/3	1/2	1	1	2	2	1	1/2	2	1	1	2	1	1/2	1/2	0,0543
F14	1/2	1	2	2	3	3	2	1	3	2	2	3	2	1	1	0,0984
F15	1/2	1	2	2	3	3	2	1	3	2	2	3	2	1	1	0,0984

$$\lambda_{max} = 15,74; CI = 0.0053; CR = 0.0033 < 0.1$$

TABLE 23 – Matrice de jugement des alternatifs par rapport au critère de température (C_{111})

Farms	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	W_{31}
F1	1	1/3	1/2	1/2	1/3	1/3	1/2	1/3	1/3	1/2	1/2	1/3	1/2	1/2	1/2	0,0265
F2	3	1	3	3	1	1	3	1	1	3	3	1	3	3	3	0,1092
F3	2	1/3	1	1	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1	1	1/3	1	1/2	1/2	0,0354
F4	2	1/3	1	1	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1	1	1/3	1	1/2	1/2	0,0354
F5	3	1	3	3	1	1	3	1	1	3	3	1	3	3	3	0,1092
F6	3	1	3	3	1	1	3	1	1	3	3	1	3	3	3	0,1092
F7	2	1/3	1	1	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1	1	1/3	1	1/2	1/2	0,0354
F8	3	1	3	3	1	1	3	1	1	3	3	1	3	3	3	0,1092
F9	3	1	3	3	1	1	3	1	1	3	3	1	3	3	3	0,1092
F10	2	1/3	1	1	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1	1	1/3	1	1/2	1/2	0,0354
F11	2	1/3	1	1	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1	1	1/3	1	1/2	1/2	0,0354
F12	3	1	3	3	1	1	3	1	1	3	3	1	3	3	3	0,1092
F13	2	1/3	1	1	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1	1	1/3	1	1/2	1/2	0,0354
F14	2	1/3	2	2	1/3	1/3	2	1/3	1/3	2	2	1/3	2	1	1	0,0523
F15	2	1/3	2	2	1/3	1/3	2	1/3	1/3	2	2	1/3	2	1	1	0,0523

$$\lambda_{max} = 15,289; CI = 0.021; CR = 0.013 < 0.1$$

TABLE 24 – Les poids des alternatives et les poids de chaque critère selon la hiérarchie de cas d'étude

W	0,0516	0,0353	0,1113	0,0733	0,0920	0,0230	0,0243	0,0493	0,0689	0,0218	0,0773	0,0360	0,0960	0,0182	0,0689	0,0429	0,0825	0,0275
	W_{111}	W_{112}	W_{113}	W_{114}	W_{121}	W_{122}	W_{131}	W_{132}	W_{211}	W_{212}	W_{213}	W_{22}	W_{23}	W_{31}	W_{32}	W_{33}	W_{41}	W_{42}
F1	0,0266	0,1592	0,0356	0,2005	0,0218	0,0684	0,0257	0,0460	0,0121	0,0133	0,1018	0,0128	0,0352	0,0630	0,0076	0,1093	0,0660	0,0897
F2	0,1093	0,0985	0,0482	0,0855	0,1031	0,0684	0,0479	0,1115	0,0979	0,1076	0,0329	0,1063	0,0916	0,0879	0,1075	0,1034	0,0774	0,0343
F3	0,0355	0,0543	0,0224	0,0308	0,0313	0,0281	0,0257	0,0454	0,0402	0,0337	0,0560	0,0343	0,0146	0,0255	0,0240	0,0675	0,0204	0,0652
F4	0,0355	0,0543	0,0124	0,0308	0,0313	0,0281	0,0359	0,1098	0,0538	0,0337	0,0560	0,0506	0,0198	0,0255	0,0329	0,0511	0,0537	0,1222
F5	0,1093	0,0302	0,0482	0,0855	0,1031	0,1075	0,1207	0,0686	0,0391	0,0337	0,1018	0,0349	0,1963	0,1397	0,0240	0,0675	0,0329	0,0897
F6	0,1093	0,0302	0,0341	0,0855	0,1031	0,1075	0,1207	0,0301	0,0279	0,0337	0,1018	0,0275	0,1159	0,1038	0,0168	0,0355	0,1352	0,0235
F7	0,0355	0,0543	0,1041	0,0308	0,0628	0,0403	0,1207	0,0227	0,0408	0,0337	0,0560	0,0339	0,1635	0,1397	0,0230	0,0523	0,0564	0,0703
F8	0,1093	0,0985	0,0482	0,0855	0,1031	0,0621	0,0479	0,0301	0,0802	0,0827	0,0214	0,0687	0,0342	0,0375	0,0615	0,0675	0,0839	0,0371
F9	0,1093	0,0302	0,1529	0,0855	0,1031	0,0621	0,0302	0,1766	0,1203	0,1394	0,0214	0,1400	0,0149	0,0240	0,1441	0,0368	0,016	0,1216
F10	0,0355	0,0543	0,0742	0,0308	0,0372	0,0265	0,1187	0,0733	0,0264	0,0297	0,1018	0,0265	0,1206	0,1380	0,0165	0,0368	0,1352	0,0352
F11	0,0355	0,0543	0,0301	0,0308	0,0381	0,0392	0,0247	0,0477	0,0264	0,0297	0,0560	0,0261	0,0151	0,0250	0,018	0,0253	0,0339	0,1216
F12	0,1093	0,0302	0,0742	0,0855	0,1093	0,1075	0,0331	0,0843	0,1666	0,1508	0,0329	0,1465	0,0398	0,0515	0,2778	0,1111	0,0557	0,0457
F13	0,0355	0,0543	0,1022	0,0308	0,0569	0,0392	0,0479	0,0308	0,0522	0,0344	0,0560	0,0525	0,023	0,0352	0,0326	0,0263	0,1331	0,0159
F14	0,0524	0,0985	0,1908	0,0509	0,0513	0,1075	0,1229	0,0754	0,1261	0,1387	0,1018	0,1465	0,0954	0,0784	0,1428	0,1049	0,0296	0,1111
F15	0,0524	0,0985	0,0225	0,0509	0,0442	0,1075	0,0774	0,0477	0,0902	0,1050	0,1018	0,093	0,0201	0,0253	0,071	0,1049	0,0707	0,0168

