

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi de Bordj Bou Arréridj
Faculté des Mathématiques et de l'Informatique
Département de Recherche Opérationnelle.



Mémoire

Présentée par :

Maouche Fadia & Chetioui Wiame

Pour l'obtention du diplôme de :

Master

Domaine : Mathématiques et de l'Informatique

Filière : Des Mathématiques appliquées

Spécialité : Méthodes et outils pour la recherche Opérationnelle

Thème :

Amélioration des profits des agricultures dans les système de rotation cultural avec des contraintes d'adjacence des parcelles. Etude de cas : Daira de Medjana.

Soutenu publiquement le **2023** devant le jury composé de

M.	M.A.A. Président
M. F. Fillali	M.C.B. Encadrant
M.	M.A.A. Examineur

Promotion 2022/2023

Remerciement

Tout d'abord, nous remercions le grand Dieu de nous avoir donné force, courage et volonté, et de patience pour mener à bien ce travail commémoratif.

Nous tenons à remercier, **Monsieur, FILALI FERHAT**, professeure à l'université de Bordj Bou Arreridj pour ses conseils constants, ses encouragements, son aide et surtout son expertise, ainsi que son soutien tout au long de cette recherche.

Nous tenons à remercier en particulier, Monsieur, ZOUBIR RAMDHANI, Professeur à l'Université de Bordj Bou Arreridj, de nous avoir toujours accueillis et aidés dans les moments les plus difficiles pour mettre en œuvre cette mémoire.

Nous tenons aussi à remercier tous les membres du jury pour avoir accepté de juger et de mettre en valeur ce mémoire.

Nous souhaitons également remercier tous nos enseignants, de même que tous ceux qui ont participé, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Nous remercions s'adressent aussi à Département de Recherche Opérationnelle de l'université Bordj Bou Arreridj, et ainsi que nos collègues amies.

Merci à tous

Dédicace

...Quoi de plus gratifiant que de pouvoir partager les plus beaux moments de ma vie avec les êtres que j'aime. C'est pourquoi je dédie ce travail avec tout mon cœur :

A

Mon très cher père

Un signe d'amour, de reconnaissance et de gratitude pour le dévouement et les sacrifices dont vous avez fait toujours preuve à mon égard. Tu es mon père, mon frère, mon ami, mon soutien et ma force. Puisse dieu la longue vie.

A

Ma très chère mère

Affable, honorable, aimable, tu es le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cassé de m'encourager et de parier pour moi. Puisse dieu, le tout puissant et préserve et t'accorde la sante, la longue vie et le bonheur.

A

Mes sœurs : Imane, chaima, aya

A

Mon beau chat : birine

A

Mes amies : Meriem, Khawla et Tassadit

A

Fadia ma chère amie avant d'être mon binôme

A

toute la famille Chetioui

- *Waime* -

Dédicace

...Quoi de plus gratifiant que de pouvoir partager les plus beaux moments de ma vie avec les êtres que j'aime. C'est pourquoi je dédie ce travail avec tout mon cœur :

A

Maman Ghania

Qui m'a soutenu et encouragé durant ces années d'études.
Qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

A

Mon cher oncle Mourad

Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager.
Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

A

chère grand-mère

Qui je souhaite une bonne santé.

A

Ma chère tante Faiza , Amal

Pour leurs encouragements permanents et leurs soutiens moraux.

A

Mes très chers frères et mes belles sœurs

Puisse Dieu vous donne santé, bonheur, courage et surtout réussite

A

Toutes mes proches, mes amies et collègues Chaima, Dounia ,
Ibtihale...

A

Wiame, je te remercie d'avoir été un binôme exceptionnel.

A

Tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

- Fadia-

Table des matières

INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
1 Etat de l'art de la planification culturale	5
1.1 Introduction	5
1.2 Agriculture durable	5
1.3 Principes du développement durable	6
1.4 Classification des cultures	7
1.5 Définition de la planification agricole	8
1.6 Importance de la planification agricole	9
1.7 Étapes de la planification agricole	9
1.8 Les méthodes de la planification agricole	12
1.9 Rotation des cultures	14
1.9.1 La planification de la rotation des cultures	15
1.9.2 Avantages du Rotation des cultures	16
1.9.3 Conditions du Rotation des cultures	16
1.9.4 Étapes de conception du Rotation des cultures	17
1.9.5 Classification de rotation culture	17
1.9.6 Risques et défis de la rotation des cultures	18
1.10 Conclusion	19
2 Optimisation de la planification agricole	20
2.1 Introduction	20
2.2 Problème de l'optimisation combinatoire	20
2.3 Les méthodes d'optimisation combinatoire	21
2.3.1 Méthode exacte	22

