

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية

الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد – تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



THESE

Présentée pour l'obtention du **grade de DOCTORAT 3^{ème} Cycle**

En : Génie Industriel

Spécialité : Génie Industriel

Par : TAHRAOUI Nacéra

Sujet

Planification et optimisation d'une chaîne logistique de valeur : cas d'étude de la chaîne logistique avicole.

Soutenue publiquement, le 13/07/ 2023, devant le jury composé de :

M. MIRI Sofiane	Professeur	Université. Tlemcen	Président
M. SOUIER Mehdi	Professeur	Université. Tlemcen	Examineur 1
M. BOUDAHRI Fethi	Professeur	Université. Tlemcen	Examineur 2
Mme. BOUTIFOUR Zohra	MCA	ENPO Oran	Examineur 3
Mme TRIQUI-SARI Lamia	MCA	Université. Tlemcen	Directeur de thèse
M. BENNEKROUF Mohammed	MCA	ESSA Tlemcen	Co- Directeur de thèse

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

يَرْفَعُ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ
دَرَجَاتٍ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ

سورة المجادلة، آية: 11

Remerciements

Avant tout, je tiens à exprimer ma gratitude à ALLAH, le Tout-Puissant, pour m'avoir accordé la volonté, la force et la patience nécessaires pour mener à bien ce travail.

Je tiens à exprimer ma sincère reconnaissance à ma directrice de thèse, **Mme. TRIQUI-SARI Lamia** Maitre de Conférence à l'Université de Tlemcen, pour sa supervision et le suivi de cette thèse de doctorat. Je suis profondément reconnaissante pour les efforts, sa disponibilité et son aide précieuse pour l'achèvement de cette thèse. Je tiens à témoigner ma gratitude pour le soutien qu'elle m'a apporté, sa compréhension, au cours de mes études. Merci infiniment.

Je tiens vivement à remercier mon co-directeur de cette thèse, **M. BENNKROUF Mohammed** Maitre de Conférence à l'Ecole Supérieure en Science Appliquées-Tlemcen, ses efforts, ses précieux conseils, son soutien et ses justes critiques qui témoignent de l'intérêt qu'il a porté à ce travail de thèse. Merci infiniment.

Je tiens à exprimer mes remerciements aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer mon travail de thèse. J'exprime ma profonde reconnaissance à **M. MIRI, Sofiane** Professeur à l'Université de Tlemcen d'avoir accepté de présider le jury de cette thèse. Je remercie **M. SOUIER Mehdi** Professeur à l'Université de Tlemcen, pour l'intérêt qu'il m'a fait d'être examinateur de cette thèse.

Mes vifs remerciements **Mme. BOUTIFOUR Zohra** Maitre de conférences à l'ENPO Oran, pour l'honneur qu'elle nous a fait en acceptant d'évaluer notre travail. Je remercie également **M. BOUDAHRI Fethi** Professeur à l'Université de Tlemcen, pour sa contribution précieuse à notre travail en offrant ses compétences et ses expertises pour l'évaluation de ce travail.

Mes vifs remerciements à **M. MOUSSAOUI Youcef** directeur de l'entreprise Remchavi-Ain kihel et son staff pour m'avoir accueilli, et de m'avoir fourni tous les renseignements nécessaires.

Enfin, Je voudrais exprimer ma profonde gratitude à tous ceux qui ont croisé mon chemin professionnel notamment les membres du laboratoire MELT, les enseignants et les doctorants. Je remercie également à tous ceux qui m'ont aidée scientifiquement, matériellement et moralement pour réaliser cette thèse.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire,

A la mémoire de mes parents.

J'aurais tant aimé que vous soyez présents. Que Dieu ait vos âmes dans sa sainte miséricorde.

A mes chers frères et mon beau-frère,

Les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour vous. Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite. Puisse Dieu vous prêter longue vie.

A mes chères sœurs et à ma belle-sœur,

En témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour vous. Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous m'avez apporté. Vous présentez pour moi la source de tendresse et l'exemple de dévouement qui m'a encouragé. Puisse Dieu vous prêter longue vie, beaucoup de santé et de bonheur dans la vie.

A mes chères nièces

Aucune dédicace ne saurait exprimer tout l'amour que j'ai pour vous, Votre joie et votre gaieté me comblent de bonheur. Puisse Dieu vous garder, éclairer votre chemin et vous aider à réaliser vos vœux les plus chers.

A mes directeurs de thèse

Mme TRIQUI-SARI Lamia et M. BENNKEROUF Mohammed

A mes chères amies

En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble. Je vous exprime mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère.

Table des matières

Liste des figures	9
Liste des Tableaux	11
Introduction générale	13
Chapitre 1 : Généralités sur la chaîne logistique agroalimentaire	16
1 Introduction	16
2 La chaîne logistique.....	17
2.1 Définition de la chaîne logistique.....	17
2.2 L'objectif de la chaîne logistique	18
2.3 Les maillons de la chaîne logistique	18
2.4 Les flux d'une chaîne logistique	19
3 La chaîne logistique agroalimentaire.....	20
4 La planification de la chaîne logistique.....	21
4.1 Les niveaux de décisions de la planification dans la chaîne logistique	21
4.1.1 Niveau stratégique	22
4.1.2 Niveau tactique	22
4.1.3 Niveau opérationnel.....	22
4.1.4 La différence entre ces décisions	23
4.2 Etat de l'art de la planification de la chaîne logistique agroalimentaire	23
5 La chaîne logistique avicole	26
5.1 La description de la chaîne avicole de poulets de chair	26
5.1.1 Fermes d'élevage des poules reproductrices.....	27
5.1.2 Unités de Couvoir	27
5.1.3 Fermes d'élevage de poulets de chair	27
5.1.4 Unité d'abattage et de transformation.....	28
5.1.5 Centre de distribution.....	28
5.2 État de l'art la chaîne avicole	28
5.3 L'élevage de poulets de chair.....	31
5.3.1 Les modes d'élevage du poulet.....	31
5.3.2 Les étapes d'élevage intensif de poulets de chair	32
5.3.3 Les coûts d'élevage du poulet de chair	35
6 Conclusion.....	36

Chapitre 2 : Planification et optimisation d'un réseau avicole dans une approche dynamique à horizon multiples	37
1 Introduction	37
2 Description de la problématique.....	39
3 Planification de la production de la chaîne étudiée	41
3.1 Etapes de résolution	42
3.1.1 Approche économique	42
3.1.2 Approche équitable	50
3.1.3 Approche de mutualisation	55
4 Planification multi horizon	65
4.1 La configuration multi horizons simultanée.....	65
4.2 Multi horizon intégré.....	67
4.3 Modélisation mathématique	68
4.4 Application numérique	69
4.5 Résultats numériques.....	70
4.5.1 Comparaison entre multi horizon simultané et multi horizon intégré	70
4.5.2 Étude de prix de vente.....	74
5 Approche qualitative.....	75
5.1 Formulation mathématique	75
5.2 Application numérique	77
5.3 Résultats et discussion.....	78
6 Conclusion	80
Chapitre 3 : planification tactique-opérationnelle d'une unité d'abattage.....	82
1 Introduction	82
2 Etat de l'art	84
3 La problématique.....	87
3.1 Description du fonctionnement de l'unité d'abattage	87
3.2 La problématique.....	92
3.3 Démarche de résolution.....	92
4 Modélisation mathématique	93
5 Application numérique	100
5.1 Les demandes de l'horizon d'étude.....	101

5.2	Les coûts.....	101
5.3	Les données liées à l'unité de production	102
6	Résultats et discussions	103
6.1	Le planning de travail.....	103
6.2	La planification de la production	104
6.3	Gestion de poulets congelé.....	105
7	Comparaison entre la gestion l'unité avant et après la planification	106
7.1	Planning de travail.....	106
7.2	Gestion de la production	107
7.3	Le taux de satisfaction de la demande.....	107
7.4	Gestion de stock du poulet surgelé.....	110
8	Conclusion	111
	Chapitre 4 : Planification multi-objectives.	112
1	Introduction	112
2	Etat de l'art	113
3	La première étude : coût vs environnement.....	114
3.1	Description de la problématique	115
3.2	Modélisation mathématique	115
3.3	Démarche de résolution.....	115
3.3.1	La première configuration : minimisation du coût énergétique.....	116
3.3.2	La deuxième configuration : minimisation des émissions de CO2.....	117
3.3.3	La troisième configuration : Optimisation bi-objectifs.....	118
3.4	Application numérique.....	119
3.5	Résultats et discussion.....	120
3.5.1	Comparaison des configurations proposés.....	120
3.5.2	L'impact des coefficients de pondération	121
4	La deuxième étude : consommation énergétique vs qualité de poulet	124
4.1	Description de la problématique	125
4.2	Formulation mathématique	126
4.3	Approche de résolution	128
4.4	Résultats et discussion.....	129
4.4.1	La 1 ^{ière} configuration : minimisation de coût énergétique	129

4.4.2	La 2ème configuration : maximisation de la valeur de la qualité	131
4.4.3	Troisième configuration : Optimisation bi-objectifs.....	132
4.4.4	Comparaison entre les trois configurations.....	132
5	Conclusion	134
	Conclusion générale.....	135
	Références bibliographiques	137
	Résumé.....	145

Liste des figures

Figure 1: la chaîne logistique.....	17
Figure 2: la chaîne logistique agroalimentaire.....	20
Figure 3: La chaîne logistique avicole.....	27
Figure 4: le réseau de la chaîne avicole étudiée.....	39
Figure 5: La répartition des bandes d'élevage sur un horizon de planification.....	44
Figure 6: Comparaison de taux de collaboration entre les deux approches pour chaque ferme du réseau.	54
Figure 7: L'horizon de planification avec deux bandes d'élevage.	55
Figure 8: Comparaison entre les deux approches économique et mutualisation.	64
Figure 9: Multi-horizons simultanés appliqués sur la chaîne logistique avicole.	66
Figure 10: Multi horizon intégré appliqué sur une chaîne logistique avicole.....	67
Figure 11: Les demandes annuel du centre d'abattage.....	69
Figure 12: Comparaison du nombre de reproductions entre le multi-horizon simultané et l'horizon multi-intégré.....	73
Figure 13 :Comparaison du prix de vente avant et après la planification.....	74
Figure 14: La chaîne logistique avicole avec description de l'unité d'abattage..	88
Figure 15: Le processus de transformation de poulets vivants en multi-produits.	89
Figure 16: Les activités de production des produits de l'unité.....	89
Figure 17: Les activités de production du produit 1 à partir du premier groupe.	90
Figure 18: Les activités de production des produits 2 et 3 à partir du deuxième groupe. ..	90
Figure 19: les activités de production des produits 4, 5, et 6 à partir du troisième groupe.	91
Figure 20: l'estimation des demandes des clients pour l'horizon de planification.....	101
Figure 21: la répartition des quantités de poulets entrants à l'abattoir pour la production des différents produits sur tous les jours de la période.	105
Figure 22: La gestion des poulets surgelés.	106
Figure 23 : Les quantités des poulets surgelés stockés avant la planification.	108
Figure 24: Comparaison entre les demandes des poulets surgelés et les quantités vendues avant la planification.....	108
Figure 25: Comparaison entre les demandes des poulets frais et les quantités vendues avant la planification.	109

Figure 26: Comparaison entre les demandes des poulets frais et les quantités vendues après la planification.	109
Figure 27: Comparaison entre les demandes des poulets surgelés et les quantités vendues après la planification.	110
Figure 28: Comparaison des quantités des poulets surgelés stockés avant et après la planification.	111
Figure 29: Comparaison des émissions de CO2 pour les trois configurations.	120
Figure 30: Comparaison du coût de chauffage pour les trois configurations.	121
Figure 31: l'impact des coefficients de pondération sur l'optimisation de la méthode LP métrique pour les scénarios 1 et 2.	122
Figure 32: l'impact des coefficients de pondération sur l'optimisation de la méthode LP métrique pour les scénarios 3,4,5 et 6.	123
Figure 33: l'impact des coefficients de pondération sur l'optimisation de la méthode LP métrique pour les scénarios 7 et 8.	124
Figure 34 : Comparaison des trois configurations pour l'objectif de minimisation de la consommation d'énergie.	133
Figure 35: Comparaison entre les trois configurations pour objective de maximisation de la qualité.	133

Liste des Tableaux

Tableau 1: Les différents coûts du système.	46
Tableau 2: Les demandes de poulets des scénarios proposés.	47
Tableau 3: les quantités produites et vendues dans chaque ferme ($\ast 10^3$) pour le premier scénario.	47
Tableau 4: les quantités produites et vendues dans chaque ferme ($\ast 10^3$) pour le premier scénario.	49
Tableau 5: Les demandes du centre d'abattage du cas étudié.	51
Tableau 6: les quantités produites et vendues dans chaque ferme ($\ast 10^3$) pour l'approche économique.	51
Tableau 7: les quantités produites et vendues dans chaque ferme ($\ast 10^3$) de l'approche équitable.	52
Tableau 8: Comparaison des deux approches: économique et équitable.	54
Tableau 9: Les coûts d'élevage.	58
Tableau 10: Les demandes du centre d'abattage.	59
Tableau 11: Les distances entre les fermes et le centre d'abattage.	59
Tableau 12: Les quantités des poussins et les poulets vendues dans chaque ferme $\ast 10^3$ de l'approche économique.	60
Tableau 13: les quantités des poussins installées et des poulets vendues dans chaque ($\ast 10^3$).	62
Tableau 14: la répartition d'élevage pour chaque approche.	63
Tableau 15: Comparaison entre les deux approches économique et mutualisation.	64
Tableau 16: Comparaison des nombres des bandes d'élevages pour les deux configurations de l'approche multi-horizon.	71
Tableau 17: Comparaison financière entre le multi-horizon simultané et le multi-horizon intégré	73
Tableau 18: Les prix de ventes des poulets selon la qualité.	77
Tableau 19: les demandes du centre d'abattage.	77
Tableau 20: les quantités des poussins installées et des poulets vendues dans chaque ferme du réseau.	79
Tableau 21: Les heures de travail pour chaque mode de travail.	93
Tableau 22: les différents coûts considérés selon le mode de travail.	102

Tableau 23:Les données relatives à l'unité de production en fonction du mode de travail.	102
Tableau 24: Le planning de travail.	103
Tableau 25: les demandes du centre d'abattage du cas étudié.....	119
Tableau 26: les données liées aux fermes d'élevage du cas d'étude	120
Tableau 27: Les pairs des coefficients de pondération.	121
Tableau 28: les demandes du centre d'abattage pour chaque scénario.....	129
Tableau 29 : les données liées aux niveaux énergétiques.	129
Tableau 30: Les résultats de la première objective minimisation de la consommation d'énergie.	129
Tableau 31 : Les résultats de la deuxième fonction Maximisation de la qualité	131
Tableau 32: Les résultats de la méthode LP métric.	132

Introduction générale

L'évolution universelle actuelle est régie par plusieurs facteurs qui sont en expansion et en mutation. À l'heure actuelle, ces évolutions procurent des changements considérables dans plusieurs domaines pendant un espace temporel accéléré. Face à la croissance démographique et à la recherche d'une meilleure qualité de vie, la progression technologique doit influencer sur le comportement de plusieurs secteurs tels que la technologie, la santé, l'enseignement, l'environnement et l'agroalimentaire. Parmi les solutions les plus durables et afin de maintenir un cycle de vie plus au moins stable, les scientifiques cherchent à proposer diverses solutions face aux fluctuations et éventualités.

Un des secteurs le plus touché par cette évolution est le secteur agroalimentaire qui connaît un développement suite à la croissance du nombre de consommateurs à travers le monde. Ainsi les technologies de pointe et les améliorations managerielles qui sont apportées dans ce secteur depuis l'agriculteur jusqu'au consommateur final doivent répondre aux besoins du marché avec meilleure qualité produit et de service. Pour cela l'industrie agroalimentaire, devient un secteur principal dans le monde où sa prospérité sera basée principalement sur les efforts de tous les acteurs de la chaîne agroalimentaire tels que l'entreprise, l'agriculteur, l'éleveur... Etc. Et ceci afin de faire face aux demandes du marché. Faisant appel aux chercheurs qui tentent d'apporter de nouvelles techniques et approches au niveau de chaque maillon de la chaîne agroalimentaire, des solutions favorables sont à développer de manière plus efficace face aux différentes contraintes réelles de terrain. Ces contraintes du secteur agroalimentaire peuvent être divisées en deux types à savoir : les contraintes techniques (type de sol, climat, capacité, type de technologie adoptée... Etc.) et les contraintes économiques (meilleure gestion managerielle avec optimisation des coûts).

La chaîne logistique agroalimentaire comprend un ensemble d'organisations qui sont responsables de l'approvisionnement des matières premières de nature végétale ou animale, de transformation de ces matières en produits finis et de distribution de ces produits jusqu'aux clients. Il existe différents produits parmi lesquels : les produits des exploitations agricoles comme : fruits, légumes et ses dérivés ainsi que les produits d'élevage tel que : la viande blanche ou rouge, le lait et ses dérivés.

La production de la viande blanche (l'élevage du poulet de chair) est une activité primordiale pour le secteur agroalimentaire dans le monde. Sachant que le poulet de chair est une source nutritive importante de la famille des protéines, il constitue une base alimentaire importante de la consommation des individus au niveau mondial de manière générale. Cette source de nutrition en protéines occupe la première place de la catégorie des viandes pour la consommation algérienne. En raison de la durée des cycles de vie et vu le prix et sa production rapide bien adaptable aux changements du marché, cette activité est encouragée grâce aux importants investissements consentis par le secteur privé et public.

En Algérie, la chaîne logistique avicole, en particulier l'élevage du poulet de chair est l'activité qui demande certaines actions de performance et de correction au niveau de son organisation, comme le présente la grande perturbation observée au fil des années en fonction des quantités de

poules produites et ses prix instables. Pour soulever ce problème majeur et développer cette chaîne, une coordination bien structurée est nécessaire entre tous les acteurs de la chaîne afin de servir aux consommateurs une viande saine, de bonne qualité et au frais tout en protégeant l'environnement.

Pour ce faire, la meilleure façon pour avoir une stratégie de production et de distribution adéquate qui convient à tous les acteurs participant dans cette chaîne est de donner une stabilité des quantités de poulets produites avec des prix de ventes plus ou moins stables sur toute l'année. C'est ainsi l'objectif de cette thèse est de développer des solutions de planification et de gestions dans un cadre des approches intégrées. Pour donner des supports d'aide à la décision à tous les niveaux stratégique, tactique et opérationnel des contributions basées sur modélisation mathématique de planification intégrée et son optimisation en prenant en compte tous les acteurs de la chaîne logistique avicole sont à étudier et à développer dans un cadre durable et générique. Le défi de notre étude est d'organiser le secteur avicole particulièrement le secteur d'élevage de poulets de chair au niveau d'une zone comme un modèle de benchmark en Algérie. L'objectif est de planifier la production et la distribution des quantités optimales dans les délais précisés tout en augmentant le profit maximal de la chaîne étudiée face à la stabilisation souhaitée des prix de vente de la viande blanche qui satisfait le pouvoir d'achat des clients à long terme.

L'objectif de ce travail est de proposer un planning d'élevage pour un réseau avicole composé d'un ensemble de fermes d'élevage de poulets de chair, qui alimentent des centres d'abattage où chaque poulet subit les opérations d'abattage et de lavage avant d'être envoyé aux clients finaux. Le challenge de ce travail est de chercher la meilleure manière de produire et de distribuer les bonnes quantités de produits, aux bons endroits et au bon moment, afin de réduire les différents coûts du système, tout en augmentant les niveaux de services désirés par les clients. Un cadre applicatif sert de support numérique qui s'agit d'un réseau avicole de la région de Tlemcen.

Cette thèse est composée de 4 chapitres répartis comme suit :

Le premier chapitre se focalise sur la présentation de la chaîne logistique agroalimentaire et ses concepts de base, ainsi que sur la chaîne logistique avicole, en particulier la production de poulets de chair, qui constitue le sujet de notre recherche. Pour cela, une présentation de la chaîne avicole de poulets de chair et ses acteurs, ainsi que son fonctionnement et les travaux liés à la planification de cette chaîne ont été présentés dans ce chapitre.

Le deuxième chapitre s'intéresse à l'étude de la planification stratégique-tactique d'un réseau de production de la viande blanche. Cette étude se base sur l'adaptation des approches de la recherche opérationnelle. L'objectif principal est de développer des modélisations mathématiques en nombre entier mixte MILP pour établir un planning d'élevage qui permette d'ordonnancer les bandes d'élevage des fermes sur un horizon de temps donné. Tout en garantissant la mutualisation de toutes les fermes et afin d'aider les décideurs à prendre les bonnes décisions de gestion de cette chaîne avicole, une variété de configurations de réseau sont présentées et discutées. Pour produire les quantités optimales et satisfaire les demandes, le but de cette partie de thèse est de trouver le meilleur compromis qui permet de stabiliser le marché local par rapport au prix de vente en misant à maintenir le fonctionnement d'ensemble de fermes de production dans un cadre coopératif et associatif.

Le troisième chapitre concerne l'étude d'un modèle standard de problème de planification tactique-opérationnelle de la production au sein d'une unité d'abattage de poulets de chair et de transformation de poulets en multiproduits sur un horizon de planification de plusieurs périodes. L'objectif est de développer un planning de travail qui maximise l'efficacité des unités de transformation face aux fluctuations de la demande et la limites de ressources matérielles et humaines de l'unité. Une approche décisionnelle sur la réorganisation et la répartition des tâches est développée et investiguée afin de déterminer les quantités optimales qui permettent de répondre à des demandes données pour tous les produits.

Le quatrième chapitre présente deux approches bi-objectives de la minimisation des coûts de chauffage avec la réduction des émissions de CO₂, ainsi que la minimisation de la consommation énergétique avec la maximisation de la qualité du poulet. L'objectif est de réduire les impacts négatifs des émissions de CO₂ sur l'environnement et d'augmenter le profit des éleveurs.

À la fin de cette thèse, une conclusion générale avec les perspectives à réaliser dans le futur est présentée.

Chapitre 1 : Généralités sur la chaîne logistique agroalimentaire

1 Introduction

Ces dernières années, le marché est devenu trop saturé en raison de la multitude de produits exposés. Les entreprises doivent adapter minutieusement leur gestion avec de nouvelles technologies de production pour répondre aux exigences de la concurrence accrue et maintenir leur position sur le marché. Pour cela, les entreprises doivent se concentrer sur la qualité de leurs produits et leur capacité à répondre aux besoins des consommateurs. Cela peut être réalisé en adaptant une stratégie de segmentation du marché et de personnalisation des produits pour répondre aux attentes des clients les plus exigeants.

Parmi les produits les plus exposés et consommés sont les produits agroalimentaires. Ces produits sont de nature très sensible aux microbes et aux bactéries, et leur date de péremption est un élément crucial à prendre en compte lors de la production.(Ahumada et al., 2012; Ahumada & Villalobos, 2011; Rossi, 2013) Ceci nécessite lors de la production et la distribution de ces produits une gestion minutieuse pour fournir la meilleure qualité tout en respectant les délais de livraison. Ainsi, ces exigences rendent la planification de la production de la chaîne logistique agroalimentaire très difficile et nécessite une attention particulière pour contrôler les flux de production, de distribution et de stockage, en prenant en compte différents paramètres tels que le temps de production, les délais de livraison, la gestion des stocks et les conditions de transport.

Toutes ces raisons, nous ont incité à étudier la gestion d'une chaîne logistique agroalimentaire, en se concentrant sur l'étude de la planification d'une chaîne logistique avicole de poulets de chair comme un cas d'étude. L'objectif est d'organiser la production d'un réseau composé d'un ensemble de fermes d'élevage de poulets de chair qui doivent alimenter de manière stable des centres d'abattage dédiés à la distribution de la viande blanche. Le but est de produire les quantités optimales de poulets dans les délais précis afin de satisfaire les demandes du marché.

Ce chapitre vise à présenter des généralités sur la chaîne logistique agroalimentaire. Il est scindé en cinq volets. Le premier présente la chaîne logistique avec ses objectifs et ses différents maillons. Le second volet définit la chaîne logistique agroalimentaire et montre sa particularité. Ensuite le troisième volet présente la littérature des travaux liés à la planification des chaînes logistiques agroalimentaires. Le quatrième volet présente la chaîne logistique avicole, ses différents maillons, un état de l'art dédié aux travaux de la planification de cette chaîne, ainsi que les étapes de l'élevage de poulets de chair. Enfin, le cinquième volet conclut ce chapitre.

2 La chaîne logistique

2.1 Définition de la chaîne logistique

La chaîne logistique est un ensemble de différents acteurs qui coopèrent entre eux afin de réaliser un ou une gamme de produits finis données. Les fonctions de cette chaîne commencent de l'approvisionnement de la matière première, la transformation de ces matières en produits finis ou semi-fini, le stockage de ces produits finis, la distribution et la vente de ces produits finis aux clients. Ces acteurs sont reliés entre eux par trois flux : le flux physique qui représente le transfert de marchandises, le flux d'information tels que le passage de commandes des produits, et le flux financier qui correspond aux échanges des valeurs monétaires. L'objectif de la chaîne logistique est de satisfaire la demande des clients, et de maximiser le profit généré. La chaîne logistique est présentée par la figure 1 suivante :

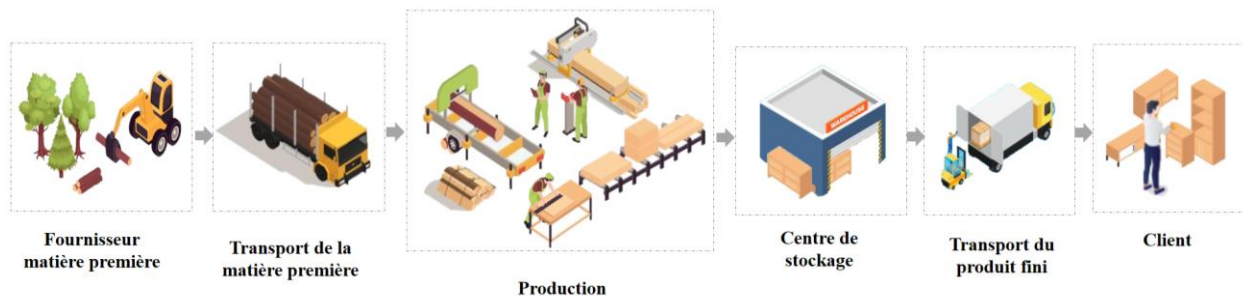


Figure 1: la chaîne logistique

Plusieurs définitions de la chaîne logistique ont été proposées dans la littérature. A noter que le terme "chaîne logistique" vient du mot anglais « Supply Chain ». Il existe de nombreuses définitions de la "supply chain", mais il n'y a pas de définition universelle du terme. Parmi ces définitions, nous avons Lee & Billington, (1993) ont expliqué la chaîne logistique comme un réseau des installations qui assure les fonctions d'approvisionnement en matières premières, de transformation de ces matières premières en composants puis en produits finis, et de distribution des produits finis vers le client. et Tayur et al., (1999) a expliqué que la chaîne logistique est un système de sous-traitants, de producteurs, de distributeurs, de détaillants et de clients entre lesquels s'échangent les flux matériels dans le sens des fournisseurs vers les clients et des flux d'information dans les deux sens.

D'autres définitions ont été proposé par Stadtler & Kilger,(2000) une chaîne logistique est constituée de deux ou plusieurs organisations indépendantes, liées par des flux physique, informationnel et financier. Ces organisations peuvent être des entreprises produisant des composants, des produits intermédiaires et des produits finis, des prestataires de service logistique et même le client final lui-même. Ainsi que Mentzer et al.,(2001) ont déterminé que la chaîne logistique est un groupe d'au moins trois entités directement impliquées dans les flux amont et aval de produits, services, finances et/ou information, qui vont d'une source jusqu'à un client. De même d'autres définitions données par Genin,(2003) la chaîne logistique est un réseau d'organisations

ou de fonctions géographiquement dispersées sur plusieurs sites qui coopèrent, pour réduire les coûts et augmenter la vitesse des processus et activités entre les fournisseurs et les clients. Si l'objectif de satisfaction du client est le même, la complexité varie d'une chaîne logistique à l'autre. Duclos et al.,(2003) ont montré que la chaîne logistique englobe 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. Féliès,(2006) définit la chaîne logistique comme un système complexe décrit comme : un ensemble ouvert traversé par des flux financiers, matériels et informationnels. Un réseau composé d'entités physiques (usines, ateliers, entrepôts, distributeurs, grossistes, détaillants) et d'organisation autonomes (firmes, filiales, business unit, etc.). Et un ensemble d'activités regroupées dans un processus logistique dont l'agencement constitue une chaîne de valeur intra et inter-organisationnelle. Amrani-Zouggar,(2009) la chaîne logistique peut être considérée comme un ensemble d'activités en réseau, incluant différents partenaires qui doivent coordonnés par des flux matériels et informationnels échangés, visant à satisfaire au mieux les besoins des clients.

D'après la littérature présentée, on peut conclure que : la chaîne logistique contient un ensemble des unités liées entre eux par trois flux : le flux d'information (passage de commandes, par exemple), le flux physique (transfert de marchandises) et le flux financier (règlement des achats). A cet effet, chaque unité assure : les fonctions d'approvisionnement, de transformation/production, de distribution et de vente, qui représentent les 4 processus clés que l'on rencontre dans toute entreprise afin de produire un produit fini ou une famille de produits finis et d'assurer sa distribution aux consommateurs finale.

2.2 L'objectif de la chaîne logistique

L'objectif de la chaîne logistique est de maximiser la valeur totale, qui représente la différence entre la valeur perçue par le client pour un produit et les coûts associés à la satisfaction de la demande du client. Cette valeur est étroitement liée à la rentabilité de la chaîne logistique, qui est la différence entre les revenus et les coûts associés à la chaîne.

2.3 Les maillons de la chaîne logistique

Les fonctions d'une chaîne logistique vont de l'achat des matières premières à la vente des produits finis en passant par la production, le stockage et la distribution, dans cette partie nous avons présenté la définition de chaque maillon de la chaîne logistique.

- **L'approvisionnement** : il constitue la fonction la plus en amont de la chaîne logistique. Ce maillon est responsable de fournir les matières premières et les composants nécessaires à la production dans les délais précis.

- **La production :** représente le cœur de la chaîne logistique, il est responsable de la fabrication, le développement ou la transformation des matières premières en produits ou services.
- **Le stockage :** ce maillon se trouve entre les autres différents acteurs : les fournisseurs, les producteurs et les distributeurs. Il inclut toutes les quantités stockées tout au long du processus : stock de matières premières, stock des composants, stock des produits semi-finis, et stock des produits finis.
- **Distribution et transports :** le transport intervient tout au long de la chaîne logistique, il assure l'acheminement des flux physique entre les différents maillons de la chaîne : transport des quantités des matières premières et les composants depuis le centre d'approvisionnement vers l'usine, transport des produits finis de l'usine jusqu'aux zones de distribution, et la livraison des produits fini depuis les centres de distribution aux clients.
- **La vente :** représente le maillon final dans la chaîne logistique, il s'agit d'offrir les produits avec un prix plus compétitif par rapport à la concurrence et rentable pour gagner le meilleur profit de l'entreprise.

2.4 Les flux d'une chaîne logistique

La chaîne logistique implique l'échange de trois types de flux entre ses différents acteurs : le flux physique, le flux d'informations, ainsi que le flux financier pour gérer les transactions tout au long du processus.

- **Flux d'information :** ce flux est en effet essentiel au bon fonctionnement de la chaîne logistique. Il assure la transmission et le partage de données entre les différents maillons de la chaîne, tels que les demandes des clients, les niveaux de stock, les mouvements des produits, etc. Grâce à ces données, les acteurs de la chaîne logistique peuvent anticiper les besoins, prendre les bonnes décisions et réduire les temps de réponse aux demandes des clients.
- **Flux physique :** ce flux physique correspond à la circulation physique tout au long de la chaîne logistique, la circulation des matières des fournisseurs jusqu'à l'unité de production, l'acheminement des produits semi-finis vers d'autres unités de transformations, et la livraison des produits finis aux centres de stockage ou aux clients finals. Ce flux peut être optimisé par la planification de la production, la gestion des stocks et la planification du réseau de transport afin d'assurer une gestion optimale des différentes ressources, et une réduction des coûts.
- **Flux financier :** le flux financier désigne l'ensemble des transactions monétaires d'une entreprise, notamment les échanges liés aux flux physiques tels que l'achat de matières premières, la transformation, le stockage et le transport des produits finis, ainsi que d'autres transactions financières telles que les investissements, les prêts, les emprunts, les dividendes, les intérêts, etc.

3 La chaîne logistique agroalimentaire

La chaîne logistique agroalimentaire est composée d'un ensemble de fournisseurs tels que les éleveurs, les agriculteurs, etc., qui assurent la culture ou l'élevage pour l'obtention de la matière première : des légumes, des fruits mûrs, du bétail ou des poulets vivants de poids élevé. Ces fournisseurs approvisionnent une unité de traitement des matières premières pour produire des produits finis. Le processus de production de ces unités varie en fonction du secteur considéré. Les produits finis obtenus sont transférés vers des zones de stockage réfrigérées et sont ensuite acheminés vers des points de vente qui distribuent ces produits aux clients. Tels que schématisés dans la figure 2 suivante.

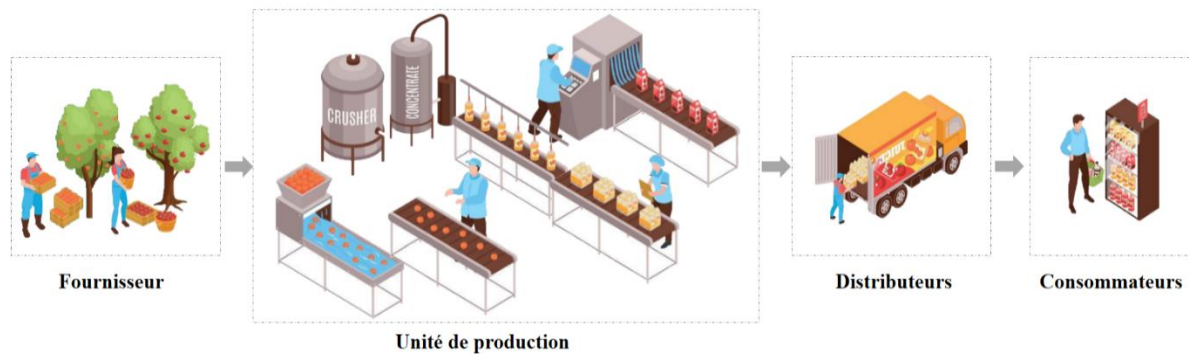


Figure 2: la chaîne logistique agroalimentaire.

La chaîne agroalimentaire comprend deux secteurs : secteur d'agriculteur et secteur d'élevage. Le secteur d'agriculture est intéressé à la culture des fruits et légumes, il a besoin d'une gestion précise à chaque étape du processus de production. (Chaudhuri et al., 2014; Kusumastuti et al., 2016) Tout d'abord, au niveau de la plantation, il est nécessaire de disposer d'une main-d'œuvre qualifiée, d'une terre fertile, et d'un système d'irrigation adapté pour assurer une irrigation adéquate des plantes tout au long du cycle de plantation et éviter les pertes d'eau. Pour certains types de légumes et pendant certaines saisons, l'utilisation des maisons en plastique peut être nécessaire pour garantir des conditions climatiques appropriées (chaleur, éclairage) et pour assurer une maturation optimale des légumes et des fruits. Ensuite, au moment de la récolte, il est important de disposer d'une main-d'œuvre spécialisée pour éviter toute détérioration des fruits et des légumes. Après la récolte, les fruits et les légumes doivent être conditionnés et transportés vers des zones de stockage pour préserver leurs caractéristiques nutritionnelles et éviter leurs dégradations. Une fois les fruits arrivés aux unités de transformation et de production, ils doivent être traités dans les meilleurs délais pour garantir leur fraîcheur et leur qualité. Il est donc important de planifier le processus de production en amont pour minimiser le temps entre la récolte et la transformation, et ainsi préserver la qualité des produits.

Le secteur d'élevage sert à l'élevage de volailles et de bétail pour la production de la viande blanche et rouge, ce secteur nécessite une gestion particulière en fonction du type d'animal à élever

(Bennekrouf et al., 2016; KEDDOURI Thabet & BRIKI, 2016; N. Tahraoui et al., 2022). Pour assurer le bon déroulement de cette activité, une main d'œuvre qualifiée et des normes spécifiques doivent être respectées. Ainsi, l'élevage nécessite une ferme avec une architecture adéquate qui assure une bonne isolation et une circulation équilibrée de l'air et de la chaleur au sein de la zone d'élevage qui est équipée des systèmes de distribution d'eau et d'alimentation. Les facteurs qui influencent généralement l'élevage comprennent l'alimentation (si elle n'est pas saine ou ne répond pas aux normes), la mauvaise fécondation des œufs, la prise en charge vétérinaire insuffisante, le taux de mortalité et les maladies telles que la grippe aviaire. Une fois que les animaux d'élevage ont atteint leur maturité, ils sont vendus aux unités d'abattage, car leur croissance se ralentit après un délai et ainsi la qualité de leur viande peut se dégrader. Aux niveaux des unités d'abattage, les animaux subissent différentes opérations, telles que l'abattage, l'éviscération, la plumaison ou l'écorchage, le lavage, la découpe et la transformation en sous-produits. La planification pour ce secteur s'intéresse à la localisation optimale des fermes d'élevage, à la détermination des quantités d'animaux à élever en fonction de la demande, ainsi qu'à la gestion de l'utilisation optimale des ressources adéquates pour garantir la bonne qualité des produits issus de l'élevage tout en minimisant les impacts environnementaux. La particularité de la chaîne logistique agroalimentaire réside dans la date de péremption des produits, qui ont une forte périssabilité et sont très sensibles à la contamination par des microbes (Ahumada et al., 2012; Ahumada & Villalobos, 2011; Hsiao et al., 2017; Rossi, 2013). Leur production nécessite une main-d'œuvre qualifiée et des protocoles sanitaires et d'hygiène précis, ainsi qu'un conditionnement spécifique adapté au type de produit pour assurer une conservation optimale de ses caractéristiques alimentaires sur une durée maximale. La gestion des stocks doit également être particulièrement rigoureuse pour répondre à ces contraintes. Ces exigences rendent la gestion de la chaîne logistique agroalimentaire plus difficile et délicate, et ont attiré l'attention de nombreux chercheurs.

4 La planification de la chaîne logistique

La planification de la chaîne logistique consiste à optimiser la chaîne logistique en élaborant un ensemble de différents plans tels que : le plan de prévision de vente, plan d'achat des matières premières, plan de production, et un plan de distribution. Et ceci, afin de garantir une meilleure gestion en termes d'approvisionnement de la matière première nécessaire, d'ordonnancer les opérations de la production, d'utiliser équitablement les ressources humaines et matérielles, et d'assurer la distribution des produits jusqu'au client final dans les délais précis. (Hadj Hamou, 2002). Pour mieux cerner le concept de la planification de la chaîne logistique, nous allons présenter dans la section suivante les différents niveaux de décisions de la planification dans la chaîne logistique.

4.1 Les niveaux de décisions de la planification dans la chaîne logistique

La planification de la chaîne logistique exige la prise d'un ensemble de décisions à différents niveaux. Ces décisions ont pris l'attention de plusieurs chercheurs tels que Gourgand et al., (2007);

Huang et al.,(2003); Lemoine,(2008); Shapiro,(1999). Ces décisions sont réparties en ‘stratégique’, ‘tactique’ et ‘opérationnel’.

4.1.1 Niveau stratégique

Les décisions stratégiques sont prises au niveau supérieur par rapport aux autres décisions. Elles sont très importantes grâce à leur caractère d’impact durable sur la réussite ou l’échec de la chaîne en termes de rentabilité et de compétitivité dans le marché. Ces décisions stratégiques s’appliquent sur des horizons assez longs en s’appuyant sur toutes les informations internes et externes de l’entreprise, et de prendre en considération les facteurs risque et incertitude compte tenu des évolutions industrielles rapides. (Genin, 2003; Stadler & Kilger, 2000) Typiquement, les décisions définies à ce niveau concernent : l’infrastructure du système de production telle que la localisation optimale des sites des usines, des entrepôts, etc. La conception d’usines, d’entrepôts, et de réseaux de transport. La capacité globale de tous les sites de la chaîne (usine, entrepôt...). L’ouverture et/ou la fermeture des sites. L’attribution des activités et des relations à ces sites. Le choix du type de gestion de production : production au flux tiré (à la commande) ou production de flux poussé. La sélection des fournisseurs, et le choix de type d’approvisionnement : mono ou multi-sources. Les décisions de lancement de nouvelles gammes de produits. Les marchés sur lesquels il serait intéressant de se développer.

4.1.2 Niveau tactique

Les décisions tactiques s’appuient sur les décisions définies au niveau stratégique, ces décisions visent à gérer les activités de la chaîne logistique sur un horizon de moyen terme en élaborant des plans tels que : plan industriel et commercial, et le programme directeur de production. La planification tactique a pour objectif d’assurer la meilleure utilisation des ressources humaines (main d’œuvre) et matérielles (lignes de production, moyen de transport...), matières premières, zone de stockage, etc., et par la suite la satisfaction de la demande totale.(Genin, 2003; Shapiro, 1999). Parmi les décisions tactiques, nous avons : La planification de la production selon les capacités des lignes de production et les périodes de production. La répartition de la main-d’œuvre sur les sous-périodes de production (régulier, supplémentaire, deuxième équipe...). La gestion du réseau de transport en déterminant le choix du mode de transport. La détermination du taux d’utilisation de toutes les ressources. La répartition des demandes sur les centres de distribution selon le besoin.

4.1.3 Niveau opérationnel

Représente le troisième niveau des décisions de la planification. Cette planification s’applique sur un horizon à court terme. Elle consiste à l’adaptation d’une gestion des activités de l’entreprise et la direction du processus d’exécution des tâches et déploiement des ressources en se basant sur les décisions définies au niveau tactique. (Shapiro, 1999) Des exemples des décisions opérationnelles sont présentés par la suite : le lancement des ordres de production des produits semi-finis et produits finis, et de livraison des matières premières et des produits finis. L’ordonnancement des tâches et des ressources de production. La répartition des ouvriers sur les ateliers de production. La gestion journalière des stocks. L’organisation journalière du réseau de transport. La préparation et l’expédition des demandes de clients.

4.1.4 La différence entre ces décisions

D'après l'étude de la littérature de ces décisions (François,2007; Galasso,2007), citées précédemment, la différence entre ces décisions concerne :

- *La durée de l'application de la décision* : les décisions stratégiques sont à long terme, les décisions tactiques sont à moyen terme, et enfin les décisions opérationnelles sont à court terme.
- *Le niveau d'agrégation* : les décisions stratégiques sont au niveau de l'ensemble de l'entreprise, les décisions tactiques sont prises au niveau de réseau de l'usine dans un horizon de moins d'une année, et les décisions opérationnelles sont prises au niveau de l'atelier.
- *Le niveau de responsabilité des décideurs* : les décisions stratégiques sont prises par la direction générale de l'entreprise, les décisions tactiques sont prises par les cadres, et les décisions opérationnelles sont prises par les responsables d'ateliers.

En raison de la complexité de l'optimisation des décisions, les trois types de décisions sont généralement traités de manière séquentielle et hiérarchique. Cependant, il est crucial de considérer l'impact des décisions stratégiques sur les niveaux tactique et opérationnel, car elles déterminent les options viables pour ces niveaux. En d'autres termes, la solution optimale pour une décision tactique ou opérationnelle dépend de la décision prise au niveau stratégique. De même, les décisions opérationnelles et tactiques peuvent influencer la prise de décisions stratégiques dès la conception de la chaîne (François,2007; Galasso,2007).

4.2 Etat de l'art de la planification de la chaîne logistique agroalimentaire

Dans le cadre de la production et planification des produits agroalimentaires plusieurs travaux ont été effectués dans le but de satisfaire le marché, éviter les gaspillages et répondre aux besoins des clients et des consommateurs en particulier. Sachant que tous produits agroalimentaires quelle que soit leur nature sont confrontés à la contrainte de périssabilité comme s'est discutée dans les travaux de Ahumada et al., (2012); Duan et al.,(2012); Kusumastuti et al.,(2016); Rossi, (2013). Cette période de préemption est différente d'un aliment à un autre et d'une matière à une autre. Dans le but de garantir les besoins quotidiens de la consommation nutritive de l'individu tout en réduisant le gaspillage de ces aliments, puisque si les aliments ne sont pas consommés dans la période conforme ils seront automatiquement retirés du marché et détruites voire utilisées pour la fabrication du compost mais à faible coût ce qui peut engendrer des pertes énormes pour les secteurs agricoles et avicoles. Entre autres, plusieurs chercheurs, ont concentré leurs travaux sur la planification des produits agroalimentaires de manière générale. Pour commencer un tour d'horizon des travaux relatifs à la planification des produits agricoles, sera présenté dans un premier volet. Le second volet sera consacré à la présentation de différentes recherches liées au secteur avicole. Parmi les premiers chercheurs qui se sont intéressés à la planification des chaînes agroalimentaires. Ahumada & Villalobos, (2009) ont regroupé et classé tous les travaux antérieurs relatifs aux modèles de planification pour la chaîne logistique agroalimentaire dans une revue de la littérature. L'objectif principal est de proposer une planification performante en déterminant les

meilleures structures tout au long de cette chaîne. En 2011 les mêmes auteurs ont proposé une planification de la production et de la distribution des produits frais sous deux contraintes et pour deux niveaux tactique et opérationnel. La première contrainte -concerne la disponibilité des ressources et la deuxième concerne l'aspect de périssabilité des produits dans le stock. Une extension de ce travail a été donnée par les mêmes auteurs en 2012 en ajoutant la contrainte de la variation météorologique et des incertitudes de la demande. Amorim et al., (2012) ont développé un modèle de programmation en nombres entiers mixtes de la planification de production, et de la distribution intégrée des produits périssables de manière à minimiser le coût total des dépenses, et à maximiser la durée de conservation des produits dans les centres de distribution sur un horizon de planification. Duan et al.,(2012) ont développé des modèles mathématiques pour déterminer la gestion optimale de stock pour les produits périssables qui permettent d'éliminer les périodes de la pénurie, déterminer la quantité commandée et maximiser le profit. Jena & Poggi, (2013) étudient le premier maillon dans un réseau logistique de la production de sucre dans l'objectif d'optimiser la récolte des cannes de sucre. Rossi, (2013) a adapté un modèle mathématique sur le problème du contrôle périodique de la production et de stock pour un produit périssable unique dans un site unique, sous la contrainte de la demande stochastique non stationnaire, le problème a été résolu par une programmation par contraintes. Kusumastuti et al., (2016) ont présenté est une revue de la littérature détaillée sur les travaux réalisés au sein des chaînes agroalimentaires, tel que : la planification, la récolte, le contrôle des stocks connexes en prenant en compte un nombre limité de contraintes pertinentes telles que la périssabilité des produits, allocation et capacité de ressources et l'incertitude de la demande. Les auteurs montrent que le développement d'une approche intégrée pour modéliser la récolte et la transformation dans les filières agricoles est plus avantageux. Paam et al.,(2016) ont établi une revue de la littérature des modèles d'optimisation de la chaîne logistique agroalimentaire pour les produits frais afin de minimiser des pertes en fruits et légumes, l'objectif de ce travail est de fournir un aperçu complet sur les technologies de pointe existantes, les lacunes dans la recherche actuelle et les orientations futures dans ce domaine. Ghezavati et al.,(2017) étudient l'optimisation d'une chaîne logistique agroalimentaire de la production et de la distribution des tomates fraîches en Iran afin de maximiser les bénéfices du distributeur, pour cela un modèle a été formulé en prenant en compte toutes les enjeux de la distribution des produits frais aux niveaux des décisions tactique et opérationnelle et les contraintes environnementales tels que la variabilité de la production due aux changements climatiques, le problème a été résolu par l'adaptation de l'algorithme de décomposition de Benders. Ganeshkumar et al.,(2017) ont réalisé une revue de la littérature sur la gestion de la chaîne logistique agroalimentaire qui englobe les recherches relatives au sujet traité depuis 2006 jusqu'à 2016, cette étude considère la chaîne logistique agroalimentaire de la pomme de terre en Inde comme un exemple concret pour l'analyse complètement et en détails afin de spécifier les principales difficultés qui rend le fonctionnement du secteur agricole en Inde inefficace, ainsi qu'ils ont proposé des mesures qui peuvent être adoptées pour résoudre ces problèmes de l'agriculture indienne. Agarwal, (2017) présente une revue de la littérature sur l'identification des différents problèmes liés à la planification de la chaîne logistique agroalimentaire des fruits et légumes, ainsi

qu'il propose des recommandations de mesures pour résoudre ces problèmes et améliorer l'efficacité de la planification de cette chaîne. Uçak et al., (2018) ont proposé une restructuration de la chaîne d'approvisionnement des fruits et légumes frais avec une planification des activités de production de distribution et de commercialisation afin d'empêcher la dégradation de la qualité, en assurant la quantité tout en contrôlant les prix de vente. Brulard et al., (2019) ont présenté un modèle de dimensionnement et de planification des cultures pour répondre à des demandes définies en fruits et légumes frais sous des contraintes de périssabilité du produit, de stockage et de dégradation du produit. Triqui-Sari et al., (2019) ont proposé un planning de récolte pour la betterave sucrière qui doit respecter les contraintes de niveau de stock qui minimise la dégradation de la betterave sucrière et minimise le coût total de livraison sur l'ensemble de l'horizon. Flores et al., (2019) ont déterminé les meilleurs emplacements des fermes dans un réseau agroalimentaire, puis ils ont proposé un calendrier de plantation et de récolte de légumes qui respecte la contrainte de la conservation des caractéristiques alimentaires

Dans le domaine d'élevage, on s'intéresse aux études de la planification de la chaîne avicole pour plusieurs raisons, tout d'abord, l'élevage de poulets est une activité économiquement importante dans de nombreuses régions du monde notamment l'Algérie. De plus, il peut être plus intensif que l'élevage de bétail, ce qui peut nécessiter des techniques de gestion et de production spécifiques pour assurer la santé et le bien-être des animaux tout en maximisant le rendement de la production. Dans le contexte de la chaîne avicole, plusieurs travaux ont été effectués et qui se sont intéressés à étudier la performance de l'ensemble de la chaîne logistique du poulet de chair. Tels que Boudahri et al., (2011a) ont présenté une modélisation de deux sous problèmes de location-allocation des abattoirs des poulets de chair afin d'améliorer le réseau de distribution de la viande blanche au niveau de la ville de Tlemcen-Algérie, tout en minimisant la somme des coûts liés aux localisations des abattoirs et transport de poulets depuis les fermes vers les centres d'abattages. Adamczuk Oliveira & Lindau, (2012) ont proposé une modélisation mathématique pour la collecte des poulets pondeuses au niveau des fermes d'élevage afin de réduire les temps d'attente des poulets avant leur transport vers un abattoir. Boudahri et al., (2013) étudient le réseau de distribution de la viande blanche dans la ville de Tlemcen en trois étapes : regroupement des clients, localisation des centres d'abattage et l'affectation des clients aux centres. Avec une minimisation des coûts de transport et des émissions de CO₂. Gordon, (2013) examinent les délais de livraison au sein d'une chaîne avicole pour le premier maillon qui concerne la distribution des œufs fécondés aux fermes et les temps de livraison du poulet chair aux abattoirs. Un planning qui coordonne l'envoi et l'arrivée des camions à l'unité de transformation (abattoirs) est proposé. Boonmee & Sethanan, (2016) présentent un travail sur la planification et le dimensionnement des lots pour la production d'œufs qui assure l'équilibre des flux entre la demande des clients et les quantités des œufs (poussins) à acheter et à livrer à l'industrie au cours de chaque période dans l'objectif de minimiser le coût total. You & Hsieh, (2018) étudient la chaîne avicole pour une société d'élevage de la volaille en Taïwan composé de douze poulaillers et plusieurs types de poussin dont le but est de déterminer le genre (la race) de poussin à élever ainsi que la quantité des poussins dans chaque poulailler en précisant les date de début et les date de fin pour chaque

lancement d'élevage en respectant une planification pour les différentes races demandées sur un horizon de planification. Praseeratasang et al., (2019) analysent le problème d'ordonnancement des fermes de production de poulets et par la suite l'affectation des moyens de transport qui assure la livraison de la quantité adéquate à la demande pour chaque centre tout en maximisant le profit total. Brevik et al., (2020) contribuent à une planification intégrée pour l'affectation des œufs fécondés aux exploitations d'élevage et précisent l'âge autorisé entre les poules parentales pour chaque poulet afin de maximiser la qualité du poulet de chair. Satır & Yıldırım, (2020) analysent le comportement stratégique d'une chaîne avicole et présente une modélisation mathématique pour objective de résoudre les problèmes de planification de la production avec une planification financière afin de décider à quel moment sera effectué l'achat des poussins reproducteurs sur l'horizon de planification pour répondre à la quantité de toutes les demandes.