TABLE 25 – Matrice de décision normalisée pondérée des alternatifs

	W_{111}	W_{112}	W_{113}	W_{114}	W_{121}	W_{122}	W_{131}	W_{132}	W_{211}	W_{212}	W_{213}	W_{22}	W_{23}	W_{31}	W_{32}	W_{33}	W_{41}	W_{42}
F1	0,0014	0,0056	0,0040	0,0147	0,0020	0,0016	0,0006	0,0023	0,0008	0,0003	0,0079	0,0005	0,0034	0,0011	0,0005	0,0047	0,0054	0,0025
F2	0,0056	0,0035	0,0054	0,0063	0,0095	0,0016	0,0012	0,0055	0,0067	0,0023	0,0025	0,0038	0,0088	0,0016	0,0074	0,0044	0,0064	0,0009
F3	0,0018	0,0019	0,0025	0,0023	0,0029	0,0006	0,0006	0,0022	0,0028	0,0007	0,0043	0,0012	0,0014	0,0005	0,0017	0,0029	0,0017	0,0018
F4	0,0018	0,0019	0,0014	0,0023	0,0029	0,0006	0,0009	0,0054	0,0037	0,0007	0,0043	0,0018	0,0019	0,0005	0,0023	0,0022	0,0044	0,0034
F5	0,0056	0,0011	0,0054	0,0063	0,0095	0,0025	0,0029	0,0034	0,0027	0,0007	0,0079	0,0013	0,0188	0,0025	0,0017	0,0029	0,0027	0,0025
F6	0,0056	0,0011	0,0038	0,0063	0,0095	0,0025	0,0029	0,0015	0,0019	0,0007	0,0079	0,0010	0,0111	0,0019	0,0012	0,0015	0,0112	0,0006
F7	0,0018	0,0019	0,0116	0,0023	0,0058	0,0009	0,0029	0,0011	0,0028	0,0007	0,0043	0,0012	0,0157	0,0025	0,0016	0,0022	0,0047	0,0019
F8	0,0056	0,0035	0,0054	0,0063	0,0095	0,0014	0,0012	0,0015	0,0055	0,0018	0,0017	0,0025	0,0033	0,0007	0,0042	0,0029	0,0069	0,0010
F9	0,0056	0,0011	0,0170	0,0063	0,0095	0,0014	0,0007	0,0087	0,0083	0,003	0,0017	0,0050	0,0014	0,0004	0,0099	0,0016	0,0013	0,0033
F10	0,0018	0,0019	0,0083	0,0023	0,0034	0,0006	0,0029	0,0036	0,0018	0,0006	0,0079	0,0010	0,0116	0,0025	0,0011	0,0016	0,0112	0,0010
F11	0,0018	0,0019	0,0034	0,0023	0,0035	0,0009	0,0006	0,0023	0,0018	0,0006	0,0043	0,0009	0,0014	0,0005	0,0012	0,0011	0,0028	0,0033
F12	0,0056	0,0011	0,0083	0,0063	0,0101	0,0025	0,0008	0,0042	0,0115	0,0033	0,0025	0,0053	0,0038	0,0009	0,0191	0,0048	0,0046	0,0013
F13	0,0018	0,0019	0,0114	0,0023	0,0052	0,0009	0,0012	0,0015	0,0036	0,0008	0,0043	0,0019	0,0022	0,0006	0,0022	0,0011	0,011	0,0004
F14	0,0027	0,0035	0,0212	0,0037	0,0047	0,0025	0,0030	0,0037	0,0087	0,003	0,0079	0,0053	0,0092	0,0014	0,0098	0,0045	0,0024	0,0031
F15	0,0027	0,0035	0,0025	0,0037	0,0041	0,0025	0,0019	0,0023	0,0062	0,0023	0,0079	0,0033	0,0019	0,0005	0,0049	0,0045	0,0058	0,0005
A ⁺	0,0056	0,0056	0,0212	0,0147	0,0101	0,0025	0,003	0,0087	0,0115	0,0033	0,0079	0,0053	0,0188	0,0025	0,0191	0,0048	0,0112	0,0034
A ⁻	0,0014	0,0011	0,0014	0,0023	0,002	0,0006	0,0006	0,0011	0,0008	0,0003	0,0017	0,0005	0,0014	0,0004	0,0005	0,0011	0,0013	0,0004