2.3.2	Méthode approchée	31
2.4	Conclusion	33
3	Étude cas : modélisation et formulation du problème	34
3.1	Introduction	34
3.2	Direction des intérêts agricoles de Bordj Bou Arreridj	34
3.2.1	Le rôle de la direction	35
3.2.2	Structure organisationnelle de la direction	36
3.2.3	Sous-section agricole de Medjana	36
3.3	Présentation de lieu de stage	37
3.4	collection des données	38
3.5	Le Modèle Proposé	41
3.5.1	Nomenclature modèle	41
3.6	Conclusion	47
4	Implémentation, Démonstration, Discussion des résultats	48
4.1	Introduction	48
4.2	Listing de code source	49
4.3	Discussion des résultats	51
4.4	Conclusion	58
	Conclusion générale	59

Table des figures

1.1	Agriculture durable	6
1.2	Les Principes du développement durable	7
1.3	Classification des cultures	7
1.4	planification agricole	8
1.5	Caractéristiques d'un bon plan agricole	10
1.6	Étapes de la planification agricole	11
1.7	Méthode Agroforesterie	13
1.8	Technique de la rotation des cultures	14
1.9	Rotation des cultures	15
1.10	Le problème de la planification de la rotation des cultures	16
1.11	Classification de rotation culture	17
2.1	Classification des méthodes d'optimisation combinatoire	22
2.2	programmation linéaire en agriculture.	25
3.1	Structure organisationnelle de la direction des intérêts agricoles B-B-A	36
3.2	Localisation de la commune dans la wilaya de Bordj Bou Arreridj	37
3.3	Rotation des cultures sur le terrain selon la classification des familles	41
4.1	Superficie plantée	54
4.2	La production on tonne	56
4.3	Part de chaque culture	56
4.4	Résultat de la Rotation des cultures sur le terrain variante 1	57
4.5	Résultat de la Rotation des cultures sur le terrain variante 2	57

Liste des tableaux

2.1	Les travaux antérieurs liés à programmation linéaire des plans de culture. . .	27
2.2	Des logiciels utilisés dans la modélisation mathématique.	28
2.3	Les objectifs de l'utilisation du modèle PL.	29
2.4	les travaux précédents dans la méthode programmation linéaire en variable 0-1	30
2.5	Les travaux précédents dans la méthode de branch and bound	31
2.6	les travaux précédents dans les méthodes approchées.	33
3.1	Les divisions de direction des intérêts agricoles de Bordj Bou Arreridj . . .	35
3.2	Description du jeu de données	38
3.3	Cultures et calendrier respectif des cultures utilisées dans le modèle	39
3.4	Illustration de l'ensemble de données pour les exemples de cultures sélectionnés	39
3.5	Superficies des cultures maraichère	40
3.6	Production des cultures maraichère	40
3.7	Classification des légumes selon leur parenté botanique	41
4.1	Résultats de la distribution des cultures sur les parcelles	51
4.2	Cultures maraichères en medjana avec sa calendrier	51
4.3	Cultures maraichères en T Ennasr avec sa calendrier	52
4.4	Cultures maraichères en colla avec sa calendrier	52
4.5	Cultures maraichères en Teffreg avec sa calendrier	52
4.6	Cultures maraichères en djaafra avec sa calendrier	52
4.7	Cultures maraichères en El main avec sa calendrier	52
4.8	Résultats de la répartition des superficies cultivées (ha)	53
4.9	Résultat de Production des cultures maraichère	55

Liste des abréviations

PL	Programmation linéaire.
PT	Programmation Traditionnelle.
PLE	Programmation linéaire entière.
Ha	Hectare.
DA	Dinars Algériens.
Kg	Kilogramme.
qx	Quintaux.

INTRODUCTION GÉNÉRALE :

Adopter les meilleures stratégies pour le domaine de l'agriculture constitue l'enjeu majeur pour tous les pays. La tendance actuelle est de se concentrer sur l'agriculture de précision en employant les évolutions de l'Internet des objets et des mécanismes d'optimisation. Il s'agit également d'un domaine où l'agriculteur a besoin de conseils pertinents sur les opérations agricoles, comme l'ordonnancement de l'équipement à des fins agricoles, l'affectation optimale des ressources économiques et de sol, l'optimisation du processus de plantation et d'occupation des parcelles . . . etc ; afin de maximiser les revenus et de minimiser l'impact de produits chimiques sur l'environnement.

Arriver à une situation de production agricole optimale, il est primordial de déployer les meilleurs procédés d'utilisation des terres, des cultures, des sols et des ressources en eau et en minéraux. Malheureusement, en raison de la complexité du secteur agricole surtout en Algérie, les agriculteurs ont eu de la difficulté à prendre les bonnes pratiques concernant la cultivassions, l'irrigation ainsi que l'utilisation optimale des ressources disponibles.

Le défi critique est de choisir la meilleure alternative parmi plusieurs. Ce qui rend ce défi un problème d'optimisation de point de vue recherche opérationnelle (RO). La RO offre pas mal de formalismes afin de modéliser et de résoudre de tels problèmes, en particulier la programmation linéaire (PL). La PL a un impact profond sur la résolution de la plupart des problèmes rencontrés par les agriculteurs en cette ère d'agriculture. À cet égard, la PL est très souvent utilisé pour aider les agriculteurs à planifier et à prendre des décisions pour atteindre et optimiser la planification de la production et l'affectation des ressources. L'agriculteur doit bien gérer et utiliser les ressources disponibles à la ferme, comme la main d'œuvre, les engrais, les semences, l'énergie, etc, pour maximiser son profit.