Dans ce travail on s'intéresse au domaine de l'aviculture, particulièrement l'élevage du poulet de chair. En effet, cette matière est de première consommation de la famille des protéines pour les individus algériens ce qui revient à deux raisons. Premièrement le prix de la viande du poulet de chair coûte moins cher que les autres viandes et convient avec le revenu individuel des citoyens. Deuxièmement, le cycle d'élevage de poulets est très court, ce qui permet de produire la quantité voulue durant toute l'année.

5 La chaîne logistique avicole

La chaîne logistique avicole est constituée d'un ensemble de différents acteurs responsables de l'élevage et de la production de différents types de volailles, tels que des poules pondeuses, des canards, des dindes, des oies, etc. De plus, la chaîne avicole peut également produire des sous-produits dérivés de la volaille, tels que des œufs, des abats, des morceaux de viande, ainsi que des produits élaborés à base de viande de volaille, comme les saucisses, etc. La chaîne assure également le stockage de ces produits dans des entrepôts frigorifiés et le transport de ces produits vers les centres de distribution, et par la suite les consommateurs finaux.

5.1 La description de la chaîne avicole de poulets de chair

La chaîne logistique avicole de poulets de chair est constituée d'un ensemble de fermes responsable de l'approvisionnement des œufs, des centres d'éclosion pour les transformer en poussins de chair, des fermes d'élevage des poussins afin de produire des poulets à un poids élevé, des unités d'abattage et de transformation de poulets en multiproduits à la base de la viande blanche, ainsi que de centres de distribution de la viande blanche et sous-produits jusqu'aux clients. Tels que présenté dans la figure 3 suivante :

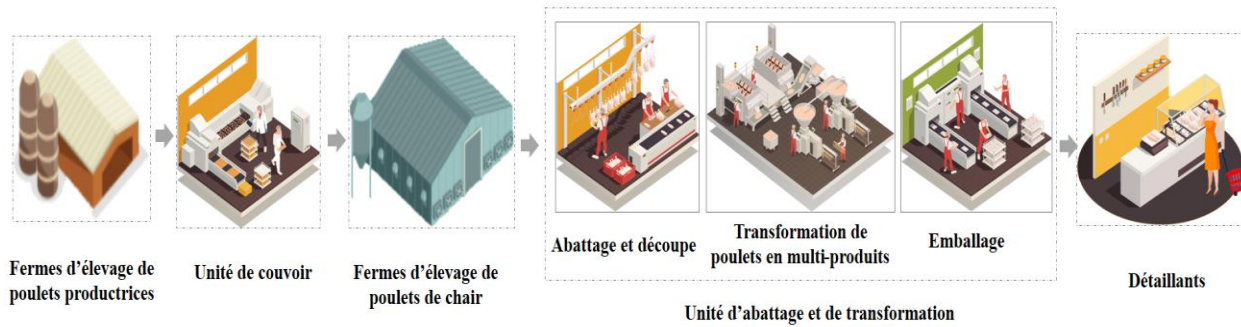


Figure 3: La chaîne logistique avicole.

5.1.1 Fermes d'élevage des poules reproductrices

Représentent le premier maillon de la chaîne avicole de poulets de chair. Elles sont spécialisées dans l'élevage des poules productrices grâce au type d'élevage par batteries ou en cages à partir des œufs d'incubation de poulet de chair. Sachant que la fécondation se fait souvent en utilisant des méthodes de reproduction artificielle telles que l'insémination artificielle, les œufs fécondés sont récoltés et ensuite envoyés aux unités de couvoirs pour l'incubation.

5.1.2 Unités de Couvoir

Ces unités sont équipées de matériels techniques destinés à l'incubation et l'éclosion des œufs fécondés afin de produire des poussins de chair dans une période de 21 jours. Les opérations au sein de cette unité sont effectuées par des agents experts qui assurent le bon déroulement des différentes étapes depuis l'arrivée des œufs jusqu'à l'obtention des poussins, les poussins obtenus sont ensuite vaccinés par nébulisation puis triés afin d'éliminer les poussins morts et de mauvaise qualité. Les poussins sains sont chargés dans des boîtes de carton d'une capacité de 100 poussins/boîte, puis les boîtes de poussins sont transportées vers les fermes d'élevage de poulets de chair.

5.1.3 Fermes d'élevage de poulets de chair

Ce sont des bâtiments dédiés à l'élevage des poussins d'un jour pour obtenir des poulets matures à un poids élevé dans une durée de 40 à 45 jours, cette durée s'appelle une bande d'élevage. La ferme est bâtie avec une architecture bien définie qui fournit un environnement approprié qui procure les conditions nécessaires pour une croissance optimale des poulets. C'est pour cela la ferme doit être installée sur un terrain stable bien séché, facile d'accès pour la livraison des poussins et de la nourriture. Elle doit également posséder un accès à une eau fraîche et propre durant toute l'année, une bonne ventilation, et doit être orientée sur un axe est-ouest pour réduire les fluctuations de la température. Les toits doivent avoir une bonne qualité de réflexion pour diminuer la conductivité de la chaleur solaire et assurer une bonne isolation afin de fournir les conditions climatiques adéquates pour l'élevage.

Chaque bâtiment contient un ensemble d'équipements, tels que :

- Les réservoirs d'eau avec une capacité suffisante.
- Les distributeurs d'eau comme les abreuvoirs automatiques, les abreuvoirs à cloche, etc.
- Un système d'alimentation comprenant des silos d'aliments et des mangeoires.
- Une chambre de stockage avec une capacité de stockage minimale de 7 jours.
- Un système d'éclairage avec des lampes puissantes pour assurer une intensité lumineuse adéquate dans tout le bâtiment.
- Des ventilateurs adaptés aux conditions climatiques locales pour apporter suffisamment d'oxygène et maintenir une température optimale pour les animaux.
- Des trappes et des fenêtres pour l'aération.
- Un système de chauffage utilisant du gaz de butane.
- Des thermomètres.
- Un ensemble d'accessoires tels que des caisses, une balance, du matériel contre l'incendie, du matériel d'intervention et de désinfection.

Notons que les fermes d'élevage peuvent appartenir aux deux types du réseau. Un réseau d'élevage interne où toutes les fermes d'élevage appartiennent à la même filiale d'élevage. Dans ce réseau les fermes font l'élevage selon le planning du gérant de la filiale sachant que la filiale a des contrats déterminés avec des unités d'abattage. Et un réseau d'élevage externe qui contient plusieurs fermes d'élevage situées dans la même région, mais chaque ferme fait l'élevage selon son propre planning sans prendre en considération les plannings des fermes voisines, ainsi que ces fermes n'ont pas des contrats avec des centres. À la fin de la bande d'élevage, les poulets matures sont triés et posés dans des cages, puis transportés vers des unités d'abattage.

5.1.4 Unité d'abattage et de transformation

Cette unité constituée de différents départements destinés à l'abattage de poulets et de transformation de poulets vivants en multiproduits, les poulets réceptionnés depuis les fermes d'élevage ont subi plusieurs opérations en commençant par l'abattage, plumaison, éviscération, lavage, triages des poulets, l'emballage de poulets entiers, découpe de poulets en morceaux, transformation des poulets en plusieurs produits. Les produits obtenus sont ensuite transportés vers les points de vente.

5.1.5 Centre de distribution

Ces centres assurent la mise à disposition de la viande blanche de poulet ainsi que ses sous-produits auprès des consommateurs finaux, en offrant une large gamme de produits du poulet tels que la viande blanche, morceaux de poulets, sous-produits, et de produits élaborés. Les boucheries et les points de vente font partie intégrante de ces centres de distribution en proposant des produits frais et de bonne qualité aux consommateurs.

5.2 État de l'art la chaîne avicole

L'élevage de poulets de chair est un élément essentiel de la chaîne logistique avicole, car il permet de produire le poulet de chair, qui est le produit le plus consommé de la famille des protéines. En

tant que produit primaire, le poulet de chair est utilisé pour la réalisation d'une gamme de produits élaborés, tels que les saucisses et le pâté de poulet, ainsi que pour la production des sous-produits, tels que les abats et les morceaux de poulet. Notons que le poulet de chair est un animal délicat, et son élevage nécessite une gestion rigoureuse, cela a incité de nombreux chercheurs à étudier l'élevage de poulets de chair en termes d'études de planification de la production, d'études statistiques, et d'études biologiques.

L'objectif de cette section est de présenter la plupart des travaux liés à l'élevage de poulets de chair, dans le but de fournir une vue d'ensemble des dernières avancées dans ce domaine, tout en soulignant les lacunes de la recherche actuelle et les défis à relever pour cette chaîne. Dans ce contexte, la revue est répartie en quatre volets : l'étude biologique, l'étude statistique, la planification de la production, et la valorisation des déchets d'élevage.

Le premier volet concerne les travaux qui traitent l'aspect biologique qui concerne la qualité et la race et l'aspect génétique du produit en question tels que Petracci et al., (2015a) étudient les conséquences de la sélection génétique conduisant à la croissance rapide des poulets de chair sur la qualité de la viande blanche. Vecerek et al., (2016) ont étudié l'impact du transport des poulets de chair vers les centres d'abattage sur le taux de mortalité pour toutes les saisons de l'année. Akbay & Azeez, (2016) établissent une étude statistique afin de déterminer les principaux facteurs qui affectent significativement sur le taux de mortalité chez les poulets de chair. Aziz et al., (2017) étudient l'effet de l'eau potable sur les caractéristiques de la carcasse de poulet, le coût de production et la mortalité du poulet de chair. Askri et al., (2018); Djezzar & Lalaoui, (2019) ont évalué l'efficacité d'introduire du pré-biotique « AVIATOR » dans le régime alimentaire de poulets de chair pour améliorer les performances de croissance et la qualité de la viande. dela Cruz et al., (2019) ont étudié les effets de la supplémentation d'antibiotiques sur le poulet de chair en fonction de poids, croissance, taux de mortalité, etc. Elwan et al., (2019) présentent une étude biologique sur l'utilisation de la levure rouge dans l'industrie des aliments de volailles. Abdelnour et al., (2019) font une étude biologique sur la possibilité d'intégrer d'un complément alimentaire dans le régime alimentaire des poulets de chair. Djebbouri & Hamrani, (2017); Mokrani & Hadji, (2019); Nait et al., (2020); M. Tahraoui & Saadi, (2019) établissent des suivis de déroulement d'élevage de poulets de chair dans des différentes wilayas de l'Algérie afin de déterminer les conditions adéquates de l'élevage. Ochieng et al., (2020) développent une étude biologique afin de déterminer les effets de l'intégration d'un type de maïs dans les aliments de poulets de chair sur la qualité de la viande produite.

Le deuxième volet de l'étude de l'état de l'art s'intéresse aux travaux statistiques économiques de la consommation et de la production du poulet, parmi ces recherches, Al-Nasser, (2006) a établi une étude statistique de la consommation de poulets de chair et les œufs dans le pays de Kuwait avec une étude de marché pour l'estimation de la production et de garantir la satisfaction locale. Aral et al., (2010) font une étude statistique sur la production de poulets de chair en Turquie, afin de préciser les principaux facteurs affectant les demandes du marché, les quantités de poulets

produites, et le prix de vente de poulets de chair. Alloui & Bennoune,(2013) ont fait un diagnostic sur la filière du poulet de chair en Algérie, où ils ont réalisé des statistiques sur la production et la consommation des œufs et des poulets de chair, et ainsi ont identifié tous les critères à respecter dans cette filière. De même Kaci & Cheriet, (2013) ont présenté une analyse de la filière avicole algérienne afin de préciser les facteurs dédiés à la faible compétition du marché de la viande blanche. Balamurugan & Manoharan, (2013) établissent une étude financière entre l'impact des coûts de l'élevage et les bénéfices engendrés sur la taille des fermes de poulets de chair étudiées. KIROUANI, (2015) analyse de la situation de la filière avicole dans la wilaya de Béjaïa en Algérie. Kaci & Kheffache, (2016) ont présenté une étude statistique relative à la production, la commercialisation et la demande du marché de poulets de chair de la wilaya de Médéa en Algérie. Ferrah et al., (2017) fait une étude statistique globale sur la production de poulets de chair en Algérie entre 1999 et 2000. Arowolo et al., (2017) ont établi une étude statistique afin de faire une planification de la relève dans le secteur avicole dans le sud-ouest du Nigéria. Wijayaningrum et al.,(2017)proposent une approche utilisant des algorithmes génétiques pour déterminer la composition optimale des aliments de poulets de chair, qui soit bénéfique pour leur production et leur engraissement, tout en réduisant les coûts de production.

Par ailleurs, d'autres chercheurs se sont intéressés à étudier la performance de la chaîne d'approvisionnement de poulet de chair. Parmi ces chercheurs on cite Adamczuk Oliveira & Lindau,(2012); Boudahri et al.,(2011a),(2013); Brevik et al.,(2020); Gordon,(2013); Praseeratasang et al.,(2019); Satır & Yildirim,(2020); Solano et al.,(2019); You & Hsieh,(2018) qui représentent l'étude du troisième volet de l'étude d'état de l'art.

Ces chercheurs ont étudié la planification de la chaîne logistique avicole telle que cité dans la section (4.2) où l'objectif de ces études était de développer des modèles mathématiques de planification pour l'affectation et le transport des œufs fécondés aux fermes d'élevage, l'ordonnancement des fermes pour l'organisation de la production des fermes d'élevage appartenant à la même entreprise, la localisation optimale des centre d'abattage et la distribution et de transport des poulets aux unités d'abattages.

La valorisation des déchets d'élevage, en particulier la litière, est une problématique intéressante pour de nombreux chercheurs dont l'objectif est de trouver des solutions durables pour gérer ces déchets et produire de l'énergie renouvelable. Dans notre étude bibliographique, ce sujet est abordé en quatrième volet, avec des travaux tels que Balaman et al.,(2018); Balaman & Selim,(2014); Durmaz & Bilgen,(2020); Mayerle & de Figueiredo,(2016) qui ont étudié la valorisation et la transformation de la litière de poulets pour produire du biogaz. De plus, des travaux de(Arshad et al., 2018; Li et al., 2021) qui se sont concentrés sur la production d'électricité à partir de la transformation de la litière de poulet de chair. Tandis que Firouzi et al.,(2021); Martinez-Valencia et al.,(2021) ont étudié la planification de la production des biocarburants à partir de la transformation de la litière de poulets de chair.

D'après l'étude de la littérature, nous constatons que la majorité des travaux sur les chaînes logistiques agroalimentaires traitent les produits agricoles et peu de travaux sur la chaîne logistique avicole. Notons que les travaux relatifs de cette chaîne concernent l'étude biologique ou l'étude statistique pour la récolte des informations nécessaires pour les réseaux avicoles ou l'estimation du gain engendré par la production. Par ailleurs, peu de travaux sur l'optimisation de la production et la planification de la chaîne avicole ont été abordés. Sachant que la viande blanche est l'un des produits les plus consommés en Algérie, de plus cette matière est caractérisée par la haute sensibilité aux bactéries et sa périssabilité.

C'est pour cela que nous avons choisi d'étudier la chaîne logistique avicole dont l'objectif est de développer une modélisation mathématique de planification intégrée de la production de poulet de chair au niveau local.

5.3 L'élevage de poulets de chair

Les volailles sont des oiseaux domestiques élevés pour leur chair et leurs œufs. Généralement, on classe les volailles selon la couleur de leur chair. Il existe des volailles à chair blanche, comme les poulets, les coqs et les dindes, et des volailles à chair brune, telles que les canards, les oies, les pigeons. Le poulet de chair est l'une des volailles les plus élevées pour la production de la viande blanche, en raison de sa courte durée d'élevage et de la grande demande pour sa viande auprès de la majorité des consommateurs.

L'élevage de poulet de chair est une activité délicate qui repose sur des normes spécifiques de nutrition, d'hygiène et de sécurité. Son objectif est d'élever des poussins d'un jour dans une ferme appropriée disposant des ressources matérielles et humaines qualifiées, afin d'obtenir des poulets matures à un poids élevé en une durée déterminée de 45 à 50 jours.

5.3.1 Les modes d'élevage du poulet

L'élevage du poulet de chair peut être réalisé selon différents modes. Le choix du mode d'élevage dépend des préférences et des priorités de chaque producteur, ainsi que des attentes des consommateurs. Les différents modes sont présentés par la suite (Bennekrouf et al., 2016) :

5.3.1.1 Elevage au sol

Ce mode d'élevage peut se faire selon deux types :

- **Élevage intensif** : c'est un mode d'élevage industrialisé se fait pour les grandes quantités de poulets, dans ce type d'élevage, les poulets sont élevés dans des hangars spécifiques équipés par des systèmes automatisés pour la distribution des aliments, de l'eau, le nettoyage, et la régulation du climat. Sachant que dans ce type d'élevage, les poulets sont nourris avec des aliments spéciaux et sont régulièrement vaccinés sous la supervision d'un vétérinaire. Le coût de ce type est élevé, mais la durée d'élevage est courte. Ce type d'élevage a été introduit en

Algérie avec l'émergence des couvoirs dans les structures du Ministère de l'Agriculture et de la Révolution Agraire (MARA), qui a créé l'ONAB (l'Office National des Aliments du Bétail).

- **Élevage extensif** : l'élevage extensif est une méthode d'élevage caractérisée par une faible densité de poulets entre 15 ou 20 sujets par ferme. Dans ce type les poules vivent dans leurs conditions naturelles, elles sont alimentées par du blé, du riz, du son de blé, et des vers. Donc ils restent sains et fertiles et ils ont besoin de peu de médicaments et soins vétérinaires. Le coût de ce type d'élevage n'est pas très élevé. Les poules élevées par ce type sont destinées à la consommation familiale ou la production d'œufs.

5.3.1.2 Élevage en batterie

L'élevage en batterie est un mode d'élevage consiste à mise en œuvre des poulets dans des dépositions linéaires de cages métalliques appelée batterie. Ces cages sont posées sur des étages superposées, généralement deux ou trois étages. Ce type assure la meilleure croissance de poulets car il réduit l'activité des poulets ce qui permet d'économiser leurs énergies et donc leur nourriture qu'à faire de la viande.

5.3.1.3 Élevage mixte (sol-batterie)

L'élevage mixte utilise les avantages des deux modes d'élevage : élevage au sol et élevage en batterie. Le démarrage : de 0 à 6 semaines se fait au sol. Les poussins ont une grande rusticité qui sera ressentie en deuxième phase. Et la phase de finition se fait en batterie : dans cette phase, l'éleveuse n'est plus indispensable. Cette méthode d'élevage se justifie par l'insuffisance de locaux pour l'élevage au sol pendant 03 mois surtout pour les grands effectifs, et par l'impossibilité d'une installation complète en batteries. Dans Notre étude, on s'intéresse à un problème de planification de la production d'un réseau des fermes d'élevage dédié à la production de la viande blanche afin de satisfaire la demande du marché, le mode d'élevage adapté pour ce réseau est l'élevage intensif, les étapes d'élevage de ce type sont présentées par la suite.

5.3.2 Les étapes d'élevage intensif de poulets de chair

L'élevage de poulets de chair se fait sur une durée déterminée s'appelle la bande d'élevage, qui est composée d'une durée d'engraissement varie entre 45 à 50 jours suivi par un mois (30 jours) de vide sanitaire obligatoire. On peut répartir la période ou bien la bande d'élevage sur trois périodes successives : période de démarrage, période de croissance, et période d'engraissement. (ITAVI: *Experts des filières avicole, cunicole et piscicole*; Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural). Les trois périodes sont détaillées dans la partie suivante :

5.3.2.1 Période de démarrage

Cette période est la période cruciale dans l'élevage de poulet de chair, elle démarre du premier jour jusqu'au 14^{ème} jour, sachant que les poussins d'un jour sont des animaux très sensibles aux microbes et ont besoin beaucoup de soin. Donc il est obligatoire de faire une procédure de

nettoyage et de désinfection du bâtiment d'élevage avant de démarrer une bande d'élevage de poulets de chair.

- **Nettoyage et désinfection du bâtiment d'élevage :** Cette étape exige l'utilisation des produits de désinfection et de nettoyage spécifique ainsi que des ouvriers qualifiés, Au début les ouvriers s'équipent par des combinaisons imperméables, des gants à manchettes longues et étanches, de masque avec cartouche de filtration et des bottes en caoutchouc.

La première étape consiste à purger les canalisations, vider les trémies et sortir le matériel mobile aussi démonter les mangeoires ensuite les ouvriers aspergent de l'eau sur toute la surface du bâtiment pour faciliter le nettoyage. Puis, ils appliquent un détergent adopté en fonction de la nature des salissures sur toutes les zones du bâtiment ainsi que dans les coins tout en respectant la concentration et les préconisations fournies par les fournisseurs de produits chimiques. Après ils passent à la désinfection qui a pour but de tuer l'ensemble des micro-organismes comme les bactéries ou les virus en utilisant un désinfectant bactéricide, virucide et fongicide par une proportion appropriée en fonction de la surface développée du bâtiment.

À chaque vide sanitaire, il est important de réaliser un nettoyage et une désinfection de canalisation pour retirer l'ensemble du biofilm déposé au corps de l'eau. Pour cela, les ouvriers font un nettoyage mécanique en mettant le circuit d'abreuvement sous pression suivi par une détergence et désinfection établie par un vétérinaire. Les silos d'aliments sont aussi vidés et nettoyés ensuite désinfectés par un produit bactéricide ou fongicide. Une procédure de dératisation et un plan de lutte des ténébrions sont mis en place sur le site de production de façon continue au niveau des bâtiments et les endroits de stockage de l'aliment. Et pour les tenues et les chaussures des ouvriers, elles doivent être lavées et désinfectées après chaque bonde de manière fréquente. Après le nettoyage et la désinfection, il est obligatoire de respecter une durée de vide sanitaire de 30 jours telle que cela permet une remise à zéro microbienne durant cette période où il est nécessaire de respecter l'ensemble des mesures de biosécurité.

- **Préparation du bâtiment avant la mise en place :** Après le vide sanitaire, le gérant de la ferme doit faire un programme de gestion systématique et efficace pour le bâtiment avant la mise en place du projet d'élevage pour assurer la performance et la rentabilité de ce projet. Premièrement les ouvriers déchargent et étalent la litière à base de pailles de blé ou copeaux de bois sur la zone d'élevage au sein du bâtiment, sachant que la quantité de la litière varie d'une saison à l'autre selon les changements climatiques à l'extérieur. La litière a pour but de protéger la santé des poussins et de garder la bonne qualité des poulets. Elle a des caractéristiques comme : l'absorption de l'humidité, l'isolation thermique, et la réduction du contact des poussins avec ses excréments. Ensuite, ils passent à l'installation des équipements d'alimentation, d'abreuvement, de ventilation et de chauffage nécessaires selon les normes recommandées pour le démarrage d'élevage.

Au début de l'élevage, la zone de chauffage est délimitée à l'aide d'un rideau plastique pour une densité de 40 à 50 poussins par m², ce rideau va être déplacé en fonction de la croissance des poulets jusqu'à ce que la surface totale du bâtiment soit exploitée. Le climat au sein du bâtiment doit être approprié et pris pour la réception des poussins sachant que les poussins ne peuvent pas régler leur température avant le 14^{ème} jour d'âge. Pour cela le bâtiment doit être préchauffé 24 heures avant l'arrivée des poussins, ainsi que la température et l'humidité soient stables. Le contrôle des conditions climatiques se fait de manière régulière selon les changements climatiques de la saison d'élevage.

- **La réception des poussins :** lors de l'arrivée des poussins d'un jour, ils sont posés rapidement sur la litière dans le semi-obscurité pour passer un test visuel qui sert à trier les poussins selon leur qualité sachant que les poussins de bonne qualité doivent être exempt de toute déformation et qu'ils soient actifs et mobiles. Après ce test, les poussins sains sont déposés soigneusement dans le bâtiment et les poussins morts et anomalies seront éliminés. Dès que les poussins sont mis en place, la lumière est remise au maximum. La première étape sert à hydrater des poussins en leur distribuant de l'eau et de la vaccination recommandée, et pour la distribution de l'aliment se fait après 2 heures.
- **Le processus de l'élevage à la phase de démarrage :** durant cette phase, les éleveurs tiennent à contrôler de façon régulière les conditions climatiques au sein du bâtiment afin de fournir le climat approprié à l'élevage. Ainsi qu'ils assurent la distribution des quantités suffisantes de l'eau et de l'aliment approprié (aliment de démarrage), et le suivi des instructions vétérinaires concernant la vaccination ou bien les procédures de traitement en cas de maladie. Notons que le nettoyage des équipements d'alimentation et d'abreuvement se fait chaque jour. À la fin de cette période (à partir du 10^{ème} jour), le type d'alimentation doit être changé de façon progressive de l'aliment de démarrage à l'aliment de croissance.

5.3.2.2 Période de croissance

Cette phase commence du 15^{ème} jour jusqu'au 21^{ème} jour dans laquelle les poulets augmentent rapidement, ainsi que son poids varie de manière considérable. Durant cette période les éleveurs assurent la répartition uniforme des matériels d'abreuvement et d'alimentation sur toute la surface du bâtiment. Le nettoyage de ces matériels se fait deux fois par semaine tels que le réseau de la distribution de l'eau et de l'aliment (aliment de croissance). Ainsi, un réglage de l'ajustement de la hauteur des équipements climatiques pour maintenir l'équilibre biologique et social du bâtiment au sein du bâtiment est envisagé pendant l'action du nettoyage. Pour un bon contrôle vétérinaire, la vaccination se fait de manière continue.

5.3.2.3 Période d'engraissement

La période d'engraissement représente la dernière phase de l'élevage du poulet de chair qui commence du 22^{ème} jour jusqu'au 45^{ème} jour. Le poids de poulet dans cette période augmente rapidement d'un jour à l'autre ce qui rend les poulets moins mobiles et plus sensible aux variations de température, donc les éleveurs assurent la continuité de toutes les activités d'élevage de façon

régulier selon les normes (la répartition des matériels, la distribution de l'eau et de l'aliment nécessaire, et le réglage des différents équipements climatiques). Notons que le type d'alimentation se change de manière progressive vers l'alimentation d'engraissement avec des compléments nutritionnels, et que le contrôle vétérinaire se fait de manière régulière.

5.3.2.4 La vente de poulet

À la fin de cycle d'élevage (le 45^{ème} jour et plus) les poulets engraisés sont mis à jeun 12 heures avant de la mise en caisses, les poulets sont triés selon leur poids, sachant qu'une bande d'élevage donne deux qualités de poulets : poulets de poids élevé et poulet de poids moyen, les deux types de poulets sont chargées dans des cages avec une capacité de 10 poulets/ cage. Les cages sont ensuite pesées puis elles seront posées dans les véhicules et acheminées vers le centre d'abattage.

5.3.2.5 La vente de la litière

Après chaque bande d'élevage, la litière produite est vendue aux unités de transformation. Sachant que la litière de volaille est un composé hétérogène produit après un cycle de production avicole, qui se compose d'un ensemble des matériaux comme les coupeaux de bois, la paille, les fientes, les peaux mortes, les restes d'aliments, l'eau, et les plumes. Ces déchets sont généralement destinés à la revalorisation où ils subissent un processus de transformation pour les rendre valorisables pour d'autres usages, tels que la production d'engrais pour la fertilisation des sols agricoles ou la production d'énergie. Cette pratique s'inscrit dans une logique de développement durable.

5.3.3 Les coûts d'élevage du poulet de chair

L'élevage intensif de poulets est souvent utilisé pour la production de grandes quantités de la viande blanche. Cependant, les coûts associés à ce type d'élevage peuvent être importants. Parmi les coûts d'élevage intensif de poulets, on peut citer :

- **Le coût de lancement du projet d'élevage** : représente l'ensemble des dépenses engagées par le gérant de la ferme d'élevage pour assurer la mise en place du projet, telles que les frais de remboursement d'emprunts et les assurances nécessaires. Ces dépenses sont destinées à garantir la viabilité financière du projet et à couvrir les éventuels risques liés à l'activité d'élevage.
- **Le coût d'installation du projet d'élevage** englobe les dépenses liées à l'achat des produits nécessaires au nettoyage et à la désinfection du bâtiment ainsi que des équipements nécessaires à l'activité. Ce coût comprend également les salaires versés aux ouvriers chargés de réaliser les procédures de nettoyage, de désinfection et d'installation des équipements et du matériel d'élevage.
- **Le coût de production** comprend l'ensemble des charges liées à l'élevage des poulets, telles que les frais d'achat d'aliments. Les poulets consomment trois types d'aliments : de classe A pour les 10 premiers jours, de classe B du 11^{ème} au 30^{ème} jour, et de classe C du 30^{ème} jour jusqu'à la fin de la période d'élevage. Le coût inclut également les frais d'eau, sachant que la

quantité d'eau nécessaire varie selon les saisons. De plus, ce coût prend en compte les frais de consommation de gaz pour le chauffage, notons que la quantité du gaz consommée varie selon les saisons, ainsi que les frais d'électricité pour l'éclairage et l'automatisation des autres activités d'élevage. Enfin, les frais de litière qui est généralement composée de copeaux de bois et de paille, ainsi que les salaires des ouvriers qui prennent en charge l'ensemble des activités d'élevage sont également inclus dans le coût de production.

- **Le coût de lancement de la vente :** correspond aux primes d'assurance pour assurer l'opération de la vente des poulets et couvrir les risques liés à la vente. L'objectif de ces dépenses est de garantir le succès de l'opération de la vente tout en minimisant les risques financiers pour la ferme d'élevage.
- **Le coût de la vente :** Correspond à l'ensemble des dépenses nécessaires pour mettre en place l'opération de la vente des poulets. Cela inclut les coûts liés à l'achat des cages, l'énumération des ouvriers relatifs pour le tri des poulets, la mise des poulets dans les cages, et le chargement de ces cages dans les camions. En outre, les frais de transport des poulets jusqu'aux unités d'abattage font également partie de ce coût.

6 Conclusion

Ce chapitre présente une généralité sur la planification des chaînes logistique agroalimentaires plus précisément la chaîne logistique avicole de poulets de chair. Cette chaîne logistique agroalimentaire concerne les produits alimentaires issus du secteur agricole et avicole. Ces produits sont de haute périssabilité, et nécessitent une gestion rigoureuse pour préserver leur qualité lors de la transformation et du transport. Ces exigences imposent l'adaptation d'une planification agrégée pour l'organisation de la production et la distribution de ces produits, en tenant compte des différentes contraintes selon le type de produit étudié.

D'après l'étude de la littérature sur la planification de la production des produits agroalimentaires, la majorité des travaux ont porté sur les chaînes de production des produits agricoles. Tandis que, les travaux liés à la planification des chaînes logistique avicoles ont étudié l'affectation des œufs fécondés aux fermes d'élevage, l'organisation de la production des fermes appartenant à la même filiale, la localisation des centres d'abattage et le réseau de transport. À cet effet, cela nous a incité à étudier la chaîne logistique de production de poulets de chair pour un réseau externe des fermes de poulets, dans le but est de planifier et d'organiser la production de ces fermes afin de satisfaire la demande du marché.

Chapitre 2 : Planification et optimisation d'un réseau avicole dans une approche dynamique à horizon multiples

1 Introduction

Dans le secteur de la production avicole, l'élevage du poulet de chair représente une activité primordiale qui est en expansion accélérée au fil du temps année après année (Satir, 2020). De nature que sa viande offre une source nutritive importante de protéine à raison de deux avantages majeurs, elle récompense le besoin alimentaire des individus au niveau mondial ; comme le cas d'Algérie selon les rapports de Kaci & Cheriet,(2013); Kaci & Kheffache,(2016); KIROUANI, (2015). Le premier avantage est purement économique, celui du prix de la viande du poulet le moins cher par rapport aux autres types de viandes (la viande rouge et les poissons) et il convient au citoyen algérien avec un revenu moyen. Le deuxième avantage reflète le facteur de disponibilité de ce type de viande (poulet de chair) sur le marché algérien puisque la production de poulets de chair est rapide et adaptable aux changements du marché, en raison de la durée des cycles de vie des poulets de chair (Yakovleva & Flynn, 2004). De plus cette activité est encouragée grâce aux importants investissements consentis par le secteur privé et public selon Alloui & Bennoune, (2013)

L'élevage du poulet de chair nécessite très souvent une logistique spécialisée, puisque sa valeur économique est la plus élevée due aux caractéristiques biologiques d'une chair vivante. Caractérisés par un cycle de vie d'une bande d'élevage variant entre 45 jours et 50 jours, les produits avicoles ne peuvent être produits en masse en quelques jours, ce qui augmente le degré de difficulté à optimiser le processus de production et d'élevage.

Un problème auquel est confronté ce type de chaîne est comment organiser l'approvisionnement et la production pour offrir les avantages de la logistique en assurant au consommateur, des quantités disponibles qui respectent les normes de la qualité alimentaire relative au poulet de chair avec les plus bas prix. Dans ce cadre les stratégies abordées doivent impérativement travailler sur l'analyse des installations, garantir les conditions adéquates en termes d'hygiène, de sécurité, de coordination et de contrôle pour garantir la production, éviter le gaspillage, augmenter le revenu et diminuer le taux de mortalité.(Akday & Azeez, 2016).

L'analyse de rentabilisation des projets d'élevages, nécessite des infrastructures et une gestion de marché cohérente. Cependant, la difficulté qui réside dans ce type de réseau concerne le déséquilibre entre l'offre et la demande des produits de poulet de chair puisque la production varie considérablement d'un jour à l'autre et d'une période à une autre ainsi que d'une saison à une autre. Ce qui présente une instabilité de la quantité produite et influe fortement par la suite sur le prix de vente. Effectivement, pendant les périodes où il y a une forte production de poulet de chair chez les éleveurs, les prix baissent et les éleveurs récoltent des pertes énormes. Ce qui décourage les éleveurs pour une production massive sur la période suivante, voire un arrêt momentanément de l'activité d'élevage, en provoquant systématiquement une baisse des quantités livrées aux abattoirs pendant cette période. Cette situation engendre l'augmentation des prix du poulet de chair dans le marché. Ce prix incite les éleveurs à exercer leurs activités d'élevage une nouvelle fois et aux mêmes périodes pour se retrouver dans la même situation que précédemment. Les éleveurs souffrent de cette concurrence intense et recherchent des opportunités pour déclencher les élevages les mieux adaptés à une région et être en mesure de livrer le bon produit au bon moment et sur les marchés les plus rentables. D'où le challenge et comment ces conditions de marché par rapport à la production pourront être résolues en utilisant des modèles de stratégie de planification ?

L'objectif de ce travail est de faire une planification intégrée du réseau avicole afin de synchroniser entre l'offre et la demande autour d'une certaine moyenne de consommation et de stabiliser les prix de vente sur un intervalle acceptable durant l'horizon de planification. L'originalité de ce travail concerne trois points de l'étude à savoir :

La première originalité réside dans la proposition d'un planning détaillé pour les fermes et les éleveurs de poulets en leur précisant les quantités et la densité de peuplement dans chacun de leurs poulaillers pendant la phase de planification. Un cas réel qui sert de cadre applicatif à cette étude est investigué. Il s'agit de la chaîne logistique avicole de la ville de Tlemcen-Algérie en considérant tous ses acteurs : les fournisseurs, les manufacturiers, les entrepôts, les abattoirs, les distributeurs, les détaillants et les clients. Ainsi en misant à travailler dans un cadre de développement durable entre l'éleveur et le consommateur, un indicateur de performance est à améliorer celui de qualité de service au niveau de la chaîne avicole en développant une planification qui maximise le profit et conserve la stabilisation des prix de vente.

La deuxième originalité dans ce chapitre concerne la planification intégrée multi-horizons. Cette analyse nous permet d'étendre la planification sur plusieurs horizons concaténés pour assurer la stabilisation des prix à long terme. Compte tenu du caractère stochastique et dynamique de la demande qui varie différemment au cours d'un horizon à l'autre, et d'une saison à une autre sur l'ensemble des horizons, pour de tels problèmes, le calendrier optimal nécessite d'équilibrer entre deux fonctions. La première fonction concerne la production et la distribution des bonnes quantités de produits, aux bons endroits et au bon moment afin de maximiser le profit total du système avec un prix stationnaire. La deuxième fonction concerne l'assurance de la qualité de service en accordant la même priorité d'élevage à toutes les fermes du réseau étudié, ce qui par la suite augmente les niveaux de services désirés par les clients.

Par la suite, pour offrir plus de niveaux de service au client, une autre approche additive intéressante a été établie. Elle prend en compte la notion de la qualité des poulets pour répondre

aux besoins d'une variété de consommateurs, ce qui peut se traduire par une augmentation des ventes, d'où par la suite, l'augmentation du profit de la chaîne étudiée.

Ce chapitre est organisé de la manière suivante : la section 2 expose la problématique et la contribution de cette étude. Ensuite, la section 3 présente en détail la planification stratégique-tactique développée, ainsi que les hypothèses proposées et les trois approches introduites : l'approche économique, l'approche équitable et l'approche de la mutualisation. Cette section inclut également les modèles mathématiques utilisés, les paramètres numériques et les résultats obtenus. Dans la section 4, la planification intégrée multi-horizon est présentée avec les résultats obtenus, ensuite la section 5 expose l'approche qualitative et ses résultats. Enfin, la section 6 présente la conclusion de l'étude.

2 Description de la problématique

L'étude dans ce travail concerne la planification d'un réseau de production et de distribution de la viande blanche dans la ville de Tlemcen. Le réseau étudié comprend un ensemble de fermes d'élevage qui possèdent des hangars spécifiques dans lesquels les poussins sont élevés dans un environnement approprié qui procure les conditions nécessaires pour une bonne production telle que : l'eau, la nourriture, une bonne ventilation, une bonne isolation, et une température adéquate au niveau de chaque hangar. Pour le cycle de vie du poulet, qui est estimé de 45 à 50 jours, l'obtention de poulets matures à un poids élevé n'est prête à vendre aux consommateurs qu'après un suivi très rigoureux. Par la suite, ces fermes approvisionnent un centre d'abattage, où les poulets réceptionnés subissent des opérations d'abattage, plumage et nettoyage avant d'être expédiés vers les centres de distribution qui envoient la viande aux détaillants, avant d'être livrés au consommateur final. De plus la figure suivante représente l'évolution des flux physiques de la chaîne avicole étudiée :

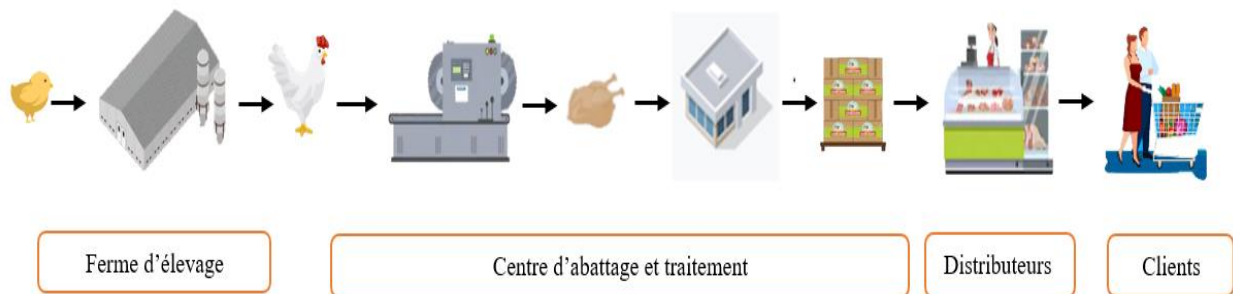


Figure 4: le réseau de la chaîne avicole étudiée.

Le problème avant notre étude qui se pose dans cette chaîne avicole, était le lancement aléatoire de la production du poulet de chair sans suivre une étude préalable qui engendre une variation importante des quantités produites. Ceci conduit vers un bouleversement et crée un déséquilibre entre l'offre et la demande d'où une instabilité des prix qui nuisent soit au consommateur soit au producteur. Puisque, si l'offre est inférieure à la demande les prix flambent en procurant une perte nutritionnelle pour les individus suite à la non-consommation de cet aliment puisqu'il n'est plus

dans le pouvoir d'achat des citoyens. Et d'un autre côté, si l'offre est supérieure à la demande donc, les prix baissent suite à une offre massive, et procure des pertes importantes pour les éleveurs.

Pour commencer ce travail, nous avons effectué une enquête sur le terrain apuré des éleveurs et des organismes avicoles de la wilaya de Tlemcen. D'après les informations reçues et l'analyse effectuée, nous avons détecté que le problème de cette chaîne vient de la mauvaise organisation de la production de poulets chez les fermes d'élevage. Et ceci est dû au manque de la communication et de l'absence du partage de l'information entre les différentes fermes. Plus précisément les gérants de ces fermes lancent la production dans leurs fermes selon leurs propres plannings et sans prendre en considération les fermes voisines. Cette situation conduit à une grosse variation de la production, sachant que le cycle d'une bande d'élevage varie entre 45 à 50 jours. À la fin du cycle de l'engraissement (poulet mature) le marché sera doté d'une grande quantité de poulets, ce qui donne une baisse de prix puisque l'offre est supérieure à la demande.

Cette situation engendre des pertes énormes chez les éleveurs et les décourage pour une production massive sur la période suivante, en provoquant une diminution voire un abandon de l'activité d'élevage. Durant cette temporisation, les quantités livrées aux abattoirs baissent ce qui provoque une augmentation des prix de la volaille dans le marché. De nouveau cette augmentation incite les éleveurs à exercer leur activité une nouvelle fois et aux mêmes périodes avec les mêmes dates de début, même date de livraison et même date de vente d'où cela se répète continuellement pour se retrouver dans la même situation que précédemment. D'après l'analyse présentée, le goulot dans ce travail se trouve autour des dates de lancement des bandes d'élevage durant l'horizon de planification pour l'ensemble des fermes qui répondent à une demande de consommation.

Dans ce travail, nous avons développé un modèle mathématique de planification intégrée sur la chaîne étudiée en prenant en considération tous ses acteurs. L'objectif de cette modélisation est d'organiser et d'ordonner la production au sein des fermes d'élevage. L'étude permettra de déterminer la date de début, la date de fin et la quantité à produire pour chaque ferme compte tenu des différentes contraintes de capacité d'élevage, du taux de mortalité et de la distance entre les fermes et le centre d'abattage.

• **La contribution**

De l'examen des travaux liés à la planification de la production de poulets de chair tels que présenté dans le chapitre 1 (section 5.2), deux points-clés ont été tirés, pour une partie, plusieurs articles ont étudié les problèmes de la planification et de dimensionnement des lots pour la production des œufs fécondés en termes de quantité, de la qualité et de son impact sur la chaîne logistique avicole. (Boonmee & Sethanan, 2016; Brevik et al., 2020). Dans une autre partie, des études se sont intéressées à déterminer une planification de production entre différentes races de poussins à élever pour une seule société et sur un seul horizon (You & Hsieh, 2018). Bien que, dans la mesure où nos connaissances s'étendent, aucun des travaux actuels n'ont examiné une planification intégrée et coopérative entre les fermes d'élevage en proposant un modèle mathématique.

C'est pour cela nous avons choisi de fournir un planning synchronisé qui permet d'organiser la rotation de production au niveau de l'ensemble des fermes d'élevage en précisant la date de début,

la date de fin, et la quantité pour chaque bande d'élevage, tout en respectant la capacité de chaque ferme et les quantités de demande à satisfaire pour chaque période de l'horizon de planification. Le réseau analysé est celui du réseau d'élevage de la ville de Tlemcen. Il est composé de plusieurs éleveurs autonomes, avec considération de la mutualisation pour servir un ensemble de lignes d'abattoirs qui est vu comme une seule société d'abattage. Cette société, assure à son tour la distribution au revendeur avant d'être consommé par le client final. Dans le but de maximiser le profit en minimisant les coûts d'investissement, et en assurant la livraison et la satisfaction des consommateurs au niveau de Tlemcen sur un seul horizon pour la première phase de ce travail est investiguée et détaillée. D'après aussi l'étude de la littérature, nous constatons que la majorité des travaux se sont intéressés à la planification des volailles et œufs fécondés sur un seul horizon. C'est dans ce contexte que notre deuxième contribution peut avoir lieu, en proposant une planification intégrée multi horizon, dynamique, puisque la notion multi horizon n'a pas été traitée dont l'objectif est de minimiser les coûts d'élevage en augmentant la qualité de service auprès des éleveurs et stabiliser les prix de vente. Les contributions abordées dans cette étude consistent à :

- Assurer une coopération entre les différents acteurs du réseau étudié. L'approche proposée incitera les divers acteurs à coopérer entre eux pour augmenter le bénéfice tout en assurant la satisfaction du client.
- Répartir les quantités d'élevage sur un ensemble de périodes et sur un ensemble de fermes.
- Dresser un calendrier synchronisé sur le peuplement des différents poulaillers au niveau de chaque ferme compte tenu de la capacité du poulailler utilisé et la demande à satisfaire.
- Proposer un modèle de programmation mathématique capable de donner les dates de début et les dates de fin pour chaque ferme en respectant le cycle d'élevage (durée d'engraissement suivie d'un mois pour le vide sanitaire).
- Déterminer le nombre d'élevages pour chaque ferme au cours d'une saison (horizon de planification) et proposer un routage d'élevage entre les différentes fermes en répondant à une demande donnée.
- Proposer une planification tactique qui peut être mise en œuvre pour tout type de réseau où la décision est centralisée par le décideur.
- Aider les jeunes agriculteurs qui produisent de petites quantités de poulets de chair.