Bibliographie

- Acharya, V., Sharma, S.K., Gupta, S.K., 2018. Analyzing the factors in industrial automation using analytic hierarchy process. *Computers & Electrical Engineering* 71, 877–886.
- Agrebi, M., 2018. Méthodes d'aide à la décision multi-attribut et multi-acteur pour résoudre le problème de sélection dans un environnement certain/incertain : cas de la localisation des centres de distribution. Ph.D. thesis. Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis; Université de Sfax (Tunisie).
- Ahumada, O., Villalobos, J.R., 2009. Application of planning models in the agri-food supply chain : A review. *European journal of Operational research* 196, 1–20.
- Ahumada, O., Villalobos, J.R., 2011a. Operational model for planning the harvest and distribution of perishable agricultural products. *International Journal of Production Economics* 133, 677–687.
- Ahumada, O., Villalobos, J.R., 2011b. A tactical model for planning the production and distribution of fresh produce. *Annals of Operations Research* 190, 339–358.
- Ahumada, O., Villalobos, J.R., Mason, A.N., 2012. Tactical planning of the production and distribution of fresh agricultural products under uncertainty. *Agricultural Systems* 112, 17–26.
- Ameseder, C., Meixner, O., Haas, R., Fritz^o, M., Schiefer^o, G., 2008. Measurement of the importance of trust elements in agrifood chains : an. *Journal on Chain and Network Science* 8, 153–160.
- Ameyaw, E.E., Hu, Y., Shan, M., Chan, A.P., Le, Y., 2016. Application of delphi method in construction engineering and management research : a quantitative perspective. *Journal of Civil Engineering and Management* 22, 991–1000.

BIBLIOGRAPHIE

- Amorim, P., Meyr, H., Almeder, C., Almada-Lobo, B., 2013. Managing perishability in production-distribution planning : a discussion and review. *Flexible Services and Manufacturing Journal* 25, 389–413.
- Anojkumar, L., Ilangkumaran, M., Sasirekha, V., 2014. Comparative analysis of mcdm methods for pipe material selection in sugar industry. *Expert systems with applications* 41, 2964–2980.
- Aramyan, L.H., Lansink, A.G.O., Van Der Vorst, J.G., Van Kooten, O., 2007. Performance measurement in agri-food supply chains : a case study. *Supply Chain Management : An International Journal* .
- Asadabadi, M., 2014. A hybrid qfd-based approach in addressing supplier selection problem in product improvement process. *International Journal of Industrial Engineering Computations* 5, 543–560.
- Aung, M.M., Chang, Y.S., 2014. Temperature management for the quality assurance of a perishable food supply chain. *Food Control* 40, 198–207.
- Baffoe, G., 2019. Exploring the utility of analytic hierarchy process (ahp) in ranking livelihood activities for effective and sustainable rural development interventions in developing countries. *Evaluation and program planning* 72, 197–204.
- Banaeian, N., Mobli, H., Fahimnia, B., Nielsen, I.E., Omid, M., 2018. Green supplier selection using fuzzy group decision making methods : A case study from the agri-food industry. *Computers & Operations Research* 89, 337–347.
- Banasik, A., Bloemhof-Ruwaard, J.M., Kanellopoulos, A., Claassen, G., van der Vorst, J.G., 2018. Multi-criteria decision making approaches for green supply chains : a review. *Flexible Services and Manufacturing Journal* 30, 366–396.
- Berman, L., Jackson, J., Miller, K., Kowalski, R., Kolm, P., Luks, F.I., 2018. Expert surgical consensus for prenatal counseling using the delphi method. *Journal of pediatric surgery* 53, 1592–1599.
- Bhutta, K.S., Huq, F., 2002. Supplier selection problem : a comparison of the total cost of ownership and analytic hierarchy process approaches. *Supply Chain Management : an international journal* .