Les travaux de recherche précédents utilisaient la PL pour plusieurs objectifs, par exemple pour aider les agriculteurs à maximiser leurs gains en choisissant la meilleure culture au moment opportun et en adoptant la stratégie de rotation culturale et de planification agricole. On a également tenté d'analyser les possibilités d'accroître la rentabilité des parcelles de terre en déterminant la combinaison optimale de cultures pour les contraintes suivantes : superficie totale, superficie cultivée intercalaire et montant de l'investissement. Par conséquent, la maximisation de la production ne garantit pas la maximisation du profit. Par conséquent, il est évident que les méthodes de la PL jouent un rôle important dans l'optimisation de la planification de la production des cultures dans le cadre d'un ensemble de contraintes imposées par les agriculteurs.

Le propos de ce projet de fin d'études est de résoudre le problème de rotation culturale (Crop Rotation Planning CRP) et de planification agricole dans la Daira de Medjana Wilaya de Bordj Bouarréridj. Notons que Medjana est constituée de 5 communes (T Ennasr , Colla , Djaafra ,El Main ,Teffreg) à caractère beaucoup plus rurale, où l'agriculture est l'activité économique la plus importante. Les communes de Medjana sont très connues par leurs cultures maraichères (Tomates, Oignons ,Haricots Vert , Melon , Piments). Notre objectif est de proposer un modèle d'agriculture utilisant le formalisme de PL. Ce modèle est composé d'une fonction objective et de contraintes définies en interrogeant les agriculteurs de cette région.

Ce mémoire est organisé ainsi :

- Dans le premier chapitre, nous passerons en revue l'état de l'art de la planification culturale. Nous examinerons les méthodes et les modèles existants, ainsi que les avancées récentes dans le domaine. Cela nous permettra de comprendre les défis et les opportunités liés à l'amélioration des profits des agriculteurs grâce à une planification agricole efficace.
- Dans le deuxième chapitre, nous concentrerons sur l'optimisation de la planification agricole. Nous explorerons les approches et les techniques d'optimisation utilisées pour résoudre les problèmes de planification agricole, en mettant l'accent sur la maximisation des profits tout en respectant les contraintes d'adjacence des parcelles. Nous discuterons des modèles mathématiques, des algorithmes et des outils informatiques qui peuvent être utilisés pour optimiser la planification agricole.

- Dans le troisième chapitre, nous présenterons une étude de cas spécifique. Nous modéliserons et formulerons le problème de planification agricole avec des contraintes d'adjacence des parcelles, en prenant en compte les différentes cultures, les saisons de plantation. Cette étude de cas nous permettra de mieux comprendre les défis pratiques liés à la planification agricole et de développer des solutions adaptées.
- Dans le quatrième chapitre, Nous avons proposé un cas d'étude tout en inspirant une étude à Daira de Medjana Wilaya de Bordj Bouarréridj, nous avons un modèle de planification qui répond aux problèmes identifiés par les gestionnaires de la direction des intérêts agricoles et est conçu en utilisant le langage de programmation MATLAB. L'objectif de ce chapitre est de mettre en œuvre le modèle et de les tester sur des scénarios réels. Il s'agit de transformer les concepts théoriques en applications pratiques.

Etat de l'art de la planification culturelle

1.1 Introduction

Dans le monde dynamique de l'agriculture moderne, la réussite d'une entreprise agricole ne peut être laissée au hasard. Alors que les progrès technologiques continuent de transformer le secteur, la planification stratégique est devenue essentielle pour assurer une exploitation agricole rentable et en croissance. Un plan agricole bien élaboré constitue le fondement d'une organisation efficace, englobant toutes les activités agricoles prévues à l'avance.

La planification agricole permet à l'agriculteur d'atteindre ses objectifs, qu'il s'agisse de maximiser les profits ou de minimiser les coûts, de manière organisée. Elle facilite également l'analyse des ressources existantes et leur répartition pour améliorer l'efficacité de leur utilisation, accroître le revenu agricole et favoriser le bien-être des familles agricoles. La planification agricole constitue une approche qui introduit des changements bénéfiques dans l'organisation et le fonctionnement de l'exploitation, en faisant d'elle une unité viable et prospère.

1.2 Agriculture durable

L'agriculture durable est un système agricole qui vise à produire des aliments tout en protégeant l'environnement, en maintenant la santé et le bien-être des animaux d'élevage et

en améliorant le bien-être économique et social des agriculteurs et des communautés rurales.

L'agriculture durable se concentre sur l'utilisation efficace des ressources naturelles, telles que l'eau, les sols et la biodiversité, pour assurer une production agricole à long terme et une résilience face aux chocs économiques, environnementaux et climatiques.

Pour mettre en œuvre des pratiques agricoles durables, les agriculteurs peuvent adopter des techniques telles que la gestion intégrée des cultures, l'agroforesterie, la gestion des terres, la rotation des cultures, la conservation des sols et l'utilisation d'engrais et de pesticides naturels. L'agriculture durable implique également une gestion responsable de l'eau, d'énergie et des déchets.