3 Planification de la production de la chaîne étudiée

Cette recherche étudie le problème de la production d'un réseau d'élevage de poulets de chair composé d'un ensemble de fermes ($i \in I$) et des centres d'abattage (j). Plus précisément, l'organisation des implantations des projets d'élevage au sein des fermes qui sont dispersées géographiquement pour discuter d'un cas réel. L'objectif de cette étude est de développer une modélisation mathématique de la planification stratégique-tactique afin de créer une chaîne de valeur où tous les acteurs de la chaîne sont situés dans une situation gagnant- gagnant. Aussi, le deuxième objectif est d'organiser la production et garantir la collaboration de tous les éleveurs. D'où le défi sera donc de proposer une gestion de la chaîne logistique avicole qui assure la

production et la distribution des bonnes quantités de poulets, aux bons endroits et au bon moment tout en minimisant la somme des différentes dépenses et garantir la stabilisation du prix de vente à long terme qui répondre au pouvoir d'achat des clients.

3.1 Etapes de résolution

Le challenge de cette étude est de fournir un planning d'élevage synchrone et rotatif pour les différentes fermes du réseau étudié. L'objectif est de produire les quantités optimales de poulets dans les délais précis afin de satisfaire les demandes du marché tout en minimisant la somme des coûts d'élevage et maximisant le profit total de la chaîne. Pour cela trois approches de planification sont proposées telles que :

- L'approche économique vise à déterminer le choix optimal des fermes en répondant à une demande déterminée.
- L'approche équitable se base sur l'égalité entre toutes les fermes du réseau en donnant la même priorité à toutes les fermes de faire l'élevage pour assurer la fidélité des éleveurs.
- L'approche de mutualisation dont la notion de qualité de service et de mutualisation des fermes est avantageuse lors de la satisfaction de la demande.

▪ Hypothèse de recherche

Pour modéliser le problème, certaines hypothèses ont été formulées conformément au mode de fonctionnement du réseau étudié. Ainsi, nous avons supposé que :

- Chaque ferme est dotée d'une capacité limitée selon la structure architecturale.
- Voir la disponibilité des fermes d'élevage pour accueillir une bande d'élevage dans la période t en respectant leur vide sanitaire.
- Les demandes de poulets sont collectées auprès des détaillants et transmises au centre d'abattage.
- La capacité du centre d'abattage est d'une grande capacité.
- Les moyens de transport depuis la ferme jusqu'au centre d'abattage sont disponibles pendant toutes les périodes.

3.1.1 Approche économique

Pour une première étude, nous avons développé une modélisation mathématique en nombre entier mixte MILP. Cette modélisation vise à déterminer le choix optimal des fermes compte tenu de la capacité d'élevage de chaque ferme en répondant à une demande déterminée. Notons qu'une bande d'élevage de poulets de chair est estimée à trois mois tels que 2 mois pour la croissance et un mois obligatoire pour le vide sanitaire, nous avons supposé que la période de demande de chaque bande au sein de la ferme soit effectuée une fois dans la période qui est estimée à dix jours par rapport à un horizon de planification de 180 jours. Cet horizon de planification de 6 mois est choisi, afin de donner la possibilité à des fermes de renouveler leur bande d'élevage au cours de la durée choisie.

Le choix du nombre de jours alloué pour une période est déterminé à partir de la période de vente du poulet de chair puisque une fois que le poulet mature après cinq périodes de croissance, sa vente est imminente durant les dix jours suivant au-delà de cette période. En cas de non-livraison, le poulet connaît une dégradation importante de la qualité voire une mortalité inévitable.

3.1.1.1 Notation

▪ Ensembles

$i \in I :$	Ensemble des fermes d'élevage de poulets de chair
$j \in J :$	Ensemble des centres d'abattage
$t \in T :$	Ensemble de la période de la planification
$t' \in T :$	Sous ensemble désignant la période de production de poulets
$t'' \in T :$	Sous ensemble désignant la période de la vente de poulets

▪ Paramètres

$CMN_i :$	Capacité maximale d'élevage de poulets dans chaque ferme i .
$CMX_i :$	Capacité minimale d'élevage de poulets dans chaque ferme i
$FCLP_t^i :$	Coût fixe de lancement d'élevage à la ferme i à la période t .
$CP_t^i :$	Coût d'installation du projet d'élevage à la période t .
$CPR_t^{t'} :$	Coût moyen de la production depuis l'installation du projet d'élevage à la période t jusqu'à le début du vente t' à la ferme i .
$FCLV_t^{t''} :$	Coût fixe d'assurance de lancement de la vente de poulets à la période t'' dans la ferme i .
$CV_i :$	Coût de la préparation de la vente de poulets dans la ferme i .
$CTR_{ij} :$	Coût de transport de poulets de la ferme i au centre j .
$D_j^{t''} :$	Demande de centre d'abattage j dans la période t .
$Dp :$	La durée de l'engraissement des poulets
$Dv :$	La durée de la vente
$C :$	La durée du vide sanitaire
$A :$	Un grand nombre.

Variables de décisions

QP_i^t :	Quantité des poussins installés dans la ferme i / la période t .
$QV_i^{t''}$:	Quantité de poulets vendues de la ferme i / la période t'' .
$QL_{ij}^{t''}$:	Quantité de poulets livrées de la ferme i vers le centre j pendant la période t'' .
XO_i^t :	$\begin{cases} 1 & \text{Si l'élevage est fait à la période } t \text{ dans la ferme } i \\ 0 & \text{Si non} \end{cases}$
$XV_i^{t''}$:	$\begin{cases} 1 & \text{Si la vente est lancée à } t'' \text{ dans la ferme } i \\ 0 & \text{Si non} \end{cases}$

3.1.1.2 Modélisation mathématique

La fonction objective

Le réseau avicole est composé d'un ensemble de fermes i qui alimentent des centres d'abattages notés (j). Pour le réseau applicatif utilisé est en possession d'un seul centre, le modèle proposé est un modèle générique qui prend en considération j centres d'abattage. Les demandes $D_j^{t''}$ sont exprimées par le centre d'abattage sur un horizon de temps T qui est de six mois. Sachant que l'élevage du poulet de chair (bande d'élevage) est composé d'une succession de durée organisée comme suit : durée de production **DP**, suivie d'une durée de vente **DV** et un vide sanitaire **C**.

Avant de développer ce modèle, et pour mieux expliquer la durée nécessaire pour la production d'une bande d'élevage. Nous allons présenter et éclaircir avec un exemple. Pour un horizon de 6 mois composé de 18 périodes et un réseau de fermes. Nous supposons une production de poulets au sein d'une ferme $i=1$, qui débute à la période p_1 , avec un cycle de production de 5 périodes ($DP=5$) qui correspond à 50 jours. La première récolte doit se faire à la sixième période ($p=6$), puis au-delà de la période P_7 jusqu'à la période P_9 la ferme subit un vide sanitaire égal à 3 périodes ($C=3$) qui correspond à 30 jours. Donc le lancement de la deuxième bande d'élevage au sein de cette ferme $i=1$ ne peut pas être effectué avant la période P_{10} et se termine au minimum à la période P_{19} en respectant la durée totale de la bande d'élevage qui de 9 périodes, ce qui donne le nombre maximum d'élevage au cours d'un horizon pour chaque ferme est de deux fois. Comme présente et détaillée dans la figure suivante :

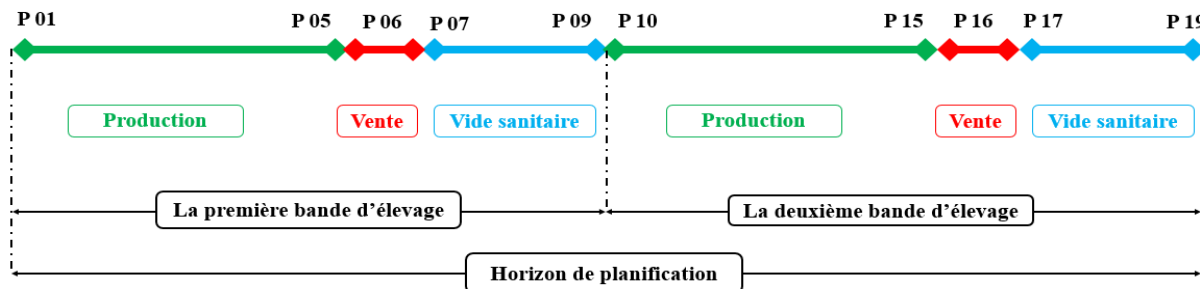


Figure 5: La répartition des bandes d'élevage sur un horizon de planification.

L'objectif de cette étude est de minimiser la somme des différents coûts d'élevage comprenant : le coût de lancement d'un d'élevage au sein de chaque ferme choisit notée par ($FCLP_i^t$), le coût d'installation d'élevage (CP_i^t), le coût d'engraissement de poulets ($CPR_i^{t'}$), le coût fixe de lancement de la vente ($FCLV_i^{t''}$), le coût de la préparation de poulets pour la vente ($CV_i^{t''}$), et le coût de transport de poulets vers le centre d'abattage (CTR_{ij}), la fonction objectif est formulée par l'équation 1.

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \sum_i \sum_t FCLP_i^t * XO_i^t + \sum_i \sum_t CP_i^t * QP_i^t + \sum_i \sum_t \sum_{t'=t}^{t+Dp} CPR_i^{t'} * QP_i^t + \\ & \sum_i \sum_t \sum_{t''=t+Dp} FCLV_i^{t''} * XV_i^{t''} + \sum_i \sum_t \sum_{t''=t+Dp} CV_i^{t''} * QV_i^{t''} + \sum_i \sum_j \sum_{t''} CTR_{ij} * QV_i^{t''} \end{aligned} \quad (1)$$

▪ Sous les contraintes

$$\sum_{t \leq t_1}^{t_1 \leq t+Dp+Dv+C} XO_i^{t_1} \leq 1 \quad \forall i \quad \forall t \quad (2)$$

$$QP_i^t \leq A * XO_i^t \quad \forall i \quad \forall t \quad (3)$$

$$XO_i^t \leq QP_i^t \quad \forall i \quad \forall t \quad (4)$$

$$QP_i^t \leq CMX_i * XO_i^t \quad \forall i \quad \forall t \quad (5)$$

$$QP_i^t \geq CMN_i * XO_i^t \quad \forall i \quad \forall t \quad (6)$$

$$XV_i^{t''} = XO_i^t \quad \forall i \quad \forall t \quad \forall t'' = t + Dp \quad (7)$$

$$QV_i^{t''} \leq A * XV_i^{t''} \quad \forall i \quad \forall t \quad \forall t'' \quad (8)$$

$$XV_i^{t''} \leq QV_i^{t''} \quad \forall i \quad \forall t \quad \forall t'' \quad (9)$$

$$QP_i^t = QV_i^{t''} \quad \forall i \quad \forall t \quad \forall t'' : t'' = t + Dp \quad (10)$$

$$QV_i^{t''} = \sum_j QL_i^{t''} \quad \forall i \quad \forall t'' \quad (11)$$

$$\sum_i QL_i^{t''} \geq D_j^{t''} \quad \forall i \quad \forall t'' \quad (12)$$

$$XV_i^{t''} \in \{0, 1\} \quad XO_i^t \in \{0, 1\} \quad \forall i \quad \forall t \quad \forall t'' \quad (13)$$

$$QP_i^t \in R^+ \quad QV_i^{t''} \in R^+ \quad QL_i^{t''} \in R^+ \quad \forall i \quad \forall t \quad \forall t'' \quad (14)$$

Une bande d'élevage est composée d'une période d'engraissement (Dp), période de vente (Dv) et une période d'un mois (C) obligatoire du vide sanitaire. La contrainte (2) assure l'implantation d'un seul projet d'élevage pendant la durée de la bande d'élevage et ceci est appliqué à toutes les fermes

du réseau avicole étudié. Les contraintes (3) et (4) permettent de calculer la quantité de poussins à installer dans chaque ferme durant la période t .

La structure architecturale des poulaillers au niveau de chaque ferme est différente et dotée d'une capacité maximale à ne pas dépasser qui est appropriée à chaque hangar. De plus, d'après les enquêtes et les questionnaires effectués au niveau de Tlemcen, le lancement d'un projet d'élevage n'est rentable qu'à partir d'une quantité minimale. Au-dessous de cette quantité les éleveurs n'effectuent pas d'élevage. Les contraintes (5) et (6) assurent que la quantité des poussins affectés à la ferme choisie en terme de capacité par rapport à un seuil minimal à respecter. La contrainte (7) garantit le lancement de la vente qu'après l'élevage qui dure DP périodes pour chaque ferme choisie pour l'élevage. Et les contraintes (8) et (9) calculent la quantité de poulets à préparer pour la vente au sein de chaque ferme. Les contraintes (10) et (11) assurent la conservation des flux des quantités produites, vendues et livrées, et la contrainte (12) garantit la satisfaction de la demande.

Finalement la contrainte (13) indique la nature binaire des variables de décision, et la contrainte (14) indique la nature positive des variables de décisions à chercher : la quantité des poussins à affecter, la quantité de poulets à préparer pour la vente et la quantité de poulets à livrer.

3.1.1.3 Application numérique

Les paramètres numériques du système étudié sont fournis par des questionnaires établis par nous-même, qui ont été adressés aux différents fournisseurs de la région de Tlemcen. En effets Plusieurs visites régulières sur le terrain et à la chambre agricole de wilaya de Tlemcen sont effectuées. Les données de cette étude concernent les coûts d'élevage présentés dans le tableau 1 et les demandes du centre d'abattage présentés dans le tableau 2.

▪ Coûts d'élevage

Tableau 1: Les différents coûts du système.

Le coût	FCLP	CP	CPR	FCLV	CV	CTR
La valeur	40,000	108	291	10,000	15	12.5

▪ Les demandes du centre d'abattage

Afin de tester l'efficacité de cette approche, nous avons proposé deux scénarios avec une variation de la plage de la demande, on pourra envisager 2 possibilités de valeurs possibles des demandes :

- Premier scénario : Demande moyenne
- Deuxième scénario : Demande avec un taux faible

Tableau 2: Les demandes de poulets des scénarios proposés.

Périodes		Scénario 1	Scénario 2
Mai	P 01	0	0
	P 02	0	0
	P 03	0	0
Juin	P 04	0	0
	P 05	0	0
	P 06	8,000	4,600
Juillet	P 07	10,000	8,000
	P 08	10,000	8,000
	P 09	10,000	8,000
Aout	P 10	5,000	4,000
	P 11	5,000	4,000
	P 12	5,000	4,000
Septembre	P 13	10,000	8,000
	P 14	10,000	8,000
	P 15	10,000	8,000
Octobre	P 16	10,000	8,000
	P 17	10,000	8,000
	P 18	10,000	8,000

3.1.1.4 Résultats et discussion

Après l'implémentation de la modélisation proposée par rapport aux différentes données et dans le but de proposer un planning des différentes fermes par rapport à la quantité demandée dans chaque scénario, les résultats obtenus pour les deux scénarios sont résumés dans tableau 3, et tableau 4.

▪ Résultats du scénarios 1

Tableau 3: les quantités produites et vendues dans chaque ferme (*10³) pour le premier scénario.

Périodes	Mai			Juin			Juillet			Aout			Septembre			Octobre		
	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P 10	P 11	P 12	P 13	P 14	P 15	P 16	P 17	P 18
Demandes $\times 10^3$	0	0	0	0	0	8	10	10	10	5	5	5	10	10	10	10	10	10
F 01	4	0	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0	0
F 02	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
F 03	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0
F 04	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
F 05	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	4
F 06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2
F 07	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F 08	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
F 09	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
F 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0
F 11	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
F 12	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0
F 13	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0
F 14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0
F 15	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0
F 16																		
F 17	4	0	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0	0
F 18	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
F 19	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
F 20	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
F 21	0	4	0	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0
F 22																		
F 23	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	4
F 24	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F 25	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0
F 26	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F 27	0	4	0	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0
F 28																		
F 29	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
F 30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0

D'après les résultats obtenus nous remarquons que 27 fermes ont été choisies pour l'élevage de poulets de chair parmi les 30 fermes du réseau étudié. Dans le but de répondre à une demande totale de 113,000 poulets sur un horizon de temps de 13 périodes. Le coût total d'investissement est de 48,475,500 DA, ce qui revient à un coût unitaire de 428 DA par poulet vivant.

Sous contrainte de répondre à la quantité de 113,000 poulets en respectant les capacités minimales et maximales de chaque ferme par bande, les résultats obtenus ont permis de proposer une planification optimale en respectant les différentes contraintes de la durée de cycle de croissance et de la demande à chaque période. Par exemple pour satisfaire la demande de la période 14 qui est de 10,000 poulets, le résultat de validation du modèle choisit 3 fermes : la ferme 3 par une quantité de 4,000 poulets et la ferme 12 par une quantité de 2,000 poulets et la ferme 15 par une quantité de 4,000 poulets.

Ainsi, on remarque que notre algorithme a bien défini le plan de la production de poulets au sein des fermes. Durant la période choisie plusieurs fermes ont pu adopter deux fois des bandes d'élevage dans le but de satisfaire les demandes sur l'horizon du temps. Les fermes à deux bandes sont respectivement : 1, 5, 13, 17, 21, 23, 25, 27 et par contre pour les fermes qui ont fait une seule bande sont respectivement : 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 14, 15, 18, 19, 20, 24, 26, 29, 30. Tandis que, les fermes qui n'ont pas été sollicitées pour un élevage durant l'horizon de planning sont 16, 22, 28.

■ Résultats du scénarios 2

Pour les résultats du deuxième scénario, le tableau ci-dessous présente le planning proposé

Tableau 4: les quantités produites et vendues dans chaque ferme (*10³) pour le premier scénario.

Périodes	Mai			Juin			Juillet			Aout			Septembre			Octobre		
	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P 10	P 11	P 12	P 13	P 14	P 15	P 16	P 17	P 18
Demandes *10 ³	0	0	0	0	0	6,4	8	8	8	4	4	4	8	8	8	8	8	8
F 01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0	0
F 02	2,4	0	0	0	0	2,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F 03	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
F 04																		
F 05	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
F 06																		
F 07	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	4
F 08																		
F 09	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0
F 10																		
F 11	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0
F 12																		
F 13	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
F 14																		
F 15	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	4
F 16																		
F 17	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0
F 18																		
F 19	4	0	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0	0
F 20																		
F 21	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
F 22																		
F 23	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
F 24																		
F 25	0	4	0	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0
F 26																		
F 27	0	4	0	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0
F 28																		
F 29	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0
F 30																		

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que 16 fermes ont été choisies pour l'élevage de poulets de chair parmi les 30 fermes du réseau étudié. Particulièrement, 15 fermes avec une quantité égale 4,000 poulets, et une seule ferme (la ferme 2) avec une quantité de 2400 poulets. La ferme 2 a conjointement collaboré avec la ferme 19 (une quantité de 4,000 poulets) pour répondre à la demande de la période 6 (6,400 poulets). Dans le but de répondre à une demande totale de 90,400 poulets sur un horizon de temps de 13 périodes, le coût total d'investissement est de 38,530,400 DA ce qui revient à un coût unitaire de 426 DA par poulet vivant.

Pour répondre à la quantité de 90,400 poulets en respectant les capacités minimales et maximales de chaque ferme par bande. Les résultats obtenus ont permis de proposer une planification optimale en respectant les différentes contraintes de la durée de cycle de croissance et de la demande de chaque période donnée, par exemple pour satisfaire la demande de la période 10 qui est : 4,000 poulets l'optimisation du modèle a choisi seulement la ferme 21, et pour la période 18, le meilleur résultat est pour l'ouverture des deux fermes 7 et 15.

En conséquence, l'algorithme proposé montre parfaitement et en adéquation par rapport aux hypothèses, le plan de la production de poulets au sein des fermes. Durant la période choisie plusieurs fermes ont pu adopter deux bandes d'élevage dans le but de satisfaire les demandes sur

l'horizon de temps telles que les fermes sont : 7, 11, 15, 17, 19, 25, 27. Par contre pour d'autres fermes ont fait une bande d'élevage telle que : 1, 2, 3, 5, 9, 13, 21, 23, 29. Et selon la satisfaction de la demande bien moins de la capacité de toutes les fermes, certaines les fermes ne sont pas été sollicitées pour un élevage durant l'horizon de planning à savoir : 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, et 30.

3.1.1.5 Synthèse de l'approche économique

D'après les résultats obtenus par l'approche économique, pour les deux scénarios des demandes moyennes ou faibles, il a été observé que cette modélisation favorisait certaines fermes par rapport aux autres fermes du réseau et ceci sans tenir compte des contraintes de priorité. Le choix des fermes se fait selon l'optimisation globale du système, où certaines fermes ont été utilisées plusieurs fois durant l'horizon de planification selon le besoin, tandis que d'autres fermes ont été complètement exclues de l'élevage. Le défaut de ce planning est l'exclusion de certaines fermes, sans justification, ce qui entraîne une inégalité de choix et, par conséquent, la perte de la fidélité des éleveurs.

Pour remédier le problème du choix des fermes, on a proposé une autre approche afin d'égaliser entre toutes les fermes du réseau en donnant la même priorité à toutes les fermes de faire l'élevage.

3.1.2 Approche équitable

Cette approche introduit la notion d'utilisation équitable de toutes les fermes du réseau. Pour cela une modélisation mathématique se base sur la modélisation citée précédemment en modifiant la contrainte du choix des fermes pour l'élevage en donnant la même priorité. C'est-à-dire nous allons imposer l'ouverture de toutes les fermes pour l'élevage afin de satisfaire la demande totale.

3.1.2.1 Formulation mathématique

La modélisation mathématique proposée se base sur l'étude de l'approche économique sous les mêmes hypothèses d'étude citées précédemment (section 3.1) dont les paramètres utilisés sont les mêmes pour les deux approches, en conservant la même fonction objective (1) et en modifiant la contrainte de choix des fermes pour l'élevage.

▪ Sous les contraintes

Toutes les contraintes présentées dans la section (section 3.1.1.2) présentées respectivement par les équations et les inégalités (3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14), permettent de respecter le bon fonctionnement du réseau d'élevage par rapport aux quantités de demandes et des conditions d'élevage.

Ainsi pour forcer l'égalité d'ouverture de toutes les fermes du réseau, on ajoute la contrainte (15) telle que :

$$\sum_t XO_i^t = 1 \quad \forall i \quad (15)$$

3.1.2.2 Application numérique

Dans le cadre de cette étude, nous avons considéré un réseau composé de 30 fermes où la capacité d'élevage de chaque ferme varie entre 3000 et 6000 poulets par bande d'élevage, La demande moyenne pour chaque période est donnée par le centre d'abattage tel que s'est précisé dans le tableau 5. Bien évidemment cette demande est déterminée de manière approximative voire prévisionnelle puisque cette demande n'est pas connue avec exactitude avant sa réalisation.

Tableau 5: Les demandes du centre d'abattage du cas étudié.

Périodes	Mai			Juin			Juillet		
	P 01	P 02	P 03	P 04	P 05	P 06	P 07	P 08	P 09
Demandes	0	0	0	0	12,000	10,000	16,000	12,000	11,000
Périodes	Aout			Septembre			October		
	P 10	P 11	P 12	P 13	P 14	P 15	P 16	P 17	P 180
Demandes	4,000	5,000	9,000	15,000	12,000	18,000	10,000	16,000	12,000

Le nombre de périodes sur l'horizon de planification, estimé à 6 mois, est d'environ 18 périodes. Une information capitale pour notre étude par rapport à l'approche précédente a été modifiée : la durée d'engraissement était de 60 jours, mais dans cette étude elle est égale à 50 jours. Ce qui fait que les demandes ne commencent qu'à partir de la 5^{ème} période, car il n'est pas possible de fournir des poulets pendant les quatre premières périodes (poulets en croissance). Sur les 14 périodes restantes, les demandes sont présentées dans le tableau 5.

3.1.2.3 Résultats et discussion

Pour donner un échantillon de planification pour l'algorithme proposé selon les deux approches étudiées : approche économique et approche équitable. Nous avons utilisé les mêmes paramètres afin de comparer entre les résultats de ces deux planifications qui sont présentées dans le tableau 6 pour la première approche et le tableau 7 pour la deuxième approche.

▪ Résultats d'approche économique

Tableau 6: les quantités produites et vendues dans chaque ferme (*10³) pour l'approche économique.

Périodes	Mai			Juin			Juillet			Aout			Septembre			Octobre		
	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P 10	P 11	P 12	P 13	P 14	P 15	P 16	P 17	P 18
Demandes *10 ³	0	0	0	0	12	10	16	12	11	4	5	9	15	12	18	10	16	12
F 01	6	0	0	0	6	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0
F 02	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	4	0	0	0	4	0
F 03																		
F 04	0	0	0	0	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F 05																		
F 06	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
F 07																		
F 08	0	0	0	0	6	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F 09	6	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	6
F 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	6	0	0	0
F 11	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	6	0	0	0	0	0
F 12																		
F 13																		
F 14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	6	0	0	0
F 15																		
F 16																		
F 17	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
F 18	0	0	6	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F 19	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0
F 20	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0
F 21	0	0	0	6	0	0	0	6	0	0	0	0	6	0	0	0	6	0
F 22	0	0	0	6	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F 23	0	6	0	0	0	6	0	0	0	6	0	0	0	6	0	0	0	0
F 24	0	0	6	0	0	0	6	0	0	0	0	0	6	0	0	0	6	0
F 25	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	6	0	0	0	0	0
F 26																		
F 27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	6	0	0
F 28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	6	0	0	0
F 29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	6	0	0	0	0
F 30	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0	0	6	0	0	0	6

D'après les résultats obtenus, nous constatons pour cette configuration que pour la même demande des clients (162,000 poulets) a été satisfaite et planifiée juste avec 22 fermes parmi les 30 fermes du réseau en respectant les différentes contraintes de la période d'élevage et les périodes sanitaires. La réduction du nombre de fermes utilisées (22 fermes) peut être expliquée par l'utilisation multiple de la même ferme à des périodes distinctes. On remarque que huit fermes sont sollicitées pour faire deux bandes d'élevage dans le but de satisfaire les demandes sur l'horizon du temps. Elles sont respectivement les fermes : 1, 2, 9, 19, 21, 23, 24, 30. Par contre pour les fermes qui ont fait une seule fois sont respectivement : 4, 6, 8, 10, 11, 14, 17, 18, 20, 22, 25, 27, 28, 29. Et enfin, respectivement les fermes 3, 5, 7, 12, 13, 15, 16, 26 sont écartées du planning de lancement d'élevage par rapport à l'horizon effectif de 5 mois et dix jours.

▪ Résultats d'approche équitable (ouverture obligatoire)

Tableau 7: les quantités produites et vendues dans chaque ferme (*10³) de l'approche équitable.

Périodes	Mai			Juin			Juillet			Aout			Septembre			Octobre		
	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18
Demandes *10 ³	0	0	0	0	12	10	16	12	11	4	5	9	15	12	18	10	16	12
F 01	0	0	0	6	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F 02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	4	0
F 03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	6	0
F 04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	6	0	0	0
F 05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0
F 06	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F 07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	6	0	0	0
F 08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	6	0	0	0
F 09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	6	0	0	0	0
F 10	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F 11	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0
F 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	6	0
F 13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	6	0	0	0	0
F 14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	6
F 15	0	6	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F 16	6	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F 17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	6	0	0
F 18	0	0	0	0	6	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F 19	0	0	0	0	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F 20	0	0	6	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F 21	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
F 22	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
F 23	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	6	0	0	0	0	0
F 24	0	0	0	6	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F 25	6	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F 26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	6
F 27	0	0	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
F 28	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	6	0	0	0	0	0
F 29	0	0	6	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F 30	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0

Puisque, nous avons imposé l'utilisation équitable de toutes les fermes afin de répondre à une demande totale de 162,000 poulets. À partir des résultats obtenus nous constatons que chaque demande est attribuée systématiquement par une ferme disponible sans qu'il y ait de chevauchement d'élevage au sein de la même ferme tout en respectant les fermes voisines. Par exemple pour satisfaire la demande de la période 17 qui est : 16,000 poulets et sachant que la durée minimale d'élevage est estimée à 4 périodes, donc la période la plus probable et adéquate pour le lancement de l'élevage est la période 13. Un choix qui a été donné et confirmé par le programme et l'algorithme a permis de sélectionner les différentes fermes libres de cette période et qui permettent de fournir la capacité souhaitée. La réponse à la demande de la période 17 montre que les fermes 3 et 12 doivent faire une production de 6,000 poulets chacune à partir de la période 13 et de même la ferme 2 doit faire l'élevage d'une quantité de 4,000 poulets dans la même période.

Cette synchronisation de planification a été effectuée sur l'ensemble des fermes et sur l'ensemble des demandes pour cette configuration toutes les fermes ont été ouvertes et utilisées une seule fois.

3.1.2.4 Comparaison de l'approche économique et approche équitable

À partir des résultats obtenus, nous avons établi une comparaison entre les deux planifications proposées en terme de taux de collaboration des fermes, tels que présentés dans le tableau 8 et la figure 6 suivants.

Tableau 8: Comparaison des deux approches : économique et équitable.

	Le nombre des fermes exclus	Le nombre des fermes utilisés	
		1 fois	2 fois
Approche économique	08	14	08
Approche équitable	0	30	0

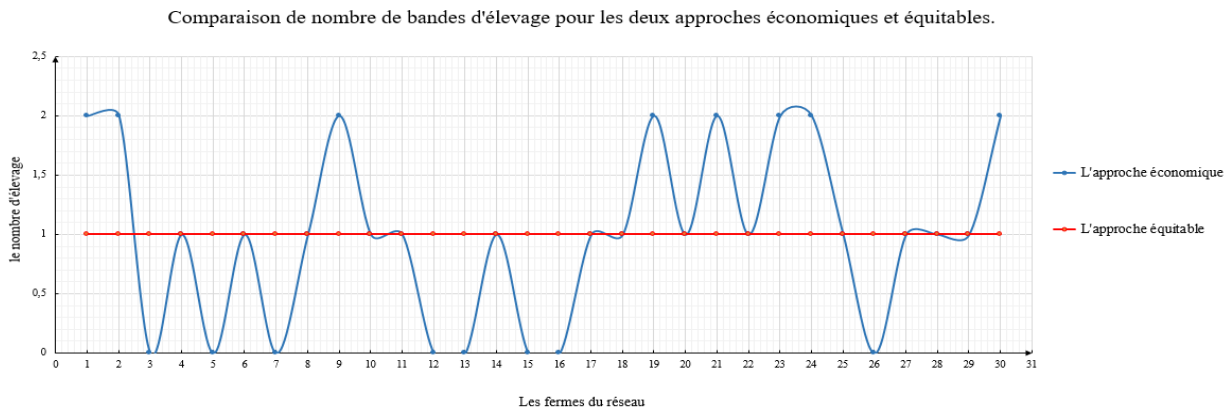


Figure 6: Comparaison de taux de collaboration entre les deux approches pour chaque ferme du réseau.

On remarque que la 2^{ème} planification garantit la collaboration de toutes les fermes du réseau pour satisfaire la demande totale. Ainsi, ceci montre qu'il y a un équilibre d'élevage entre toutes les fermes. Par contre dans la 1^{ière} planification seulement 22 fermes ont été sélectionnées pour faire l'élevage dont 8 fermes font deux bandes d'élevage, 14 fermes font une seule bande d'élevage et 8 fermes ont été exclues.

3.1.2.5 Synthèse de l'approche équitable

D'après les résultats obtenus par l'approche équitable, on remarque que la modélisation proposée a accordé la même priorité à toutes les fermes du réseau d'étude. Le défaut de cette approche est qu'elle a permis à toutes les fermes du réseau de ne solliciter qu'une seule bande d'élevage pour l'horizon de planification, ce qui risque de ne pas produire des quantités suffisantes pour satisfaire la demande pendant les périodes de pointe où la demande est très forte pour d'autres situations tout en gardant un nombre de fermes fixes qui doivent travailler en collaboration en tenant compte du taux de mortalité du poulet notamment au début de sa vie. Ainsi, cela exclut les cas de non-satisfaction de la demande, et par la suite, la perte de la fidélité des consommateurs.

Afin de résoudre ce problème, nous avons proposé une autre approche de mutualisation qui assure la collaboration de toutes les fermes d'élevage avec les bandes d'élevage nécessaires pour produire les quantités suffisantes pour satisfaire la demande du marché.

3.1.3 Approche de mutualisation

L'objectif de cette approche est d'introduire la notion de coopération entre toutes les fermes du réseau dans le but d'augmenter la qualité du service en donnant la même priorité à toutes les fermes du réseau pour produire le nombre de bandes d'élevage nécessaires à la satisfaction de la demande. Deux contraintes supplémentaires sont introduites dans cette approche : la sélection des fermes en fonction de leur distance par rapport au centre d'abattage, et la prise en compte d'un taux de mortalité des poulets en raison du caractère de vivacité des poulets vivants. Cette approche permet de garantir la loyauté des éleveurs et de répondre à l'ensemble de la demande du centre d'abattage.

3.1.3.1 Formulation mathématique

Cette approche étudie un réseau composé d'un ensemble de fermes i avec un centre d'abattage (j). Le démarrage de cette chaîne commence par l'approvisionnement des quantités de poussins à élever dans chaque ferme QP_i^t achetées auprès des fournisseurs externes. Bien évidemment et compte tenu du caractère des êtres vivants ainsi que le degré de sensibilité du poulet de chair, la quantité installée est confrontée à un taux de mortalité TM^t inévitable et variable selon les conditions d'élevage, condition climatique et la condition de manutention. À la fin d'une bande d'élevage, il reste une quantité de poulets survivants QS_i^t . Une fois la production du poulet est mature, la vente de la quantité de poulets QV_i^t est imminente et livrée depuis les fermes aux abattoirs QL_{ij}^t durant les cinq jours suivants au-delà de cette période, le poulet connaît une dégradation de qualité importante voire une mortalité inévitable.

Ainsi, ces quantités livrées satisfont les demandes D_j^t du centre d'abattage sur un horizon de temps T qui est de six mois repartis en 36 périodes, où la durée d'une période est de $p=5$ jours. Notons qu'une bande d'élevage est estimée à 50 jours (10 périodes) réparties comme suit : 9 périodes d'engraissement ($DP=9$), une période de vente ($DV=5$), et un mois de vide sanitaire obligatoire ($C=6$). La figure suivante représente le nouveau déroulement des bandes d'élevage au sein des fermes sur l'horizon de planification.

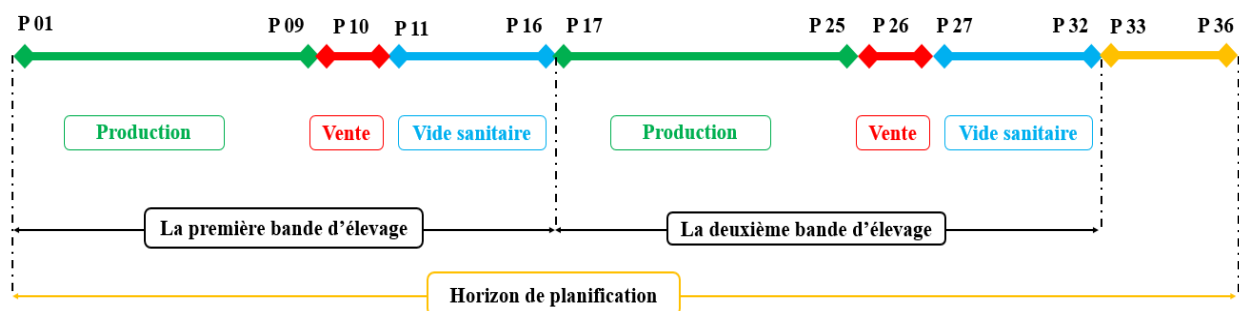


Figure 7: L'horizon de planification avec deux bandes d'élevage.

▪ Hypothèses de recherche

Pour modéliser ce problème, on prend en considération les mêmes hypothèses citées précédemment (3.1) en ajoutant quelques propositions :

- Les fermes d'élevages sont situées aux alentours de la wilaya de Tlemcen et séparées par des distances différentes au centre d'abattage.
- Le taux de mortalité des poulets de chair dans chaque bande d'élevage est aux moyennes de 10 %.
- La durée d'une période est de 5 jours et l'horizon de planification est de 6 mois (36 périodes).

▪ Paramètres

Cette étude de la planification mutuelle se base sur l'étude de la planification économique citée précédemment (section 3.1.1) dont les paramètres utilisés sont les mêmes, en ajoutant :

Dist_{ij}:	La distance entre les fermes d'élevage i et les centre d'abattage j
TM_{t'}:	Le taux de mortalité au sein des fermes d'élevages allant de la période t jusqu'à t'
PrixV:	Prix de vente d'un poulet vivant.

▪ Variables de décisions

QS_{t'}:	Quantité des poussins survivants en introduisant le taux de mortalité dans la ferme i / la période t.
-------------------------	---

Pour la modélisation mathématique, cette approche se base sur le modèle mathématique de la configuration économique en introduisant une nouvelle contrainte de priorité exprimée par l'équation (16) et la distance des fermes par rapport au centre d'abattage.

▪ La fonction objective

Le but du problème est de maximiser le bénéfice attendu en déterminant les valeurs de **QP_{t'}**, **QS_{t'}**, **QV_{t''}**, **QL_{ij}^{t''}**, **XO_{t'}**, **XV_{t''}**. Le premier terme de la fonction objectif représente le gain espéré suite à la vente des quantités élevées.

Tous les autres termes représentent les différentes dépenses relatives à l'élevage, à commencer par le coût du lancement du projet d'élevage (**FCLP_{t'}**) relatif à la quantité des poussins installés au sein des fermes. Le coût d'installation du projet (**CP_{t'}**) relatif à une bande d'élevage, puis le quatrième terme dans la fonction objective qui détermine le coût d'engraissement des poulets depuis la période t à la période t'' (**CPR_{t''}**). le cinquième terme représente le coût du lancement du vente (**FCLV_{t''}**) durant la période t''. le sixième terme indique le coût de préparation de lots de poulets pour la vente (**CV_{t''}**), et le dernier terme calcule le coût de transport des quantités de poulets livrés depuis les fermes jusqu'au le centre d'abattage (**CTR_{ij}**) la fonction est représenté comme suit:

$$\begin{aligned}
 MaxZ = & \sum_i \sum_j \sum_{t''} Pr_{i \ xV} * QL_i^{t''} - \left(\sum_i \sum_t FCLP_i^t * QP_i^t + \sum_i \sum_t CP_i^t * QP_i^t + \right. \\
 & \sum_i \sum_t \sum_{\substack{t' \leq t+Dp \\ t' \leq t}} CPR_i^{t'} * QP_i^t + \sum_i \sum_{t''} FCLV_i^{t''} * XV_i^{t''} + \sum_i \sum_{t''} CV_i^{t''} * QV_i^{t''} \\
 & \left. + \sum_i \sum_j \sum_{t''} CTR_{i \ j} * QL_i^{t''} * Dist_{i \ j} \right) \quad (16)
 \end{aligned}$$

■ Sous les contraintes

Cette modélisation est traitée sous les contraintes (2, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 14) présentées dans la section (3.1.1.2). Ces contraintes permettent de respecter le bon fonctionnement du réseau d'élevage par rapport aux quantités, les conditions d'élevage et les flux entrants et sortants.

$$\sum_{t \leq t_1} XO_i^{t_1} \leq 1 \quad \forall i \ \forall t \quad (2)$$

$$QP_i^t \leq CMX_i * XO_i^t \quad \forall i \ \forall t \quad (5)$$

$$QP_i^t \geq CMN_i * XO_i^t \quad \forall i \ \forall t \quad (6)$$

$$XV_i^{t''} = XO_i^t \quad \forall i \ \forall t \ \forall t'' = t + Dp \quad (7)$$

$$QV_i^{t''} \leq A * XV_i^{t''} \quad \forall i \ \forall t \ \forall t'' \quad (8)$$

$$QV_i^{t''} = \sum_j QL_i^{t''} \quad \forall i \ \forall t'' \quad (11)$$

$$\sum_i QL_i^{t''} \geq D_j^{t''} \quad \forall i \ \forall t'' \quad (12)$$

$$XV_i^{t''} \in \{0, 1\} \quad XO_i^t \in \{0, 1\} \quad \forall i \ \forall t \ \forall t'' \quad (13)$$

$$QP_i^t \in R^+ \quad QV_i^{t''} \in R^+ \quad QL_i^{t''} \in R^+ \quad \forall i \ \forall t \ \forall t'' \quad (14)$$

Le changement effectué sur le premier modèle s'effectue sur la décision d'ouverture des fermes représentées par la variable XO_i^t , qui impose au moins une production pour chaque ferme, sachant que durant un horizon de 6 mois, le nombre maximale d'élevage est des deux mois comme détaillés dans la section (3.1.3.1) . ce qui donne une production plus au moins équitable entre les différents fermes du réseau selon leurs disponibilités en respectant leurs capacités, le vide sanitaire et la demande du centre d'abattage. Aussi la prise en considération d'un taux de mortalité aux quantités de poussins installés pour chaque ferme du réseau d'étude.

Les contraintes ajoutées sont :

$$\sum_t XO_i^t \geq 1 \quad \forall i \quad (17)$$

$$QS_i^t = QP_i^t * (1 - \sum_{t2 \leq t+DP-1}^{t2 \geq t} TM_t^{t2}) \quad \forall i \quad \forall t \quad (18)$$

$$QS_i^t = QV_i^{t''} \quad \forall i \quad \forall t \text{ avec } t'' = t + Dp \quad (19)$$

La contrainte (17) permet l'ouverture de toutes les fermes au moins une seule fois durant tout l'horizon de planification de manière rotative. Une fois toutes les fermes ont été utilisées pour une bande d'élevage, elles peuvent effectuer un deuxième élevage selon la disponibilité des fermes en respectant l'ordre de la rotation.

La contrainte (18) permet de déterminer de la quantité de poussins survivants dans chaque ferme en fin de cycle puisque chaque bande d'élevage est confrontée à un pourcentage de taux de mortalité suite aux caractéristiques d'élevage. Et la contrainte (19) assure que la quantité de poules vendues de chaque ferme soit égale à celle des poules vivantes à la fin de l'élevage.

3.1.3.2 Application numérique

Pour tester l'efficacité de notre algorithme nous avons implémenté les deux modélisations de l'approche économique et l'approche de mutualisation sous les mêmes paramètres afin de comparer les différents résultats obtenus. Nous avons considéré un réseau de 40 fermes et un horizon de planification de 36 périodes avec une demande totale de 421,000 poulets. Sachant que le cycle de vie d'une bande d'élevage dure 9 périodes pour l'engraissement, le premier déclenchement de vente doit se faire à partir de la 10^{ème} période, puisqu'on ne peut pas fournir des poulets durant les neuf premières périodes (poulets en croissance) pour les 27 périodes restantes les demandes sont déterminées par le centre d'abattage de manière approximative selon le plan prévisionnel et les statistiques de la consommation locale. Notons que les demandes sont données par le centre d'abattage une fois par période (tous les 5 jours).

Les paramètres numériques utilisés pour les deux approches proposées sont récoltés auprès de la chambre avicole de Tlemcen et de plusieurs visites aux éleveurs. Une information capitale pour notre planification est que le prix de vente d'un poulet vivant pesant 3 kg est évalué approximativement à 600 DA. Les autres paramètres sont présentés dans les tableaux suivants : Le tableau 9 présente les coûts liés à la bande d'élevage du poulet de chair, le tableau 10 représente la demande de la consommation de poulet de chair dans la ville de Tlemcen. Et le tableau 11 représente les distances entre les fermes d'élevage du réseau étudié et l'abattoir.

Tableau 9: Les coûts d'élevage.

Le coût	FCLP	CP	CPR	FCLV	CV	CTR
La Valeur (DA)	2	108	291	10 000	1	0.1

Tableau 10: Les demandes du centre d'abattage.

Périodes	Demandes	Périodes	Demandes
Novembre	P 01 0		P 19 15,000
	P 02 0		P 20 15,000
	P 03 0		P 21 14,000
Décembre	P 04 0	Mars	P 22 15,000
	P 05 0		P 23 15,000
	P 06 0		P 24 15,000
	P 07 0		P 25 15,000
	P 08 0		P 26 18,000
	P 09 0		P 27 18,000
Janvier	P 10 22,000	Avril	P 28 18,000
	P 11 16,000		P 29 15,000
	P 12 24,000		P 30 15,000
	P 13 15,000		P 31 15,000
	P 14 15,000		P 32 15,000
	P 15 15,000		P 33 13,000
Février	P 16 14,000	Mai	P 34 13,000
	P 17 15,000		P 35 13,000
	P 18 15,000		P 36 13,000

Tableau 11: Les distances entre les fermes et le centre d'abattage.

Fermes	Distance (Km)	Fermes	Distance (Km)	Fermes	Distance (Km)	Fermes	Distance (Km)
F 01	10	F 11	33	F 21	40.6	F 31	70.6
F 02	12.2	F 12	33	F 22	41.2	F 32	70.6
F 03	12.4	F 13	33.5	F 23	50.2	F 33	71.6
F 04	17.1	F 14	34.1	F 24	50.2	F 34	71.6
F 05	19.9	F 15	35.6	F 25	51.2	F 35	85
F 06	22.6	F 16	36.1	F 26	52.2	F 36	85
F 07	24.2	F 17	37.4	F 27	57	F 37	87
F 08	24.2	F 18	37.6	F 28	57	F 38	87
F 09	28.9	F 19	38.5	F 29	60.5	F 39	94.2
F 10	29.1	F 20	40.6	F 30	66.1	F 40	94.2

3.1.3.3 Résultats et discussion

Pour résoudre le problème de l'organisation des implantations des projets d'élevage au sein des fermes du réseau étudié qui se fait dans le cas réel de manière aléatoire. Les deux modèles proposés

sous le Solveur CPLEX sont testés et comparés afin de fournir un planning d'élevage entre les différentes fermes. Les résultats obtenus sont présentés sous forme de planning par la suite.

■ Résultats de l'approche économique

Les résultats obtenus de cette approche sont représentés sous forme d'un planning détaillé dans le tableau 12.

Tableau 12: Les quantités des poussins et les poulets vendues dans chaque ferme $\times 10^3$ de l'approche économique.

Periods	November			December					January							February						March						April					May			
Demands	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14	t15	t16	t17	t18	t19	t20	t21	t22	t23	t24	t25	t26	t27	t28	t29	t30	t31	t32	t33	t34	t35	t36
Farms	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	16	24	15	15	15	14	15	15	15	15	15	14	15	15	15	15	18	18	18	15	15	15	13	13	13	13
F1	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0
F2	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	
F3	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	
F4	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	
F5	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	
F6	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	
F7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	
F8	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	
F9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	10	9	0	0	0	0	0	0	9	0	
F10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	
F11	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	
F12	10	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
F13	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	
F14	0	7	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	
F15	0	0	6.6	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.6	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0
F16	0	0	0	0	0	6.6	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	6.6	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0
F17	0	0	0	0	0	0	0	0	6.6	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	4.4	0	0	0	0	0	0	0	4	0	
F18	0	0	0	0	0	0	6.6	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	4.4	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	
F19	0	0	0	0	6.6	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	6.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	
F20	0	0	0	6.6	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	6.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	
F21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.6	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	4.4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	
F22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F23	0	0	0	0	0	0	0	6.6	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	4.4	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
F24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F33	4.4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
F34	0	0	0	0	0	0	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F35																																				
F36																																				
F37																																				
F38																																				
F39																																				
F40																																				

Pour le réseau avicole de la ville de Tlemcen qui est composé de 40 fermes qui répondent à une demande globale de 421,000 poulets répartie sur un horizon de planification de 36 périodes, nous avons constaté que sur un réseau de 40 fermes seulement 34 fermes ont été choisies pour l'élevage en respectant la date de lancement de chaque période sans qu'il y soit de chevauchement d'élevage au sein de la même ferme. Nous remarquons, aussi que la modélisation proposée a permis d'établir un ordonnancement optimal entre les différentes fermes choisies tout en respectant les fermes voisines. De même, le profit total optimal du réseau généré est de l'ordre de **63,703,064.444 DA** par rapport à une durée de 6 mois (durée de l'horizon).

Pour clarifier d'avantage les résultats, nous expliquons avec un exemple représenté sur le tableau 1. La demande de la période 12 (P12) qui est de 24,000 poulets et qui nécessite une durée d'élevage de 9 périodes avec un taux moyen de mortalité au sein de chaque ferme de 10 % (d'après les informations obtenues par les questionnaires établis en faveur des éleveurs et d'une entreprise avicole algérienne) montre que l'élevage doit être lancé dans la période 3 (P3).

Ainsi, l'optimisation du modèle proposé par rapport à la demande de la période 12, a sélectionné trois fermes parmi toutes les fermes libres durant cette période. Les sélectionnées sont respectivement : la ferme 5 avec une quantité d'élevage de 10,000 poussins, la ferme 13 avec une quantité d'élevage de 10,000 poussins, et la ferme 15 avec une quantité d'élevage de 6,666 poussins. Le choix de ces fermes est donné sur la base de la distance minimale et de la capacité appropriée pour un élevage. De la même façon, ceci est valable pour chaque demande et pour toutes les périodes, dans le cadre de l'approche intégrée de la meilleure synchronisation selon la disponibilité des fermes durant la période choisie.