BIBLIOGRAPHIE

- Boran, F.E., Genç, S., Kurt, M., Akay, D., 2009. A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with topsis method. *Expert Systems with Applications* 36, 11363–11368.
- Borodin, V., 2014. Optimisation et simulation d'une chaîne logistique : application au secteur de l'agriculture. Ph.D. thesis. Troyes.
- BOUDAHRI, F., 2013. Conception et Pilotage d'une Chaîne Logistique Agro-alimentaire. Application : produits de volaille dans la ville de Tlemcen. Ph.D. thesis.
- Boukhari, S., Djebbar, Y., Amarchi, H., Sohani, A., 2018. Application of the analytic hierarchy process to sustainability of water supply and sanitation services : the case of algeria. *Water Science and Technology : Water Supply* 18, 1282–1293.
- Bouzon, M., Govindan, K., Rodriguez, C.M.T., Campos, L.M., 2016. Identification and analysis of reverse logistics barriers using fuzzy delphi method and ahp. *Resources, Conservation and Recycling* 108, 182–197.
- Cables, E., García-Cascales, M.S., Lamata, M.T., 2012. The Itopsis : An alternative to topsis decision-making approach for linguistic variables. *Expert Systems with Applications* 39, 2119–2126.
- Catalá, L.P., Durand, G.A., Blanco, A.M., Bandoni, J.A., 2013. Mathematical model for strategic planning optimization in the pome fruit industry. *Agricultural Systems* 115, 63–71.
- Chaboud, G., 2017. Assessing food losses and waste with a methodological framework : Insights from a case study. *Resources, Conservation and Recycling* 125, 188–197.
- Chakraborty, R.K., Hasin, M.A.A., Sarker, R.A., Essam, D.L., 2015. A possibilistic environment based particle swarm optimization for aggregate production planning. *Computers & Industrial Engineering* 88, 366–377.
- Chan, F.S., 2003. Interactive selection model for supplier selection process : an analytical hierarchy process approach. *International Journal of Production Research* 41, 3549–3579.
- Chan, F.T., Kumar, N., 2007. Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended ahp-based approach. *Omega* 35, 417–431.

BIBLIOGRAPHIE

- Chen, S.M., Cheng, S.H., Lan, T.C., 2016. Multicriteria decision making based on the topsis method and similarity measures between intuitionistic fuzzy values. *Information Sciences* 367, 279–295.
- Cheraghalipour, A., Paydar, M.M., Hajiaghaei-Keshteli, M., 2018. Applying a hybrid bwm-vikor approach to supplier selection : a case study in the iranian agricultural implements industry. *International Journal of Applied Decision Sciences* 11, 274–301.
- Cherier, M.A., Meliani, S.M., 2019. Supplier selection on agrifood supply chain : a delphi-ahp-topsis methodology. *International Journal of Knowledge Engineering and Data Mining* 6, 307–330.
- Cho, J., Lee, J., 2013. Development of a new technology product evaluation model for assessing commercialization opportunities using delphi method and fuzzy ahp approach. *Expert Systems with Applications* 40, 5314–5330.
- Choi, T.Y., Hartley, J.L., 1996. An exploration of supplier selection practices across the supply chain. *Journal of operations management* 14, 333–343.
- Chopra, S., Meindl, P., 2007. Supply chain management. strategy, planning & operation, in : *Das summa summarum des management*. Springer, pp. 265–275.
- Chopra, S., Meindl, P., Kalra, D.V., 2013. *Supply chain management : strategy, planning, and operation*. volume 232. Pearson Boston, MA.
- Christopher, M., 2005. *Logistics and supply chain management : creating value-adding networks*. Pearson education.
- Chu, H.C., Hwang, G.J., 2008. A delphi-based approach to developing expert systems with the cooperation of multiple experts. *Expert systems with applications* 34, 2826–2840.
- Cox, J.F., Blackstone, J.H., 1998. *The educational society for resource management*. Fall church, VA 104.
- Damião Rocco, C., Morabito, R., 2014. Scheduling of production and logistics operations of steam production systems in food industries : a case study of the tomato processing industry. *Journal of the Operational Research Society* 65, 1896–1904.

BIBLIOGRAPHIE

- Darko, A., Chan, A.P.C., Ameyaw, E.E., Owusu, E.K., Pärn, E., Edwards, D.J., 2019. Review of application of analytic hierarchy process (ahp) in construction. *International Journal of Construction Management* 19, 436–452.
- De Boer, L., Labro, E., Morlacchi, P., 2001. A review of methods supporting supplier selection. *European journal of purchasing & supply management* 7, 75–89.
- Deng, X., Hu, Y., Deng, Y., Mahadevan, S., 2014. Supplier selection using ahp methodology extended by d numbers. *Expert Systems with Applications* 41, 156–167.
- Dharmarajan, R., Sharmila, C., 2016. The evaluation of topsis and fuzzy-topsis method for decision making system in data mining. *Int Res J Eng Technol (IRJET)* 3.
- Dinu, M.D., 2016. Supply chain performance within agri food sector. *Economics of Agriculture* 63, 919–928.
- Dominguez, H., Lashkari, R., 2004. Model for integrating the supply chain of an appliance company : a value of information approach. *International Journal of Production Research* 42, 2113–2140.
- Dweiri, F., Kumar, S., Khan, S.A., Jain, V., 2016. Designing an integrated ahp based decision support system for supplier selection in automotive industry. *Expert Systems with Applications* 62, 273–283.
- Ellram, L.M., 1990. The supplier selection decision in strategic partnerships. *Journal of Purchasing and materials Management* 26, 8–14.
- Emovon, I., Norman, R.A., Murphy, A.J., 2018. Hybrid mcdm based methodology for selecting the optimum maintenance strategy for ship machinery systems. *Journal of intelligent manufacturing* 29, 519–531.
- Fahimnia, B., Farahani, R.Z., Sarkis, J., 2013. Integrated aggregate supply chain planning using memetic algorithm—a performance analysis case study. *International Journal of Production Research* 51, 5354–5373.
- FAO, 2011. Food and agriculture organization. (accessed 09 may 2020) URL : <http://www.fao.org/food-loss-and-food-waste/en/>.
- FAO, 2017. Food and agriculture organization. (accessed 20 december 2020) URL : <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>.