En somme, l'agriculture durable cherche à atteindre un équilibre entre les besoins de production alimentaire, la préservation des ressources naturelles et la durabilité économique et sociale des agriculteurs et des communautés rurales.[1]



FIGURE 1.1 – Agriculture durable

1.3 Principes du développement durable

Les trois piliers du développement durable :

- Viabilité environnementale
- Viabilité économique
- Viabilité sociale[2]

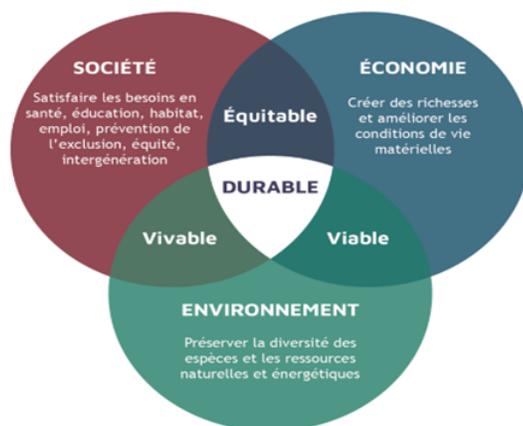


FIGURE 1.2 – Les Principes du développement durable

1.4 Classification des cultures

La classification des cultures consiste à les placer dans des gabarits taxinomiques sur une base spécifique qui facilite l'étude de ces cultures, et à les organiser en sections. Chaque section regroupe des cultures qui se ressemblent selon la base utilisée dans la classification. La base ici peut être biologique, économique, climatiques ou autres. La disposition des plantes et des cultures dans un groupe de classifications est la suivante :

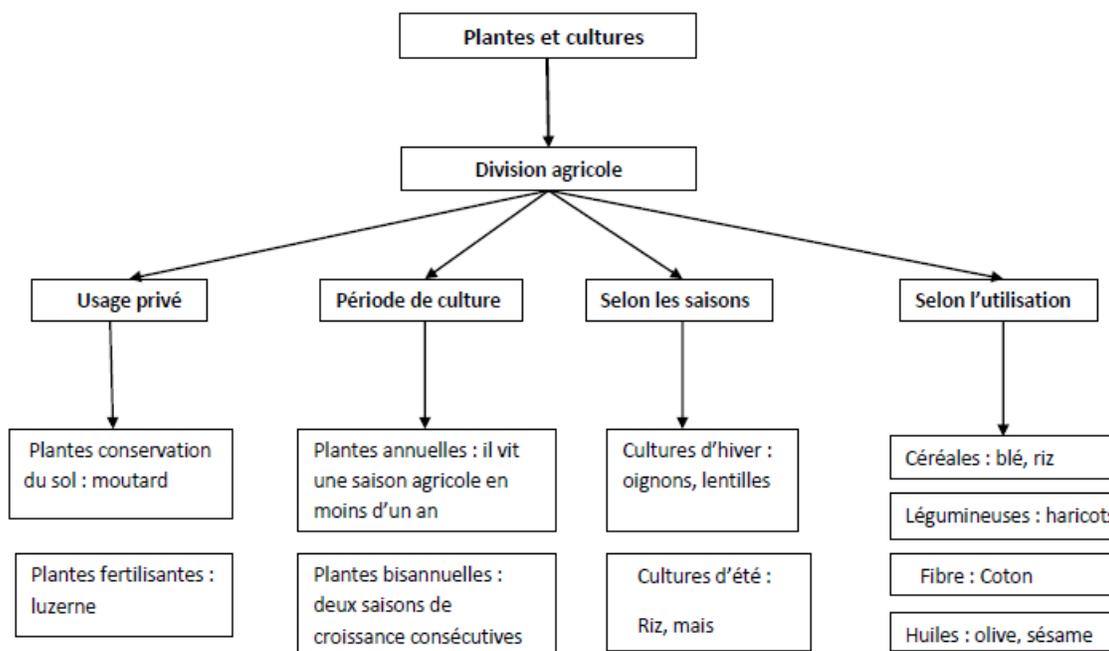


FIGURE 1.3 – Classification des cultures

1.5 Définition de la planification agricole

La planification agricole est un processus d'allocation des ressources rares de la ferme pour organiser la production agricole de manière à augmenter l'efficacité de l'utilisation des ressources et le revenu de l'agriculteur.

La planification agricole est un processus qui consiste à décider dans le présent ce qu'il faut faire à l'avenir concernant la meilleure combinaison de cultures et de bétail à élever grâce à l'utilisation rationnelle des ressources.

La planification agricole est principalement un processus de choix ou de choix parmi alternatives compétitives, Il s'agit de divers ajustements que l'agriculteur apporte à l'existant Organisations[3].

La planification agricole aide...