À partir de la modélisation proposée nous avons constaté que l'optimisation d'algorithme élaboré présente efficacement la planification synchronisée et dynamique en assurant la rotation de production entre les différentes fermes qui permet de stabiliser les prix de vente du poulet de chair durant l'horizon de la planification. Aussi, nous avons remarqué que pour le réseau étudié certaines fermes ont été désavantagées par rapport d'autres fermes, et elles n'ont subi aucune implantation et aucun projet d'élevage au cours de l'horizon de planification, c'est le cas pour les fermes : **F35, F36, F37, F38, F39, et F40**. Par ailleurs, dans le même horizon d'autres fermes ont été sollicitées pour une utilisation multiple (2 élevages) à des périodes distinctes, qui sont les fermes : **F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9, F10, F11, F12, F13, F14, F15, F16, F17, F18, F19, F20, F21, et F23**. En ce qui concerne les fermes : **F22, F24, F25, F26, F27, F28, F29, F30, F31, F32, F33, et F34**, on observe qu'elles ont effectué un seul élevage durant l'horizon choisi. En effet, ceci est expliqué par le choix optimal qui avantagerait la minimisation des différentes dépenses en procurant plus de priorité aux fermes disponibles et les plus proches du centre d'abattage.

Par conséquent, ce modèle étudie le fonctionnement intrinsèque du système et procure une optimisation globale du réseau qui peut être interprétée par la meilleure solution financière qui désavantage la qualité de service. Pour remédier au problème de qualité de service, nous avons proposé une extension du problème abordé, en proposant un nouveau mécanisme de coopération (approche de mutualisation) au sein du réseau étudié afin d'attribuer la même priorité d'élevage entre les différents éleveurs et les différentes fermes. Où le but est de garantir la fidélisation des éleveurs à long terme.

▪ **Résultats de l'approche de mutualisation**

Les résultats de l'implémentation de l'approche de mutualisation sous Cplex sont présentée dans le tableau 13.

Tableau 13: les quantités des poussins installées et des poulets vendues dans chaque (*10³).

Periods	November			December					January							February							March							April							May		
Demands	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14	t15	t16	t17	t18	t19	t20	t21	t22	t23	t24	t25	t26	t27	t28	t29	t30	t31	t32	t33	t34	t35	t36			
Farms	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	16	24	15	15	15	14	15	15	15	15	14	15	15	15	18	18	18	15	15	15	15	13	13	13	13	13	13		
F1	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0		
F2	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0			
F3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0		
F4	10	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
F5	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0		
F6	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0		
F7	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0		
F8	10	0	0	0	0	0	0	0	0	9	9	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
F9	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
F10	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
F11	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0		
F12	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0		
F13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0		
F14	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
F15	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0		
F16	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0		
F17	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0		
F18	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0		
F19	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	6	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0		
F20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
F21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
F22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
F23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
F24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
F25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
F26	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
F27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
F28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
F29	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
F30	0	0	0	0	0	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
F31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0		
F32	4	4	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
F33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0		
F34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0		
F35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
F36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
F37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
F38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
F39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
F40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

À partir du tableau 13 nous constatons que l'approche de mutualisation proposée qui oblige le respect de l'ordre de l'ouverture de toutes les fermes au moins une fois a permis d'établir un calendrier et un planning rotatif pour les 40 fermes du réseau en proposant un ordonnancement optimal et synchrone entre les différentes fermes du réseau. Pour une demande totale de 421,000 poulets, le profit global généré est de : 63,618 154.444 DA.

À partir des résultats dans le tableau 13, nous remarquons que pour chaque demande et pour chaque période de l'horizon de la planification, le modèle a permis de sélectionner simultanément des fermes libres pour cette période. Par exemple pour répondre à la demande de la période 22 (P22) qui égale à 15,000 poulets, le planning a sélectionné les fermes suivantes : la ferme 23 (F23) avec une quantité de 10,000 poussins et la ferme 27 (F27) pour une quantité de 6,600 poussins. De même pour la période 20 (P20) la demande est de 15,000 poulets, le modèle a sélectionné trois fermes libres pour satisfaire la demande de cette période qui sont : la ferme 13 par une quantité de 10,000 poussins, la ferme 35 par une quantité de 3,600 poussins, et la ferme par une quantité de 3,000 poussins.

À chaque demande et à chaque période, le programme vérifie les fermes disponibles et élimine les fermes déjà utilisées en choisissant parmi l'ensemble des fermes restantes, la ferme la plus appropriée en termes de capacité d'élevage pour optimiser les différentes dépenses. Jusqu'à l'épuisement de toutes les fermes restantes et le principe est appliqué une seconde fois pour toutes les fermes puis une troisième fois si c'est nécessaire jusqu'à la satisfaction de la demande totale. Ce qui explique le fonctionnement de toutes les fermes durant l'horizon considéré. Sur le total de

40 ferme active, 19 fermes ont été utilisé pour effectuer deux fois des bandes d'élevage qui sont : F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9, F10, F11, F12, F13, F14, F15, F16, F17, F18, F19, Par contre les 21 fermes restantes : F20, F21, F22, F23, F24, F25, F26, F27, F28, F29, F30, F31, F32, F33, F34, F35, F36, F37, F38, F39, F40.ont accompli une seule fois l'élevage. Cela dit que toutes les fermes ont eu la possibilité d'effectuer au moins un élevage au cours de l'horizon, ce qui augmente la qualité de service et permet de gagner la fidélisation de différents éleveurs.

3.1.3.4 Comparaison entre les deux approches

Afin de visualiser l'impact sur la performance de chaque approche proposée (approche économique et approche de mutualisation) sachant que dans l'approche économique le planning et la solution sont obtenus à partir d'une optimisation globale. Par ailleurs pour l'approche de mutualisation où nous avons imposé au moins une production pour chaque ferme durant l'horizon dans le but de l'amélioration de la qualité de service.

Pour chaque approche proposée, nous avons déterminé un calendrier d'élevage optimal, synchrone et spécifique. Ceci nous a aidé à comparer entre les deux configurations proposées. Pour clarifier davantage la comparaison, nous expliquons par deux exemples, l'évolution du comportement d'élevage des demandes de la période 21 et la période 24, appliquées aux deux approches proposées (configuration économique et configuration mutualisation), exprimée dans le tableau 14.

Tableau 14: la répartition d'élevage pour chaque approche.

		Les fermes utilisés dans l'approche économique	Les fermes utilisés dans l'approche de mutualisation	Demande totale
Exemple 1	Période 21	○ Ferme 26 : 10,000 poussins ○ Ferme 32 : 5,500 poussins	• Ferme 24 : 9,500 poussins • Ferme 37 : 3,000 poussins • Ferme 39 : 3,000 poussins	14,000 poulets
Exemple 2	Période 24	○ Ferme 22 : 10,000 poussins ○ Ferme 28 : 6,600 poussins	• Ferme 20 : 10,000 poussins • Ferme 36 : 3,600 poussins • Ferme 38 : 3,000 poussins	15,000 poulets

D'après les résultats donnés nous avons constaté que pour la même demande de la quantité de poulets de chair durant une période le choix des fermes d'élevage et la répartition des quantités d'élevage sont différents d'une configuration à une autre.

Par exemple pour la demande de 14,000 poulets de la période 21, la configuration économique a sélectionné deux fermes F26 et F32. Et pour la même quantité et la même période (P21) la configuration de mutualisation a sélectionné trois fermes F24, F37 et F39. Ce principe est appliqué pour toutes les demandes et les périodes de l'horizon et pour toutes les fermes du réseau. Les résultats de répartition entre les fermes sont résumés dans le tableau 15 et la figure 8.

Tableau 15: Comparaison entre les deux approches : économique et mutualisation.

	Profit (DA)		Nombre des fermes ouvertes	Nombre des fermes choisi deux fois pour l'élevage	Nombre des fermes choisi une fois pour l'élevage	Nombre des fermes exclus de l'élevage	La demande totale satisfaite
	Globale	Unitaire					
Approche économique	63,703,064.444	151.31	34	22	12	6	421,000
Approche de mutualisation	63,618,154.444	151.11	40	17	23	0	421,000

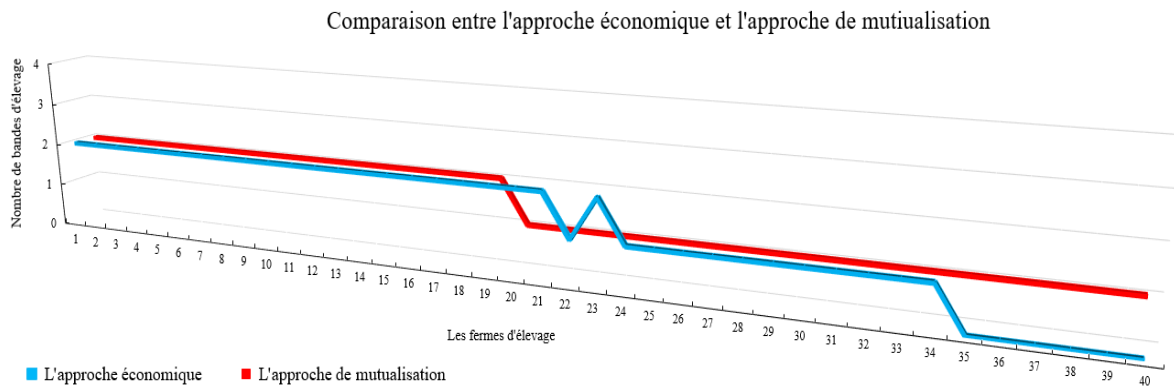


Figure 8: Comparaison entre les deux approches économiques et mutualisation.

D'après les résultats obtenus dans le tableau 16 et représentés dans la figure 5, nous constatons que pour l'approche économique seulement 34 fermes ont été sélectionnées parmi les 40 fermes : 22 fermes ont effectué deux bandes d'élevages, et 12 fermes ont effectué une seule bande d'élevage et 6 fermes sont exclues d'élevage (0 élevage). Tandis que dans l'approche de la mutualisation qui correspond à la modélisation mathématique où nous avons proposé d'augmenter la qualité de service, toutes les fermes ont effectué une production avec la répartition suivante : deux bandes d'élevages pour 17 fermes et une seule bande d'élevage pour les 23 fermes restantes, sur l'horizon de la planification en répondant à la totalité de la demande.

Nous remarquons que pour l'approche de mutualisation, on a la possibilité de choisir toutes les fermes de manière synchrone et optimale ainsi que meilleure par rapport à la première approche économique en termes de fonctionnement de fermes pour l'élevage. En revanche, le profit global de l'approche de mutualisation est inférieur au profit généré par l'approche économique. Cet écart est exprimé par une diminution de 0.13 %. Bien évidemment cette réduction est une légère perte pour le réseau global mais elle est accompagnée par une augmentation de la qualité de service, en assurant la fidélisation des éleveurs et des fournisseurs. Ce mécanisme permet une coopération de tous les fournisseurs en les incitant à la participation régulière d'élevage en respectant le calendrier d'élevage proposé.

Nous avons également constaté que, quelle que soit la configuration, les modèles proposés permettent de stabiliser les prix de vente pendant tout l'horizon de planification en répondant à une demande précise. Le prix de vente déterminé est en moyenne de l'ordre de 151 DA/kg avec une marge bénéficiaire de 5 % selon les conditions et les contraintes financières mais qui reste toujours dans le pouvoir d'achat des citoyens algériens.

Le but de cette démarche est d'inciter et encourager les éleveurs à respecter le planning proposé en garantissant le déroulement de leur activité à long terme avec un profit fluide et stable. En conclusion, toutes les parties prenantes éleveurs et consommateurs seront dans une situation gagnant-gagnant tout en assurant une stabilisation du marché durant l'horizon de planification. Et d'après les enquêtes sur le terrain et les questionnaires, nous avons constaté que la demande du poulet de chair est différente et très fluctuante d'un horizon à un autre et d'une saison à une autre. Ceci à travers cette étude, nous a incité à étendre notre travail en considérant une autre approche multi horizon qui permettra de maintenir la stabilisation du prix en répondant à la demande moyenne durant chaque horizon en respectant la contrainte de la qualité de service.

4 Planification multi horizon

Dans la première partie de ce travail (section 3.1.4) nous avons considéré un horizon de planification de 6 mois, notons que la durée d'une période est 5 jours (équivalent à 36 périodes). Nous avons proposé un calendrier d'élevage pour les 40 fermes du réseau, en attribuant la même priorité qui augmente la qualité de service pour donner la chance à toutes les fermes d'exercer leurs activités en répondant aux demandes du premier horizon c'est-à-dire de janvier à juin tout en garantissant une stabilisation des prix. Ceci nous a conduit à proposer d'autre mécanisme de fonctionnement sur la production de l'horizon 2 qui améliore davantage de la qualité de service en donnant la priorité aux fermes les moins fonctionnelles dans le premier horizon à être choisi en premier lieu pour une production au cours de l'horizon 2.

Pour ce faire nous avons attribué une priorité pour l'élevage plus élevé aux fermes les moins utilisées dans l'horizon précédent, que celles qui ont effectué deux élevages. Et ainsi de suite pour l'horizon suivant de tel sorte qu'à long terme les productions au niveau de tous les horizons seront réparties le plus convenablement possible, d'où notre planification de multi horizons. Dans le contexte de la planification multi-horizons, deux configurations peuvent avoir lieu : Configuration multi horizon simultanée et Configuration multi horizon intégré pour répondre à une demande du marché.

4.1 La configuration multi horizons simultanée

Dans cette configuration chaque horizon est composé de 36 périodes, et la demande est différente pour chaque période au cours de cet horizon. La répartition de la production doit respecter la durée de production DP, la durée de vente DV, et le vide sanitaire C. Si on considère le lancement du premier horizon démarre de la période 1 (P 01) jusqu'à la période 36 (P 36), le

deuxième horizon commence à partir de la période 37 (P 37) jusqu'à la période 72 (P 72). Sachant que chaque horizon fonctionne séparément comme présenté dans la figure 9 suivante :

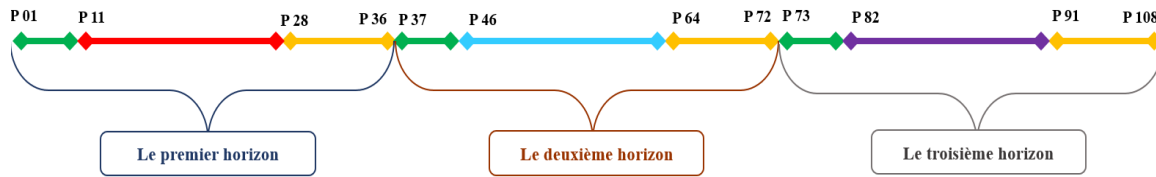


Figure 9: Multi-horizons simultanés appliqués sur la chaîne logistique avicole.

Dans l'horizon de planification de 36 périodes selon le cas étudié aucune demande n'est établie dans les premières périodes de la période P1 à la période P9 qui correspond à la production du poulet de chair pour l'obtention des poulets matures. Le premier démarrage de la satisfaction de la demande commence de la période P10 jusqu'à la période P36, par ailleurs la production s'arrête au maximum à la période P27, à partir de la période P28 jusqu'à P36 cette durée est réservée seulement à la vente. Et la même répartition se répète pour l'horizon 2 qui commence à la période P37 jusqu'à P72 et ainsi de suite pour tous les horizons.

Dans une approche multi-horizon où les deux horizons fonctionnent séparément, le démarrage d'un horizon commence à la fin de l'horizon précédent comme présenté par la figure 6. Dans ce contexte nous remarquons l'existence de beaucoup de phases non actives comme : de la période P28 à la période P36 : qui est réservée juste pour la vente avec 0 projets de production durant ce temps. Par ailleurs pour les premières périodes de l'horizon 2 (P37 à P46) aucune ne sera satisfaite puisque la production est en cours de réalisation, à partir de cette situation nous allons avoir des temps morts au début et à la fin de chaque horizon, ce qui engendre beaucoup de pertes en termes de temps et de profit.

De plus le profit total pour une planification multi horizon consiste à calculer le profit de chaque horizon séparément en utilisant la modélisation proposée dans la section (3.1.4) et ce qui se répète n fois selon le nombre d'horizons choisis. La fonction objective globale $H = F1 + F2 + F3$, telle que :

- F1 : la fonction objective du premier horizon.
- F2 : la fonction objective du deuxième horizon
- F3 : la fonction objective du troisième horizon.

L'effet de la non-fonctionnalité de ces périodes apparaissait en termes de diminution du profit, de la qualité de service, voire de la non-satisfaction de la demande. D'après les résultats obtenus on permet de donner un planning synchronisé pour toutes les fermes, mais nous avons constaté que certaines fermes ont travaillé plus que d'autres. C'est dans ce contexte que la deuxième originalité de notre modélisation peut avoir lieu pour soulever ce problème qui consiste à proposer une approche multi-horizons intégrée.

4.2 Multi horizon intégré

Pour augmenter la qualité de service pour notre réseau, nous avons étendu notre travail sur 3 horizons. L'originalité de cette partie de travail est de donner un fonctionnement équitable de toutes les fermes à long terme et d'avantager les fermes les moins fonctionnelles dont les périodes antérieures pour débiter en première position pour le lancement d'élevage dans l'horizon suivant tout en respectant les contraintes de capacité, quantité et vide sanitaire.

L'étude est effectuée sur un réseau de 40 fermes avec 3 horizons concaténés. Comme cela a été expliqué auparavant, sur un horizon de 36 périodes (6 mois). La durée maximale de la production de poulet de chair au cours de l'horizon est effectuée de la première période jusqu'à la période 27. Ce qui donne 27 périodes d'élevage et 9 périodes inactives qui correspondent à la vente des poulets de chair. Durant les périodes de vente (9 périodes de la période 28 à la période 36) plusieurs fermes seront disponibles pour un élevage mais vu que le deuxième horizon démarre à partir de la période 36 aucun élevage ne sera effectué dans cette période en se pliant au fonctionnement séquentiel de l'approche multi-horizons simultanée.

La proposition d'une approche de multi-horizon intégré consiste à faire un lancement de la demande de l'horizon 2 à partir de la 28^{ème} période selon la disponibilité des fermes aptes à faire un projet d'élevage, et ce principe est appliqué à toutes les fermes inactives (disponibles) durant cette période. En respectant les différentes contraintes de cycle de vie et le vide sanitaire, et en respectant aussi la priorité donnée aux fermes qui ont effectué une seule rotation durant l'horizon précédent.

Ce fondement est adapté pour tous les horizons successeurs, ce qui permet un lissage des quantités à produire et à livrer pour l'horizon T+1 qui ont été lancées dans l'horizon T, à partir de la modélisation proposée, nous avons introduit la notion de priorité d'élevage dès la disponibilité des fermes en commençant par les fermes les moins fonctionnelles qui ont subi un seul élevage durant l'horizon antérieur T-1. Comme représenté et expliqué par la figure 10.

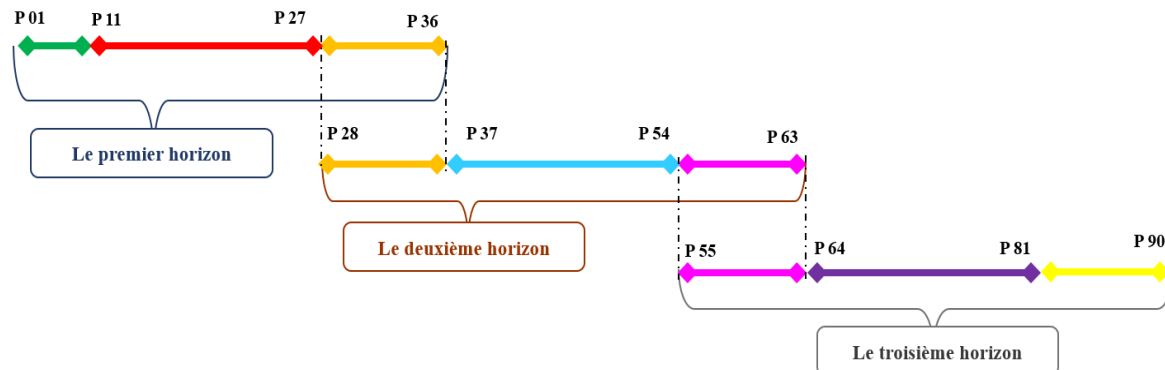


Figure 10: Multi horizon intégré appliqué sur une chaîne logistique avicole.

4.3 Modélisation mathématique

En se basant sur le modèle présenté précédemment dans la section (3.1.4) qui détermine l'approche de mutualisation en attribuant l'ouverture de toutes les fermes au moins une seule fois durant l'horizon de planification, tout en respectant les différentes contraintes qui permettent d'augmenter le profit et la qualité de service.

Nous avons ajouté des contraintes supplémentaires pour assurer l'intégration entre les différents horizons. En prenant en considération la priorité de la production et le nombre de périodes de repos pour chaque ferme est précisé comme suit :

▪ Paramètres

Les paramètres additifs pour l'approche multi horizon intégré sont :

Pr_i^T :	La priorité de production de la ferme i par rapport à l'horizon précédent T-1.
$Nres_i^T$:	Nombre de périodes de repos pour chaque ferme i à respecter dans l'horizon T par rapport à l'horizon T-1.

▪ Sous les contraintes

Avant d'ajouter les nouvelles contraintes, nous reprendrons le modèle développé et présenté précédemment qui assure la planification et l'affectation des quantités à produire sur un horizon de planification T :

La fonction objective (16), sous les contraintes (2, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 14, 17, 18, 19), et pour assurer le fonctionnement fluide de l'approche multi-horizons intégrés, des contraintes supplémentaires sont données comme suit :

$$XO_i^t \geq Pr_i \quad \forall i \quad (20)$$

$$\sum_{1 \leq t1}^{t1 \leq Nres_i - 1} XO_i^{t1} = 0 \quad \forall i \quad \forall t \leq Nres_i - 1 \quad (21)$$

Pour la contrainte (20) nous avons introduit la notion de priorité (**Pr_i**) pour le lancement d'élevage qui permet de vérifier le nombre d'élevages de la ferme i dans l'horizon T par rapport au nombre d'élevages déjà obtenus dans l'horizon T-1.

Cette contrainte favorise les fermes les moins fonctionnelles dans les périodes antérieures et les programme pour les premières positions d'élevage dans la limite du possible de la résolution de ce problème d'optimisation.

La contrainte (21) assure que le démarrage d'une production au sein des fermes est effectué directement après sa période de repos durant l'horizon T-1 tout en veillant sur la continuité du

lancement d'élevage vers l'horizon T. C'est la contrainte qui permet de relier les différents horizons de manière concaténée.

4.4 Application numérique

Les paramètres numériques utilisés pour l'adaptation de l'approche multi-horizon sont : les coûts relatifs à l'élevage du poulet de chair présenté dans le tableau 9, les distances entre les fermes d'élevage du réseau étudié et l'abattoir présenté dans le tableau 11 (section 3.1.4.2). Et les demandes du centre d'abattage citées dans la section suivante.

▪ Les demandes du centre d'abattage

Pour donner un échantillon des résultats pouvant être obtenus grâce à l'utilisation de notre modèle, nous allons présenter dans un premier temps l'évolution de la demande annuelle du poulet de chair de la ville de Tlemcen. D'après les questionnaires établis, nous avons constaté que la demande varie différemment au cours de l'année. Et pour pouvoir implémenter l'approche proposée nous présentons dans un premier temps les demandes annuelles fournies par le centre d'abattage sur un graphique schématisé par la figure 11.

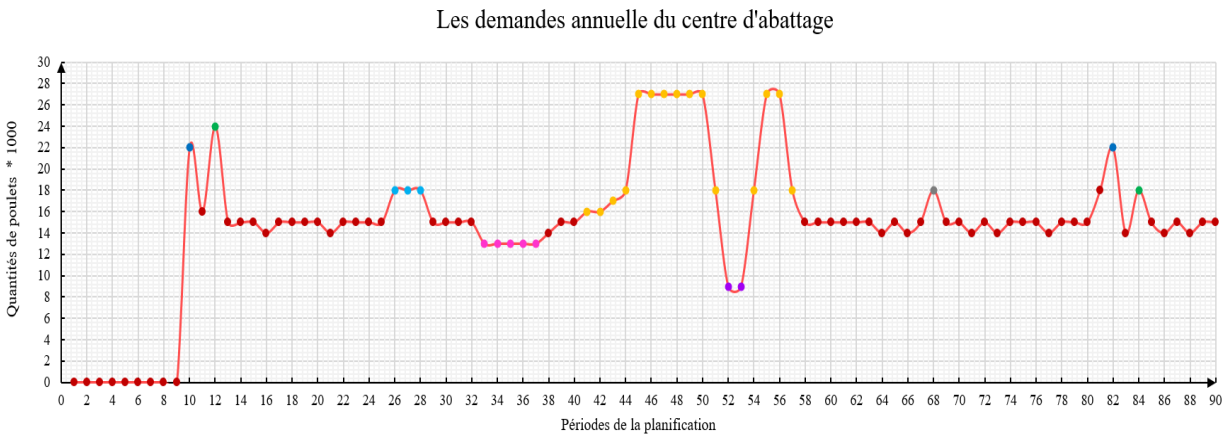


Figure 11: Les demandes annuelles du centre d'abattage.

L'évolution de la demande dans un réseau avicole est très variable de plus sa nature stochastique donnée par les fluctuations du marché qui évolue différemment pendant l'année et d'une saison à l'autre et d'un événement à un autre. La consommation du poulet chair peut connaître plusieurs coups de fouet durant l'année (quelque augmentation répétée) comme elle peut affronter des chutes importantes de consommation. Les augmentations massives de la consommation au cours des horizons peuvent être expliquées par les périodes de festivités et les événements tels que : les vacances, les mariages, les collations de réussite... etc. Mais les dates de ces événements sont connues à l'avance par exemple pour la communauté Algérienne la plupart des mariages sont prévus pendant les vacances ce qui explose la consommation durant ces périodes (de la période P42, jusqu'à la période P51, et de la période P54 jusqu'à la période P57) et qui correspond au pic sur la figure 11.

D'autres événements qui baissent de manière considérable la consommation du poulet chair est le mois du jeune et les 10 jours après Aïd-el-adha (les périodes : P52, P53), où la demande est réduite à la moitié de la demande moyenne pour une période, cette diminution est due à la disponibilité importante de la viande rouge durant cette période et l'arrêt momentané des détaillants et des revendeurs de la viande blanche. L'autre événement de la baisse de la consommation de la viande blanche est le mois du jeune (de la période P33 jusqu'à la période P38) puisque durant ce mois tous les restaurants, fast-food et pizzeria sont en congé de plus l'arrêt temporisé de fêtes telles que les mariages durant ce mois.

Le fait de connaître les dates de ces événements, cela nous permet de les prendre en considération dans l'estimation de la demande prévisionnelle. Elle se calcule à partir d'un historique de consommation.

La figure 11 représente la consommation moyenne du poulet de chair annuelle de la ville de Tlemcen. Depuis le 1 janvier jusqu'au 31 décembre en précisant la consommation de chaque période qui est de 5 jours. D'après la figure 11, nous remarquons que la moyenne de la consommation du deuxième horizon est différent de la moyenne de consommation du premier horizon. Cette diversification et dispersion ainsi que l'instabilité de la consommation d'une saison à une autre au cours de l'année augmentent le degré de complexité de notre travail. Puisque cette demande est très fluctuante comme représentée par la courbe de la demande annuelle.

4.5 Résultats numériques

Afin de valoriser l'approche proposée plusieurs expériences ont été effectuées sur le réseau étudié, qui est composé de 40 fermes et un centre d'abattage pour les deux configurations de la planification multi-horizon proposée (multi horizon simultané, multi horizon intégré) afin de comparer l'impact des résultats obtenus.

4.5.1 Comparaison entre multi horizon simultané et multi horizon intégré

D'après les simulations données, nous avons constaté que les deux configurations évoluent différemment au cours du temps en termes de quantité produite, de fonctionnement de fermes, et de bénéfice engendré. Les résultats obtenus sont récapitulés et présentés dans les tableaux 16 et le tableau 17.

4.5.1.1 Comparaison technique (nombre de rotation)

D'après les résultats de planning des trois horizons, nous avons établi une comparaison des nombres d'utilisations fonctionnelles de toutes fermes durant tous les horizons de planification pour chaque configuration de l'approche multi-horizons. La comparaison est présentée dans le tableau 16.

Tableau 16: Comparaison des nombres des bandes d'élevages pour les deux configurations de l'approche multi-horizon.

Nombre d'élevage								
Multi horizon simultané				Total	Multi horizon intégrée			Total
Fermes	Horizon 1	Horizon 2	Horizon 3		Horizon 1	Horizon 2	Horizon 3	
F 1	2	2	2	6	2	2	1	5
F 2	2	2	2	6	2	2	1	5
F 3	2	2	2	6	2	1	2	5
F 4	2	2	2	6	2	2	1	5
F 5	2	2	2	6	2	1	2	5
F 6	2	2	2	6	2	1	2	5
F 7	2	2	2	6	2	1	2	5
F 8	2	2	2	6	2	2	1	5
F 9	2	2	2	6	2	2	1	5
F 10	2	2	2	6	2	2	1	5
F 11	2	2	2	6	2	1	2	5
F 12	2	2	2	6	2	1	2	5
F 13	2	2	2	6	2	1	2	5
F 14	2	2	2	6	2	1	2	5
F 15	2	2	2	6	2	1	2	5
F 16	2	2	2	6	2	1	2	5
F 17	2	2	2	6	2	1	2	5
F 18	2	2	2	6	2	1	2	5
F 19	2	2	1	5	2	1	2	5
F 20	1	2	1	4	1	2	2	5
F 21	1	2	1	4	1	2	2	5
F 22	1	2	1	4	1	2	2	5
F 23	1	1	1	3	1	2	1	4
F 24	1	1	1	3	1	2	2	5
F 25	1	1	1	3	1	2	1	4
F 26	1	1	1	3	1	2	1	4
F 27	1	1	1	3	1	2	1	4
F 28	1	1	1	3	1	2	1	4
F 29	1	1	1	3	1	2	1	4

F 30	1	1	1	3	1	2	1	4
F 31	1	1	1	3	1	1	2	4
F 32	1	1	1	3	1	2	1	4
F 33	1	1	1	3	1	1	2	4
F 34	1	1	1	3	1	1	2	4
F 35	1	1	1	3	1	2	1	4
F 36	1	1	1	3	1	2	1	4
F 37	1	1	1	3	1	2	1	4
F 38	1	1	1	3	1	2	1	4
F 39	1	1	1	3	1	2	1	4
F 40	1	1	1	3	1	2	1	4

À partir des résultats obtenus nous constatons que pour un réseau de 40 fermes. Le nombre d'utilisations et l'ordre de la rotation pour une ferme diffèrent entre les deux configurations proposées. Par exemple pour les fermes : F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9, F10, F11, F12, F13, F14, F15, F16, F17, et F18. Dans la première configuration ont été sollicités six fois, et dans la deuxième configuration les mêmes fermes ont effectué seulement 5 élevages au cours des horizons proposés. Alors que les fermes F25, F26, F27, F28, F29, F30, F31, F32, F33, F34, F35, F36, F37, F38, F39, et F40 ont lancé 3 fois l'élevage pour la 1^{ière} configuration, les mêmes fermes dans la deuxième configuration ont effectué 4 bandes d'élevage au cours des horizons. En répondant à la même quantité de demande et en respectant les différentes contraintes du système.

Le nombre d'élevage (nb) pour la première configuration varie dans l'intervalle de 3 à 6 bandes d'élevage $nb \in [3 \ 6]$, et pour la deuxième configuration, l'intervalle du nombre d'élevage varie entre 4 et 5 bandes d'élevage $nb \in [4 \ 5]$. Comme représentée dans la figure 12. Nous constatons que l'écart de la variation d'élevage pour la première configuration est de l'ordre 3, ainsi ceci crée un décalage et une inégalité de production entre les fermes où cette situation peut ne pas plaire aux éleveurs. Certainement cela conduit à un risque de dissociation de la participation du réseau étudié. Par ailleurs l'écart de la variation du nombre des bandes d'élevage pour la configuration multi-horizons intégrée est de l'ordre de 1.

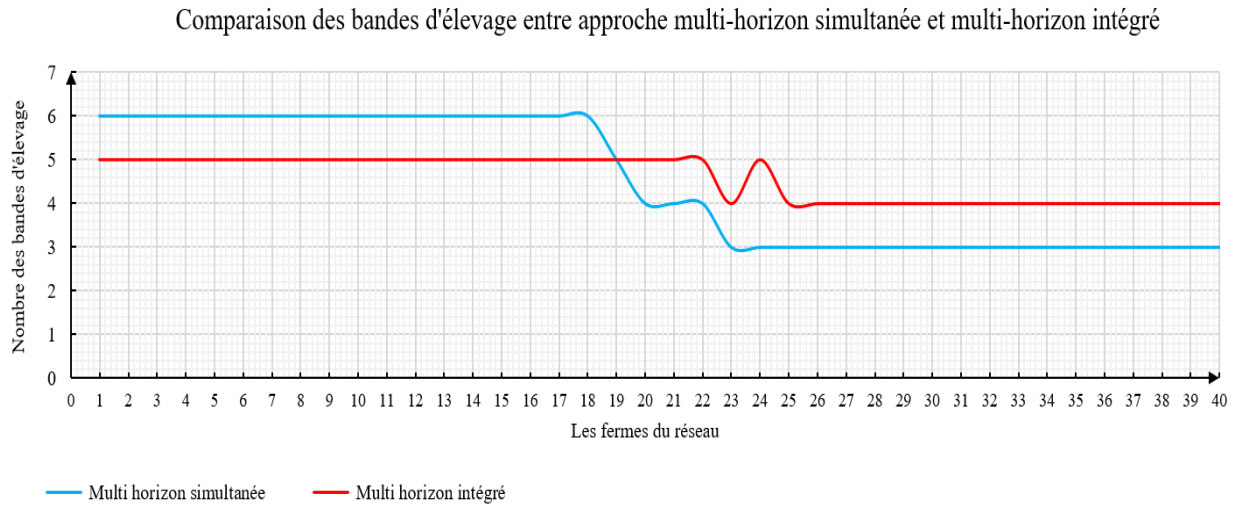


Figure 12: Comparaison du nombre de reproductions entre le multi-horizon simultanée et l'horizon multi-intégré.

Par conséquent, l'approche proposée de multi-horizon intégrée a permis de réduire l'écart de nombre d'élevages pour réconforter les éleveurs avec des rotations plus au moins équitables. Le nombre de rotations d'élevage est soit de 4 fois, soit 5 fois donc l'écart entre l'utilisation est réduit et dispatché de manière conforme sur l'ensemble des éleveurs. Cela incitera les éleveurs à participer et collaborer dans l'élevage. De plus, le roulement de l'activité à long terme sera bien assuré, tout en satisfaisant à la fois les éleveurs, les clients, les consommateurs en stabilisant les prix du marché.

4.5.1.2 Comparaison financière

La comparaison entre les quantités élevées, le profit, le prix de revient pour les deux approches proposées : multi horizon simultanée, et multi horizon intégrée sont représentés par le tableau 17.

Tableau 17: Comparaison financière entre le multi-horizon simultanée et le multi-horizon intégré

	La demande totale	La quantité totale satisfaite	La quantité totale non satisfaite	Le profit	Profit unitaire
Multi horizon simultanée	1,336,000	1,198,000	138,000	142,720,314.35	119.13
Multi horizon intégrée	1,336,000	1,336,000	0	159,160,550.9	151.73

D'après les résultats présentés dans le tableau qui concerne le profit, et la quantité du poulet élevé au cours des horizons étudiés, nous constatons que sur une demande totale de 1,336,000 poulets A été satisfaite entièrement pour la configuration multi horizon intégrée, avec un profit total de 159,160,550.9 DA. Alors que pour l'approche multi horizon simultanée la même demande a été établie par le centre d'abatage (1,336,000 poulets), mais seulement 1,198,000 poulets ont été

satisfaits et 138,000 poulets non satisfaits au cours des trois horizons pour un profit total de 142,720,314.35 DA.

Nous constatons aussi que le prix de revient est plus ou moins stable pour les deux configurations proposées. D'après les résultats obtenus dans le tableau 17, le prix de revient unitaire pour une l'approche multi horizon intégré est de l'ordre de 151.73 DA unitaire pour une l'approche multi horizon simultané est de l'ordre de 119.13 DA. Bien évidemment le bénéfice donné par la configuration multi horizon intégré est meilleur et plus élevé de 0.79 % que du bénéfice donné par la configuration multi horizon simultané.

En conclusion de cette comparaison, nous déduisons que la deuxième configuration, où nous avons considéré une approche multi horizon intégrée, le rendement et l'amélioration totale engendrée étaient sur tous les plans de l'un côté la satisfaction de la demande avec la rotation synchrone entre les différentes fermes et d'autre côté le prix de vente stable pour les consommateurs. Par ailleurs pour la première deuxième configuration multi horizon simultané, le modèle proposé a permis de fournir un prix stable mais la quantité totale n'est pas satisfaite qui mène à une perte des clients ceci entraîne une diminution du gain prévu.

4.5.2 Étude de prix de vente

Dans le réseau étudié, le problème qui préoccupe les acteurs de la chaîne logistique avicole est l'instabilité du prix de vente du poulet en raison de son impact sur leurs activités, comme mentionné dans la section 2. Afin de visualiser l'impact de notre étude sur le marché algérien, nous présenterons l'évolution du prix au cours de l'horizon considéré qui est très variable. Comme présenté dans la figure 13.

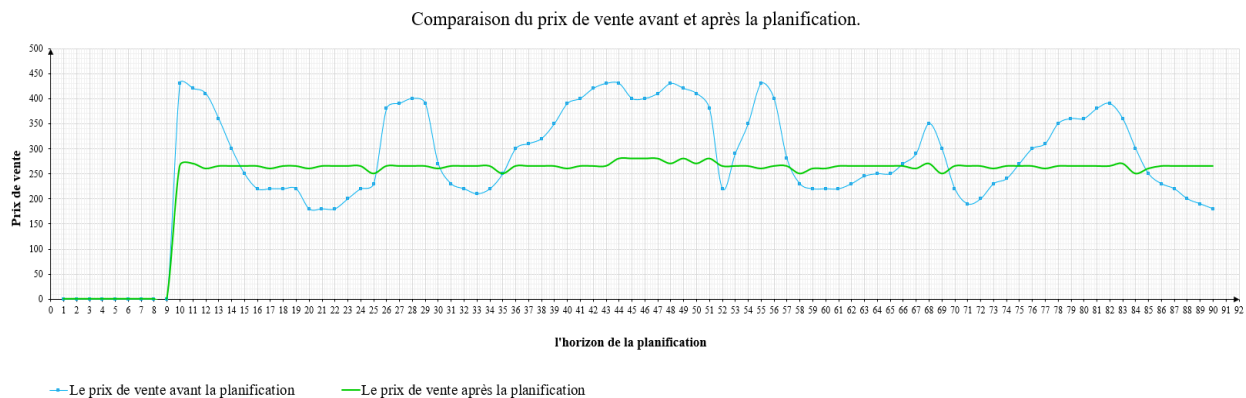


Figure 13 : Comparaison du prix de vente avant et après la planification.

Nous notons que l'évolution des prix de vente est instable et fluctuante tout au long de l'année, le prix varie entre une valeur pouvant être de l'ordre de 180 DA/kg lorsque l'offre est supérieure à la demande, et une valeur de 430 DA/kg lorsque la demande est forte que l'offre, et cela est dû à l'instabilité de la production de poulet comme nous l'avons cité dans la section 2, cette variation influence fortement les acteurs de cette chaîne.

Dans ce travail, nous avons fait une estimation des prix de vente en fonction des statistiques de la Chambre de l'Agriculture. En tenant compte du coût unitaire de l'élevage d'un poulet vivant, les dépenses qui s'y rapportent : la marge de profit de l'éleveur, le coût du transport de la viande des centres aux détaillants, et la marge de profit des revendeurs. Nous obtenons un prix unitaire d'un kg de viande blanche est d'environ 260 DA, avec une différence de plus ou moins 20 DA en raison du taux de mortalité qui est à un caractère incertain et peut avoir une légère augmentation dans les saisons chaudes par rapport à d'autres saisons. Cela génère une marge légèrement faible qui n'affecte pas le prix de vente. Et cela maintient le prix du poulet de chair stable sur tous les horizons. Ainsi, le prix obtenu correspond parfaitement au revenu moyen des citoyens algériens.

5 Approche qualitative

Cette approche vise à intégrer la notion de qualité et l'approche de mutualisation afin de permettre au réseau de répondre aux préférences des différents segments de consommateurs. En effet, certains consommateurs préfèrent des poulets de taille moyenne pour une consommation quotidienne, tandis que d'autres préfèrent des poulets plus maigres pour la production et la transformation de produits élaborés à base de poulet de chair.

L'objectif de cette étude est de maximiser le profit de la chaîne tout en satisfaisant les demandes des deux types de clients proposés. Cependant, une bande d'élevage respecte les bonnes normes donne 70 % de poulets de poids moyen, désigné comme qualité 1, et seulement 30 % de poulets maigres qui sont désigné comme qualité 2. Cette répartition peut entraîner une insatisfaction de l'une des demandes de ces types de poulets, car les quantités produites peuvent être insuffisante pour satisfaire les demandes du marché, ce qui peut causer des pertes pour le centre d'abattage.

Le défi de cette étude est donc de proposer une modélisation mathématique permettant de trouver un équilibre entre les quantités produites et la satisfaction des deux demandes données, et la prise en compte de la compensation entre les deux qualités de poulets, avec un prix acceptable, afin d'augmenter le taux de satisfaction des demandes tout en maximisant le profit de la chaîne. En résumé, cette étude cherche à optimiser la production et la vente de poulets de qualité en tenant compte les exigences des clients et des revenus industrielles.

5.1 Formulation mathématique

▪ Hypothèses de recherche

Pour modéliser ce problème, on prend en considération tous les hypothèses citées précédemment dans les sections (3.1) et (3.1.4.1) en ajoutant l'hypothèse suivante :

- Chaque bande d'élevage respecte les bonnes normes donne une quantité de poulets qui se compose de deux qualités : 70 % de qualité 1 et 30% de qualité 2.

▪ Paramètres

DF_{j^{t''}} :	La demande de poulets frais (qualité 1) en période t''.
DT_{j^{t''}} :	La demande de poulets transformé (qualité 2) en période t''.
PVPF :	Prix de vente de poulets frais de la qualité 1.
PVR1 :	Prix de vente de la quantité restante de la qualité 1.
PVPT :	Prix de vente de poulets transformé de la qualité 2.
PVR2 :	Prix de vente de la quantité restante de la qualité 2.

▪ Variables de décision

QQ1_{ij^{t''}} :	Quantité des poulets de qualité 1 dans chaque ferme i à la période t.
QQ2_{ij^{t''}} :	Quantité des poulets de qualité 2 dans chaque ferme i à la période t.
R1_{j^{t''}} :	Le reste de la quantité de poulets de la qualité 1 après la satisfaction de la demande de poulets frais
R2_{j^{t''}} :	Le reste de la quantité de poulets de la qualité 2 après la satisfaction de la demande de poulets transformée.

▪ La fonction objective

L'objectif de cette étude est le même objectif de l'approche de mutualisation qui sert à maximiser le profit de la chaîne, la fonction est formulée comme suit :

$$\begin{aligned}
 MaxZ = & \sum_i \sum_j \sum_{t''} PVPF * QQ1_{ij}^{t''} + \sum_i \sum_j \sum_{t''} PVPT * QQ2_{ij}^{t''} + \\
 & \sum_i \sum_j \sum_{t''} PVR1 * R1_j^{t''} + \sum_i \sum_j \sum_{t''} PVR2 * R2_j^{t''} - \\
 & \left(\sum_i \sum_t FCLP_i^t * QP_i^t + \sum_i \sum_t CP_i^t * QP_i^t + \right. \\
 & \sum_i \sum_t \sum_{t' \leq t+Dp} CPR_i^{t'} * QP_i^t + \sum_i \sum_{t''} FCLV_i^{t''} * XV_i^{t''} + \\
 & \left. \sum_i \sum_{t''} CV_i^{t''} * QV_i^{t''} + \sum_i \sum_j \sum_{t''} CTR_{ij} * QL_{ij}^{t''} * Dist_{ij} \right) \quad (22)
 \end{aligned}$$

▪ Sous les contraintes

Cette modélisation est traitée sous les contraintes (2, 5, 6, 7, 8, 11, 13, 14) présenté dans la section (3.1.1.2). Ces contraintes permettent de respecter le bon fonctionnement du réseau d'élevage par rapport aux quantités, les conditions d'élevage et les flux entrants et sortants. Et les contraintes (17, 18, 19) cité dans la section (3.1.4.1) qui consistent à assurer la mutualisation entres les fermes

du réseau et la production des quantités nécessaire à la satisfaction de la demande avec la prise en coséditation d'un taux de mortalité. Les contraintes ajoutés sont :

$$QQ1_i^{t''} = 0.7 * QL_i^{t''} \quad \forall i \quad \forall j \quad \forall t'' \quad (23)$$

$$QQ2_i^{t''} = 0.3 * QL_i^{t''} \quad \forall i \quad \forall j \quad \forall t'' \quad (24)$$

$$\sum_i QQ1_i^{t''} + R2_j^{t''} \geq DF_j^{t''} + R1_j^{t''} \quad \forall j \quad \forall t'' \quad (25)$$

$$\sum_i QQ2_i^{t''} + R1_j^{t''} \geq DTR_j^{t''} + R2_j^{t''} \quad \forall j \quad \forall t'' \quad (26)$$

$$R1_j^{t''} = 0 \quad \text{ou} \quad R2_j^{t''} = 0 \quad \forall j \quad \forall t'' \quad (27)$$

Les contraintes (23) et (24) calculent les quantités de poulets produites pour chaque qualité de poulets. Les contraintes (25), (26) et (27) garantissent la satisfaction de la demande du centre d'abattage pour les deux qualités de poulets. En outre, la quantité restante d'une qualité peut être utilisée pour compenser la demande non satisfaite de l'autre qualité de poulet afin d'optimiser la production.

5.2 Application numérique

Pour tester L'approche proposée, nous avons considéré un réseau de 22 fermes et un centre d'abattage sur un horizon de 6 mois répartie en 27 périodes, où la période égale à 7 jours, les demandes dont donnée une fois dans chaque période de l'horizon.

Les paramètres numériques utilisés dans cette étude comprennent : les coûts d'élevage présentés dans le tableau 9, les distances entre les fermes du réseau et le centre d'abattage présenté dans le tableau 11. Ces tableaux sont cités dans la section (3.1.4.1), le tableau 18 présente les prix de vente pour les deux qualités de poulets ainsi que les prix négociables pour le reste de chaque qualité. Et le tableau 19 présente les demandes du centre d'abattage.

Tableau 18: Les prix de ventes des poulets selon la qualité.

	Poulets de la qualité 1 (Frais)	Poulets de la qualité 2 (Transformé)	Reste de poulet de la qualité 1	Reste de poulet de la qualité 2
Prix de vente	600 DA	400 DA	450 DA	300 DA

Tableau 19: les demandes du centre d'abattage

Périodes	Demandes de poulets qualité 1		Demandes de poulets qualité 2	
Novembre	P 01	0		0
	P 02	0		0
	P 03	0		0
	P 04	0		0

Décembre	P 05	0	0
	P 06	0	0
	P 07	15,000	3,000
	P 08	9,000	3,000
Janvier	P 09	10,000	3,000
	P 10	11,000	3,000
	P 11	9,000	3,000
	P 12	15,000	3,000
Février	P 13	9,000	3,000
	P 14	9,000	3,000
	P 15	12,000	3,000
	P 16	11,000	3,000
Mars	P 17	13,000	3,000
	P 18	14,000	3,000
	P 19	12,000	3,000
	P 20	9,000	3,000
Avril	P 21	9,000	3,000
	P 22	11,000	3,000
	P 23	9,000	3,000
	P 24	9,000	3,000
Mai	P 25	15,000	3,000
	P 26	9,000	3,000
	P 27	11,000	3,000

5.3 Résultats et discussion

La modélisation proposée a été implémentée sous le solveur Cplex, les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 20 suivant.

Tableau 20: les quantités des poussins installées et des poulets vendues dans chaque ferme du réseau.