BIBLIOGRAPHIE

- Fattahi, E., Nookabadi, A.S., Kadivar, M., 2013. A model for measuring the performance of the meat supply chain. *British Food Journal* .
- Fox, M.S., Chionglo, J.F., Barbuceanu, M., 1993. The integrated supply chain management system. Technical Report. Technical report, Department of Industrial Engineering, University of Toronto.
- Francois, J., 2007. Planification des chaînes logistiques : Modélisation du système décisionnel et performance. Ph.D. thesis.
- Gaddour, A., Ouni, M., Najari, S., Abdennebi, M., Mekki, I., 2012. Effet du facteur hétérosis sur la croissance des chevreaux dans l'oasis de la délégation du mareth du sud tunisien. *Journal of Agriculture and Environment for International Development (JAEID)* 106, 61–71.
- Gameiro, A.H., Caixeta Filho, J.V., Rocco, C.D., Rangel, R., 2008. Modelagem e gestão das perdas no suprimento de tomates para processamento industrial. *Gestão & Produção* 15, 101–115.
- Ganeshan, R., Jack, E., Magazine, M.J., Stephens, P., 1999. A taxonomic review of supply chain management research, in : *Quantitative models for supply chain management*. Springer, pp. 839–879.
- Genin, P., 2003. Planification tactique robuste avec usage d'un advanced planning system : Proposition d'un mode de gestion par plan de référence. Ph.D. thesis. Paris, ENMP.
- Geunes, J., Chang, B., 2009. Operations research models for supply chain management and design.
- Ghodsypour, S.H., O'Brien, C., 1998. A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming. *International journal of production economics* 56, 199–212.
- Goepel, K.D., 2018. Implementation of an online software tool for the analytic hierarchy process (ahp-os). *International Journal of the Analytic Hierarchy Process* 10.
- Govindan, K., Rajendran, S., Sarkis, J., Murugesan, P., 2015. Multi criteria decision making approaches for green supplier evaluation and selection : a literature review. *Journal of Cleaner Production* 98, 66–83.

BIBLIOGRAPHIE

- Gumus, A.T., 2009. Evaluation of hazardous waste transportation firms by using a two step fuzzy-ahp and topsis methodology. *Expert systems with applications* 36, 4067–4074.
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., Van Otterdijk, R., Meybeck, A., 2011. Global food losses and food waste.
- Habibi, A., Sarafrazi, A., Izadyar, S., 2014. Delphi technique theoretical framework in qualitative research. *The International Journal of Engineering and Science* 3, 8–13.
- Handfield, R.B., Bechtel, C., 2002. The role of trust and relationship structure in improving supply chain responsiveness. *Industrial marketing management* 31, 367–382.
- Harputlugil, T., Prins, M., Gültekin, A.T., Topçu, Y.I., 2011. Conceptual framework for potential implementations of multi criteria decision making (mcdm) methods for design quality assessment .
- Hirakubo, N., Kublin, M., 1998. The relative importance of supplier selection criteria : the case of electronic components procurement in japan. *Journal of Supply Chain Management* 34, 19.
- Hsieh, L.F., Chin, J.B., Wu, M.C., 2006. Performance evaluation for university electronic libraries in taiwan. *The Electronic Library* .
- Huang, I.B., Keisler, J., Linkov, I., 2011. Multi-criteria decision analysis in environmental sciences : ten years of applications and trends. *Science of the total environment* 409, 3578–3594.
- Hugos, M., 2003. *Essentials of supply chain management* john wiley & sons. Inc. New Jersey .
- Humphrey-Murto, S., de Wit, M., 2019. The delphi method?more research please. *Journal of clinical epidemiology* 106, 136–139.
- Hwang, C.L., Yoon, K., 1981. Methods for multiple attribute decision making, in : *Multiple attribute decision making*. Springer, pp. 58–191.
- Igoulalene, I., 2014. Développement d'une approche floue multicritère d'aide à la coordination des décideurs pour la résolution des problèmes de sélection dans les chaines logistiques. Ph.D. thesis. Aix-Marseille.