- examiner la situation actuelle des ressources.
- identifier les différents besoins d'approvisionnements des plans existants et améliorés.
- connaître les besoins de crédit du nouveau régime.
- donner une idée du revenu espéré.
- fournir un revenu en espèces à des moments où ils peuvent être le plus nécessaire à la ferme.



FIGURE 1.4 – planification agricole

1.6 Importance de la planification agricole

L'importance de la planification agricole peut être examinée par son utilité. Compte tenu de cela, les choses suivantes sont très importantes (Avantages) :

- 1). Il permet à l'agriculteur d'atteindre ses objectifs relativement à sa ferme et à sa famille de façon plus organisée.
- 2). Il permet d'examiner attentivement les ressources existantes et leur meilleure affectation.
- 3). Il aide les agriculteurs à prendre des décisions en ce qui concerne la sélection des cultures, le cheptel sous différentes cultures et le type et le nombre d'animaux vivants à maintenir.
- 4). Il aide l'agriculteur à déterminer ses besoins en matière d'intrants et de crédit.
- 5). Il aide à estimer les coûts et les rendements futurs[3].

1.7 Étapes de la planification agricole

1. Planification

La planification est une fonction essentielle du processus de gestion, et il est faite pour l'avenir, et les objectifs de la planification doivent être clairs, notant que la planification est une fonction dynamique et changeante, ce qui signifie que tous les plans sont temporaires et susceptibles d'être modifiés[4].

1.1 Caractéristiques d'un bon plan agricole

Un bon plan agricole devrait généralement présenter les caractéristiques suivantes :

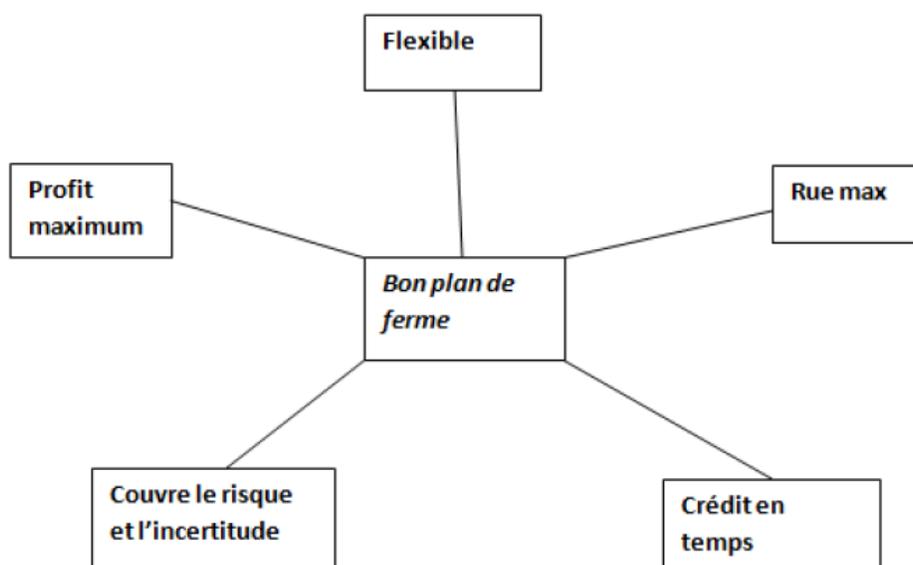


FIGURE 1.5 – Caractéristiques d'un bon plan agricole

2. mise en œuvre

Une fois qu'un plan est élaboré, il doit être mis en œuvre ou mis en mouvement
Pour mettre en œuvre, doit :

- 1). Acquérir les ressources nécessaires au plan et superviser le processus.
 - **Terrain** : emplacement, topographie, type de sol, fréquence, drainage
 - **Main-d'œuvre** : type, disponibilité, spécialité, capacité, coût
 - **Capital** : construction, machines
 - **Institutionnel** : zone adaptée à la canne à sucre, mais contrat d'achat auprès de la sucrerie a respecté, mais interdit
 - **Personnel** : expériences, goûts et aversions
 - **Rotations** : max, surface minimale sous des cultures spécifiques, maintien du sol, fertilité
- 2). la coordination, Trouver, achetait et organisait[4].

3. Contrôle

Le contrôle est fonction "feedback"

Pour contrôler, doit :

- observation
Voir si les objectifs sont atteints
- Problèmes ?
Prix et autres changements résultats réels attendus
- Rétroaction
Planification continue du cycle, implémentation, suivi et enregistrement des progrès, réévaluation[4].