Périodes	Novembre				Décembre				Janvier				Février				Mars				Avril				Mai			
	P 01	P 02	P 03	P 04	P 05	P 06	P 07	P 08	P 09	P 10	P 11	P 12	P 13	P 14	P 15	P 16	P 17	P 18	P 19	P 20	P 21	P 22	P 23	P 24	P 25	P 26	P 27	
Demandes poulets frais	0	0	0	0	0	0	15000	9000	10000	11000	9000	15000	9000	9000	12000	11000	13000	14000	12000	9000	9000	11000	9000	9000	15000	9000	11000	
demandes poulets transformé	0	0	0	0	0	0	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	
Reste de poulets frais	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Reste de poulets transformée	0	0	0	0	0	0	2400	600	900	1200	600	2400	600	600	1500	1200	1800	2100	1500	600	600	1200	600	600	2400	600	1200	
F01	0	0	0	0	0	0	0	10000	0	0	0	0	0	6300 2700	0	0	0	0	10000	0	0	0	0	0	0	6300 2700	0	0
F02	0	0	0	0	0	0	0	0	10000	0	0	0	0	0	6300 2700	0	0	0	0	10000	0	0	0	0	0	0	6300 2700	0
F03	0	0	0	10000	0	0	0	0	0	6300 2700	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	6300 2700	0	0	0	0	0	0	6300 2700
F04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10000	0	0	0	0	0	6300 2700	0	0	0	0	10000	0	0	0	0	0	0	6300 2700
F05	10000	0	0	0	0	0	6300 2700	0	0	0	0	10000	0	0	0	0	0	6300 2700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
F06	0	0	10000	0	0	0	0	0	6300 2700	0	0	0	0	0	10000	0	0	0	0	6300 2700	0	0	0	0	0	0	0	0
F07	10000	0	0	0	0	0	6300 2700	0	0	0	0	8800	0	0	0	0	0	6000 2400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
F08	0	10000	0	0	0	0	0	6300 2700	0	0	0	0	10000	0	0	0	0	0	6300 2700	0	0	0	0	0	0	0	0	
F09	0	0	0	0	0	0	10000	0	0	0	0	0	6300 2700	0	0	0	0	10000	0	0	0	0	0	0	6300 2700	0	0	0
F10	0	0	0	0	0	10000	0	0	0	0	0	6300 2700	0	0	0	0	10000	0	0	0	0	0	0	6300 2700	0	0	0	
F11	0	0	0	0	10000	0	0	0	0	6300 2700	0	0	0	0	0	10000	0	0	0	0	0	6300 2700	0	0	0	0	0	
F12	0	0	0	0	0	0	0	3300	0	0	0	0	0	2100 900	0	0	0	0	10000	0	0	0	0	0	6300 2700	0	0	
F13	0	0	0	0	0	0	0	0	6600	0	0	0	0	0	4200 1800	0	0	0	0	3300	0	0	0	0	0	0	2100 900	0
F14	0	0	0	0	0	10000	0	0	0	0	0	6300 2700	0	0	0	0	3300	0	0	0	0	0	0	2100 900	0	0	0	
F15	0	3300	0	0	0	0	0	2100 900	0	0	0	0	6600	0	0	0	0	0	4200 1800	0	0	0	0	0	0	0	0	
F16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5500	0	0	0	0	0	3500 1500	0	0	0	0	5500	0	0	0	0	0	3500 1500	
F17	0	0	4400	0	0	0	0	0	2800 1200	0	0	0	0	0	3300	0	0	0	0	2100 900	0	0	0	0	0	0	0	0
F18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10000	0	0	0	0	0	6300 2700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
F19	0	0	0	0	0	0	3300	0	0	0	0	0	2100 900	0	0	0	0	3300	0	0	0	0	0	0	2100 900	0	0	0
F20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7700	0	0	0	0	0	0	4900 2100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
F21	0	0	0	5500	0	0	0	0	0	3500 1500	0	0	0	0	3300	0	0	0	0	0	2100 900	0	0	0	0	0	0	0
F22	0	0	0	0	3300	0	0	0	0	0	2100 900	0	0	0	0	5500	0	0	0	0	0	3500 1500	0	0	0	0	0	

D'après les résultats obtenus, l'approche proposée nous a permis d'établir un planning d'élevage des fermes de réseau étudié afin de répondre à une demande de poulets totale de 294,000 poulets, répartie en demande de 231 000 poulets frais (qualité 1), et demande de poulets transformée (qualité2) de 63 000 poulets. Nous avons constaté que toutes les fermes ont été choisies pour l'élevage en respectant la date de lancement de chaque période sans qu'il y soit de chevauchement d'élevage au sein de la même ferme. Nous remarquons, aussi que la modélisation proposée a permis d'établir un ordonnancement optimal entre les différentes fermes choisit toute en respectant les fermes voisines.

À partir le planning présente dans le tableau 20, nous avons constaté pour chaque demande et pour chaque période de l'horizon de la planification, le modèle a permis de sélectionner simultanément des fermes disponibles pour chaque période afin de répondre aux deux différentes demandes données, tout en respectant les différentes contraintes de capacité minimale et maximale, ainsi que le taux de mortalité au sein des fermes. Par exemple pour satisfaire les demandes de la période 12 (P12) qui étaient de 15,000 poulets de qualité 1 (frais) et 3,000 poulets de qualité 2 (transformé), le planning a sélectionné les fermes 16 (F16), et 14 (F14) avec une quantité de 10,000 poussins chacune. Pour chaque ferme cette quantité de poussins a produit 6,300 poulets de la première qualité et 2,700 poulets de la deuxième qualité. Bien que la somme des quantités de poulets produites de type 1 égale à 12,600 poulets, qui n'ait pas suffi pour satisfaire la demande de 15,000

poulets, la modélisation a permis de compenser la quantité restante de cette demande par le reste de poulets produites de type 2 avec un prix acceptable par rapport à la qualité exigée. Le profit total du réseau est de l'ordre de 39,445,483.33 DA.

6 Conclusion

Cette étude examine les problèmes de planification, de synchronisation et d'affectation pour un réseau avicole consacré à la production de poulets de chair. L'objectif était de proposer un calendrier qui attribue la quantité à élever dans chaque ferme en précisant la date de début et la date de fin pour chaque bande d'élevage en respectant les fermes voisines. Le but est de maximiser le profit tout en assurant une production rotative et synchrone entre les différentes fermes du réseau qui permette de stabiliser les prix du poulet sur tout l'horizon de planification. Ces objectifs sont interdépendants et considérés conjointement.

Nous avons développé des modèles de programmation mathématique en proposant trois approches de planification : approche économique, approche équitable, et approche de mutualisation. Pour trouver la solution nous avons implémenté nos modélisations sur le solveur CPLEX. Le calendrier optimal obtenu, donne les meilleures affectations des quantités avec l'allocation adéquate des fermes disponibles pour les trois approches proposées.

Pour la première approche économique, seulement la minimisation du coût d'élevage total est abordée. Cela dit, pour la deuxième approche, assure l'égalité d'utilisation de toutes les fermes du réseau, et pour la troisième approche de la mutualisation, la notion de la qualité de service a été établie. En faisant cela, la décision de réalisation, concernant la planification et la synchronisation de la production deviennent plus faciles à accepter par les fournisseurs et les incitent à respecter le planning proposé. De plus, les éleveurs peuvent utiliser de manière optimale leurs fermes au cours d'un horizon qui sert à améliorer l'efficacité, l'efficacé et la rentabilité du réseau étudié.

Lors de la comparaison entre toutes les trois approches proposées, l'approche de mutualisation qui considère la qualité de service est l'approche optimale pour notre étude, car elle génère un planning d'élevage synchrone, bien déterminé, acceptable et exploitable au cours d'un horizon et sur l'ensemble de fermes du réseau étudié. Par la suite, nous avons rallongé cette approche de mutualisation en proposant une planification multi-horizon afin d'évaluer l'impact de méthodologie proposée à long terme. Dans cette partie nous avons comparé entre configurations multi horizon simultané et multi horizon intégré. Les résultats obtenus par l'approche multi horizon intégré ont permis d'améliorer le réseau à long terme.

Enfin de ce chapitre, une étude qualitative a été intégrée à l'approche de mutualisation dans le but d'envisager une variété de consommateurs pour augmenter les ventes et, par conséquent, les profits générés.

L'objectif principal de cette étude est d'aider le réseau d'éleveurs à décider s'ils doivent coopérer entre eux, pour mieux satisfaire les demandes locales, ou s'ils doivent se fier uniquement à leur

production saisonnière. Les modèles proposés indiquent que l'organisation de la rotation de production du poulet de chair sur l'ensemble de fermes d'élevage dans une approche multi horizons dynamique est efficace, rationnelles et plus rentables pour tous les acteurs du réseau, éleveurs, vendeurs et consommateurs.

Chapitre 3 : planification tactique-opérationnelle d'une unité d'abattage.

1 Introduction

La production et la transformation de la viande blanche (poulets de chair) en produit consommable est un processus composé d'une succession d'opérations, qui démarre dès la réception des poulets depuis les poulaillers d'élevage qui subissent des traitements et des transformations au niveau des unités de production avant d'arriver aux zones de stockage et de livraison. Chaque unité dispose d'un chainage des procédés à commencer par l'opération d'abattage, plumaison, éviscération, lavage, séchage, et la découpe de poulets en multi produits (formations de sous-produits : ailes, cuisses, blanc de poulet, etc.), par la suite le conditionnement, et enfin la distribution de la viande blanche aux consommateurs. Sachant que la viande blanche est un produit à caractère hautement périssable et présente un degré de sensibilité assez élevée aux microbes (*Salmonella*) (Nair & Kollanoor Johny, 2019) ce qui rend sa production difficile exige une main d'œuvre qualifiée, des ressources matérielles spécialisées, et une gestion rigoureuse, ordonnée et dynamique afin d'éviter la contamination de la viande et conserver ses caractéristiques intrinsèques tout au long du processus de production. C'est pour cela, la gestion de la chaîne avicole préoccupe plusieurs éleveurs et chercheurs à la fois. Puisque ce domaine varie différemment d'un pays à un autre, d'une culture à une autre et ceci est dû au fait de la variabilité des paramètres considérés tels que : le climat, les ressources disponibles (eau potable, les aliments, etc.), la technologie de la transformation adoptée (manuelle, semi-automatique, automatique), le conditionnement et la conservation aux niveaux des zones de stockage et pendant le transport. La non-maîtrise de ces paramètres engendre un déséquilibre tout au long de la chaîne, qui est accompagné par une perte énorme de la volaille, en provoquant des déficits importants pour les réseaux d'élevage, voir une instabilité de toute l'activité sur les quantités produites, sur le prix de vente, pire encore des perturbations sociales suite à l'arrêt de l'activité. Cette situation a été largement observée particulièrement pour la production avicole en Algérie depuis plusieurs décennies. Alors que les réseaux d'élevage avicole local sont disponibles, différentes technologies existent, les mains d'œuvre sont aussi disponibles, malgré cela la constatation faite est que le marché algérien ainsi que l'environnement du secteur avicole et social souffrent de ces perturbations répétées. Où les quantités de viandes produites varient avec des prix changeants. (N. Tahraoui et al., 2020). Le défi de cette étude est de proposer un plan de planification multi-périodes pour la transformation du poulet en multi-produits appliqué à un réseau composé d'un ensemble des fermes d'élevage qui desservent des unités d'abattage, avant de les envoyer aux zones de stockage. Plus précisément

cette étude analyse le comportement d'une unité de charcuterie qui assure la production de plusieurs types de produits tels que : le poulet frais, poulet surgelé, et des sous-produits, en vue d'apporter des améliorations des performances de la chaîne avicole appliqué à un cas d'étude. Sachant que la production actuelle se fait de manière anarchique sans plan préalable, ce qui rend cette unité dans l'incapacité de répondre de manière efficace aux demandes quotidiennes particulièrement pour le poulet frais puisque cette unité de charcuterie semi-automatique étudiée opte de concentrer sur la production de poulets surgelés avec une seule équipe en mode régulier.

À travers la description de la problématique, le problème abordé est un problème décisionnel organisationnel, puisque l'unité dispose des ressources et du matériel suffisant qui ne sont pas exploités de manière optimale. Dans ce contexte nous constatons à travers la littérature investiguée qu'aucun travail n'a traité d'une manière technique la modélisation d'une vision de recherche opérationnelle adaptée à ce type de système de production. Dans ce contexte, les questions qui se posent sont :

- Comment planifier, organiser et synchroniser entre les différentes ressources afin d'assurer une stabilité du marché ?
- Quelle approche la plus adéquate pour répondre aux demandes dynamiques et incertaines ?
- Comment atténuer les perturbations pour la conservation d'un prix de vente optimal sur tout l'horizon de production ?

Pour répondre aux différentes interrogations et pour soulever ce problème, une coordination bien structurée entre tous les acteurs de la chaîne logistique avicole est nécessaire afin de développer cette industrie, de servir aux consommateurs une viande saine, de bonne qualité tout en assurant la stabilité du prix autour d'une certaine moyenne. L'objectif de cette recherche est d'étudier et d'analyser le comportement de la chaîne avicole, plus particulièrement la relation approvisionnement-transformation-distribution appliquée à une chaîne logistique avicole dans une approche intégrée. La contribution de ce travail vise à :

- Le développement d'un modèle générique purement orienté vers la planification agrégée des unités de charcuteries avec l'adaptation des contraintes réelles liées au fonctionnement du système dans une formulation mathématique.
- Donner plus de flexibilité, de facilité et de contrôle aux décideurs pour investiguer efficacement le bilan fonctionnel et économique de cette unité de production.
- Exploiter au maximum les capacités de production par rapport au cas classique à d'autres équipes de travail par l'ajout des heures supplémentaires ou bien le recrutement des autres équipes saisonnières.
- L'approche proposée permet de soulever le problème de la satisfaction de la demande du produit frais en réintégrant la production optimale de ce produit.

- Une optimisation intégrée des différents coûts pour offrir au marché le meilleur produit en terme de rapport qualité-prix puisque cette approche vise aussi à améliorer le fonctionnement de ce système d'où la qualité du service et du produit.
- La proposition pour la communauté scientifique d'un support technique de base qui peut être amélioré selon l'environnement dans lequel le système de production est modifié par rapport à celui présenté dans cette étude.

Ce chapitre est structuré comme suit : une revue de la littérature avec la contribution de cette étude sont présentées dans la section 2. Dans la section 3, présentation du fonctionnement de l'unité d'abattage étudiée, description détaillée de la problématique étudiée et de l'approche de résolution utilisée. Suivie d'une formulation mathématique détaillée du cas étudié donnée dans la section 4. La section 5 présente les paramètres numériques utilisés pour la modélisation proposée, ensuite les résultats obtenus à partir de l'implantation de la modélisation sous le solveur Cplex sont présentés et analysés dans la section 6. Par la suite une comparaison de la gestion de l'unité avant et après la planification est établie dans la section 7.

2 Etat de l'art

La problématique abordée dans ce travail traite particulièrement la mise en œuvre et la transformation du poulet en produits consommables soit en poulet entier, ou en poulets répartis en différents sous-produits, tels que : les ailes, les cuisses, les pilons, etc.). Cette problématique fait appel à plusieurs notions, tout d'abord il faut bien maîtriser le fonctionnement de la chaîne logistique avicole et les paramètres influencent (Boudahri et al., 2011a, 2011b; Brevik et al., 2020; Praseeratasang et al., 2019; Satır & Yıldırım, 2020; You & Hsieh, 2018), par la suite il faut comprendre les procédés et le processus de préparation et d'élaboration des viandes que soit pour le secteur avicole ou le secteur bétail. Puisque la viande est un produit de haute périssabilité, sensible aux microbes et à la contamination, ce qui rend sa transformation difficile et besoin de procédés spécifiques et d'une main d'œuvre qualifiée. Afin de cibler notre problématique qui concerne la planification tactique-opérationnelle appliquée au fonctionnement pour la transformation des produits avicoles en multi-produits dans un cadre multi-périodes. Accompagné par l'affectation et la réorganisation des unités de production, une présentation des travaux de recherche dans le domaine est donnée dans la section suivante. Dans ce cadre, les recherches effectuées dans ce domaine sont réparties sur plusieurs volets : le premier volet concerne la planification de la production, le second volet concerne l'aspect biologique au sein des unités de production et transformation de la viande et le troisième volet concerne l'aspect de découpage de la viande de manière générale.

Pour le premier volet qui concerne la planification de la production des multi-produits dans un cadre multi période plusieurs travaux ont été effectués tels que Azizi et al., (2020); Radhakrishnan, (2014); Safra et al., (2021); Taxakis & Papadopoulos, (2016); Xu, (2012) qui ont établies des études de planification dans l'objectif de déterminer les quantités optimales à réaliser sur toutes

les périodes tout en minimisant les coûts. D'autres chercheurs ont travaillé sur le développement et la résolution des modèles mathématiques par des approches exactes ou des méthodes approchées. Kitsos et al., (2015) ont présenté un livre sur l'optimisation et la modélisation des chaînes logistiques par des différentes méthodes de la recherche opérationnelle. Cha et al., (2014) a établi une gestion d'une chaîne logistique par l'adaptation de l'algorithme génétique afin d'assurer la satisfaction de la demande et la minimisation des coûts. Sawik, (2020) a développé un modèle mathématique multi critères pour le choix des fournisseurs. Dans le second volet concerne l'aspect biologique au sein des unités de production et transformation de la viande, nous constatons que certains chercheurs ont travaillé sur la contamination et l'hygiène de travail, tels que Yeh et al., (2017) qui étudient de l'effet de la bactérie salmonella dans le poulet et la viande rouge. Nair & Kollanoor Johny, (2019) ils étudient l'infection de la bactérie Salmonella par les éleveurs et les agents d'abattage de poulets de chair, et en ce qui concerne la qualité de la viande blanche on peut citer les travaux effectués par Djekic et al., (2018); Naspetti et al., (2015); Petracci et al., (2015a). Un autre volet concerne les statistiques de la production et de la consommation de la viande blanche, où les prévisions de sa vente, ainsi que l'étude de son marché tels que Arowolo et al., (2017); Balamurugan & Manoharan, (2013); Hussain et al., (2015); Kaci & Kheffache, (2016); KIROUANI, (2015); Nouman, (2014). En ce qui concerne l'aspect de découpage de la viande de manière générale, la plupart des travaux ont été attribués à la viande rouge, tout ce qui est le découpage de mouton, des bœufs, etc. Et leurs transformations soient en produits consommables tels que la viande hachée, les saucisses, etc. ou pour la production sous forme de plats, des conserves. Pour la viande rouge on peut citer Rahbari et al., (2021) qui ont travaillé sur la production et le transport des différents produits la viande rouge depuis les unités d'abattage vers les points de vente. D'autres travaux ont travaillé sur l'aspect machine (conception de machine automatique, semi-automatique quel est leur impact et qu'elle est leur évolution tels que Heinz et al., (2007) ; S.Barbut, (2015). Dans le contexte de la viande blanche il y a d'autres travaux qui sont travaillés sur le procédé de la transformation de la viande blanche, S.Barbut, (2016) écrit un livre englobe toutes les techniques et les étapes utilisées pour la transformation de la volaille en multi-produit. Naprom et al., (2018) ce travail sert à proposer un planning compte tenu plusieurs paramètres par rapport la quantité produite et le poids voulu. Leksakul & Apiromchaiyakul, (2019) ils ont fait une étude sur la découpe de poulets en morceaux spécifiques selon la demande ainsi que la distribution de la viande pour satisfaire une demande floue. L'objectif de cette étude est de trouver la meilleure affectation tâche-machine qui assure la transformation et la répartition du poulet en sous-produits selon les différentes familles qui répondent aux demandes du marché qui maximise le profit dans un horizon de planification mono période.

Une autre notion importante dans ce travail est la réorganisation du fonctionnement des unités de production, qui adoptent un mode de travail régulier 8 H par jour, 6 jours/semaine avec un jour de repos. Cela dit ce mode de travail peut s'avérer déficient face à des demandes dynamiques, changeant quotidiennement et saisonnièrement. Pour relever ce défi et répondre positivement aux différentes pertes engendrées nous proposons dans ce travail de nouveaux modes de travail : mode

régulier en ajoutant des heures supplémentaires, ou un autre mode qui consiste à faire appel à une deuxième équipe, en conservant à la base le mode de travail régulier, dans l'optique de satisfaire la totalité des demandes reçues. La répartition des tâches et le choix décisionnel sur le mode de travail ont pris l'attention de plusieurs chercheurs, puisque cette notion doit trouver une répartition équitable entre l'utilisation des ressources matérielles et humaines tout en respectant les capacités tolérées au niveau des équipements (machines, outillages, et matériels) et l'aspect ergonomique relatif aux êtres humains. Parmi les recherches intéressées à la répartition du travail nous avons Jirjahn, (2008) qui réalise une étude empirique comparative entre deux modes organisationnels du travail, le premier mode aborde le travail par équipes et le deuxième mode se base sur l'ajout d'heures supplémentaires. Hanna et al., (2008) établissent une étude statistique visant à aider les décideurs à déterminer l'effet du travail posté sur la productivité de main d'œuvre et les charges liées. Frick et al., (2018) ils font une étude comparative entre une gestion de travail associée à des risques sanitaires élevés et une gestion de travail respectant l'aspect ergonomique des ouvriers. Daghlis et al., (2021) font une analyse sur les facteurs liés à la sélection des ouvriers pour le travail par équipe.

- **Contribution**

À travers les recherches bibliographiques citées précédemment, nous constatons que les travaux existants dans le contexte de la planification tactique-opérationnelle se concentrent particulièrement à proposer des plannings de production et de transformation des produits agroalimentaires en consommables ; pour répondre aux demandes données de nature fruit et légume où ces derniers ont une finalité destinée à la consommation comme produit frais exprimé par la vente journalière ou en conserve sous des hauts degrés de conditionnement et de conservation (Ahumada et al., 2012; Ahumada & Villalobos, 2011; Orjuela-Castro et al., 2022; Rossi, 2013) sachant que les légumes et les fruits représentent des caractères plus robuste pour la conservation et ils sont moins sensibles à la détérioration que les viande. D'autres chercheurs ont développé leur recherche en introduisant des modes de fonctionnement additifs soit en réguliers heures supplémentaires ou en irréguliers par l'adoption d'une deuxième équipe au sein des unités de production. Dans ce contexte des fruits et légumes il est plus facile d'intégrer les heures additives et les réserver à la réalisation de ce type de produits qui supporte mieux des heures supplémentaires, chose qui n'est pas forcément favorable pour la viande.

En ce qui concerne la viande particulièrement, pour la chaîne avicole la majorité des travaux (Leksakul & Apiromchaiyakul, 2019; Naprom et al., 2018) ont traité des problématiques de transport, des quantités à transformer, répartition entre les tâches et machines, des opérations de stockage, et de découpe juste dans un fonctionnement régulier, n'ayant pas de recours à la fonction de congélation exploitable par des heures supplémentaires ou des équipes additives. De plus, ils ont étudié plusieurs unités de charcuterie similaires à celle étudiée. Cependant à nos connaissances aucun travail scientifique basé sur la recherche opérationnelle appliquée à la planification n'a traité le fonctionnement en termes d'abattage, découpage, transformation en sous-produits, surgélation, emballage et stockage dans un cadre multi-périodes. Excepté le travail de Leksakul &

Apiromchaiyakul, (2019) qui a contribué à traiter le problème de découpe dans un horizon mono-période orienté plutôt vers l’ordonnancement des tâches. L’objectif de cette étude est de proposer un modèle de planification générique aux unités de charcuteries afin de définir la quantité optimale à produire pour chaque période qui répond aux demandes données, tout en minimisant les ruptures de stock et le sur-stockage au cours d’une période. Plus précisément, cette étude propose différents modes de travail et leur affectation la plus adéquate et profitable sur les différentes périodes de l’horizon de planification contenant les différentes contraintes. L’approche proposée et le modèle développé dans cette étude, peut être adaptée à d’autres unités de charcuterie, des flexibilités au niveau de la capacité de l’usine en régulier et irrégulier sont suggérées pour améliorer les taux de satisfaction et réduire les taux de stockage, ce qui rend le modèle de planification tactique-opérationnelle plus générique. À cet effet des gains sont observables au niveau économique et au niveau du processus décisionnel résultant de l’organisation de fonctionnement de l’unité. Le développement d’une nouvelle stratégie de travail est adapté par rapport au cas multi produit multi périodes en misant à :

- Réaliser une approche intégrée de la planification tactique-opérationnelle pour mieux optimiser et visualiser les différents paramètres et les KPI de ce système afin de gérer les quantités produites (frais et congelé).
- Proposer une démarche de réorganisation de la production, en exploitant d’avantage les fonctions de congélation afin de satisfaire de manière efficace le marché.
- Diminuer les ruptures et rééquilibrer les quantités en stock, par la transformation des produits excédentaires sous forme d’autres produits consommables.

3 La problématique

3.1 Description du fonctionnement de l’unité d’abattage

Dans cette étude, on s’intéresse à une étude d’un niveau opérationnel d’un système productif de poulet de chair composé d’un ensemble des fermes qui assure l’approvisionnement en poulets vivants qui seront envoyés vers des unités d’abattages où doivent subir plusieurs transformations, dans ce contexte le poulet sera décomposé en multiproduits avant d’être envoyé dans des zones de stockages pour être finalement livrés aux clients finals. La chaîne avicole étudiée est composée de plusieurs maillons représentés par la figure suivante :

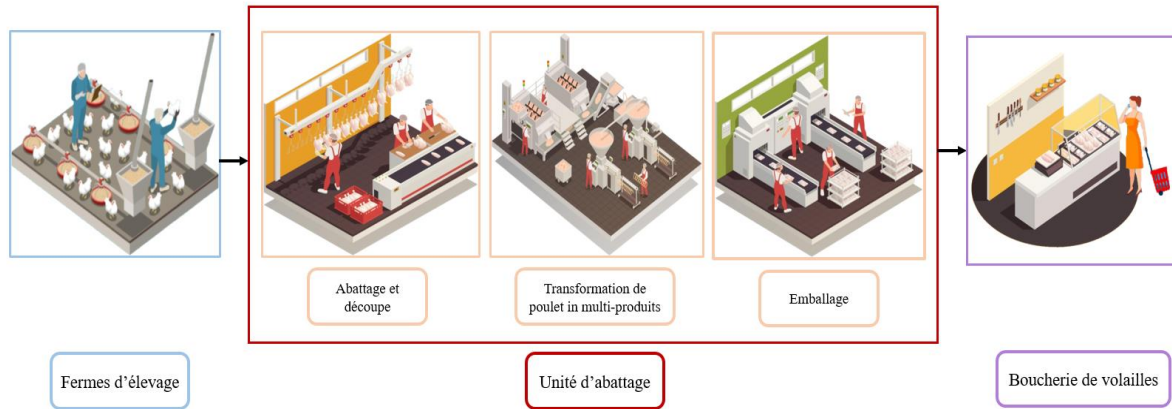


Figure 14: La chaîne logistique avicole avec description de l'unité d'abattage.

Le premier maillon concerne le réseau d'élevage des différents poulaillers qui approvisionnent quotidiennement les centres d'abattage. Une étude préalable a été effectuée dans ce maillon par N. Tahraoui et al., (2021) qui consiste à établir un planning d'élevage pour toutes les fermes de manière synchrone en précisant les dates de débuts et les dates de fin sans ce qu'il y est de chevauchement, et en attribuant la même priorité de sollicitation sur les différents horizons de planifications afin de répondre aux demandes des centres d'abattage. L'étude faite a permis de déterminer le choix décisionnel de planification sur le niveau tactique de la chaîne avicole. Plus précisément, nous avons déterminé un planning d'élevage selon des quantités de demande de centre d'abattage, et d'après les résultats obtenus de la première étude (Tahraoui et al., 2021), et dans le cadre d'assurer le bon déroulement des différentes activités de cette chaîne, cette étude a eu lieu qui concerne de proposer le meilleur planning au niveau opérationnel pour la transformation des poulets reçus depuis les fermes en les transformant en multi-produits pré à la consommation. Bien évidemment le maillon de la production exige lui-même une planification minutieuse et synchronisée entre différentes opérations (abattage, plumaison, triage, emballage, etc.) afin de minimiser les temps productifs vu la contrainte de périssabilité tout en conservant les caractéristiques nutritives de la viande blanche. On constate bien que la moindre erreur de gestion peut engendrer des pertes énormes puisque ce secteur ne tolère pas des temps d'attente non-productifs, et le moindre gaspillage en termes de temps, main d'œuvre, conservation est très valorisant pour toute la chaîne. L'étude de ce travail se concentre sur le deuxième maillon au niveau de la chaîne qui est la planification et la gestion des unités d'abattage et de transformation de poulet, comme représenté dans la figure suivante.

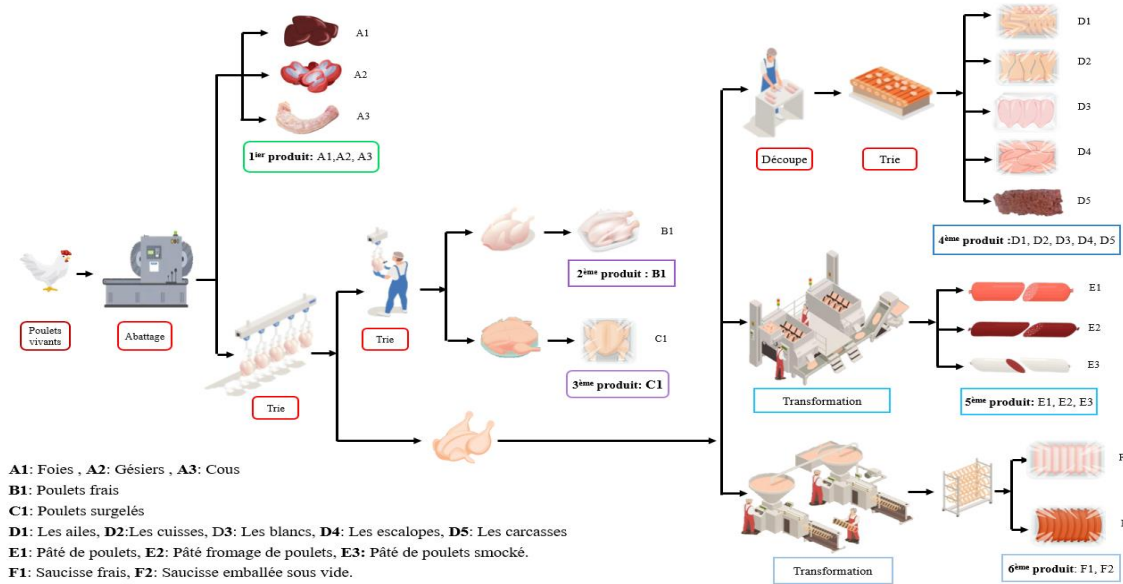


Figure 15: Le processus de transformation de poulets vivants en multiproduits.

La production des produits illustrés dans la figure précédente implique une succession d'opérations spécifiques à chaque produit. Ces activités sont présentées dans la figure 16, où la production de chaque produit est détaillée par la suite :

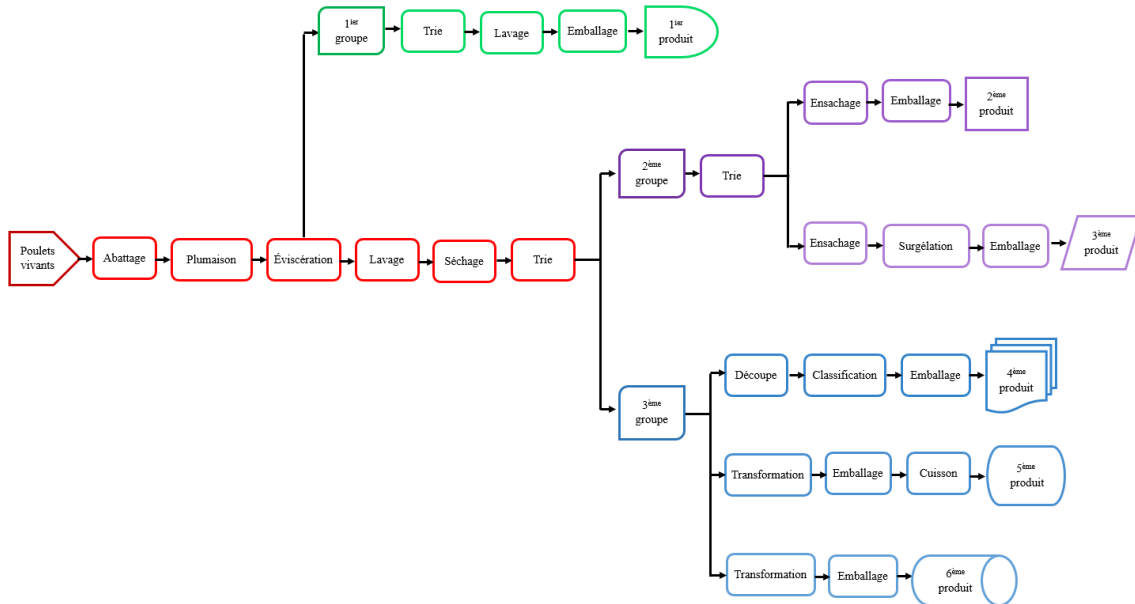


Figure 16: Les activités de production des produits de l'unité

Le processus de production commence dès la réception des poulets en provenance des fermes. Il débute par les étapes d'abattage, de plumaison, d'éviscération et de lavage. Durant cette première phase, les poulets sont décortiqués et séparés en trois groupes distincts.

- **Le premier groupe**



Figure 17: Les activités de production du produit 1 à partir du premier groupe.

Ce groupe concerne les produits issus de l'abattage (les foies, les gésiers, et les cous). Où les quantités de chaque de ces produits 1 (**Qabi^{tt}**) issus de ce groupe sont lavés, emballés, et envoyés aux clients spécifiés. Le poulet vide passe par le séchage, puis le triage qui est l'action la plus délicate puisque c'est à ce moment là où le poulet est envoyé dans une chaîne de traitement spécifique après un test sélectif, qui est un test visuel. Ce test permet de séparer les poulets selon la forme générale en deux groupes (2^{ème} et 3^{ème} groupe). Où chaque groupe est renvoyé vers une station de travail composée de plusieurs lignes de production.

- **Le deuxième groupe** : les poulets de ce groupe sont envoyés vers la première station de travail qui est une unité composée de deux lignes de production.

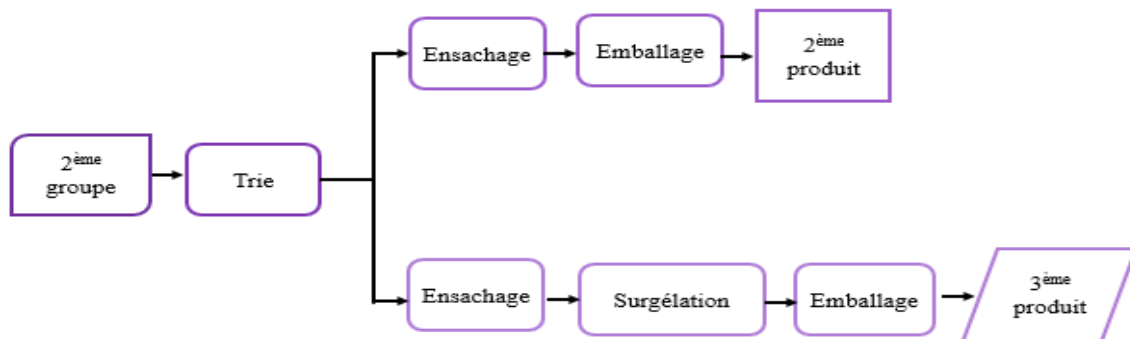


Figure 18: Les activités de production des produits 2 et 3 à partir du deuxième groupe.

Cette unité est destinée à recevoir les poulets qui n'ont subi aucune détérioration, à ce moment-là un second triage est effectué qui sépare entre les deux qualités de poulets : une qualité supérieure (poids élevé) et une qualité moyenne (poids moyen), par la suite chaque qualité est acheminée sur une ligne de travail dédié, où elles subissent un certain nombre d'opérations. La première ligne est affectée à la réception des poulets de première qualité (qualité supérieure), où elles reçoivent des opérations d'ensachage et d'emballage pour obtenir le produit 2 (poulets frais), avant d'être envoyé aux points de vente pour répondre à une consommation journalière. La deuxième ligne est destinée à la préparation du poulet de la deuxième qualité, pour obtenir le produit 3 (poulets surgelés) après le passage des poulets moyens par l'ensachage, la surgélation qui se fait dans un tunnel de surgélation, cette opération est pour objective de conserver les caractéristiques alimentaires des poulets. Puis l'emballage, pour assurer des ventes ultérieures.

- **Le troisième groupe :** Ce groupe englobe tous les poulets entaillés ou briches, puisque pendant le transport des poulets depuis l'unité d'élevage vers l'unité de transformation, l'entassement des poulets à l'intérieur de la cage provoque diverses casses des ailes, des pattes et des cuisses, et ne peuvent pas être vendues comme poulet entier. Cette catégorie de poulets sera traitée et acheminée vers la deuxième station qui assure la transformation de ces poulets en multiproduits prêts à la vente et à la commercialisation. Cette station est composée de trois lignes où chaque ligne est dédiée à la réalisation d'un seul produit.

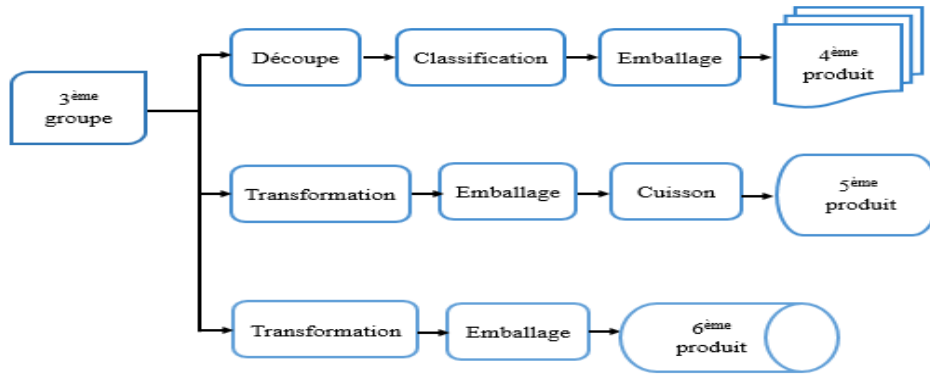


Figure 19: les activités de production des produits 4, 5, et 6 à partir du troisième groupe.

La première ligne est spécialisée dans la découpe de poulets en morceaux, ce processus donne le produit 4 qui englobe tous les morceaux répartis en cinq classes : les ailes, les cuisses, les blancs, les escalopes, et les carcasses. Sachant qu'un poulet donne deux ailes, deux cuisses, un blanc de poulet et une carcasse. Dans cette étape, ces morceaux sont triés selon leur type puis ils sont posés dans des barquettes d'un kg. Les barquettes obtenues sont emballées et étiquetées. L'unité dispose aussi une unité de la charcuterie pour la production des produits élaborés, qui représentent le cinquième et le sixième produit : pâté avec ses différentes variantes (pâté pizza, pâté fromage, etc.), et les saucisses avec ses différentes variantes : frais, emballé sous-vide. La production de ces sous-produits se fait en suivant des techniques précises pour chaque sous-produit.

La présente étude porte sur le fonctionnement d'un centre d'abattage qui est constitué de plusieurs unités de travail. Chacune de ces unités possède une ou plusieurs lignes de production destinées à la transformation et la réalisation de plusieurs sous-produits avicoles et ses dérivés à partir des poulets vivants. Comme cela a été dit auparavant, que le caractère de vivacité représente une forte contrainte pour tous les différents secteurs d'élevage de plus la deuxième contrainte de périssabilité relatives aux caractéristiques des produits frais particulièrement pour la chaîne avicole où le poulet représente un produit très sensible et hautement périssable, ce qui rend sa production et sa transformation difficile à gérer et nécessite une gestion, et une planification pointilleuse, soignée, et précise afin d'assurer les propriétés consommables des produits obtenus dans les meilleures conditions. Et pour répondre aux demandes dynamiques et fluctuations du marché.

3.2 La problématique

Le problème de cette chaîne avicole est la mauvaise organisation et la désynchronisation entre la production et les demandes du marché. Auparavant, cette unité de charcuterie semi-automatique étudiée opte de travailler avec un seul shift et garde la capacité de production relativement constante durant toute la période qui est de l'ordre de six jours par semaine, sans voir l'effet de surstockage de ce fait à la non-intégration entre les différentes périodes de l'année. Suite à cette décision on a perçu des intervalles de périodes où le stock était plein tel que présenté dans la figure et par la suite la cadence de production sera forcée de s'arrêter. Et dans d'autres intervalles de périodes les quantités en stock étaient trop faibles ce qui a conduit à perdre des commandes de marché. Sachant que ces demandes sont très variantes au cours de l'année et diffèrent d'une période à l'autre, puisque d'un côté les demandes sont aléatoires, et d'un autre côté l'existence de plusieurs types d'évènements : les festivités locales, les conférences, les mariages, etc. qui exige une consommation importante de poulets par rapport aux périodes régulières où la consommation de poulet est plus au moins stable autour d'une certaine moyenne (Figure 20).

Cette variation influence de manière considérable sur le fonctionnement des unités d'abattage, puisque ces demandes sont quotidiennes. Et les centres d'abattage sont dotés d'une capacité de production journalière estimée à 8 h de travail. Et lorsque la demande est très élevée, le problème qui se pose aux niveaux de ces unités est la non-satisfaction de la totalité des demandes durant une vague de travail de 8 heures. Au risque de perdre les clients, et de se désabonner de la notion de fidélité avec les clients.

Une contrainte supplémentaire à ce problème est la gestion de la chambre froide de stockage. Puisque chaque poulet surgelé doit subir une durée de 48 heures avant sa vente et sa consommation afin de satisfaire les demandes journalières pour ce type de produit, le système exige une production différée plus précisément le produit livré et vendu le jour « j » doit être prêt et disponible au moins 48 heures avant c'est-à-dire que la durée doit être supérieure à « j-2 » selon les normes de surgélation. Ce principe force l'entreprise à avoir des stocks de sécurité antérieurs pour satisfaire la demande actuelle, et exige le remplissage du stock de manière régulière pour la satisfaction des demandes antérieures. C'est dans ce contexte où cette étude est faite dans l'optique de proposer un planning de travail flexible entre les différents modes de travail présentés (travail régulier, travail avec des heures supplémentaires, et travail avec une deuxième équipe) afin de pallier le problème de demandes non-comblées et de leurs conséquences engendrées.

3.3 Démarche de résolution

Le réseau de production et transformation de poulet fonctionne dans un mode de travail régulier sur 8 heures par jour et pour 6 jours de la semaine pendant toute l'année. Dans cette étude nous avons introduit d'autres modes de travail par les heures supplémentaires ou le recrutement d'une deuxième équipe, sachant que pour les heures supplémentaires se sont limitées et ne peuvent pas dépasser une certaine valeur par exemple de 1 heure à 3 heures maximum par jour pour assurer les conditions ergonomiques des ouvriers, le deuxième mode abordé est de faire 2x8h en ajoutant une

deuxième équipe. Ce qu'ajoutent des contraintes supplémentaires au système puisque la condition exigée pour cette équipe est qu'elle sera recrutée sur une durée de travail minimale d'un mois, avec des contrats répétitifs selon le besoin. Ce qui nous donne trois configurations différentes de travail, soit on peut travailler avec le mode régulier où on va travailler quotidiennement sur 8 heures, soit un mode régulier avec des heures supplémentaires, soit un mode de travail régulier avec une deuxième équipe en cas de nécessité. Dans ce cadre, les heures de travail pour chaque mode de travail sont présentées par le tableau suivant :

Tableau 21: Les heures de travail pour chaque mode de travail.

Mode de travail	Régulier	Régulier + Supplémentaire	Régulier + Deuxième équipe
Les horaires de travail	8H à 16H	16h à 20H	16H à 00H

Plus précisément, la première configuration avec une équipe régulière, où 8 h de travail sont tolérés chaque jour. La deuxième configuration (équipe régulière + les heures supplémentaires) dans cette configuration les ouvriers peuvent ajouter des heures supplémentaires au-delà de 8 h tolérées chaque jour. Cette durée additive est limitée à trois heures maximum pour assurer le respect de l'aspect ergonomique des ouvriers. Et lorsque les demandes sont très fortes, on adopte la troisième configuration qui fait appel à une deuxième équipe : la première équipe assure le travail pendant 8 h (première tranche de travail), la deuxième équipe démarre à la fin du travail de la première équipe (pour assurer les 8 h successives). La seule contrainte pour cette configuration est que la deuxième équipe ne peut pas être engagée sur une journée ou deux jours mais plutôt par un contrat d'une durée déterminée.

Cette étude vise dans un premier temps à déterminer la quantité de production nécessaire pour satisfaire la demande, ainsi que le mode de travail approprié pour atteindre cette quantité. Donc, on remarque que notre problème est composé de deux décisions différentes, d'un côté il faut déterminer la quantité à produire pour satisfaire la demande, et d'un autre côté déterminer le mode de travail adéquat. Afin de résoudre cette problématique, nous proposons par la suite une modélisation mathématique suivie d'une résolution par le solveur Cplex.

4 Modélisation mathématique

Pour modéliser le problème, nous avons supposé certaines hypothèses afin de faciliter notre modélisation et qui répondent aux réflexions données par les différents responsables et chef de production lors d'une visite aux centres d'abattage et de la chambre avicole de Tlemcen. Conformément au mode de fonctionnement du maillon étudié qui est le centre d'abattage, ces hypothèses sont définies après une collecte de données depuis des visites au sein de l'entreprise avicole ainsi que des sorties sur terrains, ce qui nous a permis de rassembler toutes les informations

relatives à la problématique étudiée. Parmi les plus importants points à considérer, nous allons les présenter dans les hypothèses suivantes :

- Les demandes de chaque période sont regroupées et transférées au centre d'abattage de manière hebdomadaire.
- L'étude se fait sur un seul centre d'abattage.
- L'équipe de travail régulière accepte une capacité supplémentaire de valeur de 1 heure à 4 heures maximum (1500 et 8000 poulets)
- La deuxième équipe est recrutée uniquement dans les périodes de fortes demandes. Pour les périodes de baisses de demandes, on maintient la première équipe.
- La quantité de poulets vivants à approvisionner est disponible pendant tout l'horizon de planification.
- Le taux moyen de poulets déclassés est de l'ordre de 10 % selon les statistiques du groupe avicole. Les poulets déclassés servent à produire les produits 4,5 et 6.
- La chambre froide spécialisée pour la surgélation et stockage de poulet surgelé est de grande capacité.

○ Les paramètres

• Les indices

t :	L'ensemble des périodes de la planification $t \in T$
t' :	L'ensemble des types des horaires de travail $t' \in T'$
i :	L'ensemble de produits $1 \leq i \leq I$
j :	L'ensemble de produits $4 \leq j \leq J$
k :	L'ensemble de sous-produits $5 \leq k \leq K$
l :	L'ensemble de sous-produits $6 \leq l \leq L$

• Les données

Cmx^t :	Capacité maximale de la production de l'unité pour chaque période t
Cmn^t :	Capacité minimale de la production de l'unité pour chaque période t
Nou1 :	Le nombre des ouvriers dans la phase d'abattage.
Nou2 :	Le nombre des ouvriers dans la phase de production des deuxième et troisième produits.
Nou3 :	Le nombre des ouvriers dans la phase de la transformation de poulets pour la production des 4 ^{ème} , 5 ^{ème} , et 6 ^{ème} produits.
Tt1 :	La cadence de travail des ouvriers dans la phase d'abattage.
Tt2 :	La cadence de travail des ouvriers dans la phase de production de production des deuxième et troisième produits.

Tt3 :	La cadence de travail des ouvriers dans la phase de la transformation de poulets pour la production des 4 ^{ème} , 5 ^{ème} , et 6 ^{ème} produits.
Waba i:	Le poids des sous-produits d'abattage. (la gamme des produits1)
Npc :	Nombre de poulets par carton.
Pab i t' :	Prix de vente des produits 1(i) pour chaque sous-périodes t'.
Pvpcn :	Prix de vente d'un carton de poulets congelé (produit 3).
Pvpfr :	Prix de vente d'un carton de poulet frais (produit 2).
Pvspd1 j :	Prix de vente de la gamme des produits 4
Pvspd2 k:	Prix de vente de la gamme des produits 5
Pvspd3 l:	Prix de vente de la gamme des produits 6
Capmxs :	Capacité maximale de la chambre de stockage de produits 3.
Dpcn t' :	Demande de produits 3 pour chaque période t.
Dpfr t' :	Demande de produits 2 pour chaque période t.
Fv :	Facteur de la viande pour la production des produits 6.
Fp :	Facteur de poids pour la production des produits 5.
Fa :	Facteur des ajouts pour la production des produits 5.
Fpk :	Facteur de poids d'une unité de produit 5.
Neb j :	Nombre des éléments pour chaque morceau de la gamme des produits 4 (j) dans une barquette.
Nb :	Nombre de barquette par carton
Fos :	Facteur d'os dans un poulet.
Fdos :	Facteur de carcasse d'un poulet.
Fosp :	Facteur d'os dans un blanc de poulet.
Ncar :	Nombre de carcasse dans un carton.
• Les coûts	
Cab t' :	Coût unitaire d'abattage et lavage de poulets dans la période t.
Cprab j t' :	Coût unitaire de lavage et d'emballage de la gamme de premier produits i dans la période t.
Cpr t' :	Coût unitaire de triage de poulets pour la production des deux produits 2 et 3 dans la période t.
Empcn :	Coût unitaire d'ensachage et d'emballage de produits 3.
Empfr :	Coût unitaire d'ensachage et d'emballage de produits 2.