BIBLIOGRAPHIE

- ITCMI, 2010. Institut technique des cultures maraîchères et industrielles. (accessed 23 december 2018) URL : http://www.itcmidz.org/index_htm_files/TOMATE%20IDUSTRIELLE.pdf.
- Jones, J., Hunter, D., 1995. Consensus methods for medical and health services research. *BMJ : British Medical Journal* 311, 376.
- Jonker, J., Junginger, H., Verstegen, J., Lin, T., Rodríguez, L., Ting, K., Faaij, A., van der Hilst, F., 2016. Supply chain optimization of sugarcane first generation and eucalyptus second generation ethanol production in brazil. *Applied Energy* 173, 494–510.
- Joshi, R., Banwet, D., Shankar, R., 2011. A delphi-ahp-topsis based benchmarking framework for performance improvement of a cold chain. *Expert Systems with Applications* 38, 10170–10182.
- Junior, F.R.L., Osiro, L., Carpinetti, L.C.R., 2014. A comparison between fuzzy ahp and fuzzy topsis methods to supplier selection. *Applied Soft Computing* 21, 194–209.
- Kahraman, C., Cebeci, U., Ulukan, Z., 2003. Multi-criteria supplier selection using fuzzy ahp. *Logistics information management* .
- Kamali, M., HosseinniaKani, S.M., Asghar, A., 2015. Application of delphi-ahp approach for criteria prioritization of large extractive industrial units site selection, in : *IMC 2015 International Management Conference 26th June 2015*, p. 238.
- Kamaruzzaman, S.N., Lou, E.C.W., Wong, P.F., Wood, R., Che-Ani, A.I., 2018. Developing weighting system for refurbishment building assessment scheme in malaysia through analytic hierarchy process (ahp) approach. *Energy Policy* 112, 280–290.
- Kannan, V.R., Tan, K.C., 2002. Supplier selection and assessment : Their impact on business performance. *Journal of supply chain management* 38, 11–21.
- Karahalios, H., 2017. The application of the ahp-topsis for evaluating ballast water treatment systems by ship operators. *Transportation Research Part D : Transport and Environment* 52, 172–184.
- Kilger, C., Schneeweiss, L., 2002. Demand fulfilment and atp, in : *Supply chain management and advanced planning*. Springer, pp. 161–175.

BIBLIOGRAPHIE

- Kim, M., Jang, Y.C., Lee, S., 2013. Application of delphi-ahp methods to select the priorities of weee for recycling in a waste management decision-making tool. *Journal of environmental management* 128, 941–948.
- Kirytopoulos, K., Leopoulos, V., Voulgaridou, D., 2008. Supplier selection in pharmaceutical industry. *Benchmarking : An International Journal* .
- Kittiyankajon, M., Chetchotsak, D., 2018. Group decision making for strategy prioritisation using hybrid aggregation : a case study of sugar industry in thailand. *International Journal of Applied Management Science* 10, 338–361.
- Kovács, G.L., Paganelli, P., 2003. A planning and management infrastructure for large, complex, distributed projects?beyond erp and scm. *Computers in Industry* 51, 165–183.
- Ku, C.Y., Chang, C.T., Ho, H.P., 2010. Global supplier selection using fuzzy analytic hierarchy process and fuzzy goal programming. *Quality & Quantity* 44, 623–640.
- Kusumastuti, R.D., Van Donk, D.P., Teunter, R., 2016. Crop-related harvesting and processing planning : a review. *International Journal of Production Economics* 174, 76–92.
- Lau, H., Nakandala, D., Shum, P.K., 2018. A business process decision model for fresh-food supplier evaluation. *Business Process Management Journal* .
- Lee, P.T.W., Yang, Z., 2018. *Multi-Criteria Decision Making in Maritime Studies and Logistics*. Springer.
- Lummus, R.R., Vokurka, R.J., 1999. Defining supply chain management : a historical perspective and practical guidelines. *Industrial Management & Data Systems* .
- Luthra, S., Govindan, K., Kannan, D., Mangla, S.K., Garg, C.P., 2017. An integrated framework for sustainable supplier selection and evaluation in supply chains. *Journal of Cleaner Production* 140, 1686–1698.
- Makeham, J.P., Malcolm, L., 1993. *The farming game now*. Cambridge University Press.
- Merzouk, S.E., 2007. *Problème de dimensionnement de lots et de livraisons : application au cas de la chaîne logistique*. Ph.D. thesis. Besançon.

BIBLIOGRAPHIE

- Mouloua, Z., 2007. Ordonnements coopératifs pour les chaînes logistiques. Ph.D. thesis.
- Munhoz, J.R., Morabito, R., 2014. Optimization approaches to support decision making in the production planning of a citrus company : A brazilian case study. *Computers and Electronics in Agriculture* 107, 45–57.
- Nădăban, S., Dzitac, S., Dzitac, I., 2016. Fuzzy topsis : A general view. *Procedia Computer Science* 91, 823–831.
- Ni-Di, Z., Ming-Xian, L., 2010. The choice and evaluation of agri-food supplier based on ahp, in : 2010 2nd IEEE International Conference on Information Management and Engineering, IEEE. pp. 484–489.
- Ocampo, L., Ebisa, J.A., Ombe, J., Escoto, M.G., 2018. Sustainable ecotourism indicators with fuzzy delphi method—a philippine perspective. *Ecological indicators* 93, 874–888.
- Oguztimur, S., 2011. Why fuzzy analytic hierarchy process approach for transport problems? .
- Ouzizi, L., 2005. Planification de la production par co-décision et négociation de l'entreprise virtuelle. Ph.D. thesis. Université Paul Verlaine-Metz.
- Pedroso, G., Bermann, C., Sanches-Pereira, A., 2018. Combining the functional unit concept and the analytic hierarchy process method for performance assessment of public transport options. *Case Studies on Transport Policy* 6, 722–736.
- Plà-Aragonés, L.M., 2015. Handbook of operations research in agriculture and the agri-food industry. Springer.
- Raka, C., Liangrokapart, J., 2017. An analytical hierarchy process (ahp) approach to risk analysis : a case study of a new generic drug development process. *Journal of Pharmaceutical Innovation* 12, 319–326.
- Richter, B., Bokelmann, W., 2016. Approaches of the german food industry for addressing the issue of food losses. *Waste Management* 48, 423–429.
- Rocco, C.D., Morabito, R., 2016a. Production and logistics planning in the tomato processing industry : A conceptual scheme and mathematical model. *Computers and electronics in agriculture* 127, 763–774.