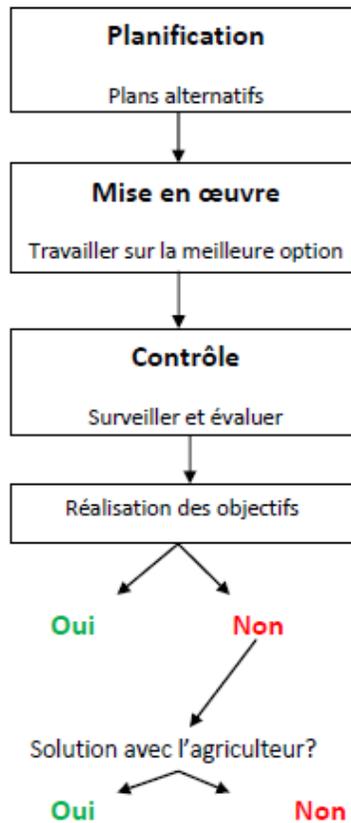


FIGURE 1.6 – Étapes de la planification agricole

1.8 Les méthodes de la planification agricole

Nous trouvons des moyens de travailler avec la nature lorsque nous élevons des cultures et du bétail en nous concentrant sur des éléments tels que la biodiversité, la santé des sols, la lutte antiparasitaire environnementale et la conservation de l'eau, Il utilise des pratiques telles que :

1. Agroforesterie

L'agroforesterie implique la croissance d'arbres et d'arbustes parmi les cultures ou les pâturages. Les systèmes agroforestiers peuvent combiner les pratiques agricoles et forestières pour une utilisation durable, productive et diversifiée des terres lorsqu'ils sont abordés de façon durable.

Dans les systèmes agroforestiers, les arbres créent un microclimat favorable qui maintient une température et une humidité du sol favorables, tout en protégeant les cultures contre le vent ou les fortes pluies. Les arbres jouent un autre rôle important. Ils stabilisent les sols, réduisent le ruissellement des éléments nutritifs et améliorent la structure du sol. C'est la raison pour laquelle l'agroforesterie est devenue l'un des outils puissants des agriculteurs dans les régions sèches avec des sols sensibles à la désertification.

En plus de favoriser une croissance saine des cultures vivrières et de maintenir la fertilité du sol, les arbres de ce système agricole fournissent du bois et des fruits comme source de revenus supplémentaires pour les agriculteurs. Dans ces systèmes, les possibilités de diversification des produits sont nombreuses. Les agriculteurs peuvent aller jusqu'à cultiver toute une forêt comestible[5].



FIGURE 1.7 – Méthode Agroforesterie

2. Rotation des cultures

Cette technique tente de reproduire les principes naturels pour obtenir les meilleurs rendements.

La rotation des cultures est basée sur la culture d'une série de différents types de cultures dans la même zone au cours de saisons séquentielles. La rotation prévue peut varier d'une saison de croissance à quelques années, voire plus. C'est l'une des stratégies de lutte agricole les plus efficaces pour prévenir la perte de fertilité du sol.

Nous utilisons le même exemple où nous pouvons cultiver des pois pendant un an dans un champ, c'est-à-dire qu'il y a une accumulation d'azote, puis l'année suivante, nous plantons du maïs au même endroit, donc le maïs bénéficie de cet azote qui s'accumule dans le sol[6].

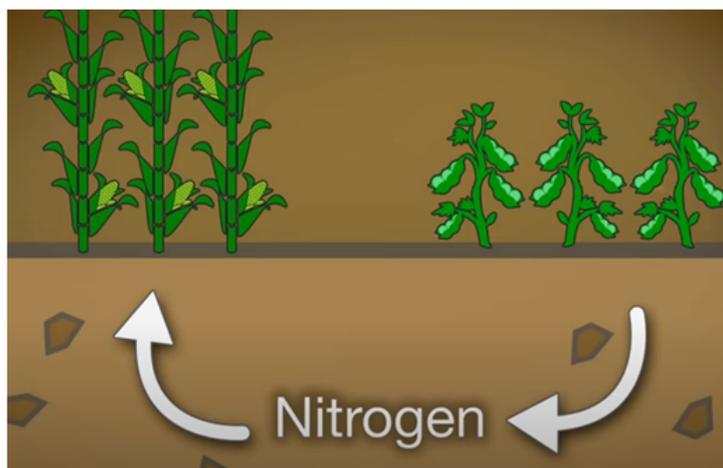


FIGURE 1.8 – Technique de la rotation des cultures

3. Cultures intercalaires

Lorsque deux ou plusieurs types de cultures sont cultivés dans le même chant, et en même temps, pour améliorer l'interaction synergique entre eux, par exemple :

‘Maïs et pois ‘ le maïs a besoin de beaucoup d'azote du sol, tandis que les pois fixent l'azote et que les organismes apparentés aux plantes de pois fixent l'azote dans le sol, donc la plantation de ces deux plantes ensemble profite au sol.

1.9 Rotation des cultures

Le terme rotation de culture fait référence aux cultures et aux séquences des cultures et à la gestion techniques utilisées sur un terrain particulier sur une période de plusieurs années. Le système de culture est l'élément le plus important d'une agriculture, est une composante importante d'un système de culture, et représente le modèle de culture utilisé sur une ferme et leur interaction avec les ressources agricoles, les autres entreprises agricoles et la technique disponible qui déterminent leur composition.

En diversifiant les cultures qui sont cultivées sur une superficie de polycultures et en faisant la rotation des cultures, les agriculteurs peuvent réduire considérablement les risques des maladies et des ravageurs. C'est parce que leurs cycles de développement sont

interrompus par un changement de culture. Ces pratiques permettent également de réduire la nécessité d'appliquer des engrais et des pesticides[7].