Cprd1^t :	Coût unitaire de production et d'emballage des produits 4 à la période t.
Cprd2^t :	Coût unitaire de production et d'emballage des produits 5 à la période t.
Cprd3^t :	Coût unitaire de production et d'emballage des produits 6 à la période t.
Cspcn :	Coût unitaire de stockage du produit 3.
Chr1^{tt'} :	Coût d'un ouvrier équivalent en heure-homme dans la phase d'abattage pour chaque sous-période t' à la période t .
Chr2^{tt'} :	Coût d'un ouvrier équivalent en heure-homme dans la phase de production de produits 2 et 3 d'abattage pour chaque sous-période t' à la période t .
Chr3^{tt'} :	Coût d'un ouvrier équivalent en heure-homme dans la phase de la transformation de poulets pour la production des 4 ^{ème} , 5 ^{ème} , et 6 ^{ème} produits d'abattage pour chaque sous-période t' à la période t .
Cl^{tt'} :	Coût de lancement des équipes de travail pour chaque sous-périodes t'.
• Variables de décisions	
X^{tt'} :	$= \begin{cases} 1 & \text{lancement de la production pour la période } t' \text{ à la période } t \\ 0 & \text{si non} \end{cases}$
Y^{tt'} :	$= \begin{cases} 1 & \text{le choix de la période } t' \\ 0 & \text{si non} \end{cases}$
Nhr1^t :	Nombre des heures de travail par ouvrier dans la phase d'abattage de poulet à la période t.
Nhr2^t :	Nombre des heures de travail par ouvrier dans la phase de production des deuxième et troisième produits à la période t.
Nhr3^t :	Nombre des heures de travail par ouvrier dans la phase de transformation de pour la production des 4 ^{ème} , 5 ^{ème} , et 6 ^{ème} produits à la période t.
Qe^{tt'} :	La quantité de poulets vivants entrants dans la phase d'abattage pour la production de poulets pour chaque sous-période t' à la période t.
Qaba_i^{tt'} :	La quantité des produits 1 (i) pour chaque sous-période t' à la période t.
Pe^{tt'} :	Nombre de poulets entiers produites pour chaque sous-période t' à la période t.
Pd^{tt'} :	Nombre de poulets destiné à la découpe pour chaque sous-période t' à la période t.
Pfr^{tt'} :	Nombre de poulets frais (produit 2) produites pour chaque sous-période t' à la période t.
Pcn^{tt'} :	Nombre de poulets surgelé (produit 3) pour chaque sous-période t' à la période t.
Pcnt^t :	Nombre de poulets surgelé totale (produit 3) à la période t.
Pcnts^t :	Nombre de poulets surgelé totale stocké (produit 3) à la période t.
Pcntv^t :	Nombre de poulets surgelé vendues (produit 3) pour chaque à la période t.

Pd1^{tt'} :	Nombre de poulets destiné à la production des produits 4 pour chaque sous-période t' à la période t.
Pd2^{tt'} :	Nombre de poulets destiné à la production des produits 5 pour chaque sous-période t' à la période t.
Pd3^{tt'} :	Nombre de poulets destiné à la production des produits 6 pour chaque sous-période t' à la période t.
Spd1_j^{tt'} :	La quantité des produits 4 pour chaque sous-période t' à la période t.
Spd2_k^{tt'} :	La quantité des produits 5 pour chaque sous-période t' à la période t.
Spd3_l^{tt'} :	La quantité des produits 6 pour chaque sous-période t' à la période t.

- **La fonction objective** a pour but de maximiser le profit de l'unité d'abattage et de transformation de poulets en des produits différents. L'unité présente une gamme variée de produits afin de satisfaire la demande du marché : produits 1 (**Qaba_i^{tt'}**), produit 2 est poulets frais (**Pfr^{tt'}**), produit 3 poulets surgelés (**Pcntv^{t'}**), ainsi qu'une d'autre gamme de différents produits : le produit 4 morceaux de découpe de poulets (**Spd1_j^{tt'}**), et des produits élaborés 5 et 6 qui sont respectivement : pâté (**Spd2_k^{tt'}**), et la saucisse (**Spd3_l^{tt'}**).

La fonction est exprimée par la formule (1), qui prend en compte tous les coûts : le coût de lancements des équipes de travail pour chaque sous-période (**Cl^{t'}**), le coût d'abattage (**Cab^{t'}**), le coût de triage, lavage, et d'emballage des produits 1 (**Cprab_j^{t'}**), le coût de lavage et de triage de poulets (**Cpr^{t'}**), coût d'emballage de produit 2 poulets frais (**Empfr**), le coût d'emballage de produit 3 poulets surgelé (**Empcn**), le coût de stockage de poulets surgelé (**Cspcn**), le coût de production et d'emballage des produits 4 (**Cprd1^{t'}**), le coût de production des produits 5 (**Cprd2^{t'}**), le coût de production des produits 6 (**Cprd3^{t'}**), ainsi que les coûts unitaires relatives aux ouvriers pour chaque sous-période: main d'œuvre d'abattage (**Chr1^{tt'}**), main d'œuvre de lavage et triage de poulets (**Chr2^{tt'}**), main d'œuvre de production des produits 4, 5 et 6 (**Chr3^{t'}**).

$$\begin{aligned}
 Max F = & \sum_i \sum_t \sum_{t'} Qaba_i^{t \ t'} * Pvaba_i^{t'} + \sum_t \sum_{t'} Pfr^{t \ t'} * Pvpfr + \\
 & \sum_t Pcntv^t * Pvpcn + \sum_j \sum_t \sum_{t'} Spd1_j^{t \ t'} * Pvspd1_j + \\
 & \sum_k \sum_t \sum_{t'} Spd2_k^{t \ t'} * Pvspd2_k + \sum_l \sum_t \sum_{t'} Spd3_l^{t \ t'} * Pvspd3_l - \\
 & (\sum_t \sum_{t'} Cl^{t'} * Y^{t'} + \sum_t \sum_{t'} Qe^{t \ t'} * Cab^t + \sum_i \sum_t \sum_{t'} Qaba_i^{t \ t'} * Cprab_i^t + \\
 & \sum_t \sum_{t'} Pe^{t \ t'} * Cpr^t + \sum_t Pfr^{t \ t'} * Epfr + \sum_t Pcnt^t * Epcn + \\
 & \sum_t Pcnts^t * Cspcn + \sum_j \sum_t \sum_{t'} Spd1_j^{t \ t'} * Cprd1^t + \\
 & \sum_k \sum_t \sum_{t'} Spd2_k^{t \ t'} * Cprd2^t + \sum_l \sum_t \sum_{t'} Spd3_l^{t \ t'} * Cprd3^t + \\
 & \sum_t \sum_{t'} Chr1^{t \ t'} * Nhr1^{t \ t'} + \sum_t \sum_{t'} Chr2^{t \ t'} * Nhr2^{t \ t'} \\
 & + \sum_t \sum_{t'} Chr3^{t \ t'} * Nhr3^{t \ t'})
 \end{aligned} \tag{1}$$

• Sous les contraintes

$$Y^{t'} = 1 \quad \forall t' = 1 \tag{2}$$

$$\sum_{t' > 1} Y^{t'} \leq 1 \tag{3}$$

$$X^{t \ t'} \leq Y^{t'} \quad \forall t: 1 < t \leq 8 \quad \forall t' \tag{4}$$

$$Qe_i^{t \ t'} \leq Cmx^{t \ t'} * X^{t \ t'} \quad \forall t \quad \forall t' \tag{5}$$

$$Qe_i^{t \ t'} \geq Cmn^{t \ t'} * X^{t \ t'} \quad \forall t \quad \forall t' \tag{6}$$

$$Nou1 * Tt1 * Qe^{t \ t'} = Nhr1^{t \ t'} \quad \forall t \quad \forall t' \tag{7}$$

$$Nou2 * Tt2 * Pe^{t \ t'} = Nhr2^{t \ t'} \quad \forall t \quad \forall t' \tag{8}$$

$$Nou3 * Tt3 * Pd^{t \ t'} = Nhr3^{t \ t'} \quad \forall t \quad \forall t' \tag{9}$$

$$Qab_i^{t \ t'} = Qe^{t \ t'} * Wab_i \quad \forall i \quad \forall t \quad \forall t' \tag{10}$$

$$Pe^{t \ t'} = 0.9 * Qe^{t \ t'} \quad \forall t \quad \forall t' \tag{11}$$

$$Pd^{t-t'} = 0.1 * Qe^{t-t'} \quad \forall t \quad \forall t' \quad (12)$$

$$Pe^{t-t'} = Pcn^{t-t'} + Pfr^{t-t'} \quad \forall t \quad \forall t' \quad (13)$$

$$Pfr^{t-t'} = 0 \quad \forall t \quad \forall t': t' > 1 \quad (14)$$

$$\sum_{t'} Pfr^{t-t'} = Dpfr^t \quad \forall t \quad (15)$$

$$Pcnts^t = Ssp \quad \forall t = 1 \quad (16)$$

$$Pcnts^t = Ssf \quad \forall t = 8 \quad (17)$$

$$Pcnts^t \geq Ss \quad \forall t \quad (18)$$

$$Pcnt^t = \sum_{t'} Pcn^{t-t'} \quad \forall t \quad (19)$$

$$Pcnts^{t-1} + Pcnt^{t-1} - Pcntv^t = Pcnts^t \quad \forall t: 1 < t \leq 8 \quad (20)$$

$$Pcnts^{t-1} \geq Pcntv^t \quad \forall t: 1 < t \leq 8 \quad (21)$$

$$Pcntv^t = Dpcn^t \quad \forall t \quad (22)$$

$$Pcnts^t + Pcnt^t \leq Capmxs \quad \forall t \quad (23)$$

$$Pd1^{t-t'} = 0.4 * Pd^{t-t'} \quad \forall t \quad \forall t' \quad (24)$$

$$Pd2^{t-t'} = 0.4 * Pd^{t-t'} \quad \forall t \quad \forall t' \quad (25)$$

$$Pd3^{t-t'} = 0.2 * Pd^{t-t'} \quad \forall t \quad \forall t' \quad (26)$$

$$Spd1_j^{t-t'} = Pr_j * Pd1^{t-t'} / Neb_j \quad \forall j: j \leq 4 \quad \forall t \quad \forall t' \quad (27)$$

$$Spd1_j^{t-t'} = Pd1^{t-t'} * Fdos + 0.05 * Pd1^{t-t'} * Fosp + Pd2^{t-t'} * Fos + Pd3^{t-t'} * Fos \quad \forall j: j = 5 \quad \forall t \quad \forall t' \quad (28)$$

$$Spd2_k^{t-t'} = Np5 * Pd2^{t-t'} * Fa * Fp / Fpk \quad \forall k \quad \forall t \quad \forall t' \quad (29)$$

$$Spd3_l^{t-t'} = Np6 * Pd3^{t-t'} * Fv \quad \forall l \quad \forall t \quad \forall t' \quad (30)$$

$$\begin{aligned} Qe^{t-t'} \in R^+ \quad Qab_i^{t-t'} \in R^+ \quad Pe^{t-t'} \in R^+ \\ Pd^{t-t'} \in R^+ \quad Pfr^{t-t'} \in R^+ \quad Pcn^{t-t'} \in R^+ \\ Pcnt^t \in R^+ \quad Pcnts^t \in R^+ \quad Pcntv^{t-t'} \in R^+ \end{aligned} \quad \begin{aligned} \forall i \quad \forall j \quad \forall k \\ \forall l \quad \forall t \quad \forall t' \end{aligned} \quad (31)$$

$$\begin{aligned} Pd1^{t-t'} \in R^+ \quad Pd2^{t-t'} \in R^+ \quad Pd3^{t-t'} \in R^+ \\ Spd1_j^{t-t'} \in R^+ \quad Spd2_k^{t-t'} \in R^+ \quad Spd3_l^{t-t'} \in R^+ \\ X^{t-t'} \in \{0,1\} \quad Y^{t-t'} \in \{0,1\} \end{aligned} \quad \forall t \quad \forall t' \quad (32)$$

La contrainte (2) assure le choix obligatoire de travail de l'unité en temps régulier tout au long de l'horizon de planification, Les contraintes (3) et (4) imposent le choix de l'un des modes de travail : des heures supplémentaires ou recrutement de la 2ème équipe, dans le cas où les heures régulières ne suffisent pas à la satisfaction de la demande. Les contraintes (5) et (6) assurent que la quantité de poulets vivants entrées dans l'unité d'abattage doit être appropriée à la capacité de production de l'unité durant tout l'horizon de la planification et pour chaque mode de travail t' . Les contraintes (7), (8) et (9) calculent le nombre des heures de travail des ouvriers dans chaque phase de production de poulets durant l'horizon de la planification. La contrainte (10) calcule la quantité des produits 1 pour toutes les périodes de l'horizon de la planification, et pour chaque mode de travail t' . Les contraintes (11), (12) calculent la quantité de poulets pour chaque produit : poulets entiers et poulets pour production des produits élaborés durant tout l'horizon de la planification. Les contraintes (13) représentent la conservation des flux de quantités de poulets entiers, les poulets frais (produit 2) et les poulets surgelés (produit 3). La contrainte (14) impose la production de produit 2 (poulets frais) seulement avec le mode de travail régulier pour chaque période t de l'horizon de planification étudié. La contrainte (15) assure la satisfaction totale de la demande de produit 2. Les contraintes (16), (17), et (18) représentent respectivement le stock de sécurité initial, et le stock final, ainsi que le stock de sécurité de produit 3 (poulets surgelés) pour toutes les périodes de l'horizon de planification t . La contrainte (19) calcule la quantité produite totale de produits 3 (poulets surgelés) pour chaque période de l'horizon de planification t . Les contraintes (20), (21) représentent la conservation des flux de quantités de poulets surgelés produits, stockés, et vendus pour tout l'horizon de planification t . La contrainte (22) assure la satisfaction totale de la demande de produit 3 pour chaque période de l'horizon étudié. La contrainte (23) assure le respect de la capacité maximale de la chambre de stockage de produit 3 durant tout l'horizon de la planification. Les contraintes (24), (25), et (26) calculent respectivement la quantité de poulets nécessaire pour la production des trois types de produits suivants : produits 4, produits 5, et produits 6. Les contraintes (27), (28) calculent la quantité produite des produits 4 pour chaque période t et pour chaque mode de travail t' . Les contraintes (29), (30) calculent respectivement la quantité produite des produits 5, et des produits 6 pour chaque période t et pour chaque mode de travail t' . Finalement, les contraintes (31), (32) représentent la nature des variables de décisions réelles et binaires.

5 Application numérique

Les paramètres numériques utilisés pour notre modélisation sont récoltés auprès de l'entreprise avicole et des enquêtes effectuées sur le terrain (au niveau des différents abattoirs) et dans le secteur concerné, ces données sont représentées par : la figure 20 qui représente l'estimation des demandes des clients pour tout l'horizon de planification. Et le tableau 22 qui représente tous les coûts et les charges liées à la production et la transformation de poulets vivants en multiproduits. Pour résoudre le problème étudié, nous avons implémenté le modèle proposé sous le solveur Cplex

afin de calculer les quantités optimales à fournir pour répondre aux demandes journalières ainsi que le planning de travail adéquat pour toutes les périodes de planification.

5.1 Les demandes de l'horizon d'étude

D'après la figure on remarque que les demandes reçues varient de manière considérable au cours de l'année, d'une période à l'autre et d'une saison à l'autre.

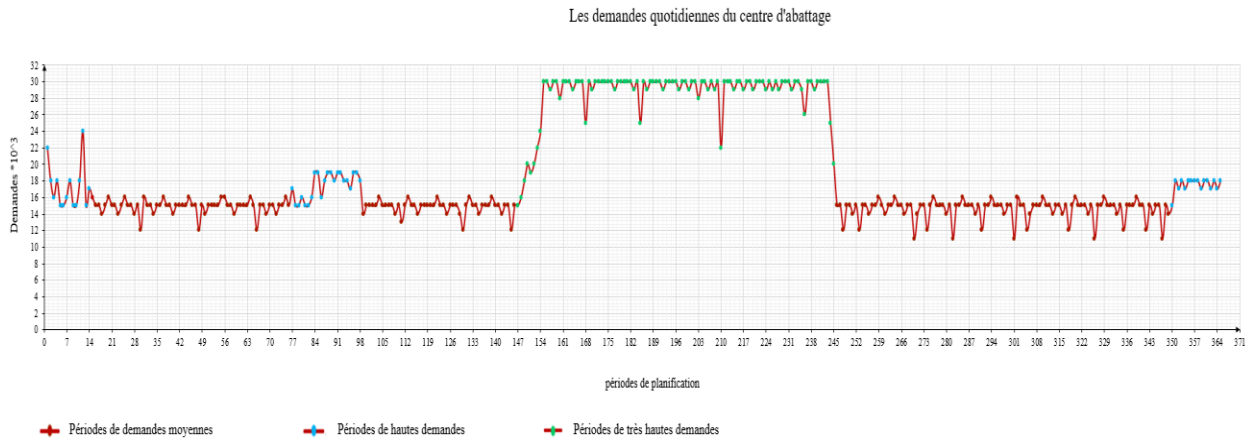


Figure 20: l'estimation des demandes des clients pour l'horizon de planification.

Pour établir un modèle de planification de ce système basé sur les historiques des cinq dernières années pour des raisons confidentielles de l'entreprise, les prévisions de la demande de l'année 2022 sont présentées dans la figure 4. Concernant l'outil de la prévision, le logiciel EvIEWS est utilisé. Les demandes sont regroupées en trois types, il y a des périodes de moyennes demandes, des périodes de forte demande, et des périodes de pics (très forte demande), ces fluctuations des demandes sont reliées aux événements locaux tels que les vacances, les événements de festivités : les mariages. Les demandes sont soumises sous le caractère d'incertitude puisque sont de nature aléatoire.

5.2 Les coûts

Afin d'implémenter notre modélisation sous le solveur Cplex, nous avons pris en considération les différents coûts relatifs au fonctionnement de l'unité étudiée tels que : les coûts relatifs à l'opération de l'abattage, les coûts relatifs aux opérations de lavage, et les coûts relatifs à la transformation de poulets en multiproduits. Les différents coûts considérés sont représentés dans le tableau 2 suivant pour les différents modes de travail (Régulier, Régulier + heures supplémentaires, Régulier + deuxième équipe).

Tableau 22: les différents coûts considérés selon le mode de travail.

Les coûts	La valeur pour chaque mode de travail		
	Régulier	Régulier + heures supplémentaires	Régulier + 2 ^{ème} équipe
Coût d'abattage	30	30	30
Coût préparation de la gamme de produit 1	10	10	10
Coût préparation des produits 2 et 3	50	50	50
Coût préparation des produits 4, 5 et 6	20	20	20
Coût d'emballage de produit 2	24	24	24
Coût d'emballage de produit 3	30	30	30
Coût de stockage de produit 3	01	01	01
Coût d'un ouvrier équivalent en heure-homme dans tous les phases de production (abattage, préparation des produits 1,2,3,4,5 et 6.	0.16	0.2	0.18

5.3 Les données liées à l'unité de production

En ce qui concerne les lignes de production, on a chaque ligne est dotée d'un certain nombre d'informations telles que : les capacités minimales et maximales, un certain nombre d'ouvriers selon le type d'opération qui vont effectuer, par exemple on a un certain nombre d'ouvriers qui sont affectés dans la phase d'abattage, et un autre nombre d'ouvriers qui sont affectés pour la préparation des produits 2 et 3, et un troisième groupe d'ouvriers est affecté pour la préparation des produits élaborés. Donc le nombre des ouvriers varie d'un mode à un autre. Le résumé de toutes les informations représentées dans le tableau 23 suivant :

Tableau 23: Les données relatives à l'unité de production en fonction du mode de travail.

Les données	La valeur pour chaque mode de travail		
	Régulier	Régulier + heures supplémentaires	Régulier + 2 ^{ème} équipe
Capacité de production minimale de l'unité	16,000	8,000	16,000
Capacité maximale de l'unité	5,000	1,500	5,000

Nombre des ouvriers à la phase d'abattage, et préparation de produit 1	20	20	20
Nombre des ouvriers à la phase de préparation des produits 2 et 3.	12	12	12
Nombre des ouvriers à la phase de préparation des produits 4,5 et 6.	08	08	08
La cadence de travail des ouvriers dans tous les phases de production	0.0004	0.0004	0.0004
Capacité de la chambre froide de stockage	30,000 poulets		

6 Résultats et discussions

Pour tester l'efficacité de notre modélisation nous l'avons implémentée sous le solveur Cplex, les résultats obtenus sont représentés dans les tableaux ci-dessous. (Tableau 24). Notre modélisation sert dans la première étape à déterminer le mode de travail adéquat pour chaque période de tout l'horizon de planification. La deuxième étape consiste à déterminer quelle quantité à approvisionner de telle sorte à satisfaire les demandes reçues au préalable pour les produits 2 et 3. Et par la suite la maximisation du profit de l'unité. La troisième partie traite du produit 3 (poulet surgelé) puisque les poulets surgelés ont une gestion un peu particulière, comme précisé par la section (2).

6.1 Le planning de travail

Les résultats obtenus permettent d'établir un planning de travail adéquat pour tous les horizons étudiés, qui est représenté dans le tableau suivant :

Tableau 24: *Le planning de travail.*

Les modes de travail	Régulier	Régulier + heures supplémentaires	Régulier + 2ème équipe
Les périodes choisis	T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11, T15, T16, T17, T18, T19, T20, T21, T36, T37, T38, T39, T40, T41, T42, T43, T44, T45, T46, T47, T48, T49, T50.	T1, T2, T12, T13, T14, T51, T52, T53.	T22, T23, T24, T25, T26, T27, T28, T29, T30, T31, T32, T33, T34, T35

D'après le planning résultant, nous remarquons que malgré qu'il y a une variation des demandes, notre modélisation a résolu efficacement le problème puisqu'il a permis de préciser le mode de travail pour chaque horizon de planification tout en respectant l'aspect ergonomique des êtres humains. Nous constatons que les trois modes ont été utilisés durant tout l'horizon pour répondre aux différentes demandes, ce qui a permis d'organiser le fonctionnement de l'unité d'abattage qui est le maillon clé dans la chaîne logistique avicole. Puisque ce dernier a la lourde responsabilité de

gérer les inputs et les outputs du mieux que possible en évitant le surstockage massif et la rupture de stock. De plus le caractère périssable des aliments frais (la viande blanche) complique davantage le bon déroulement des opérations au sein de ces unités. Dans cet amalgame de contraintes le modèle proposé a pu dresser un plan optimal qui synchronise entre les équipes de travail selon les fluctuations de la demande tout en minimisant les différentes dépenses.

Le travail a été accompli pour un horizon de planification d'une année répartie en 54 périodes où chaque période est régie par une demande qui diffère d'une période à une autre. La solution obtenue a permis d'effectuer les affectations entre les différentes périodes et les modes de travail. Ce qui nous a pu donner un planning de travail bien structuré. Pour les périodes T3 jusqu'à T11, T15 jusqu'à T21, et T36 jusqu'à T50 l'entreprise a adopté un mode régulier puisque la demande été de valeurs moyennes tandis que pour les périodes (T1, T2, T12, T13, T14, T51, T52, T53) la modélisation a décidé l'application du deuxième mode (régulier + heures supplémentaires) à savoir que pour les heures supplémentaires, on va faire appel juste aux ouvriers déjà recrutés à effectuer quelques heures au-delà de leur temps alloué. Et pour les périodes (T22 jusqu'à T35) qui correspondent aux périodes de festivité locale et de mariage, où la demande est très forte, on fait appel à une équipe carrément externe. La modélisation proposée, nous a orientés à quel moment on fait appel à la deuxième équipe sachant qu'on ne peut pas appeler la deuxième équipe pour une seule journée ou un seul horizon. La deuxième équipe doit travailler sur une période déterminée d'une durée minimale. Cette équipe est recrutée avec des contrats où on peut l'appeler chaque fois selon le besoin. Ces contrats sont différents en termes de paiement, ce qui influence sur le prix de vente de la viande blanche, mais cela reste une gestion typique pour satisfaire la demande et soulever le problème de l'instabilité de production, de rupture de stock, et de sur stockage de poulets surgelés. Le nouveau planning de travail a permis de nous prédire si on va satisfaire la demande juste en travaillant pour un fonctionnement régulier, ou s'il y a nécessité de faire des heures supplémentaires ou carrément faire appel à la deuxième équipe et ceci est applicable à tous les horizons de planification étudiés.

6.2 La planification de la production

Les quantités de poulets entrants subissent plusieurs destinées, chaque quantité est répartie en trois groupes (pfr, pcn, pd). À travers l'analyse des résultats présentée dans la figure 21, nous avons pu déterminer la quantité optimale qui réponde aux demandes prévisionnelles (pfr, pcn) ainsi que la quantité destinée à la découpe. Et ceci est appliqué sur tout l'horizon de planification.

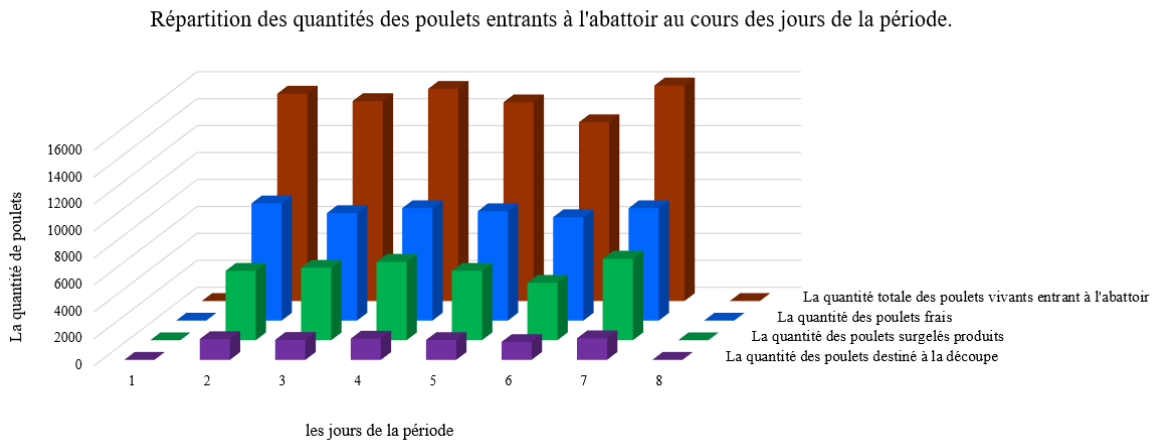


Figure 21: la répartition des quantités de poulets entrants à l'abattoir pour la production des différents produits sur tous les jours de la période.

Les résultats montrent l'efficacité du modèle puisqu'il nous a permis de donner le planning proposé qui est accompagné par la détermination des quantités produites optimales de chaque produit pour répondre à une demande de marché quotidienne. De plus la production au niveau de la période qui vont d'un côté satisfaire la demande du produit 2 (poulets frais) d'autres seront destinés aux surgélations et stockage pour les périodes ultérieures par exemple : pour une demande de poulets frais de 8700 poulets on va avoir une production de 15389 poulets, cette quantité sera répartie en trois quantités : 57 % de cette quantité (8700 poulets) pour satisfaire la demande de poulet frais et 33% (5150 poulets) sera destinée aux surgélations pour obtenir le produit 3. Et 10 % (1539 poulets) sera destiné à la transformation et la production des produits élaborés 3, 4, et 6.

6.3 Gestion de poulets congelé

Cette phase qui concerne la gestion des poulets surgelés, est l'une des phases les plus complexes du système à gérer. On a d'un côté un stock à maintenir, d'un autre côté une quantité entrante qui va subir une surgélation pour une durée déterminée avant d'être envoyée aux zones de stockage, de plus on a une quantité sortante pour satisfaire la demande. La particularité de cette gestion est la notion de temps, puisqu'un poulet surgelé nécessite minimum 48 h de surgélation avant d'être envoyé. Ce qui rend cette phase compliquée et nécessite une gestion un peu particulière, puisqu'on a des entrées, des sorties et des encours qui sont en rotation en permanence et quotidiennement. Ceci peut être interprété par un flux très dynamique et hautement changeable, c'est pour cela qu'il est nécessaire d'avoir des quantités en stock au début et à la fin de chaque période de planification. Cette contrainte supplémentaire de stockage au début et à la fin de chaque période complique davantage la planification. Mais sa présence est obligatoire parce que le stock massif du début de la période sert à couvrir les demandes de ce produit pour les deux jours à venir, ce qui explique dans le premier jour dans la période choisie, nous avons un stockage aux alentours de 11,000 poulets, qui correspondent à la satisfaction des demandes des deux premiers jours (j1, j2) de la même période avec un stock de sécurité pour satisfaire les demandes imprévisibles. Avec les

quantités vendues en remarque une diminution des stocks en contrepartie dans les mêmes jours la chambre froide va subir de nouvelles quantités destinées à la satisfaction des demandes ultérieures après les 48 de surgélation.

Les résultats de l'approche proposée ont permis de déterminer à la fois la quantité entrante, les quantités du poulet surgelé en stock, les quantités qui sont en phase transitoire de surgélation, et les quantités sortantes. De cette manière nous avons pu déterminer la quantité globale qui circule dans le système afin de satisfaire les différentes variantes des sous-produits. Ensuite, une fois la détermination décisionnelle des quantités, le modèle a permis de sélectionner le mode de travail à choisir afin de maintenir une production plus ou moins stable au cours de toute l'année.

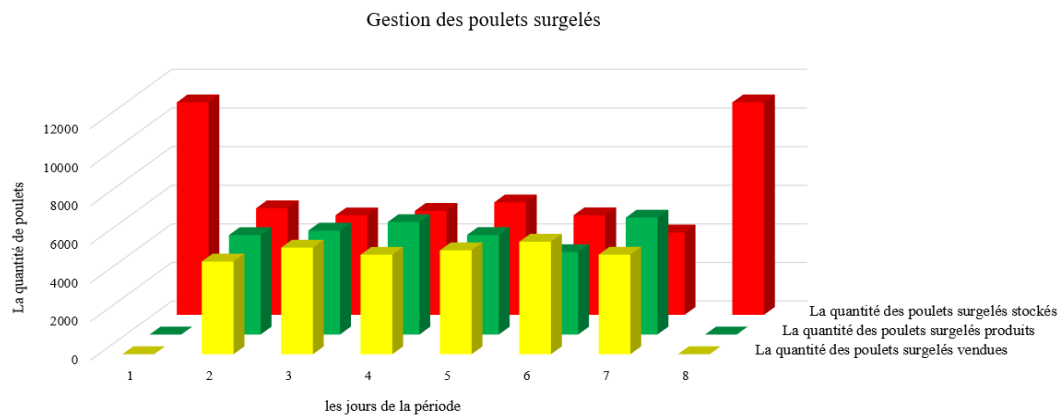


Figure 22: La gestion des poulets surgelés.

7 Comparaison entre la gestion l'unité avant et après la planification

Afin de visualiser l'impact économique et décisionnel de l'approche de la planification tactique-opérationnelle proposée, adaptée à l'unité de charcuterie étudiée, une comparaison managériale entre l'organisation classique et l'instauration de la nouvelle approche proposée et leur impact sur les différents points considérés au sein de la chaîne avicole étudiée : le planning de travail, la gestion de la production, le taux de satisfaction de la demande, et la gestion de stock de poulets surgelés.

7.1 Planning de travail

Sur le plan organisationnel, les équipes de travail n'opèrent auparavant qu'avec qu'un seul shift de travail relatif à 8 h au maximum par jour étalé sur une période de six jours par semaine. Cette manière de travail inflige à l'entreprise des défaillances en termes de satisfaction du client et de demandes. Autrement dit dans la majorité des cas les quantités de la demande n'étaient pas satisfaites alors que la capacité de ressources est exploitable et permettait plus d'utilisation sauf que la mauvaise gestion et l'arrêt des unités de production au bout de 8 h engendre l'entreprise en situation de rupture cumulative sur les différentes périodes. Pour soulever le problème et répondre

de manière efficace aux déficits de ce régime, des améliorations sur le planning de travail ont été introduites sur tout l'horizon de planification. Le principe était d'augmenter l'utilisation des ressources par l'ajout des heures supplémentaires ou bien recruté une équipe saisonnière afin d'assurer une production adéquate aux demandes données, comme le montre le tableau (24), le taux de satisfaction des demandes de produits et sous-produits a atteint de 100 % en adoptant les nouvelles approches proposées (plus de détails seront donnés dans la section suivante 7.3).

7.2 Gestion de la production

Le plan productif a été nettement amélioré par l'implémentation de l'approche proposée puisque cette dernière a permis de déterminer les quantités optimales à produire pour répondre aux demandes données d'un côté ; d'un autre côté une répartition et une affectation optimale des ressources matérielles et humaines tout en respectant les capacités des machines et l'aspect ergonomique des ouvriers a été établie.

7.3 Le taux de satisfaction de la demande

Les principaux produits réalisés dans l'unité de charcuterie étudiée sont : le poulet frais et le poulet surgelé. Leurs productions étaient faites de manière totalement anarchique sous le principe de flux poussé. C'est-à-dire l'unité travaille en production de masse, qui consiste en priorité à faire le remplissage de la chambre de stockage, et en second plan satisfaire les commandes du poulet frais, prêt à la vente et la commercialisation. Sachant que cette gestion n'était pas convenable puisque dans la majorité des cas, la demande du poulet frais n'était pas satisfaite voire perdue malgré l'existence de la capacité pour produire d'avantage. Le problème majoritaire était la mauvaise gestion de la production, qui créait un déséquilibre entre la production de poulets surgelés et du poulet frais, ce qui en résulte la perte des commandes clients. Sachant que les ventes s'effectuent au sein de cette entreprise selon des principes différents relatifs à chaque type de produit : poulet frais, poulet surgelé.

- **Pour le produit surgelé**

Après le remplissage des chambres froides, l'unité commence à servir les demandes à partir de la quantité en stock disponible jusqu'à l'épuisement de ce stock sans prendre en considération le réapprovisionnement instantané qui permet d'assurer l'équilibre entre les flux entrants et sortants de la chambre froide. Cette façon génère des ruptures de stock parce qu'il n'y avait pas un plan préalable qui permette de déterminer le moment ou bien le point de commande d'où il fallait relancer la demande. Une fois que l'entreprise se confronte à une rupture de stock, c'est à ce moment là où les ordres de fabrication sont relancés pour un remplissage massif des chambres froides. Et cette situation se répète plusieurs fois au cours des horizons de travail de cette entreprise, tel que présenté dans le graphe 23.

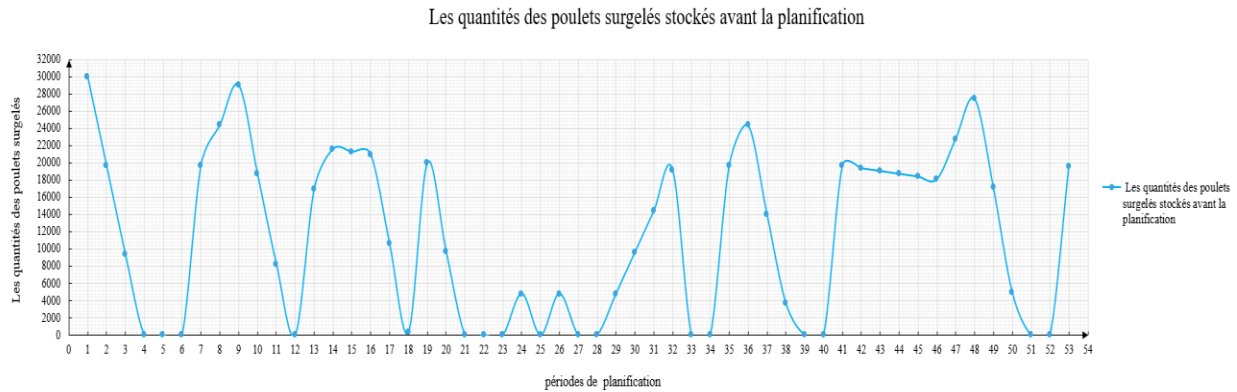


Figure 23 : Les quantités des poulets surgelés stockés avant la planification.

Bien évidemment ceci influence sur les ventes avec insatisfaction aux demandes relatives aux périodes de rupture. D'autant plus l'acquisition de nouvelles quantités après la rupture nécessite une durée minimale de 48 heures, ce qui influence négativement et affecte de manière considérable sur le gain et la crédibilité de l'entreprise. En se retrouvant dans plusieurs situations de déficits comme présenté dans les périodes (T4, T5, T6, T12, T18, T21, T22, T23, T25, T27, T28, T33, T34, T39, T40, T51, et T52) de la figure 24.

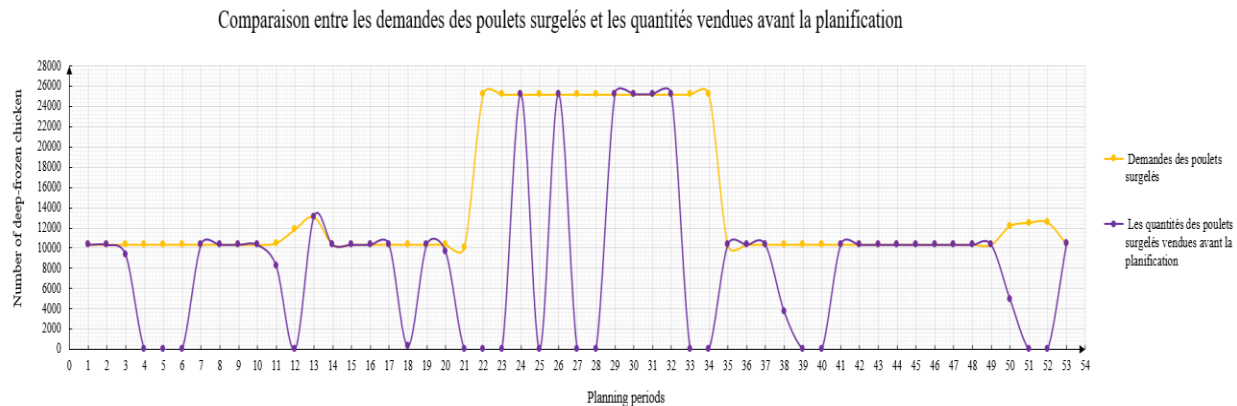


Figure 24: Comparaison entre les demandes des poulets surgelés et les quantités vendues avant la planification.

• Pour le poulet frais

En ce qui concerne la production et la vente du poulet frais, la majorité des ventes n'étaient pas satisfaites puisque ce produit fait l'objet d'une deuxième priorité. Plus clairement la priorité principale est accordée au produit surgelé en termes de production mais cette situation ne reflète pas la réalité, puisque la consommation quotidienne à partir de l'historique de la demande présente la même priorité pour les deux produits, cela dit le caractère de périssabilité de poulet et la mauvaise gestion de l'entreprise, force l'entreprise de travailler d'avantage le produit surgelé que le produit frais. Ce qui explique la baisse de la quantité vendue et l'insatisfaction des demandes quotidiennes du poulet frais représenté dans le graphe 25, puisqu'une quantité minoritaire a été

réservée à la vente journalière (produit frais) et le reste est destiné automatiquement au remplissage des chambres froides afin d'assurer la meilleure conservation de la production de ce produit.

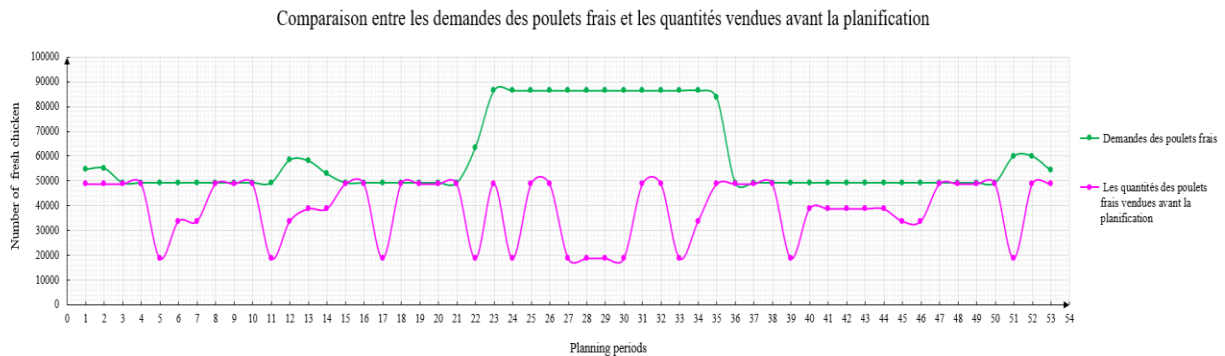


Figure 25: Comparaison entre les demandes des poulets frais et les quantités vendues avant la planification.

L'objectif de notre travail est de réorganiser la quantité en stock et les quantités de produits frais, qui répondent aux demandes données. Cela dit, pour commencer ce travail nous avons déterminé dans un premier temps l'évolution de la demande faite à partir des historiques de ventes pour donner un plan prévisionnel présenté dans la figure 20.

En se basant sur ce plan prévisionnel nous avons fournis une réaffectation et une réorganisation de la production en adoptant les différents modes proposés : mode régulier, mode régulier plus heures supplémentaires, et mode régulier + deuxième équipe afin d'un côté satisfaire la demande du poulet frais et d'autre côté remplir des chambres froides de manière instantanée par des quantités de poulets surgelés pour garder l'équilibre entre les flux des quantités sortantes et entrantes et par la suite éliminer la rupture et le surstockage à la fois. Par le plan proposé, les chercheurs ont pu dresser un planning optimal en respectant les différentes contraintes techniques, managériale et ergonomique qui a amélioré la production par l'augmentation de la capacité, et qui converge et correspond avec les quantités prévisionnelles. Comme représenté dans le graphe 26 pour le poulet frais et le graphe 27 pour le poulet surgelé.

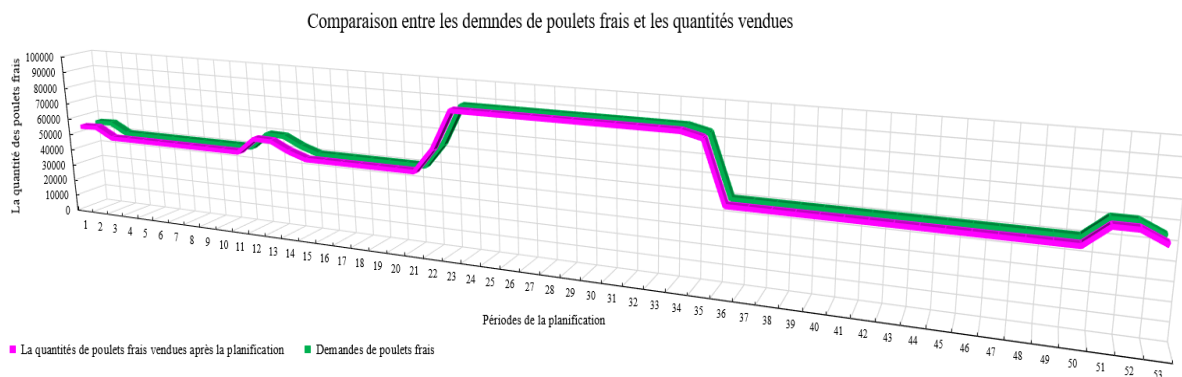


Figure 26: Comparaison entre les demandes des poulets frais et les quantités vendues après la planification.

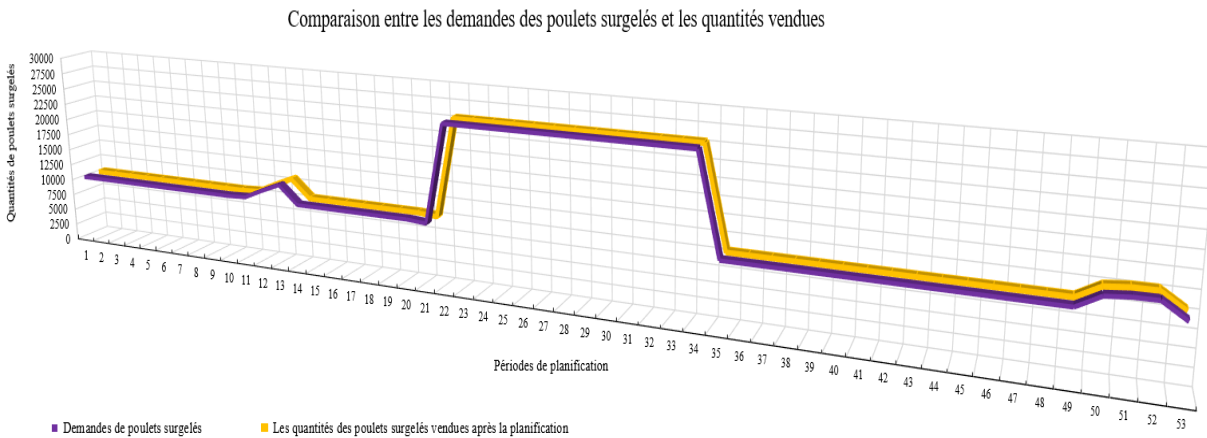


Figure 27: Comparaison entre les demandes des poulets surgelés et les quantités vendues après la planification.

À partir des figures 12 et 13, nous constatons que les résultats obtenus par les approches proposées sont nettement avantageux et favorables sur les quantités produites pour les deux types de produits frais et surgelés, et répondent de manière efficace à la variation des demandes. Le plan proposé a pu déterminer et rétablir la production afin d'assurer la satisfaction totale des demandes des deux produits ce qui explique le parallélisme entre les deux courbes des demandes prévisionnelles et les quantités vendues avec un certain écart toléré. Tout en évitant les variations récurrentes du surstockage et de la rupture.

7.4 Gestion de stock du poulet surgelé

Bien évidemment les quantités produites entre un fonctionnement avant et après sont très visibles sur les quantités en stock dont la figure 28 représente l'évolution du stock. Comme précisé dans la section précédente (7.3) le stockage du poulet surgelé était anarchique et très fluctuant sur le marché. Avec le plan de production proposé, il a permis de pallier cet effet où il a proposé une gestion de stock adéquate qui correspond aux quantités en stock, les demandes prévisionnelles, et les quantités vendues tout en assurant un stock de sécurité pour répondre aux demandes imprévisibles. Cela nous a permis de mieux gérer le stock, mieux consommer l'énergie, et ne pas tomber dans la situation des ruptures et ce qui a été expliqué par l'augmentation du taux de satisfaction de la demande.

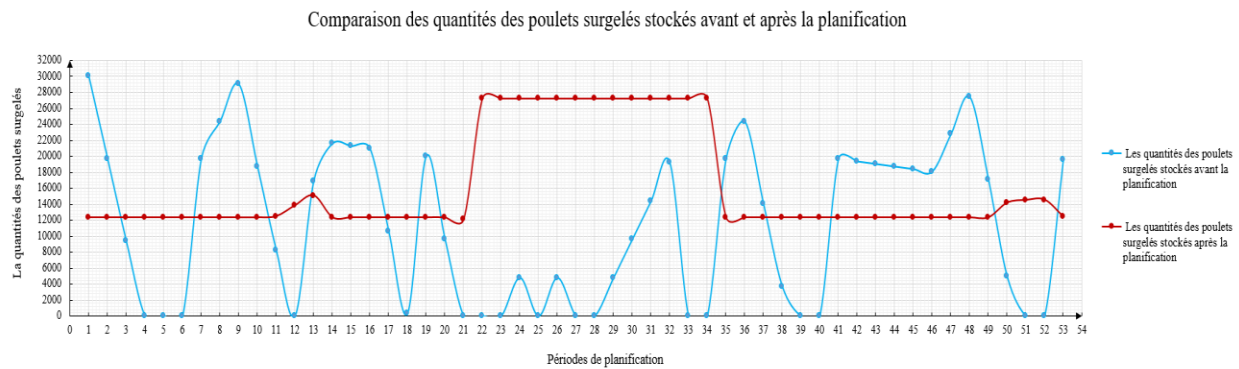


Figure 28: Comparaison des quantités des poulets surgelés stockés avant et après la planification.

8 Conclusion

Dans cette étude nous avons étudié un problème de planification tactique opérationnelle de la production au sein de l'unité d'abattage de poulets de chair et de transformation de poulets en multiproduits sur un horizon de planification multi-périodes. Le challenge était de développer un planning de travail qui maximise l'efficacité des unités de transformation. Nous avons introduit une approche décisionnelle sur la réorganisation et la répartition des tâches qui détermine les quantités optimales qui permettent de répondre à des demandes données pour tous les produits.

Le planning de travail proposé selon les trois types de mode abordé par : régulier, régulier + heures supplémentaires ou régulier + d'une deuxième équipe assure des affectations optimales entre mode de travail-satisfaction de la demande tout en procurant une aisance et le respect des aspects ergonomiques des ouvriers. Les résultats des expériences indiquent que le revenu total, le débit des demandes ainsi que les quantités de produit en stockage et les ruptures rencontrées au cours des périodes se sont améliorées considérablement par rapport au fonctionnement classique avec un seul shift de travail que ce soit pour les produits frais ou les produits surgelés. Le modèle mathématique développé est un modèle générique peut être adapté sur d'autres types d'entreprises de charcuterie destinée à l'abattage des produits animaliers issus de l'élevage aviculture, bovin, et ovin tels que : bétail, canards, moutons... etc., et leurs transformations en multiproduits. L'organisation du volume horaire peut être applicable sur un large éventail d'applications et de systèmes industriels que se soient agroalimentaires ou autres, et sur tous les types d'ateliers où les ressources matérielles et humaines qui ont suffisamment de capacité pour des heures supplémentaires ou une équipe additive. Des variations et des changements peuvent avoir lieu selon le type et la nature du produit à réaliser. La modélisation proposée fournit une meilleure gestion qui aide les décideurs de l'unité à prendre les bonnes décisions en ce qui concerne l'organisation du travail au sein de l'unité par l'ajout des heures supplémentaires ou bien le recrutement de deuxième équipe externe sur une durée déterminée. Cette approche garantissait la satisfaction des demandes des différents produits, et la maximisation du profit de l'unité.

Chapitre 4 : Planification multi-objectives.