BIBLIOGRAPHIE

- Rocco, C.D., Morabito, R., 2016b. Robust optimisation approach applied to the analysis of production/logistics and crop planning in the tomato processing industry. *International Journal of Production Research* 54, 5842–5861.
- Roy, B., 1985. *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*. BOOK, Economica.
- Saaty, T., 1980. The analytic hierarchy process (ahp) for decision making, in : Kobe, Japan.
- Saaty, T.L., 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences* 1, 83–98.
- Sahoo, S., Dhar, A., Kar, A., 2016. Environmental vulnerability assessment using grey analytic hierarchy process based model. *Environmental Impact Assessment Review* 56, 145–154.
- Salin, V., 1998. Information technology in agri-food supply chains. *International food and agribusiness management review* 1, 329–334.
- San Martin, D., Orive, M., Martínez, E., Iñarra, B., Ramos, S., González, N., de Salas, A.G., Vázquez, L., Zufía, J., 2017. Decision making supporting tool combining ahp method with gis for implementing food waste valorisation strategies. *Waste and Biomass Valorization* 8, 1555–1567.
- Sarkis, J., Talluri, S., 2002. A model for strategic supplier selection. *Journal of supply chain management* 38, 18–28.
- Sekhar, C., Patwardhan, M., Vyas, V., 2015. A delphi-ahp-topsis based framework for the prioritization of intellectual capital indicators : A smes perspective. *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 189, 275–284.
- Shahroodi, K., Amin, K., Shabnam, A., Elnaz, S., Najibzadeh, M., 2012. Application of analytical hierarchy process (ahp) technique to evaluate and selecting suppliers in an effective supply chain. *Kuwait Chapter of Arabian Journal of Business and Management Review* 33, 1–14.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., Simchi-Levi, E., Shankar, R., 2008. *Designing and managing the supply chain : concepts, strategies and case studies*. Tata McGraw-Hill Education.

BIBLIOGRAPHIE

- Simpson, R., Almonacid, S., López, D., Abakarov, A., 2008. Optimum design and operating conditions of multiple effect evaporators : Tomato paste. *Journal of Food Engineering* 89, 488–497.
- Sitorus, F, Cilliers, J.J., Brito-Parada, P.R., 2019. An integrated constrained fuzzy stochastic analytic hierarchy process method with application to the choice problem. *Expert Systems with Applications* 138, 112822.
- Sofiane, B., 2018. La gestion durable des services d'eau potable et d'assainissement en Algérie. Ph.D. thesis. Université de L'université de Badji Mokhtar ANNABA.
- Soon, J.M., Davies, W., Chadd, S., Baines, R., 2012. A delphi-based approach to developing and validating a farm food safety risk assessment tool by experts. *Expert Systems with Applications* 39, 8325–8336.
- Soto-Silva, W.E., Nadal-Roig, E., González-Araya, M.C., Pla-Aragones, L.M., 2016. Operational research models applied to the fresh fruit supply chain. *European Journal of Operational Research* 251, 345–355.
- Stamm, C.L., Golhar, D.Y., 1993. Jit purchasing : attribute classification and literature review. *Production Planning & Control* 4, 273–282.
- Strand, J., Carson, R.T., Navrud, S., Ortiz-Bobea, A., Vincent, J.R., 2017. Using the delphi method to value protection of the amazon rainforest. *Ecological Economics* 131, 475–484.
- Tsagdis, A., 2008. The use of the Analytical Hierarchy Process as a source selection methodology and its potential application within the Hellenic Air Force. Technical Report. NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL MONTEREY CA.
- Tsai, H.Y., Chang, C.W., Lin, H.L., 2010. Fuzzy hierarchy sensitive with delphi method to evaluate hospital organization performance. *Expert Systems with Applications* 37, 5533–5541.
- Veisi, H., Liaghati, H., Alipour, A., 2016. Developing an ethics-based approach to indicators of sustainable agriculture using analytic hierarchy process (ahp). *Ecological Indicators* 60, 644–654.
- Vidal, L.A., Marle, F, Bocquet, J.C., 2011. Using a delphi process and the analytic hierarchy process (ahp) to evaluate the complexity of projects. *Expert systems with applications* 38, 5388–5405.