Le cours agricole est appelé la culture principale et la durée de son occupation de la terre.

Par exemple : coton triple, ce qui signifie que la culture principale est le coton et la durée du cycle sont de 3 ans.

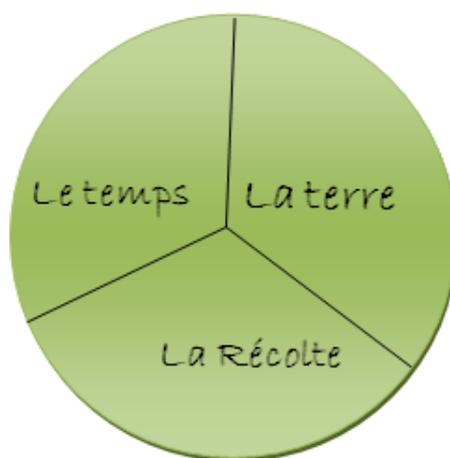


FIGURE 1.9 – Rotation des cultures

1.9.1 La planification de la rotation des cultures

La planification de la rotation des cultures quant à elle, est un calendrier de culture qui affiche le temps de production de chaque culture.

Soit $G (V, A)$ un graphe connexe représentant les parcelles d'une zone de cultures, où l'ensemble des sommets V représente les parcelles et A l'ensemble tels que $(u, v) \in A$ si u et v sont adjacentes, en considérant que deux parcelles sont dites adjacentes lorsqu'elles partagent une limite. La figure suivante nous montre une zone de 5 parcelles et son graphe associé.



FIGURE 1.10 – Le problème de la planification de la rotation des cultures

1.9.2 Avantages du Rotation des cultures

- Réduction de la prévalence des ravageurs sociaux : mauvaises herbes, insectes, champignons nuisibles.
- Stimulation la fertilité du sol.
- Utilisation des aliments stockés dans différentes couches de la Terre.
- Conservation de la matière organique par le sol.
- Organisation de gestion agricole :
 - 1). Répartition du travail agricole tout au long de l'année.
 - 2). Ne pas compter sur une seule culture à la ferme : autrement dit, la perte d'une culture peut être compensée par un gain dans une autre culture.
- Répartition des revenus tout au long de l'année et des années de cours.
- Vulnérabilité des agriculteurs aux pertes.
- Economisassions de main-d'œuvre.
- Restauration la fertilité du sol et le protéger de l'érosion[8].

1.9.3 Conditions du Rotation des cultures

- La superficie de chaque culture doit rester constante d'une saison à l'autre jusqu'à la fin du cycle
- Le cours contient une culture fourragère verte pour l'alimentation des animaux.
- Le cours contient une culture cultivée à distance pour effectuer des opérations ornementales afin de réduire la propagation des mauvaises herbes.
- Éviter de cultiver successivement des cultures similaires[8].

1.9.4 Étapes de conception du Rotation des cultures

1. Sélectionner la liste des cultures : les cultures de cours sont sélectionnées selon le type de sol et la région en matière de proximité ou de distance des marchés et des groupements résidentiels ou à proximité des usines et aussi par la température ...
2. Déterminer la taille de chacun à la lumière des prix relatifs des cultures.
3. Calculer la durée du cycle entre la culture principale de la terre et sa replantation au même endroit.

$$\text{(nombre d'années de session)} = \frac{\text{Durée de la session}}{\text{Durée du séjour de la culture principale dans le sol}} = \frac{\text{Durée du séjour de la culture principale dans le sol}}{\text{Proportion de terres occupées}}$$

4. Déterminer le nombre de sections du cours :

$$\text{Nombre de partitions} = \frac{\text{Culture principale}}{\text{La durée du cycle}}$$

5. Répartir les cultures dans le cycle par superficie et localisation.
6. Mettre en œuvre le cycle agricole et s'assurer qu'il répond aux exigences et atteint les objectifs.

1.9.5 Classification de rotation culture

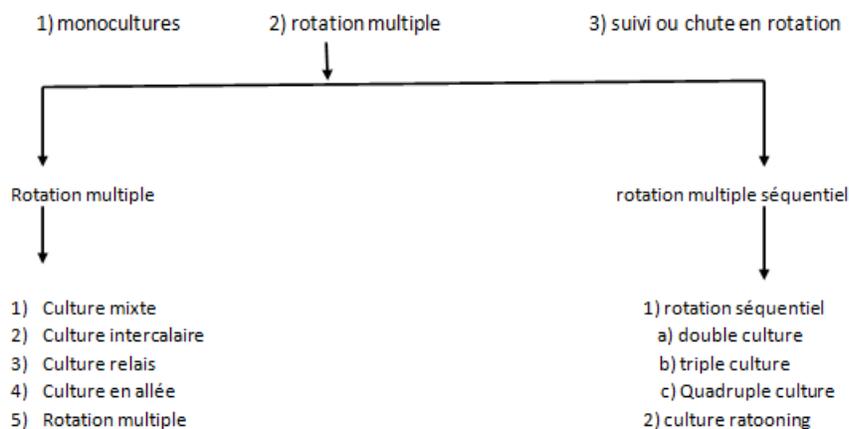


FIGURE 1.11 – Classification de rotation culture

1.9.6 Risques et défis de la rotation des cultures

Le tournant des cultures ou la rotation des cultures présente de nombreux avantages pour la santé des sols et la production agricole, mais il peut également être confronté à des risques et des défis. Voici quelques-unes des principaux risques et défis associés au tournant des cultures :