1 Introduction

L'activité de l'élevage de poulet de chair est une activité délicate et fragile à la fois qui exige le respect des normes et des paramètres techniques, biologiques et économiques et nécessite une maîtrise parfaite du savoir-faire afin d'assurer la mise en place d'un environnement adéquat pour obtenir des poulets de bonne qualité (Petracci et al., 2015b). Effectivement, pour instaurer l'activité de l'élevage, la première chose à vérifier, concerne la capacité maximale des poulaillers au sein des fermes d'élevage, cette notion permet de définir la densité tolérée des poussins à installer. Par la suite d'autres paramètres doivent être disponibles tel que : une main d'œuvre qualifiée, des ressources matérielles spécifiques, de la disponibilité des aliments et de l'eau, l'entretien des vétérinaires, et des conditions climatiques adéquates (température, éclairage, ventilation, etc.) afin de fournir le climat optimal pour la survie des poussins et obtenir des poulets sains à un poids élevé (Bennekrouf et al., 2016).

Cependant, la multitude des ressources et des équipements de l'élevage complique le choix des éleveurs quant à ces derniers. De plus leurs mauvaises utilisations peuvent engendrer différents problèmes au niveau de l'environnement de l'élevage qui doit être étroitement respecté particulièrement pour les contraintes climatiques, ce qui risque d'affecter l'engraissement et l'évolution des poulets avec une détérioration de la qualité souhaitée. Par conséquent, il est crucial de choisir les bons équipements afin d'éviter les problèmes et donner une production optimale de bonne qualité qui répond aux exigences du marché.

En Algérie, les fermes d'élevage de poulets combinent deux systèmes, le gaz et l'électricité. Le gaz est utilisé pour alimenter les systèmes de chauffage, tandis que l'électricité est utilisée pour l'éclairage, la ventilation, et la distribution des aliments et de l'eau, ainsi que pour le contrôle climatique, etc. D'après l'étude effectuée sur le terrain, deux problèmes ont été détectés. Le premier concerne le système de chauffage de gaz, ce dernier génère un coût moins élevé, par ailleurs il provoque un taux d'émissions de CO₂ important nuisible à l'environnement. Le second problème considère le système électrique, ce dernier est responsable de l'automatisation de toutes les activités d'élevage au sein des fermes produisant des poulets sains de bonne qualité mais provoquant une consommation électrique importante se traduisant par un coût très élevé. L'interrelation entre les coûts énergétiques, les émissions de CO₂, et la qualité des poulets rend le choix décisionnel difficile pour les différents éleveurs à s'investir pour une qualité supérieure de poulet de chair avec une consommation énergétique élevée et un taux d'émissions de CO₂ faible,

ou une utilisation minimale des ressources énergétiques, ce qui dégradera la qualité du poulet et dégage des émissions de CO₂ très élevées. Sachant que la bonne qualité du poulet produit convient très bien aux clients, mais d'autre part, le faible coût énergétique convient aux éleveurs, et la minimisation du CO₂ est primordiale pour l'environnement. L'objectif de cette étude est de fournir un planning optimal pour un réseau d'élevage composé d'un ensemble de fermes et un centre d'abattage où toutes les demandes seront desservies aux centres d'abattage qui assure la livraison de la viande blanche aux différents revendeurs. Le défi de cette étude est de développer deux modélisations MILP bi-objectives. La première consiste à étudier la minimisation des émissions de CO₂ et le coût de chauffage en choisissant entre deux systèmes de chauffage : gaz et électrique. Pour la deuxième contribution, l'étude se concentre sur la minimisation de la consommation énergétique tout en maximisant la qualité des poulets en attribuant trois niveaux de consommation énergétique. Les deux études s'appuient sur l'utilisation de la méthode LP-métrique, qui est une méthode de prise de décision multi-objectifs et multicritères permet au décideur de privilégier les objectifs par rapport aux autres en attribuant un poids différent à chaque objectif afin de trouver une solution intermédiaire qui permet un équilibre entre les différentes objectives à atteindre. Ce chapitre est structuré comme suit : la section 2 concerne la revue de la littérature ainsi que la contribution de l'étude. La section 3 présente en détails la première étude sur le coût énergétique-environnemental, en commençant par la description de la problématique, la modélisation mathématique, l'approche de résolution, et les résultats obtenus. Ensuite, la section 4 décrit en détail la deuxième étude sur le coût énergétique-qualitatif. Enfin, la section 5 présente la conclusion.

2 Etat de l'art

Ce travail s'intéresse à deux études multi-objectives de la planification de la production des poulets de chair afin de répondre à une demande donnée. Les objectifs servent à minimiser les émissions de CO₂ des fermes du réseau et la somme des coûts de chauffage à la fois, et à la minimisation de la consommation énergétique tout en maximisant la qualité des poulets.

Afin de préciser la contribution de cette étude par rapport aux recherches existantes, une revue de la littérature est présentée pour examiner les travaux connexes. Cette revue se concentre sur trois aspects : le premier concerne l'élevage de poulets de manière générale en termes de planification et d'étude qualitative (présenté dans le chapitre 1 section 5.2), et le deuxième examine les études des émissions de CO₂ aux fermes d'élevage. Le troisième se base sur les travaux liés aux chauffages et la consommation énergétique au sein des fermes d'élevage.

Les émissions de CO₂ depuis les fermes d'élevages dépendent de la quantité de poulets élevés et les équipements d'élevage installé au sein du bâtiment, sachant que les écologistes ont déterminé le seuil de taux d'émissions de CO₂ au sein de la ferme à respecter, cette contrainte a pris l'attention des chercheurs pour déterminer les émissions de CO₂ aux différents types des fermes et pour chaque type des équipements utilisés pour l'élevage. Burns et al., (2008) étudient le taux

d'émissions de CO₂ depuis les fermes d'élevage par rapport aux fonctionnements de la ventilation au sein des fermes. Kapica et al., (2015) étudient l'adaptation des systèmes de chauffage à base d'énergie renouvelable dans l'élevage de poulets de chair afin de minimiser les émissions de CO₂. Sadiq & Singh, (2017) font une étude comparative sur les émissions de CO₂ entre deux types de fermes productives et non productives. Pereira, (2017) a établi une étude visant à mesurer le taux d'émissions de gaz provenant de l'élevage de poulets. L'élevage de poulets se fait dans des fermes bien équipées par des ressources matérielles, ces ressources ont une consommation énergétique importante et ont besoin d'une gestion particulière, le système de chauffage est l'une des ressources importantes pour l'élevage, ce qui oblige les éleveurs à choisir des équipements de chauffage appropriés pour fournir une température ambiante adéquate. Ces exigences ont motivé de nombreux chercheurs à réaliser des travaux sur la consommation énergétique dans les réseaux avicoles et le choix des types de chauffage appropriés, ces travaux constituent le troisième volet de notre étude. Heidari et al., (2011) adaptent une méthodologie pour estimer la consommation d'énergie pour la production de poulet de chair. Overhults, (2017) effectue une analyse comparative des coûts annuels de chauffage de deux systèmes de chauffe différents, l'un au gaz naturel et l'autre aux pellets en bois. Hanifah & Adriansyah, (2018) a établi une étude économique sur les coûts du chauffage des fermes d'élevage de poulets de chair. Costantino et al., (2021) évaluent la performance énergétique des fermes d'élevage de poulets en proposant une approche énergétique afin de préciser le meilleur type des enveloppes d'isolation des fermes en termes énergétiques et financiers.

• Contribution

À travers la littérature citée précédemment, nous constatons que certains chercheurs ont été intéressés par la notion de la qualité, d'autres chercheurs ont intéressé à l'aspect énergétique et d'autres ont intéressé aux émissions de CO₂ mais chacun de ces objectifs est traité séparément. A savoir ces trois objectives sont contradictoires, cela nous a motivé à étudier ces problèmes dans un contexte bi-objective en prenant en compte le caractère qualitatif avec la consommation électrique, et l'aspect environnemental avec le coût de chauffage. Afin de fournir des solutions médianes qui assurent un équilibre entre la qualité et la consommation énergétique, et les émissions de CO₂ et le type de chauffage.

3 La première étude : coût vs environnement

Le climat est un facteur crucial dans l'activité d'élevage, et les éleveurs doivent donc être attentifs à sa modération afin d'assurer un bon engraissement des poulets. Cela implique de maîtriser l'installation des équipements appropriés et de contrôler régulièrement les paramètres environnementaux. Le chauffage est l'un des éléments qui influencent grandement le climat d'élevage, l'environnement en raison de ses émissions de CO₂, et le profit de l'éleveur grâce à son coût qui dépend du type de chauffage utilisé (gaz ou électrique). Il est donc impératif de choisir les bons équipements de chauffage qui fournissent la chaleur ambiante appropriée tout en

minimisant le coût engendré et en réduisant les émissions de CO₂ conformément aux normes environnementales applicables aux fermes.

3.1 Description de la problématique

Dans cette étude, nous avons un réseau des fermes d'élevage de poulets de chair i ($i \in I$) se situent dans la région de la wilaya de Tlemcen en Algérie, ces fermes produisent des poulets de chair à un poids élevé dans une durée d'élevage composé de 40 à 45 jours d'engraissement de poulets et un mois de vide sanitaire obligatoire. Ces fermes approvisionnent un centre d'abattage j ($j \in J$) qui alimente un nombre défini de distributeurs, ces derniers vendent la viande blanche aux consommateurs du réseau étudié. Le problème dans ce réseau concerne le choix du type de système de chauffage utilisé durant la bande d'élevage. Sachant qu'il existe deux types de systèmes de chauffage : système de chauffage traditionnel et système de chauffage moderne. Dans le système traditionnel, l'éleveur utilise un système de chauffage basé sur l'utilisation du gaz butane, le coût de ce type est moins cher mais le problème que les chauffages utilisés ont un taux élevé d'émissions de CO₂ qui provient de la brûlure du gaz, les émissions résultantes affectent principalement sur l'environnement, son dépassement d'un certain seuil cause des difficultés respiratoires aux poulets ce qui dégrade la qualité de poulet produite. En revanche le système de chauffage moderne utilise des chauffages électriques, notons que le coût de l'électricité est très élevé et affecte le profit des éleveurs mais les émissions de CO₂ sont trop diminuées primordiale pour l'environnement et l'engraissement de poulet. Le défi de cette étude est de développer une modélisation mathématique bi-objective, qui combine les deux objectives : minimisation des émissions de CO₂, et minimisation des coûts énergétiques, l'objective est d'assurer la satisfaction de la demande du centre d'abattage.

3.2 Modélisation mathématique

Afin de proposer une modélisation du problème posé qui concerne le réseau d'élevage de poulet composé de 60 fermes où chaque ferme est dotée de deux types de systèmes de chauffage : gaz ou électrique, nous avons pris en considération certaines hypothèses exprimées comme suit :

- Chaque ferme effectue un seul élevage durant l'horizon de production en choisissant le système de chauffage avant le lancement d'élevage.
- Chaque ferme a une capacité d'élevage minimale à respecter et une capacité maximale à ne pas dépasser.
- Le taux d'émissions de CO₂ dépend principalement du système de chauffage utilisé.
- Le centre d'abattage fournit la demande totale de poulets de chair.

3.3 Démarche de résolution

Pour la résolution de cette problématique, nous avons développé une modélisation mathématique pour trois configurations différentes :

- Minimisation du coût énergétique,
- Minimisation des émissions de CO₂,
- Optimisation bi-objectifs.

Pour ce faire, nous définissons dans un premier temps la nomenclature utilisée pour les développements des différents modèles donnés comme suit :

▪ **Les ensembles**

i:	Ensemble des fermes d'élevage $i \in I$.
j:	Ensemble des centres d'abattage $j \in J$.
h:	Les types de chauffages utilisés $h \in H$.

▪ **Les paramètres**

A :	Un grand nombre
ECO_{2i}^h :	Le facteur d'émission de CO ₂ de chaque ferme i en fonction du type de chauffage utilisé h .
CE_i^h :	Le coût de l'énergie dépend du type de chauffage h utilisé dans chaque ferme i .
Cfx_i^h :	La capacité maximale de poulets de la ferme i pour chaque type de chauffage h .
Cfn_i^h :	La capacité minimale de poulets dans la ferme i pour chaque type de chauffage h .
Qpch_i^h :	Le nombre de poulets par chauffage dans chaque ferme i en fonction du type de chauffage utilisé h .
S:	Le seuil des émissions de CO ₂ au niveau de chaque ferme i .
D_j:	Les demandes du centre d'abattage.

▪ **Variables de décisions**

QP_i^h :	La quantité de poulets produites dans chaque ferme i en utilisant un type de chauffage h .
Nch_i^h :	Le nombre de chauffage dans chaque ferme i en utilisant un chauffage de type h .
X_i^h =	$\begin{cases} 1 & \text{Si la ferme } i \text{ est choisi pour l'élevage en utilisant un type de chauffage } h. \\ 0 & \text{si non} \end{cases}$

3.3.1 La première configuration : minimisation du coût énergétique

▪ **La fonction objective**

Notre étude s'intéresse à une chaîne logistique de poulets de chair dans la ville de Tlemcen-Algérie, dans ce réseau a un ensemble des fermes i ($i \in I$), ces fermes font l'élevage de poulets pour

satisfaire la demande (D_j) du centre d'abattage j ($j \in J$). Dans cette configuration, l'objectif consiste à minimiser la somme du coût énergétique global de chauffage au sein de toutes les fermes du réseau comme donné par l'équation (1). En respectant une certaine contrainte relative au cas étudié.

$$MinF1 = \sum_i \sum_t Q L_{i \ t} * C E_{i \ t} \quad (1)$$

▪ **Sous les contraintes**

$$\sum_h X_{i \ h} \leq 1 \quad \forall i \quad (2)$$

$$Q P_{i \ h} \leq C F X_{i \ h} * X_{i \ h} \quad \forall i \ \forall h \quad (3)$$

$$Q P_{i \ h} \geq C F N_{i \ h} * X_{i \ h} \quad \forall i \ \forall h \quad (4)$$

$$Q P_{i \ h} \leq A * X_{i \ h} \quad \forall i \ \forall h \quad (5)$$

$$Q P_{i \ h} \geq X_{i \ h} \quad \forall i \ \forall h \quad (6)$$

$$Q P_{i \ h} = N C H_{i \ h} * Q P C H_{i \ h} \quad \forall i \ \forall h \quad (7)$$

$$\sum_i \sum_h Q P_{i \ h} = D_j \quad \forall j \quad (8)$$

$$X_{i \ h} \in \{0,1\} \quad \forall i \ \forall h \quad (9)$$

$$Q P_{i \ h} \in R^+ \quad N C H_{i \ h} \in N \quad \forall i \ \forall h \quad (10)$$

La contrainte (2) assure l'ouverture des fermes d'élevages de poulets i en utilisant un seul système de chauffage h . Les contraintes (3), (4) garantissent que le nombre de poussins élevés au sein de chaque ferme i doit respecter la capacité maximale et minimale de la ferme. Les contraintes (5), (6), et (7) calculent la quantité de poussins élevés et le nombre de chauffage utilisé dans chaque ferme i . La contrainte (8) assure la satisfaction de la demande totale du centre d'abattage. Les contraintes (9) et (10) indiquent la nature binaire et réelle des variables de décision.

3.3.2 La deuxième configuration : minimisation des émissions de CO2

La deuxième configuration représente le deuxième objectif qui consiste à minimiser les émissions de CO2, la fonction objective est formulée par l'équation (11), en se basant sur les mêmes contraintes de la première configuration (2...10) et en ajoutant la contrainte (12) qui impose le respect du seuil des émissions de CO2 au niveau de chaque ferme i selon le type de chauffage h , sachant que le seuil des émissions de CO2 est donné par des écologistes selon les normes d'élevage de poulet de chair.

$$\text{Min } F_2 = \sum_i \sum_h Q_{L_{i-h}} * ECO_{i-h} \quad (11)$$

$$ECO_{2_{i-h}} * NCH_{i-h} \leq S \quad \forall i \quad \forall h \quad (12)$$

3.3.3 La troisième configuration : Optimisation bi-objectifs

Dans le domaine de l'optimisation, on cherche à analyser et résoudre analytiquement ou mathématiquement divers problèmes. Dans ce cas il est possible de déterminer la meilleure solution parmi un ensemble de solutions défini sur un espace de recherche. Dans ce contexte deux axes de développement peuvent avoir lieu soit une optimisation mono-objectif lorsqu'un seul objectif est considéré, soit une optimisation multi-objectives où deux ou plusieurs objectifs sont examinées au sein du même problème.

Dans le cadre d'optimisation multi-objectives, on peut trouver plusieurs méthodes, tels que : les méthodes d'aide à la décision multicritère (MCDM), les méta-heuristiques, les méthodes hybrides, et les méthodes Agrégées. etc.

Pour ce travail, nous avons opté pour la Méthode de Weighted Metrics (LP-metric), qui est une approche de prise de décision multicritères, multi-objectives. Cette méthode consiste à converser un problème multi-objectifs en un problème à objectif unique, dans lequel l'objectif est de minimiser l'écart relatif par rapport à un point de référence appelé 'optimum' fixé par le décideur. La fonction objective de cette méthode est représentée comme suit :

$$\text{Min/Max} \left(\sum_{i=1}^n w_i * \left(\frac{F_i - F_{i\text{optimal}}}{F_{i\text{optimal}}} \right) \right)$$

Avec :

- w_i : représente la valeur d'importance (le poids) de chaque fonction-objectif, avec $0 < w_i < 1$ où la somme des $w_i = 1$. Les valeurs de poids sont générées généralement par le décideur pour identifier quel objectif le plus pondérant dans le système étudié.
- $F_{i\text{optimal}}$: représente la solution optimale de chaque fonction-objectif F_i .

L'adaptation de l'approche Lp-metric permet de fournir une solution acceptable lorsqu'il s'agit d'objectives contradictoires dans divers domaines. L'idée constituée derrière le choix de cette méthode est de trouver une solution faisable. Cette configuration propose un modèle de prise de décision multi-objectif, visant à gérer le conflit entre les deux configurations précédentes. La réduction des émissions de CO2 par rapport à la variabilité du choix de la source de chauffage peut augmenter le coût, ce qui présente un inconvénient économique où le conflit se produira.

Cette méthode a fait l'objet de travaux de plusieurs chercheurs. Arabzad et al., (2015) étudient un problème de localisation-allocation de deux objectifs : minimisation des coûts totaux de la chaîne

logistique étudiée, et la minimisation du taux de détérioration survenu par le transport par l'adaptation de la méthode LP metric, aussi Pasandideh et al., (2015) proposent une modélisation mathématique MILP bi-objectives dans un cadre multiproduits, multi-périodes pour minimiser le coût total de la chaîne étudiée et maximiser le taux de satisfaction de la demande. Gharaei et al., (2018) développent une modélisation mathématique bi-objective, le premier objectif est la minimisation des coûts de stockage et la deuxième objective maximisation du profit total de la chaîne étudiée en utilisant la méthode LP-metric. Jabarzadeh et al., (2020) ont établi une étude multi-objective sur une chaîne logistique des fruits dont les objectifs sont : minimiser le coût total du réseau, minimiser les émissions de CO2 globales de la chaîne, et maximiser le taux de réponse des demandes. Fellahi et al.,(2022) étudient un problème d'ordonnancement multi-objectifs pour une unité de production pharmaceutique afin de déterminer la meilleure séquence tout en minimisant les coûts de production et la consommation d'énergie. D'autre part, Harrir et al.,(2022) présentent une étude bi-objectifs d'un réseau de distribution pour objectifs de minimisation des coûts de transport et des émissions de CO2.

▪ La fonction objective de LP metric

La fonction objective donnée par la méthode LP metric qui combine les deux objectives étudiées est donnée par l'équation (13) en attribuant à chaque objective un coefficient de pondération (w_i) selon l'importance de chaque objective, sous toutes les contraintes (2...10, et 12).

$$\text{Min } F P1 = w1 * \frac{F1 - F1_{\text{optimal}}}{F1_{\text{optimal}}} - w2 * \frac{F2 - F2_{\text{optimal}}}{F2_{\text{optimal}}} \quad (13)$$

3.4 Application numérique

Pour la validation de notre modélisation, nous avons implémenté l'algorithme proposé sous le solveur Cplex, en proposant plusieurs scénarios en variant la demande.

Pour l'application numérique, nous avons utilisé un réseau de 60 fermes, et un abattoir en proposant 8 scénarios où nous avons varié les plages de la demande fournies par le centre d'abattage, les demandes sont présentées dans le tableau 25.

Tableau 25: les demandes du centre d'abattage du cas étudié

Scénario	Demande	Scénario	Demande
1	140 000	5	350 000
2	192 500	6	402 500
3	245 000	7	413 000
4	297 500	8	420 000

Les données liées aux fermes comme : la capacité minimale et maximale d'élevage, le coût de chaque type de chauffage, et le taux des émissions du CO₂ sont présentées dans le tableau 26.

Tableau 26: les données liées aux fermes d'élevage du cas d'étude

	Chauffage de gaz	Chauffage d'électricité
La capacité minimale d'élevage	2 000	2 000
La capacité maximale d'élevage	7 000	7 000
Le coût de chauffage	5 000	24 500
Le taux d'émissions de CO ₂	14 000	4 000

3.5 Résultats et discussion

Afin de montrer l'effet de la demande sur le choix des sources d'énergie, l'ouverture ou la fermeture des fermes ainsi que les quantités à produire dans chaque ferme, une analyse de sensibilité par scénario a été présentée.

Dans la première partie, une comparaison des trois configurations a été faite : la configuration de la minimisation du coût de chauffage, la configuration de la minimisation des émissions de CO₂, et la configuration bi-objectifs environnement-coût. Dans la deuxième partie, les coefficients de pondération de la méthode métrique LP ont été variés pour trouver la meilleure paire de compromis.

3.5.1 Comparaison des configurations proposés

Afin de visualiser l'intérêt de notre contribution, les trois résultats des coûts de chauffage et des émissions de CO₂ par rapport aux deux configurations mono-objectif et à la configuration bi-objectif combinée sont comparés et présentés dans les figures suivantes (29 et 30).

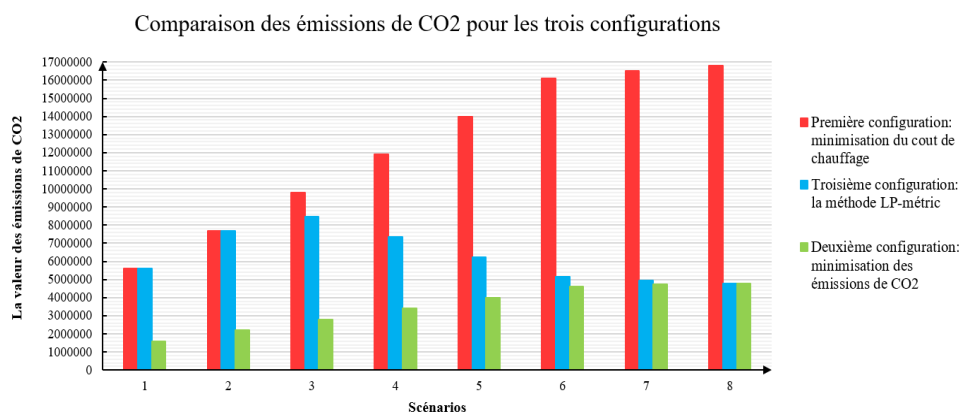


Figure 29: Comparaison des émissions de CO₂ pour les trois configurations.

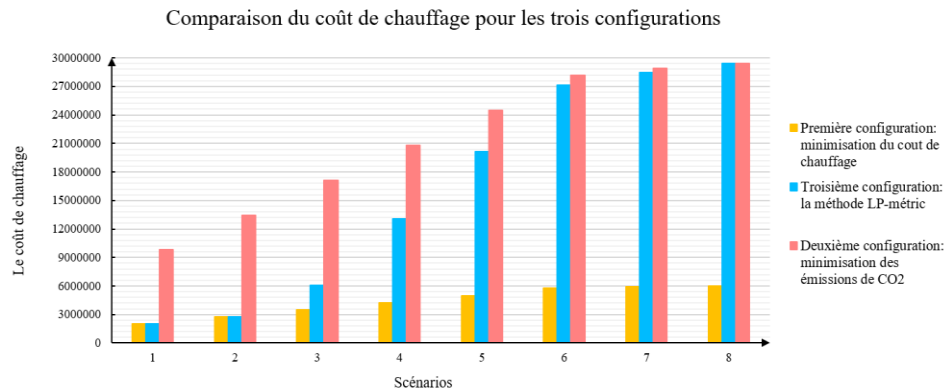


Figure 30: Comparaison du coût de chauffage pour les trois configurations.

Étant donné que la consommation due au chauffage a une part importante dans le bilan des coûts énergétiques, nous pouvons dire que notre technique d'analyse est bénéfique pour impliquer l'impact de la réduction des émissions de CO₂ dans le réseau avicole étudié. Cependant, l'approche d'agrégation LP métric permet de justifier les limites de compromis via la comparaison avec les résultats indépendants des approches mono-objectif.

En ce qui concerne la dominance des configurations, nous observons que dans les scénarios (1 et 2) relatifs aux cas de faible demande, les solutions obtenues par la méthode LP metric tendent pratiquement vers la première configuration, c'est-à-dire celle de la réduction des coûts de chauffage. En revanche, dans le cas de forte demande observée dans le huitième scénario, les résultats obtenus par l'approche multi-objectifs sont conformes à la deuxième configuration, à savoir celle de la réduction des émissions de CO₂. Et pour les autres différents scénarios intermédiaires (3 à 7), la méthode a donné une solution intermédiaire pour les deux objectifs.

3.5.2 L'impact des coefficients de pondération

Pour donner plus de précision au système, des expérimentations supplémentaires ont été effectuées sur la variation des coefficients de pondération sur l'optimisation de la méthode métrique LP dans la résolution du problème étudié dans l'objectif de trouver le meilleur couple de pondération pour les objectifs étudiés, le tableau 27 présente les différentes variations de poids utilisées dans l'étude. Et les expérimentations effectuées sont représentées dans l'ensemble des figures 31, 32 et 33.

Tableau 27: Les paires des coefficients de pondération.

Les paires	1 ^{er} pair	2 ^{ème} pair	3 ^{ème} pair	4 ^{ème} pair	5 ^{ème} pair	6 ^{ème} pair	7 ^{ème} pair	8 ^{ème} pair	9 ^{ème} pair
La valeur	0.1 - 0.9	0.2 - 0.8	0.3 - 0.7	0.4 - 0.6	0.5 - 0.5	0.6 - 0.4	0.7 - 0.3	0.8 - 0.2	0.9 - 0.1

L'observation des résultats obtenus met en évidence que la variation des coefficients de pondération exerce une influence significative sur l'optimisation du système étudié, notamment lorsque la demande est faible.

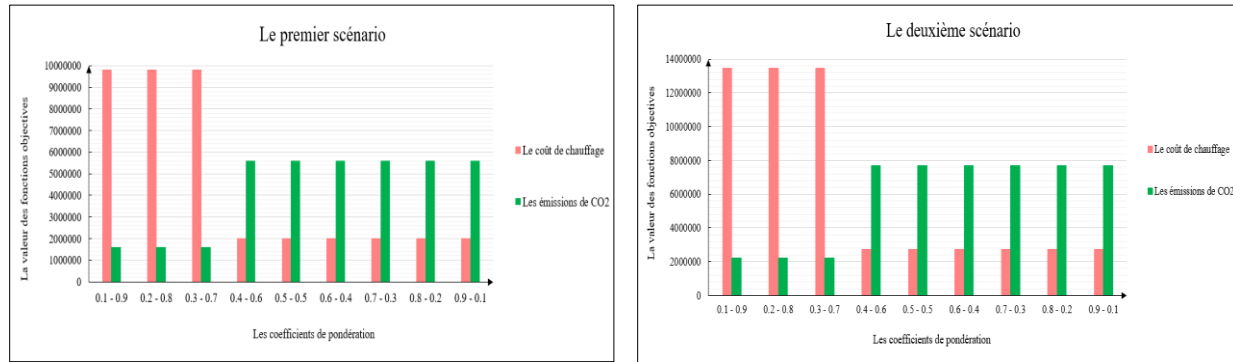
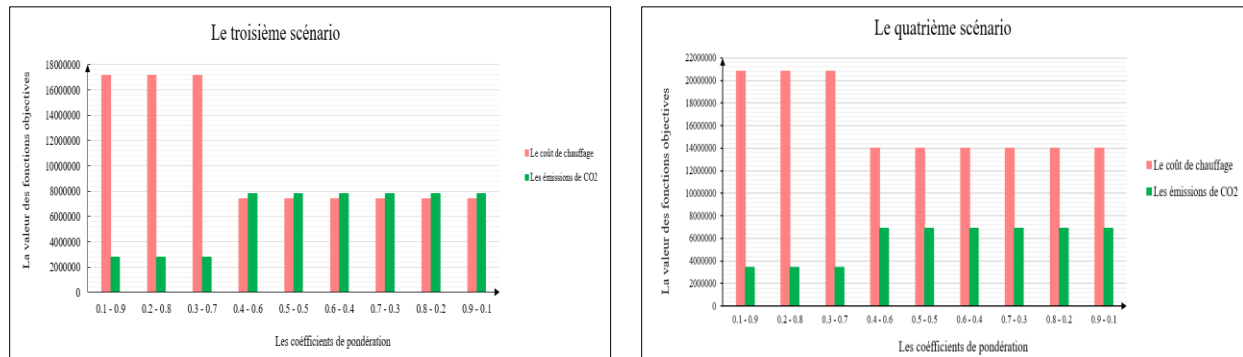


Figure 31: l'impact des coefficients de pondération sur l'optimisation de la méthode LP métrique pour les scénarios 1 et 2.

Pour les deux premiers scénarios (1 et 2) où la demande était faible, il n'y avait pas de problème par rapport à la contrainte des émissions de chauffage, et le seuil des émissions de CO2 a été toujours respecté. Cependant, la variation des coefficients de la pondération oblige le système à tendre vers la fonction objective multipliée par le coefficient le plus élevé. Ainsi, pour les trois premières paires de coefficients de pondération (0.1-0.9 ; 0.2-0.8 ; 0.3-0.7), la méthode opte pour le second objectif de la minimisation des émissions de CO2, pour cela l'élevage de poulet est fait dans toutes les fermes en utilisant seulement le chauffage électrique qui a un taux d'émission faible ce qui explique la diminution des émissions de CO2 et l'augmentation du coût énergétique. Tandis que pour les autres paires, elle favorise le premier objectif (la minimisation du coût de chauffage), donc le chauffage des fermes se fait uniquement par le système du gaz ce qui explique l'augmentation des émissions et la diminution du coût de chauffage.



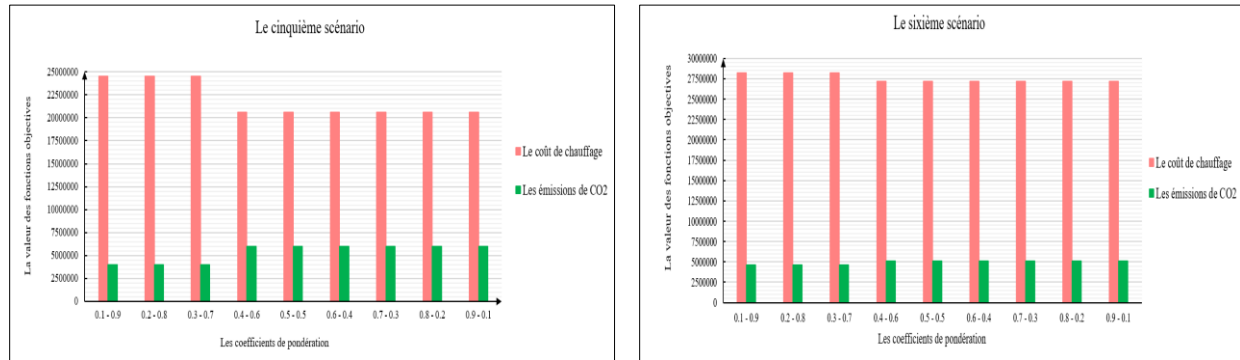


Figure 32: l'impact des coefficients de pondération sur l'optimisation de la méthode LP métrique pour les scénarios 3,4,5 et 6.

Les différents résultats ont été présentés par la figure 32 pour les scénarios 3, 4, 5 et 6 où chaque scénario représente le fonctionnement du système face à une demande donnée qui est évolutive temporellement, notons que les mêmes coefficients de pondération ont été utilisés pour chaque scénario.

En ce qui concerne les scénarios intermédiaires, ceux présentés dans l'intervalle des valeurs de trois à sept, les trois premières paires de coefficients de pondération favorisent clairement la domination de la réduction des émissions de CO2 par l'utilisation des chauffages électriques. En revanche, les autres paires de cet intervalle offrent une plus grande visibilité en termes de prise en compte concrète des objectifs multiples, où la méthode attribue une solution intermédiaire qui assure un équilibre entre les deux objectifs. Pour plus de détails, dans cette situation le système a choisi de faire l'élevage au sein des fermes en utilisant du chauffage au gaz qui a un coût moins cher. Le problème qui se pose c'est que la contrainte des émissions de CO2 interdit ces fermes d'exploiter leurs capacités maximales de l'élevage notons que le seuil des émissions de CO2 oblige la ferme à utiliser 10 chauffages du gaz au maximum, qui égale 3500 poulets, donc pour satisfaire la demande la modélisation à solliciter d'autres fermes en utilisant des chauffages électriques grâce à son faible taux d'émissions, alors que ces fermes peuvent exploiter leurs capacités.

Par l'augmentation de la demande, le choix du chauffage électrique augmente ce qui explique l'augmentation des coûts de chauffage d'un scénario à l'autre.

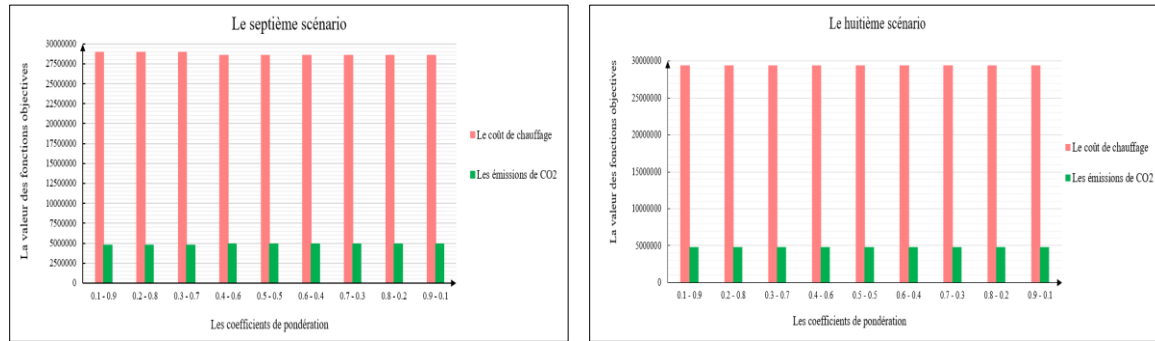


Figure 33: l'impact des coefficients de pondération sur l'optimisation de la méthode LP métrique pour les scénarios 7 et 8.

Enfin, en ce qui concerne le septième et huitième scénario et en raison du seuil d'émission de CO2 imposé et de la demande élevée. Dans ce cas, le système étudié oblige les résultats du modèle à choisir l'élevage de poulets par chauffage électrique. Malgré la variabilité des coefficients de pondération, cette décision est justifiée par le faible taux d'émission de dioxyde de carbone associé au chauffage électrique, qui permet de produire suffisamment de poulets pour satisfaire la demande tout en respectant le seuil d'émission de CO2 imposé.

En somme, les résultats obtenus soulignent l'importance de la variation des coefficients de pondération dans l'optimisation des systèmes multi-objectifs étudiés en fonction de demande variée et de différentes contraintes. Ils mettent également en évidence la nécessité de choisir judicieusement les coefficients de pondération pour obtenir les résultats souhaités en fonction des priorités spécifiques du système étudié.

4 La deuxième étude : consommation énergétique vs qualité de poulet

L'élevage de poulets de chair exige l'utilisation des fermes bien équipées par des ressources humaines et matériels spécialisés, (Bennekrouf et al., 2016) ces ressources matérielles exigent des équipements avec une puissance électrique importante pour le bon fonctionnement et la bonne production, ce qui entraîne un coût énergétique très élevée chez les éleveurs. Cependant l'utilisation des normes énergétiques adéquates ou un peu au-dessus de la moyenne procure une qualité supérieure, mais impacte le profit de l'éleveur. Par ailleurs, la diminution de la consommation d'électricité donne une qualité de poulet moindre.

C'est pour cela, nous sommes intéressés à ce type de problème pour trouver un compromis entre une qualité acceptable et une utilisation énergétique moyenne. Qui conviendra parfaitement aux exigences des deux parties prenantes, éleveurs et clients.

4.1 Description de la problématique

Dans ce travail, nous avons étudié un problème de planification au sein de la chaîne logistique avicole de la ville de Tlemcen-Algérie, où nous avons considéré deux fonctions objectives : la minimisation de la consommation énergétique, et la maximisation de la qualité du poulet. Cette chaîne est composée d'un ensemble de fermes d'élevage i ($i \in I$), par des ressources humaines (ouvriers) et matériels spécialisés fondamentaux pour les différentes manipulations (alimentation, abreuvement, nettoyage, ventilation, chauffage, et éclairage) pour fournir les conditions d'engraissement optimale des poulets.

Le démarrage de l'activité d'élevage au sein des fermes est effectué selon un protocole bien précis. A commencer par un ordre de lancement établi par le gestionnaire de la ferme qui indique la date de début d'élevage, la quantité de poussins à élever et le poulailler à utiliser, sachant que chaque ferme contient trois poulaillers avec trois fonctionnements différents, où chaque poulailler consomme une certaine quantité d'énergie différente à l'autre. Le niveau d'énergie approprié selon la saison d'élevage, par exemple en hiver la production de poulet nécessite plus de chauffage relatifs aux climat froid, par ailleurs en été la température externe élevée ceci diminue l'utilisation des chauffages mais exige l'utilisation des équipements de ventilation pour maintenir la température à 28 degrés.

Dans ce travail nous avons considéré trois différents niveaux énergétiques (poulaillers) : niveau minimal, niveau moyen, et un niveau maximal, qui reflète le fonctionnement des poulaillers du réseau avicole de la wilaya de Tlemcen.

Pour l'élevage du poulet de chair, plusieurs activités et plusieurs manipulations sont effectuées au sein des fermes telles que : ventilation, gestion d'ambiance, éclairage et chauffage, la distribution des aliments et de l'eau. Le changement réside dans le mode opératoire de l'activité qui peut être manuel, semi-automatique, ou automatique. Où pour le manuel, toutes les opérations s'effectuent par les ouvriers, pour le semi-automatique l'activité s'effectue par des opérateurs qui utilisent quelques moyens automatisés, comme la distribution des aliments et de l'eau, et pour le côté automatique toutes les opérations se faisant automatiquement sans l'intervention des ouvriers. Chaque mode d'élevage consomme une énergie appropriée qui peut être définie comme suit :

- **Niveau minimal de la consommation d'énergie**

Ce niveau correspond au fonctionnement manuel du premier type de poulailler. Il est classifié par le niveau le plus bas de consommation énergétique, puisque toutes les opérations se font manuellement avec le strict minimum d'énergie. Ce type énergétique est utilisé pour l'élevage d'une petite quantité de poulets allant de 1000 poulets à 3000 poulets au maximum. Ce niveau reste le moindre au niveau de consommation énergétique, mais il procure la plus basse qualité du poulet.

- **Niveau maximal de la consommation d'énergie**

Ce niveau correspond au fonctionnement automatique pour le second type de poulailler. Il consomme une grande valeur d'énergie, car les différentes opérations d'élevage se font automatiquement avec une puissance d'électricité élevée, ainsi que la quantité de poulets élevés est très grande. Ce mode énergétique a un coût énergétique très cher. Cette dépense affecte principalement le profit de l'éleveur. Notez que la qualité des poulets est meilleure.

- **Niveau moyen de la consommation d'énergie**

Ce niveau est une combinaison des deux niveaux précédents (troisième type de poulailler), les opérations d'élevage se divisent en deux types d'opérations. Des opérations automatiques comme : nettoyage, gestion d'ambiance, ventilation, chauffage, éclairage. Et des opérations s'effectuent par des opérateurs qui utilisent quelques moyens automatisés, comme : alimentation et abreuvement. Ce niveau engendre des poulets de moyenne qualité et le coût énergétique est un peu élevé.

Le problème dans ce type de réseau concerne le choix de l'objectif à atteindre entre une consommation énergétique minimale et une qualité élevée dans les périodes de moyennes demandes, les éleveurs sont confrontés à un choix décisionnel entre l'utilisation des poulaillers (type 3) avec un fonctionnement automatique qui donne une meilleure qualité de poulet avec un coût énergétique très élevé ou bien une utilisation des poulaillers (type 2) avec une consommation énergétique moyenne qui procure une qualité limite de la satisfaction pour les consommateurs et un coût moins élevé que le système de fonctionnement automatique.

Notre étude propose un modèle linéaire en se basant sur la méthode LP-métrique pour une solution intermédiaire qui fusionne les deux objectifs à la fois. En choisissant une gestion adéquate pour son élevage de telle sorte qu'il y ait des poulets de bonne qualité avec un coût énergétique minimal.

L'objectif est de développer une modélisation mathématique MILP de deux objectifs : minimisation de la consommation d'énergie et la maximisation de la valeur de la qualité. En premier temps, nous avons étudié le problème pour chaque objectif séparément, ce qui nous a permis de préciser le conflit de notre étude, et nous a orienté vers l'adaptation de la méthode LP métrique, afin de trouver une solution optimale qui fusionne les deux objectifs d'étude.

4.2 Formulation mathématique

Afin de simplifier la modélisation du problème posé qui concerne le réseau d'élevage de poulet composé de 40 fermes où chaque ferme est composée des trois poulaillers dotés d'une capacité minimale et maximale et des ressources énergétiques adéquates. Nous avons pris en considération certaines hypothèses exprimées comme suit :

- Chaque ferme effectue un seul élevage durant l'horizon de production en choisissant le poulailler (le niveau énergétique) avant le lancement d'élevage.
- Chaque niveau énergétique (poulailler) a une quantité de poussins minimale à respecter et une quantité maximale à ne pas dépasser.
- Le seuil de la consommation énergétique dépend du niveau utilisé pour la production.

- La qualité des poulets de chair dépend de la consommation énergétique utilisée.
- La demande totale de poulets de chair est fournie par le centre d'abattage.

▪ **Les ensembles**

i:	Ensemble des fermes d'élevage $i \in I$.
j:	Ensemble des centres d'abattage $j \in J$.
n:	Ensemble des poulaillers (niveaux de consommation d'énergie) $n \in N$.

▪ **Les paramètres**

A :	un grand nombre
FQ_iⁿ :	Facteur de la qualité des poulets de chaque ferme i selon le poulailler (niveau de l'énergie) n utilisé.
VE_iⁿ :	La valeur de l'énergie utilisé dans chaque ferme i pour chaque poulailler (niveau d'énergie) n .
Cmx_iⁿ :	La quantité maximale de poulets dans la ferme i pour chaque poulailler n .
Cmniⁿ :	La quantité minimale de poulets dans la ferme i pour chaque poulailler n .

▪ **Variables de décisions**

QL_iⁿ :	la quantité de poulets fournies par les fermes i en utilisant le poulailler (niveau d'utilisation d'énergie) n .
NBF :	le nombre des fermes choisi pour l'élevage de poulets
Y_iⁿ =	$\begin{cases} 1 & \text{Si la ferme est choisit pour l'élevage en utilisant le niveau d'énergie } n \\ 0 & \text{si non} \end{cases}$

▪ **La fonction objective**

Notre étude s'intéresse à une chaîne logistique de poulets de chair dans la ville de Tlemcen-Algérie, dans ce réseau a un ensemble de fermes i ($i \in I$), ces fermes font l'élevage de poulets pour satisfaire la demande D_j du centre d'abattage j ($j \in J$). Dans cette étude, nous avons deux objectifs : le premier consiste à minimiser la somme du coût énergétique global d'élevage de poulets au sein de toutes les fermes du réseau, comme donné par l'équation (14). Et la deuxième objective consiste à maximiser la qualité de poulets, qui est représenté par l'équation (15), en respectant une certaine contrainte relative au cas étudié.

$$\text{Min } F3 = \sum_i \sum_j Q_{i,j} * CL_{i,j} \quad (14)$$

$$\text{Max } F4 = \sum_i \sum_j Q_{i,j} * FQ_i \quad (15)$$

- **Sous les contraintes**

$$QL_i^n \leq Cmx_i^n * Y_i^n \quad \forall i \quad \forall n \quad (16)$$

$$QL_i^n \geq Cmn_i^n * Y_i^n \quad \forall i \quad \forall n \quad (17)$$

$$\sum_n Y_i^n \leq 1 \quad \forall i \quad (18)$$

$$QL_i^n \leq A * Y_i^n \quad \forall i \quad \forall n \quad (19)$$

$$QL_i^n \geq Y_i^n \quad \forall i \quad \forall n \quad (20)$$

$$NBF = \sum_i \sum_n Y_i^n \quad (21)$$

$$\sum_i \sum_n QL_i^n = D_j \quad \forall j \quad (22)$$

$$Y_i^n \in \{0, 1\} \quad \forall i \quad \forall n \quad (23)$$

$$QL_i^n \in R^+ \quad \forall i \quad \forall n \quad (24)$$

Les contraintes 16 et 17 garantissent que la quantité de poulets élevée dans chaque ferme i doit être appropriée aux capacités d'élevage du poulailler utilisé n , c'est-à-dire chaque poulailler (niveau énergétique) a une capacité minimale à respecter et une capacité maximale à ne pas dépasser. L'ensemble des contraintes 18, 19 et 20 permet de calculer la quantité de poulets élevés dans chaque ferme i en utilisant le niveau énergétique (le poulailler) n . La contrainte 21 calcule le nombre des fermes choisies pour l'élevage. La contrainte 22 garantit que la somme des quantités élevées dans les fermes i en utilisant les poulaillers n doit satisfaire la demande du centre j . Finalement, la contrainte 23 indique la nature binaire de la variable de décision Y , et la contrainte 24 indique la nature positive de la quantité des poulets livrés.

4.3 Approche de résolution

Pour la validation de notre modélisation, qui concerne un réseau avicole composé de 40 fermes destinées à la production et un centre d'abattage qui assure la demande totale de la région de Tlemcen. L'algorithme proposé a été implémenté sous le solveur Cplex, en proposant plusieurs scénarios en variant la demande. Le but est de trouver la meilleure décision intermédiaire entre les deux objectifs à atteindre : la minimisation de la consommation d'énergie et la maximisation de la qualité.

Pour cette étude, nous avons pris deux objectifs : minimisation de la consommation d'énergie et la maximisation de la qualité des poulets de chair. La méthode de LP-Métric fusionne les deux objectifs précédents dans une seule fonction donnée comme suit (l'équation 25) en respectant les mêmes contraintes citées auparavant.

$$\text{Min } FP2 = w3 * \frac{F3 - F3_{\text{optimal}}}{F3_{\text{optimal}}} - w4 * \frac{F4 - F4_{\text{optimal}}}{F4_{\text{optimal}}} \quad (25)$$

- **Les Données**

Afin d'implémenter la méthode proposée, nous avons considéré certains paramètres. Toutes ces données sont résumées dans les tableaux 28 et 29. Le tableau 28 représente les demandes du centre d'abattage pour chaque scénario étudié. Le tableau 29 présente pour chaque poulailler (niveau énergétique) : les quantités d'élevage minimale et maximale, le coût unitaire de la consommation d'électricité, ainsi que le degré qualité de poulets de chair fournie, qui est effectué par une estimation sur une échelle allant de 1 à 10.

Tableau 28: les demandes du centre d'abattage pour chaque scénario.

Scénario	1	2	3	4	5	6
La demande	132,000	176,000	220,000	264,000	308,000	352,000

Tableau 29 : les données liées aux poulaillers (niveaux énergétiques).

Les niveaux énergétiques	Niveau inférieur	Niveau moyen	Niveau maximal
La capacité minimale d'élevage	2,000	4,000	7,000
La capacité maximale d'élevage	5,000	8,000	10,000
La valeur d'énergie consommé unitaire	2	7	10
La valeur de la qualité de poulet	1	5	9

4.4 Résultats et discussion

Afin de comparer les résultats donnés par les différentes simulations qui ont été effectuées sur trois configurations différentes :

- La première configuration de l'objective de minimisation de la consommation énergétique
- La deuxième configuration de la maximisation de la qualité des poulets de chair.
- La troisième configuration qui combine les objectifs précédents en une seule objective.

Et pour chaque configuration plusieurs scénarios ont été testés. Les résultats sont représentés dans le tableau 30 pour la première configuration de la minimisation de la consommation énergétique, le tableau 31 pour la deuxième configuration de la maximisation de la qualité de poulets, et le tableau 32 pour la troisième configuration et les figures 32 et 33 pour la comparaison des trois configurations.

4.4.1 La 1^{ère} configuration : minimisation de coût énergétique

Tableau 30: Les résultats de la première objective minimisation de la consommation d'énergie.

		Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4	Scénario 5	Scénario 6
La demande		132,000	176,000	220,000	264,000	308,000	352,000
Le coût énergétique total (1 ^{ière} fonction objective)		264,000	552,000	1,140,000	1,748,000	2,450,000	3,184,000
La valeur de la qualité totale (2 ^{ème} fonction objective)		132,000	336,000	780,000	1,240,000	1,932,000	2,720,000
La répartition des fermes sur les gestions de consommation d'énergie	Gestion énergie minimal	33	34	20	5	/	/
	Gestion énergie maximal	/	/	/	/	10	24
	Gestion énergie moyen	/	6	20	35	30	16
Les fermes exclus de l'élevage		7	/	/	/	/	/

D'après l'analyse des résultats pour la première configuration, optimisation du réseau d'élevage avec consommation minimale d'énergie. Nous constatons que le modèle généré a permis de satisfaire la demande totale dans tous les scénarios proposés, dans cette configuration les modes d'élevage les plus avantageux sont les modes de consommation d'énergie minimale. C'est le cas pour les scénarios : scénario 1 (27 fermes en utilisant les poulaillers qui utilisent une consommation d'énergie minimale) et scénario2 (36 fermes avec les poulaillers manuels qui utilisent le mode de consommation énergétique minimale) pour la satisfaction de la demande, alors les scénarios 3, 4, et 5 ont utilisé deux niveaux énergétiques minimal et moyen, à commencer par le niveau minimal (les poulaillers manuels) et pour satisfaire le reste de la demande la modélisation a été sollicité pour certaine ferme le niveau 2 (poulailler semi-automatique) puisque leur capacité d'élevage a comblé le reste de la production. Pour le scénario 6 la meilleure solution était de choisir 24 fermes au niveau moyen (poulailler semi-automatique) et 16 fermes au niveau maximal (poulailler automatique) puisque l'objectif principal pour chaque unité de production en premier lieu est de satisfaire les demandes des clients. Nous constatons aussi que l'augmentation de la demande permet un basculement d'un niveau à l'autre de manière croissante jusqu'à la satisfaction de la demande totale.

Cette configuration permet de minimiser la consommation d'énergie mais procure une qualité minimale de poulet de chair, ce qui risque de déplaire aux clients voire engendre une perte suite à la non-consommation de ce produit puisque les consommateurs deviennent de plus en plus exigeants.

4.4.2 La 2ème configuration : maximisation de la valeur de la qualité

Tableau 31 : Les résultats de la deuxième fonction Maximisation de la qualité

	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4	Scénario 5	Scénario 6
La demande	132,000	176,000	220,000	264,000	308,000	352,000
Le coût énergétique total (1 ^{ère} fonction objective)	1,320,000	1,760,000	2,200,000	2,640,000	3,080,000	3,520,000
La valeur de la qualité totale (2 ^{ème} fonction objective)	1,188,000	1,584,000	1,980,000	2,376,000	2,772,000	3,168,000
La répartition des fermes sur les gestions de consommation d'énergie	Gestion énergie minimal	/	/	/	/	/
	Gestion énergie maximal	14	19	26	33	40
	Gestion énergie moyen	/	/	/	/	/
Les fermes exclus de l'élevage	26	21	14	7	2	/

Les résultats de la deuxième configuration, maximisation de la qualité de poulet de chair fournie par les fermes, montrent la satisfaction totale de la demande donnée pour tous les scénarios. Pour cette configuration le modèle a choisi de faire l'élevage en adaptant le niveau (3) (poulailler automatique) avec une consommation énergétique maximale pour tous les scénarios, puisque cette configuration a pour but principal d'un élevage qualitatif élevé. L'augmentation de la demande d'un scénario à l'autre a poussé le modèle d'augmenter le nombre des fermes choisies pour satisfaire la demande donnée. Cette configuration fournit une qualité supérieure, ce qui assure la satisfaction clientèle mais défavorise les éleveurs par la consommation énergétique élevée, ce qui risque un abondant de l'activité d'élevage et engendre un déséquilibre de la consommation de la viande blanche dans le marché. Les deux configurations précédentes, donne des solutions contradictoires : quand on a choisi de minimiser les coûts de la consommation d'énergie, le modèle choisit de faire l'élevage en adaptant les deux niveaux minimal et moyen de consommation d'énergie qui correspond à un faible coût de consommation d'énergie, mais cette sélection donne des poulets de mauvaise qualité, mais quand on a choisi de maximiser la qualité de poulets livrées le modèle est sélectionné d'adapter le niveau maximal de l'énergie dont les poulets sont de bonne qualité, ce qui donne un valeur de coût énergétique élevé. Cette contradiction nous a fait orienter vers l'adaptation de la méthode LP-métric pour trouver une solution optimale pour les deux objectifs.

4.4.3 Troisième configuration : Optimisation bi-objectifs

Tableau 32: Les résultats de la méthode LP métric.

		Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4	Scénario 5	Scénario 6
La demande		132,000	176,000	220,000	264,000	308,000	352,000
Le coût énergétique total (1 ^{ière} fonction objective)		264,000	565,000	1,160,000	1,748,000	2,600,000	3,520,000
La valeur de la qualité total (2 ^{ème} fonction objective)		132,000	352,000	828,000	1,240,000	2,292,000	3,168,000
La répartition des fermes sur les gestions de consommation d'énergie	Gestion énergie minimal	33	35	22	5	15	/
	Gestion énergie maximal	/	1	2	35	25	40
	Gestion énergie moyen	/	4	16	/	/	/
Les fermes exclus de l'élevage		7	/	/	/	/	/

À partir des résultats présentés dans le tableau 32 de la méthode LP métric, sachant que nous avons utilisé les mêmes paramètres des configurations précédentes. Nous remarquons que la méthode LP métric a permis de satisfaire la demande totale pour chaque scénario. Et fournir une solution intermédiaire entre les deux objectifs à atteindre pour chaque scénario. Le choix du niveau (poulailler) utilisé pour l'élevage dépend principalement de la quantité de la demande totale. Notons que pour les scénarios 1 et 2 le modèle a sélectionné de faire l'élevage en utilisant le mode énergétique minimal (poulailler manuels), et ceci est dû à une faible demande totale. Par ailleurs lorsque la demande est très élevée la solution de la méthode a obtenue pour un élevage de haut niveau (poulaillers automatiques) tels que présenté par le scénario 6 ; et lorsque la plage de la demande varie de 220 000 et 308 000 poulets, nous constatons également que tous les poulaillers (les niveaux) ont été sollicités pour l'élevage de manière optimale, ce qui correspond les scénarios 3 4 5 , où l'affectation et la répartition du nombre de sites d'élevage varie selon la croissance de la demande pour répondre aux exigences du marché.

4.4.4 Comparaison entre les trois configurations

Afin de visualiser l'intérêt de la méthode LP-métric pour notre étude, nous avons établi une comparaison entre les trois configurations pour les deux objectifs de l'étude. La comparaison est présentée dans la figure 32 qui correspond à la minimisation de la consommation d'énergie, et la figure 33 qui représente la valeur de la qualité de poulets de chair.

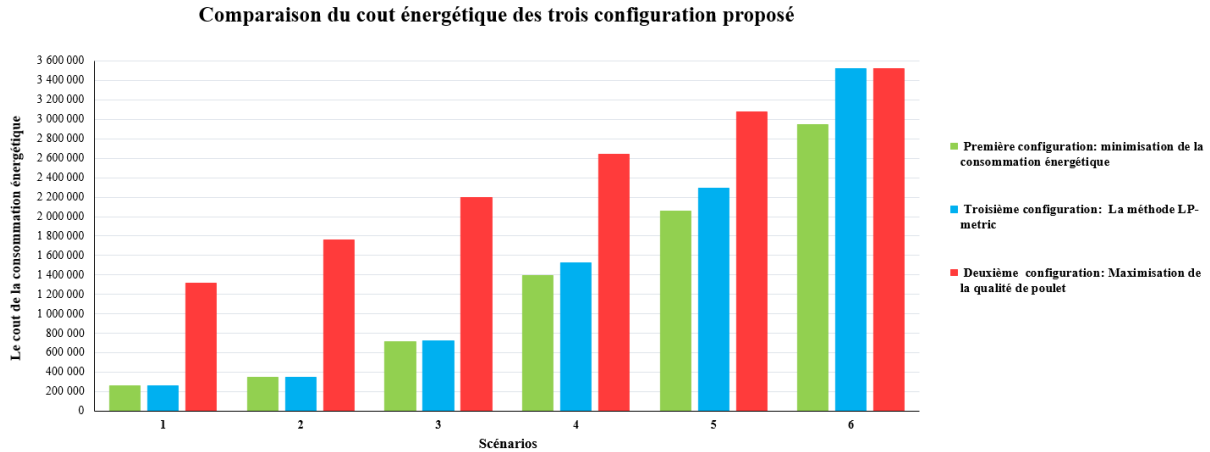


Figure 34 : Comparaison des trois configurations pour l'objective de minimisation de la consommation d'énergie.

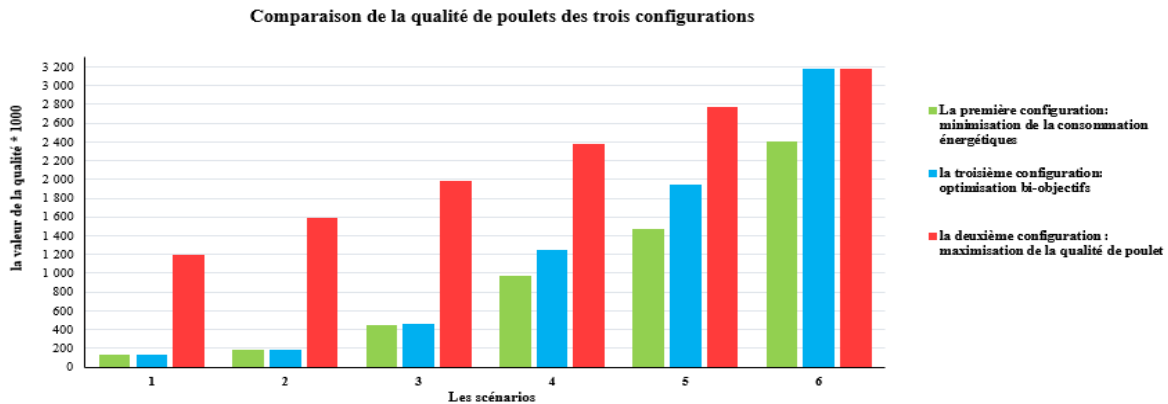


Figure 35: Comparaison entre les trois configurations pour objective de maximisation de la qualité.

D'après la comparaison des résultats, nous remarquons que la méthode LP métrique donne un résultat prometteur pour le réseau avicole étudié. Puisque les solutions données représentent des solutions favorables lorsqu'il s'agit de combiner entre les deux objectifs. Cette méthode a permis de donner le meilleur compromis parmi les solutions obtenues par les deux premières configurations indépendantes.

Nous constatons que lorsque la demande est faible (les scénarios 1,2 et 3), les solutions données par la méthode LP-metric sont plus au moins parallèles avec les solutions de la configuration où l'objectif est la consommation énergétique minimale. Par ailleurs, lorsque la demande totale est élevée (le scénario 6), le parallélisme des résultats est orienté vers la solution de la configuration de la qualité du poulet. Cela dit, pour les différents scénarios intermédiaires entre une demande minimale de 264 000 poulets et maximale de 308 000 poulets, la méthode a permis de donner une solution intermédiaire entre les deux objectifs.

5 Conclusion

La chaîne logistique avicole joue un rôle important dans la nutrition humaine en tant que source de protéines. Malheureusement, sa production dans de bonnes conditions fonctionnelles nécessite une consommation élevée d'énergie électrique et de gaz, ce qui entraîne souvent une augmentation des émissions de CO₂ et un coût d'élevage élevé. Pour réduire ces impacts négatifs sur l'environnement et le profit de l'éleveur, nous présentons dans ce chapitre deux approches bi-objectives orientées vers la minimisation des coûts de chauffage et la réduction des émissions de CO₂, ainsi que la minimisation de la consommation énergétique et la maximisation de la qualité du poulet.

Pour quantifier ces objectifs contradictoires, nous avons développé deux modélisations mathématiques en adoptant l'approche mathématique de la recherche opérationnelle basée sur la programmation des nombres entiers mixtes. Ces études ont permis d'aider les éleveurs à optimiser d'une part le niveau de consommation énergétique au sein des fermes du réseau pour produire des poulets de bonne qualité et minimiser le coût d'électricité, et d'autre part, à choisir la source d'énergie adéquate pour le système de chauffage entre l'électricité et le gaz afin de diminuer les émissions de CO₂ et le coût de chauffage à la fois. Les deux études sont adaptées à un cas d'élevage de poulets de chair dans la ville de Tlemcen en Algérie. Pour justifier les considérations bi-objectives, les coefficients de pondération de la méthode métrique LP ont été testés sur un ensemble de demandes variables sur un réseau avicole d'instance moyenne.

Les résultats fournis ont permis d'aider les décideurs dans leur choix d'utilisation des ressources selon les différentes contraintes d'élevage.

Conclusion générale

L'objectif de cette thèse est l'étude de la planification de la production d'une chaîne logistique avicole en Algérie. Cette chaîne de valeur est composée d'un réseau de fermes d'élevage de poulet de chair qui sert à alimenter une zone de consommation via un centre d'abattage et de transformation. Ces fermes sont chargées de l'élevage et de l'engraissement des poussins pour obtenir des poulets matures à un poids élevé, et approvisionnent le centre d'abattage en quantités de poulets pour alimenter la zone de commande. Cette matière nutritive en source de protéine est servie sous différentes formes tels le poulet frais du jour, le poulet surgelé et les sous-produits à la base de la viande blanche.

Après avoir remarqué sur le plan pratique, un dysfonctionnement autour de la chaîne et ceci suite à un retard de réponse aux besoins autour des principaux maillons (les fermes d'élevage, et les unités d'abattages), une instabilité des quantités de la viande blanche produites et des prix instables sont à traiter dans un cadre managérial. L'objectif était de proposer des solutions efficaces basées sur les approches de recherche opérationnelle basée sur la modélisation pour organiser la production et assurer la stabilité des prix de vente à long terme.

La première étude concerne l'organisation de la production des fermes d'élevage. Sachant que la durée d'une bande d'élevage est estimée à 80 jours et est répartie en deux périodes à savoir : période d'engraissement de 45 à 50 jours et période de 30 jours de vide sanitaire obligatoire, des contributions sont présentées pour gérer la chaîne en amont avec plus d'efficacité. Les fermes d'alimentation de réseau de la chaîne sont dispersées géographiquement autour d'une région donnée et souvent elles ne communiquent pas entre elles en adoptant la stratégie B2C sans penser à travailler dans un cadre de mutualisation. En effet, chaque ferme fait l'élevage selon son propre planning sans prendre en compte les fermes voisines. Cette mauvaise vision des fermes a entraîné dans plusieurs périodes de l'année une instabilité des quantités produites et a affecté par la suite les prix de vente. D'où, le défi était de d'améliorer la planification du réseau existant à travers le développement de modèles basés sur la programmation mathématique en nombre entier MILP pour optimiser la planification stratégique-tactique et ceci afin de voir un meilleur planning d'élevage pour les fermes du réseau dans un cadre de développement de mutualisation durable. Ainsi, ce nouveau cadre de coopération a incité toutes les fermes de collaborer dans l'élevage des quantités de poulets optimales qui satisfont les demandes du marché fournies par les unités d'abattage durant tout l'horizon de planification.

En allant vers la planification interne au niveau d'unité d'abattage et de transformation, la deuxième étude s'intéresse à présenter un modèle organisationnel basé sur la modélisation puis l'optimisation. Le problème constaté lors de l'étude de cette unité est la désynchronisation entre la production et les demandes du marché de la production après abattage et de la transformation de poulets en multi-produits malgré la disponibilité des ressources matériels suite à l'absence d'une stratégie sur l'exploitation optimale des ressources opérationnelles humaines. En effet, auparavant,

cette charcuterie semi-automatique travaillait avec une seule équipe de travail et maintenait des périodes de sur-stockage et de rupture de stock, conduisant à des pertes de commandes et à une perte de fidélité de la clientèle. D'où le challenge consistait à proposer une modélisation de planification tactique-opérationnelle de la production pour cette unité sur un horizon de planification multi-périodes. Ce but de développer un planning de travail qui maximise l'efficacité de cette unité, nous a permis à réaliser un modèle standard relatif à ces types de charcuterie dans une approche décisionnelle réorganisant : la répartition des tâches pour déterminer les quantités optimales qui permettent de répondre à des demandes de tous les produits.

Ainsi pour voir l'impact environnemental énergétique au niveau de la consommation des calories dues au chauffage dans les fermes de production, la troisième étude concerne la planification multi-objectif de la partie amont de la chaîne de valeur avicole. Principalement, le problème était d'aider les éleveurs à prendre le meilleur choix de la source d'énergie à s'investir. En effet, une qualité supérieure de poulet de chair revient à utiliser une consommation énergétique électrique élevée et un taux d'émissions de CO₂ faible. En contrepartie, chercher à minimiser la consommation énergétique à travers l'utilisation de la source d'énergie à base de gaz naturel, réduit le coût de chauffage mais par contre dégradera la qualité du poulet et dégage des émissions de CO₂ très élevées.

D'où un compromis à résoudre puisque la minimisation des CO₂ qui est le facteur primordial pour l'environnement donne la bonne qualité du poulet produit mais convient uniquement les clients. Tandis que le faible coût énergétique convient parfaitement les éleveurs. Dans ce contexte deux modèles mathématiques ont été développés. La première contribution consiste à optimiser le niveau de consommation énergétique au sein de chaque ferme et à produire des poulets de bonne qualité. Cependant, la deuxième contribution vise à choisir la source d'énergie appropriée pour le système de chauffage entre l'électricité et le gaz, afin de réduire les émissions de CO₂ et le coût de chauffage à la fois.

Les trois études ont été testées avec différents scénarios, sous des contraintes différentes selon chaque étude, afin de répondre aux demandes données. Les résultats obtenus pour les trois études proposées ont fourni une gestion adéquate pour les différents maillons de la chaîne logistique avicole, et ont apporté des solutions satisfaisantes et prometteuses pour les différents maillons du système étudié.

Les études futures pour cette thèse se concentreront sur la valorisation des déchets d'élevage pour la production d'énergie biomasse, ainsi que sur l'adaptation des méta-heuristiques pour les grandes instances des études proposées.

Références bibliographiques

- Abdelnour, S. A., Abd El-Hack, M. E., Arif, M., Khafaga, A. F., & Taha, A. E. (2019). The application of the microalgae *Chlorella spp.* as a supplement in broiler feed. *World's Poultry Science Journal*, 75(2), 305-318. <https://doi.org/10.1017/S0043933919000047>
- Adamczuk Oliveira, G., & Lindau, L. A. (2012). A framework for delivery scheduling in the poultry industry. *Journal of Scheduling*, 15, 757-772.
- Agarwal, S. (2017). Issues in supply chain planning of Fruits and Vegetables in Agri-food supply chain: A review of certain aspects. *International Journal of Commerce and Management Research*.
- Ahumada, O., Rene Villalobos, J., & Nicholas Mason, A. (2012). Tactical planning of the production and distribution of fresh agricultural products under uncertainty. *Agricultural Systems*, 112, 17-26. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.06.002>
- 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), 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.02.014>
- Ahumada, O., & Villalobos, J. R. (2011). A tactical model for planning the production and distribution of fresh produce. *Annals of Operations Research*, 190(1), 339-358. <https://doi.org/10.1007/s10479-009-0614-4>
- Akbay, C., & Azeez, J. A. (2016). *Factors affecting on mortality rate in the broiler chicken production farms in Erbil, Iraq*. 26(3).
- Alloui, N., & Bennoune, O. (2013). Poultry production in Algeria: current situation and future prospects. *World's Poultry Science Journal*, 69(3), 613-620. <https://doi.org/10.1017/S0043933913000615>
- Al-Nasser, A. (2006). Poultry industry in Kuwait. *World's Poultry Science Journal*, 62(04), 702-708. <https://doi.org/10.1079/WPS2006122>
- Amorim, P., Günther, H.-O., & Almada-Lobo, B. (2012). Multi-objective integrated production and distribution planning of perishable products. *International Journal of Production Economics*, 138(1), 89-101. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.03.005>
- Amrani-Zouggar, A. (2009). *Impact des contrats d'approvisionnement sur la performance de la chaîne logistique : modélisation et simulation* [These de doctorat, Bordeaux 1]. <https://www.theses.fr/2009BOR13878>
- Arabzad, S. M., Ghorbani, M., & Zolfani, S. H. (2015). A multi-objective robust optimization model for a facility location-allocation problem in a supply chain under uncertainty. *Engineering Economics*, 26(3), 227-238.
- Aral, Y., Demir, P., Cevger, Y., & Aydin, E. (2010). An Economic Assessment of the Chicken Meat/Feed Price Interactions in Turkish Broiler Sector. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 9(9), 1366-1369. <https://doi.org/10.3923/javaa.2010.1366.1369>
- Arowolo, O. O., Ogunrombi, A. A., Apantaku, S. O., & Adeogun, S. O. (2017). Perception of Farm Succession Planning by Poultry Farmers in Southwest, Nigeria. *Journal of Agricultural Extension*, 21(1), 80. <https://doi.org/10.4314/jae.v21i1.7>
- Arshad, M., Bano, I., Khan, N., Shahzad, M. I., Younus, M., Abbas, M., & Iqbal, M. (2018). Electricity generation from biogas of poultry waste: An assessment of potential and feasibility in Pakistan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1241-1246. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.007>
- Askri, A., Fitouhi, N., Raach-Moujahed, A., Abbassi, M. S., & Maalaoui, Z. (2018). *Effect of a commercial prebiotic « AVIATOR® » on zootechnical performances, caecal microflora and meat quality of broilers*. 8.

- Aziz, A., Kar, D., Bidhan, D. S., Yadav, D. C., & Kumari, A. (2017). *EFFECT OF BRACKISH DRINKING WATER ON CARCASS CHARACTERISTICS, COST OF PRODUCTION AND MORTALITY OF BROILER CHICKEN*.
- Azizi, V., Hu, G., & Mokari, M. (2020). A two-stage stochastic programming model for multi-period reverse logistics network design with lot-sizing. *Computers & Industrial Engineering*, 143, 106397. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106397>
- Balaman, Ş. Y., & Selim, H. (2014). A network design model for biomass to energy supply chains with anaerobic digestion systems. *Applied Energy*, 130, 289–304.
- Balaman, Ş. Y., Wright, D. G., Scott, J., & Matopoulos, A. (2018). Network design and technology management for waste to energy production: An integrated optimization framework under the principles of circular economy. *Energy*, 143, 911–933.
- Balamurugan, V., & Manoharan, M. (2013). Cost and benefit of investment in integrated broiler farming-A case study. *International journal of current Research and Academic Review*, 2(4), 114–123.
- Bennekrouf, M., Belkaid, F., Djebbar, M., & Recioui, M. (2016). *Conception et réalisation d'un système de contrôle et de distribution d'une entreprise agroalimentaire Cas d'étude : industrie avicole*.
- Boonmee, A., & Sethanan, K. (2016). A GLNPSO for multi-level capacitated lot-sizing and scheduling problem in the poultry industry. *European Journal of Operational Research*, 250(2), 652-665. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.09.020>
- Boudahri, F., Aggoune-Mtalaa, W., Bennekrouf, M., & Sari, Z. (2013). Application of a Clustering Based Location-Routing Model to a Real Agri-food Supply Chain Redesign. In N. T. Nguyen, B. Trawiński, R. Katarzyniak, & G.-S. Jo (Éds.), *Advanced Methods for Computational Collective Intelligence* (Vol. 457, p. 323-331). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-34300-1_31
- Boudahri, F., Sari, Z., Maliki, F., & Bennekrouf, M. (2011a). Design and optimization of the supply chain of agri-foods: Application distribution network of chicken meat. *2011 International Conference on Communications, Computing and Control Applications (CCCA)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/CCCA.2011.6031424>
- Boudahri, F., Sari, Z., Maliki, F., & Bennekrouf, M. (2011b). Design and optimization of the supply chain of agri-foods: Application distribution network of chicken meat. *2011 International Conference on Communications, Computing and Control Applications (CCCA)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/CCCA.2011.6031424>
- Brevik, E., Lauen, A. Ø., Rolke, M. C. B., Fagerholt, K., & Hansen, J. R. (2020). Optimisation of the broiler production supply chain. *International Journal of Production Research*, 58(17), 5218-5237. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1713415>
- Brulard, N., Cung, V.-D., Catusse, N., & Dutrieux, C. (2019). An integrated sizing and planning problem in designing diverse vegetable farming systems. *International Journal of Production Research*, 57(4), 1018-1036. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1498985>
- Burns, R. T., Li, H., Xin, H., Gates, R. S., Overhults, D. G., Earnest, J., & Moody, L. B. (2008). Greenhouse gas (GHG) emissions from broiler houses in the southeastern United States. *2008 Providence, Rhode Island, June 29–July 2, 2008*, 1.
- Cha, Y., Lee, G., Lee, J., & Wie, D.-Y. (2014). Optimization of the Distribution Plan and Multi-product Capacity using Genetic Algorithm. *Journal of Digital Convergence*, 12(6), 125-134. <https://doi.org/10.14400/JDC.2014.12.6.125>

- Chaudhuri, A., Dukovska-Popovska, I., Damgaard, C. M., & Hvolby, H.-H. (2014). Supply Uncertainty in Food Processing Supply Chain: Sources and Coping Strategies. In E. Bayro-Corrochano & E. Hancock (Éds.), *Progress in Pattern Recognition, Image Analysis, Computer Vision, and Applications* (Vol. 8827, p. 183-191). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-662-44733-8_23
- Costantino, A., Calvet, S., & Fabrizio, E. (2021). Identification of energy-efficient solutions for broiler house envelopes through a primary energy approach. *Journal of Cleaner Production*, 312, 127639.
- Daghlas, I., Richmond, R. C., Lane, J. M., Dashti, H. S., Ollila, H. M., Schernhammer, E. S., Smith, G. D., Rutter, M. K., Saxena, R., & Vetter, C. (2021). Selection into shift work is influenced by educational attainment and body mass index: a Mendelian randomization study in the UK Biobank. *International Journal of Epidemiology*, 50(4), 1229-1240. <https://doi.org/10.1093/ije/dyab031>
- dela Cruz, P. J. D., Dagaas, C. T., Mangubat, K. M. M., Angeles, A. A., & Abanto, O. D. (2019). Dietary effects of commercial probiotics on growth performance, digestibility, and intestinal morphometry of broiler chickens. *Tropical Animal Health and Production*, 51(5), 1105-1115. <https://doi.org/10.1007/s11250-018-01791-0>
- Djebbouri, D., & Hamrani, L. (2017). *Suivi d'élevage de poulet de chair dans la wilaya de Sidi bel Abbes* [Thesis, INSTITUT DES SCIENCE VETERINAIRE -université blida 1]. <https://di.univ-blida.dz/jspui/handle/123456789/1985>
- Djekic, I., Skunca, D., Nastasijevic, I., Tomovic, V., & Tomasevic, I. (2018). Transformation of quality aspects throughout the chicken meat supply chain. *British Food Journal*, 120(5), 1132-1150. <https://doi.org/10.1108/BFJ-08-2017-0432>
- Djezzar, O., & Lalaoui, O. (2019). *Évaluation du prébiotique « AVIATOR® » sur les performances zootechniques et morpho-histométrie intestinale chez le poulet de chair* [Thesis, INSTITUT DES SCIENCE VETERINAIRE -BLIDA-]. <https://di.univ-blida.dz/jspui/handle/123456789/288>
- Duan, Y., Li, G., Tien, J. M., & Huo, J. (2012). Inventory models for perishable items with inventory level dependent demand rate. *Applied Mathematical Modelling*, 36(10), 5015-5028. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2011.12.039>
- Duclos, L., Vokurka, R., & Lummus, R. (2003). A Conceptual Model of Supply Chain Flexibility. *Industrial Management and Data Systems*, 103, 446-456. <https://doi.org/10.1108/02635570310480015>
- Durmaz, Y. G., & Bilgen, B. (2020). Multi-objective optimization of sustainable biomass supply chain network design. *Applied Energy*, 272, 115259.
- Elwan, H. A. M., Elnesr, S. S., Abdallah, Y., Hamdy, A., & El-Bogdady, A. H. (2019). Red yeast (*Phaffia rhodozyma*) as a source of Astaxanthin and its impacts on productive performance and physiological responses of poultry. *World's Poultry Science Journal*, 75(2), 273-284. <https://doi.org/10.1017/S0043933919000187>
- Fellahi, H., Siyoucef, karima S., & Sari-Triqui, L. (2022). The combination of a NEH heuristic and an LP metric to solve a flow-shop scheduling problem taking into account energy consumption and production costs: a case study. *E3S Web of Conferences*, 336, 00028. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202233600028>
- Féniès, P. (2006). *Une méthodologie de modélisation par processus multiples et incrémentiels : application pour l'évaluation des performances de la Supply Chain* [These de doctorat, Clermont-Ferrand 2]. <https://www.theses.fr/2006CLF21703>
- Ferrah, A., Ahcène, K., Messaoud, N., Tafzi Hamida, & Kabli Laadi. (2017). *La conduite des élevages de poulet de chair en Algérie : Un Sous équipement chronique*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.27042.02243>

- Firouzi, S., Allahyari, M. S., Isazadeh, M., Nikkhah, A., & Van Haute, S. (2021). Hybrid multi-criteria decision-making approach to select appropriate biomass resources for biofuel production. *Science of The Total Environment*, 770, 144449. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144449>
- Flores, H., Villalobos, J. R., Ahumada, O., Uchanski, M., Meneses, C., & Sanchez, O. (2019). Use of supply chain planning tools for efficiently placing small farmers into high-value, vegetable markets. *Computers and Electronics in Agriculture*, 157, 205-217. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.050>
- François, J. (2007). *Planification des chaînes logistiques : modélisation du système décisionnel et performance* [These de doctorat, Bordeaux 1]. <https://www.theses.fr/2007BOR13521>
- Frick, B., Simmons, R., & Stein, F. (2018). The cost of shift work: Absenteeism in a large German automobile plant. *German Journal of Human Resource Management: Zeitschrift Für Personalforschung*, 32(3-4), 236-256. <https://doi.org/10.1177/2397002218788839>
- Galasso, F. (2007). *Aide à la planification dans les chaînes logistiques en présence de demande flexible* [Phdthesis, Institut National Polytechnique de Toulouse - INPT]. <https://theses.hal.science/tel-00149437>
- Ganeshkumar, C., Pachayappan, M., & Madanmohan, G. (2017). Agri-food Supply Chain Management: Literature Review. *Intelligent Information Management*, 09(02), 68-96. <https://doi.org/10.4236/iim.2017.92004>
- Genin, P. (2003). *Planification tactique robuste avec usage d'un advanced planning system : Proposition d'un mode de gestion par plan de référence* [These de doctorat, Paris, ENMP]. <https://www.theses.fr/2003ENMP1216>
- Gharaei, A., Pasandideh, S. H. R., & Akhavan Niaki, S. T. (2018). An optimal integrated lot sizing policy of inventory in a bi-objective multi-level supply chain with stochastic constraints and imperfect products. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 35(1), 6–20.
- Ghezavati, V. R., Hooshyar, S., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2017). A Benders' decomposition algorithm for optimizing distribution of perishable products considering postharvest biological behavior in agri-food supply chain: a case study of tomato. *Central European Journal of Operations Research*, 25(1), 29-54. <https://doi.org/10.1007/s10100-015-0418-3>
- Gordon, W. (2013). *Managing Supply Uncertainty in the Poultry Supply Chain*.
- Gourgand, M., Grangeon, N., Lemoine, D., & Norre, S. (2007). *Couplage de modèles pour une planification tactique robuste. Application à la planification dans un bloc opératoire*.
- Hadj Hamou, K. (2002). *Contribution à la conception de produit à forte diversité et de leur chaîne logistique : une approche par contraintes* [These de doctorat, Toulouse, INPT]. <https://www.theses.fr/2002INPT020G>
- Hanifah, U., & Adriansyah, W. (2018). Solar Air Heater for Preheating The Air of Broiler House. *2018 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA)*, 116–121.
- Hanna, A. S., Chang, C.-K., Sullivan, K. T., & Lackney, J. A. (2008). Impact of Shift Work on Labor Productivity for Labor Intensive Contractor. *Journal of Construction Engineering and Management*, 134(3), 197-204. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2008\)134:3\(197\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2008)134:3(197))
- Harrir, M. M., Triqui, L., & Idoumghar, L. (2022). Optimisation multiobjectifs basées sur la méthode LP-métric pour la résolution du problème de transport: un cas d'étude. *23ème congrès annuel de la Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision*.
- Heidari, M. D., Omid, M., & Akram, A. (2011). Energy efficiency and econometric analysis of broiler production farms. *Energy*, 36(11), 6536–6541.
- Heinz, G., Fao, B., & Hautzinger, P. (2007). *Meat processing technology for small to medium scale producers*. Bangkok (Thailand) FAO. <http://www.fao.org/docrep/010/ai407e/ai407e00.htm>

- Hsiao, Y.-H., Chen, M.-C., & Chin, C.-L. (2017). Distribution planning for perishable foods in cold chains with quality concerns: Formulation and solution procedure. *Trends in Food Science & Technology*, 61, 80-93. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.11.016>
- Huang, G. Q., Lau, J. S. K., & Mak, K. L. (2003). The impacts of sharing production information on supply chain dynamics: A review of the literature. *International Journal of Production Research*, 41(7), 1483-1517. <https://doi.org/10.1080/0020754031000069625>
- Hussain, J., Rabbani, I., Aslam, S., & Ahmad, H. A. (2015). An overview of poultry industry in Pakistan. *World's Poultry Science Journal*, 71(4), 689-700. <https://doi.org/10.1017/S0043933915002366>
- ITAVI: Experts des filières avicole, cunicole et piscicole. (s. d.). Consulté 26 avril 2023, à l'adresse <https://www.itavi.asso.fr/>
- Jabarzadeh, Y., Reyhani Yamchi, H., Kumar, V., & Ghaffarinasab, N. (2020). A multi-objective mixed-integer linear model for sustainable fruit closed-loop supply chain network. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 31(5), 1351-1373.
- Jena, S. D., & Poggi, M. (2013). Harvest planning in the Brazilian sugar cane industry via mixed integer programming. *European Journal of Operational Research*, 230(2), 374-384. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.04.011>
- Jirjahn, U. (2008). On the Determinants of Shift Work and Overtime Work: Evidence from German Establishment Data. *British Journal of Industrial Relations*, 46(1), 133-168. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8543.2007.00669.x>
- Kaci, A., & Cheriet, F. (2013). (Low) competitiveness of the algerian poultry industry: an attempt to explain a structural under performance [Analyse de la compétitivité de la filière de viande de volaille en Algérie: tentatives d'explication d'une déstructuration chronique].
- Kaci, A., & Kheffache, H. (2016). La production et la mise en marché du poulet de chair dans la wilaya de Médéa (Algérie): nécessité d'une coordination entre acteurs. *Les Cahiers Du Cread*, 118, 113-132. <https://doi.org/10.4314/cread.v118i0>
- Kapica, J., Pawlak, H., & Ścibisz, M. (2015). Carbon dioxide emission reduction by heating poultry houses from renewable energy sources in Central Europe. *Agricultural Systems*, 139, 238-249.
- KEDDOURI Thabet, N. E., & BRIKI, S. I. (2016). *Les applications des RFID dans la gestion de chaîne logistique Agroalimentaire (Viande Halal)* [PhD Thesis].
- KIROUANI, L. (2015). *Structure et Organisation de la Filière Avicole en Algérie : Cas de la Wilaya de Bejaia = Structure and Organization of the Poultry Sector in Algeria : Case of the Province of Bejaia = واقع تنظيم شعبية* *واقع تنظيم شعبية* <https://platform.almanhal.com/Details/2/73943?lang=ar>
- Kitsos, C. P., Oliveira, T. A., Rigas, A., & Gulati, S. (Éds.). (2015). *Theory and Practice of Risk Assessment: ICRA 5, Tomar, Portugal, 2013* (Vol. 136). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-18029-8>
- Kusumastuti, R. D., Donk, D. P. van, & Teunter, R. (2016). Crop-related harvesting and processing planning: a review. *International Journal of Production Economics*, 174, 76-92. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.01.010>
- Lee, H. L., & Billington, C. (1993). Material Management in Decentralized Supply Chains. *Operations Research*, 41(5), 835-847.
- Leksakul, K., & Apiromchaiyakul, C. (2019). Fuzzifying approach to special cutting in poultry meat production planning. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 36(7), 419-432. <https://doi.org/10.1080/21681015.2019.1677791>

- Lemoine, D. (2008). *Modèles génériques et méthodes de résolution pour la planification tactique mono-site et multi-site* [These de doctorat, Clermont-Ferrand 2]. <https://www.theses.fr/2008CLF21892>
- Li, H., Xie, P., Wang, C., & Mu, Z. (2021). Focus on the Chicken Manure Power Generation in China: How to Promote the Biomass Waste Industry? *Energy and Power Engineering*, 13(04), 127-145. <https://doi.org/10.4236/epe.2021.134009>
- Martinez-Valencia, L., Camenzind, D., Wigmosta, M., Garcia-Perez, M., & Wolcott, M. (2021). Biomass supply chain equipment for renewable fuels production: A review. *Biomass and Bioenergy*, 148, 106054. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106054>
- Mayerle, S. F., & de Figueiredo, J. N. (2016). Designing optimal supply chains for anaerobic bio-digestion/energy generation complexes with distributed small farm feedstock sourcing. *Renewable Energy*, 90, 46–54.
- Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., & Zacharia, Z. G. (2001). Defining Supply Chain Management. *Journal of Business Logistics*, 22(2), 1-25. <https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2001.tb00001.x>
- Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. (s. d.). Consulté 26 avril 2023, à l'adresse <http://www.itelv.dz/>
- Mokrani, M., & Hadji, S. (2019). *Suivie d'élevage de poulet de chair dans le complexe avicole de Bir Ouelid Khelifa wilaya de Ain Defla* [Thesis, INSTITUT DES SCIENCE VETERINAIRE -BLIDA-]. <https://di.univ-blida.dz/jspui/handle/123456789/299>
- Nair, D. V. T., & Kollanoor Johny, A. (2019). Salmonella in Poultry Meat Production. In K. Venkitanarayanan, S. Thakur, & S. C. Ricke (Éds.), *Food Safety in Poultry Meat Production* (p. 1-24). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-05011-5_1
- Nait, M. A., Benterkia, Y., & Ouguessa, A. P. (2020). *ETUDE DES PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES D'UN ELEVAGE DE POULET DE CHAIR* [Thesis, UNIV. BLIDA1]. <https://di.univ-blida.dz/jspui/handle/123456789/9933>
- Naprom, S., Piewthongngam, K., & Chatavithree, P. (2018). Determination of Size and Quantity of Chicken Supply: A Simulation-Based Optimization. *Applied Engineering in Agriculture*, 34(4), 717-726. <https://doi.org/10.13031/aea.12649>
- Naspetti, S., Alberti, F., & Solfanelli, F. (2015). Quality Function Deployment in the Organic Animal Food Sector: Application to Poultry Meat. *Italian Journal of Animal Science*, 14(3), 4050. <https://doi.org/10.4081/ijas.2015.4050>
- Nouman, M. S. (2014). *MODELING AND FORECASTING OF BEEF, MUTTON, POULTRY MEAT AND TOTAL MEAT PRODUCTION OF PAKISTAN FOR YEAR 2020 BY USING TIME SERIES ARIMA MODELS*.
- Ochieng, B. A., Owino, W. O., Kinyuru, J. N., Mburu, J. N., & Gicheha, M. G. (2020). Effect of low tannin sorghum based feeds on broiler meat nutritional quality. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2, 100078. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100078>
- Orjuela-Castro, J. A., Orejuela-Cabrera, J. P., & Adarme-Jaimes, W. (2022). Multi-objective model for perishable food logistics networks design considering availability and access. *OPSEARCH*, 59(4), 1244-1270. <https://doi.org/10.1007/s12597-022-00594-0>
- Overhults, D. G. (2017). A Comparison of Wood Pellet and Natural Gas Heating Systems for Broiler Houses. 2017 *ASABE Annual International Meeting*, 1.

- Paam, P., Berretta, R., Heydar, M., Middleton, R. H., García-Flores, R., & Juliano, P. (2016). Planning Models to Optimize the Agri-Fresh Food Supply Chain for Loss Minimization: A Review. In *Reference Module in Food Science*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21069-X>
- Pasandideh, S. H. R., Niaki, S. T. A., & Asadi, K. (2015). Optimizing a bi-objective multi-product multi-period three echelon supply chain network with warehouse reliability. *Expert Systems with Applications*, 42(5), 2615–2623.
- Pereira, J. L. (2017). Assessment of ammonia and greenhouse gas emissions from broiler houses in Portugal. *Atmospheric Pollution Research*, 8(5), 949–955.
- Petracci, M., Mudalal, S., Soglia, F., & Cavani, C. (2015a). Meat quality in fast-growing broiler chickens. *World's Poultry Science Journal*, 71(2), 363-374. <https://doi.org/10.1017/S0043933915000367>
- Petracci, M., Mudalal, S., Soglia, F., & Cavani, C. (2015b). Meat quality in fast-growing broiler chickens. *World's Poultry Science Journal*, 71(2), 363-374. <https://doi.org/10.1017/S0043933915000367>
- Praseeratasang, Pitakaso, Sethanan, Kosacka-Olejnik, kaewman, & Theeraviriya. (2019). Adaptive Large Neighborhood Search to Solve Multi-Level Scheduling and Assignment Problems in Broiler Farms. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 5(3), 37. <https://doi.org/10.3390/joitmc5030037>
- Radhakrishnan, P. (2014). Genetic Algorithm Model for Multi Product Flexible Supply Chain Inventory Optimization Involving Lead Time. In M. K. Nandakumar, S. Jharkharia, & A. S. Nair (Éds.), *Organisational Flexibility and Competitiveness* (p. 325-334). Springer India. https://doi.org/10.1007/978-81-322-1668-1_22
- Rahbari, M., Razavi Hajiagha, S. H., Amoozad Mahdiraji, H., Riahi Dorcheh, F., & Garza-Reyes, J. A. (2021). A novel location-inventory-routing problem in a two-stage red meat supply chain with logistic decisions: evidence from an emerging economy. *Kybernetes*, 51(4), 1498-1531. <https://doi.org/10.1108/K-01-2021-0012>
- Rossi, R. (2013). Periodic review for a perishable item under non stationary stochastic demand. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(9), 2021-2026. <https://doi.org/10.3182/20130619-3-RU-3018.00569>
- Sadiq, M. S., & Singh, I. P. (2017). Comparison of GHG emissions between efficient and inefficient broiler farms in Kaduna state of Nigeria using Data Envelopment Analysis (DEA): environmental sustainability. *Emergent Life Sciences Research*, 3, 54–66.
- Safra, I., Jebali, A., Jemai, Z., Bouchriha, H., & Ghaffari, A. (2021). The beneficial effect of information sharing in the integrated production–distribution planning of textile and apparel supply chain. *RAIRO - Operations Research*, 55(3), 1171-1195. <https://doi.org/10.1051/ro/2021038>
- Satir, B., & Yıldırım, G. (2020). A General Production and Financial Planning Model: Case of a Poultry Integration. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45(8), 6803-6820. <https://doi.org/10.1007/s13369-020-04366-0>
- Sawik, B. (2020). Selected Multiple Criteria Supply Chain Optimization Problems. In K. D. Lawrence & D. R. Pai (Éds.), *Applications of Management Science* (p. 31-58). Emerald Publishing Limited. <https://doi.org/10.1108/S0276-897620200000020003>
- Shapiro, J. F. (1999). On the connections among activity-based costing, mathematical programming models for analyzing strategic decisions, and the resource-based view of the firm. *European Journal of Operational Research*, 118(2), 295-314. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00027-2](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00027-2)
- Solano, A. L., González, J. E., Gómez, L. O., Vargas, J. J., & Medaglia, A. L. (2019). *Aggregated planning in the broiler chicken industry: a case study in Santa Marta (Colombia)*.

- Stadtler, H., & Kilger, C. (Éds.). (2000). *Supply Chain Management and Advanced Planning*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-04215-1>
- Tahraoui, M., & Saadi, M. (2019). *ETUDE DES PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES EN ELEVAGE DE POULET DE CHAIR* [Thesis, INSTITUT DES SCIENCE VETERINAIRE -BLIDA-]. <https://di.univ-blida.dz/jspui/handle/123456789/226>
- Tahraoui, N., Sari, L. T., & Bennekrouf, M. (2020). Planning and synchronization of broiler production in a poultry network. *2020 IEEE 13th International Colloquium of Logistics and Supply Chain Management (LOGISTIQUA)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/LOGISTIQUA49782.2020.9353910>
- Tahraoui, N., Sari-Triqui, L., & Bennkrouf, M. (2022). A bi-objective optimization approach based on Lp-metric method in broiler production network: a case study. *E3S Web of Conferences*, 336, 00025. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202233600025>
- Tahraoui, N., Triqui Sari, L., & Bennekrouf, M. (2021). Optimization, Planning and Mutualization of Chicken Production in a Multi-Supplier, Multi-Period, and Multi-Horizon Poultry Network: Case Study. *International Journal of Operational Research*, 1(1), 1. <https://doi.org/10.1504/IJOR.2021.10043657>
- Taxakis, K., & Papadopoulos, C. (2016). A design model and a production–distribution and inventory planning model in multi-product supply chain networks. *International Journal of Production Research*, 54(21), 6436-6457. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1158882>
- Tayur, S., Ganeshan, R., & Magazine, M. (Éds.). (1999). *Quantitative Models for Supply Chain Management* (Vol. 17). Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4949-9>
- Triqui-Sari, L., Bennekrouf, M., Bensmaine, A., & Ameurberrahou, N. (2019). Routing Planning of the Different Harvester for Organizing the Harvesting of Sugar Beet. *2019 International Colloquium on Logistics and Supply Chain Management (LOGISTIQUA)*, 1–6.
- Uçak, H., Çelik, S., & Öztemiz, H. (2018). MONITORING THE FRESH FRUITS AND VEGETABLES SUPPLY CHAIN IN TURKEY. *Annals of Marketing Management and Economics*, 4(1), 149-162. <https://doi.org/10.22630/AMME.2018.4.1.11>
- Vecerek, V., Voslarova, E., Conte, F., Vecerkova, L., & Bedanova, I. (2016). Negative Trends in Transport-related Mortality Rates in Broiler Chickens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 29(12), 1796-1804. <https://doi.org/10.5713/ajas.15.0996>
- Wijayaningrum, V. N., Mahmudy, W. F., & Natsir, M. H. (2017). Optimization of poultry feed composition using hybrid adaptive genetic algorithm and simulated annealing. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC)*, 9(2-8), 183–187.
- Xu, N. (2012). Optimal policy for a muti-product, multi-period, non-stationary, stochastic production and customization problem. *International Journal of Production Economics*, 139(1), 229-236. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.04.012>
- Yakovleva, N., & Flynn, A. (2004). Innovation and sustainability in the food system: A case of chicken production and consumption in the UK. *Journal of Environmental Policy & Planning*, 6(3-4), 227–250.
- Yeh, Y., Purushothaman, P., Gupta, N., Ragnone, M., Verma, S. C., & de Mello, A. S. (2017). Bacteriophage application on red meats and poultry: Effects on Salmonella population in final ground products. *Meat Science*, 127, 30-34. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.01.001>
- You, P.-S., & Hsieh, Y.-C. (2018). A study of production and harvesting planning for the chicken industry. *Agricultural Economics*, 64 (2018)(No. 7), 316-327. <https://doi.org/10.17221/255/2016-AGRICECON>

Résumé

La recherche présentée dans cette thèse concerne la planification et l'optimisation d'une chaîne logistique avicole. Nous avons effectué une étude stratégique-tactique-opérationnelle appliqué sur un cas d'étude. Plusieurs modèles mathématiques ont été développés pour résoudre le problème de désynchronisation entre la production des fermes et les demandes du centre d'abattage, qui entraîne une instabilité des prix. L'objectif de cette étude est d'établir un planning bien défini pour ordonnancer et de planifier les fermes du réseau afin d'assurer la stabilité des quantités et des prix de poulets qui représente une originalité dans ce domaine. La deuxième originalité dans ce domaine concerne l'affectation ressources-tâches pour une unité d'abattage, l'objectif était de réorganiser la production de cette unité en adoptant un nouveau planning de travail se base sur plusieurs modes de travail, afin de produire les quantités optimales pour satisfaire les demandes des produits frais et surgelés tout en évitant le surstockage et la rupture de stock. Une extension de ce travail a fait l'objet d'une autre originalité pour cette étude portant l'aspect énergétique, qualitatif et environnemental. Présenté sous forme d'une étude multi-objective pour améliorer l'activité d'élevage et protéger l'environnement. Pour cela plusieurs modélisations de programmation linéaire ont été proposées et résolus à l'aide du solveur Cplex.

Abstract

The research presented in this thesis concerns the planning and optimization of a poultry supply chain. We performed a strategic-tactical-operational study applied to a case study. Several mathematical models have been developed to solve the problem of desynchronization between the farms' production and the slaughterhouses' demands, which leads to price instability. This study aims to establish a well-defined schedule for scheduling and planning the network farms to ensure the stability of the quantities and prices of chickens, which represents originality in this field. The second originality in this field concerns the resource-task allocation for a slaughter unit; the objective was to reorganize the production of this unit by adopting a new work schedule based on several work modes to produce the optimal quantities to satisfy the demands of fresh and deep-frozen products while avoiding over-stocking and stock-outs. An extension of this work was the subject of another originality in this study concerning the energetic, qualitative, and environmental aspects. Presented in the form of a multi-objective study to improve breeding activity and protect the environment. For this, several linear programming models were proposed and solved using the Cplex solver.