BIBLIOGRAPHIE

- Vinodh, S., Mulanur, G., Thiagarajan, A., 2013. Sustainable concept selection using modified fuzzy topsis : a case study. *International Journal of Sustainable Engineering* 6, 109–116.
- Wang, G., Huang, S.H., Dismukes, J.P., 2004. Product-driven supply chain selection using integrated multi-criteria decision-making methodology. *International journal of production economics* 91, 1–15.
- Wang, W.P., 2010. A fuzzy linguistic computing approach to supplier evaluation. *Applied Mathematical Modelling* 34, 3130–3141.
- Weber, C.A., Current, J.R., Benton, W., 1991. Vendor selection criteria and methods. *European journal of operational research* 50, 2–18.
- Wentholt, M.T., Fischer, A.R., Rowe, G., Marvin, H.J., Frewer, L.J., 2010. Effective identification and management of emerging food risks : Results of an international delphi survey. *Food Control* 21, 1731–1738.
- Wilson, E.J., 1994. The relative importance of supplier selection criteria : a review and update. *International Journal of Purchasing and Materials Management* 30, 34–41.
- Yu, M., Nagurney, A., 2013. Competitive food supply chain networks with application to fresh produce. *European Journal of Operational Research* 224, 273–282.
- Zavadskas, E.K., Turskis, Z., 2011. Multiple criteria decision making (mcdm) methods in economics : an overview. *Technological and economic development of economy* 17, 397–427.
- Zhang, Y., Wang, R., Huang, P., Wang, X., Wang, S., 2020. Risk evaluation of large-scale seawater desalination projects based on an integrated fuzzy comprehensive evaluation and analytic hierarchy process method. *Desalination* 478, 114286.
- Zhao, X., Xie, J., Leung, J., 2002. The impact of forecasting model selection on the value of information sharing in a supply chain. *European Journal of Operational Research* 142, 321–344.

Résumé

Dans cette thèse, nous avons traité le problème de l'optimisation de la chaîne logistique agroalimentaire. Le contenu de ce manuscrit est divisé en deux grandes parties. La première partie concerne le problème de choix de fournisseurs alors que la deuxième focalise sur l'optimisation de la production agricole en termes de récolte, transport, production industrielle, stockage et distribution.

Dans la première partie, nous avons intégré trois méthodes MCDM (Delphi, AHP et TOPSIS) afin de proposer une approche d'aide à la décision en ce qui concerne le problème de choix des fournisseurs. Une entreprise algérienne de conserverie de tomate constitue notre cas d'étude où le problème consiste à sélectionner les meilleurs fermes de tomates afin d'assurer une bonne qualité de la matière première fraîche.

Dans la deuxième partie, nous avons proposé un support décisionnel pour l'entreprise concernée. Cet outil vise la minimisation des pertes de la matière fraîche tout en respectant les contraintes liées aux périodes de plantation et de récolte pour chaque variété de tomate. Le support développé consiste en un modèle mathématique qui minimise les pertes et optimise les tâches liées à la plantation, la récolte, le transport, le système de production, le stockage et finalement la distribution des produits finis aux clients finaux.

Mots-clés : Modélisation, Optimisation, Chaîne Logistique Agroalimentaire, Tomate.

Abstract

In this thesis, we treated the problem of the optimization of the food supply chain. The content of this manuscript is divided into two main parts. The first part deals with the suppliers selection problem while the second part focuses on the agricultural production optimization, in terms of harvesting, transport, production, storage and distribution.

In the first part, we have integrated three MCDM methods (Delphi, AHP and TOPSIS) in order to propose a decision support approach to the supplier selection problem. An Algerian tomato canning company constitutes our case study where the problem consists to select the best tomato farms to ensure a good quality of fresh raw material.

In the second part, we proposed a decision support for the concerned company. This tool aims at minimizing losses of fresh material respecting the constraints related to the planting and harvesting periods for each tomato variety. The support developed consists of a mathematical model that minimizes losses and optimizes the tasks related to planting, harvesting, transport, production system, storage and finally the distribution of finished products to final customers.

Keywords: Modelling, Optimization, Agri-food Supply Chain, Tomato.

ملخص

في هذه الأطروحة، تناولنا مشكلة تحسين سلسلة توريد الأغذية الزراعية. ينقسم محتوى هذه المخطوطة إلى جزئين رئيسيين. يتعلق الجزء الأول بمشكلة اختيار الممونين بينما يركز الجزء الثاني على تحسين الإنتاج الزراعي من حيث الحصاد والنقل والإنتاج الصناعي والتخزين والتوزيع.

في الجزء الأول، قمنا بدمج ثلاث طرق لـ MCDM (Delphi و AHP و TOPSIS) من أجل اقتراح نهج دعم القرار فيما يتعلق بمشكلة اختيار الموردين. شركة تعليب طماطم جزائرية هي دراسة الحالة الخاصة بنا حيث تكمن المشكلة في اختيار أفضل مزارع الطماطم من أجل ضمان جودة جيدة للمواد الخام الطازجة.

في الجزء الثاني، قدمنا دعم اتخاذ القرار للشركة المعنية. تهدف هذه الأداة إلى تقليل فقد المواد الطازجة مع مراعاة القيود المتعلقة بفترات الزراعة والحصاد لكل صنف من الطماطم. يتكون الدعم الذي تم تطويره من نموذج رياضي يقلل الخسائر ويحسن المهام المتعلقة بالزراعة والحصاد والنقل ونظام الإنتاج والتخزين وأخيراً توزيع المنتجات النهائية للزبائن النهائيين.

الكلمات المفتاحية: النمذجة، التحسين، سلسلة التوريد الغذائي، الطماطم.