- 1). **Épuisement des nutriments du sol** : si les mêmes cultures sont cultivées dans une zone agricole année après année, les nutriments du sol nécessaires à leur croissance peuvent être épuisés. Cela peut entraîner une diminution des rendements et une baisse de la qualité des cultures.
- 2). **Ravageurs et maladies** : la culture répétée des mêmes cultures dans une zone peut également favoriser la propagation des ravageurs et des maladies spécifiques à cette culture. Le tournant des cultures peut aider à prévenir cela en réduisant la concentration de ces ravageurs et maladies dans une zone.
- 3). **Coût de production élevé** : le tournant des cultures peut entraîner des coûts de production plus élevés pour les agriculteurs, en raison de la nécessité de diversifier les cultures et de mettre en place des pratiques de gestion du sol spécifiques pour chaque culture.
- 4). **Réduction des rendements** : si les cultures choisies pour le tournant des cultures ne sont pas bien adaptées à la zone agricole ou si les pratiques de gestion ne sont pas appropriées, cela peut entraîner une réduction des rendements et une baisse de la qualité des cultures.
- 5). **Complexité de la planification** : le tournant des cultures nécessite une planification minutieuse et une gestion efficace pour éviter les risques associés à la culture répétée des mêmes cultures. Cela peut nécessiter des compétences et des connaissances spécifiques, ainsi que des outils de planification sophistiqués.
- 6). **Pression économique** : dans certains cas, les agriculteurs peuvent être confrontés à des pressions économiques pour cultiver les mêmes cultures chaque année en raison de la demande du marché ou des subventions gouvernementales. Cela peut rendre difficile la mise en place de pratiques de tournant des cultures durables [9].

1.10 Conclusion

La planification agricole joue un rôle crucial dans la réussite et la croissance d'une entreprise agricole. En adoptant une approche méthodique et en utilisant les outils appropriés, les agriculteurs peuvent maximiser leurs rendements, minimiser les risques et garantir une utilisation efficace des ressources disponibles. Ce chapitre offre une vision d'ensemble des principes et des méthodes de planification agricole, en mettant l'accent sur leur pertinence et leur application pratique dans le contexte agricole moderne.

Optimisation de la planification agricole

2.1 Introduction

Au fil des années, de nombreuses recherches ont été menées pour développer des techniques avancées et des modèles de planification culturale plus efficaces.

Dans ce chapitre, nous avons parlé de l'utilisation et de l'application des techniques mathématiques en agriculture parce qu'elles jouent un grand rôle dans la planification et la résolution des problèmes de décision. Parce que les approches mathématiques pour résoudre les problèmes agricoles sont souvent représentées comme une méthode complexe avec une structure plus élevée, ils ne sont pas utilisés autant qu'ils peuvent l'être. Nous discuterons des modèles développés dans de véritables études de cas agricoles.

2.2 Problème de l'optimisation combinatoire

L'optimisation combinatoire (ou discrète) est une branche très importante en recherche opérationnelle, en mathématiques appliquées et en informatique. Elle comprend un grand nombre des problèmes d'optimisation combinatoire difficiles [Papadimitriou and Steiglitz, 1998] issus d'applications réelles dans différents domaines tels que l'industrie, la finance ou l'agriculture l'objectif de ces problèmes combinatoires consiste à trouver une meilleure solution dans un espace fini et discret de solutions réalisables, qui respectent un ensemble des conditions, dites aussi contraintes. L'évaluation d'une solution est effectuée à l'aide d'une fonction dite fonction objective.

Une meilleure alternative (solution optimale) est une solution réalisable qui minimise ou maximise, selon le contexte, la fonction objective. Face à la résolution d'un problème d'optimisation, il est important d'identifier à quelle classe des problèmes il appartient.

2.3 Les méthodes d'optimisation combinatoire

D'une façon générale, les problèmes d'optimisation combinatoire sont souvent, simples et faciles à définir mais pratiquement très difficiles à résoudre surtout à l'optimalité. Jusqu'à ce jour, il n'existe aucune solution algorithmique efficace qui est valable pour toutes les données. La complexité d'un tel algorithme dépend de la taille de l'espace de recherche et peut s'augmenter d'une façon exponentielle, pour cela, les chercheurs s'orientent vers l'approximation pour trouver des solutions acceptables et de bonne qualité qui sont proches de l'optimales, dans un temps d'exécution raisonnable, au lieu de chercher la solution optimale qui nécessite des temps de calcul exagérément longs.

Au cours des ans, plusieurs méthodes exactes et approchées ont été proposées, une classification de telles approches est résumée dans la figure (2.1).

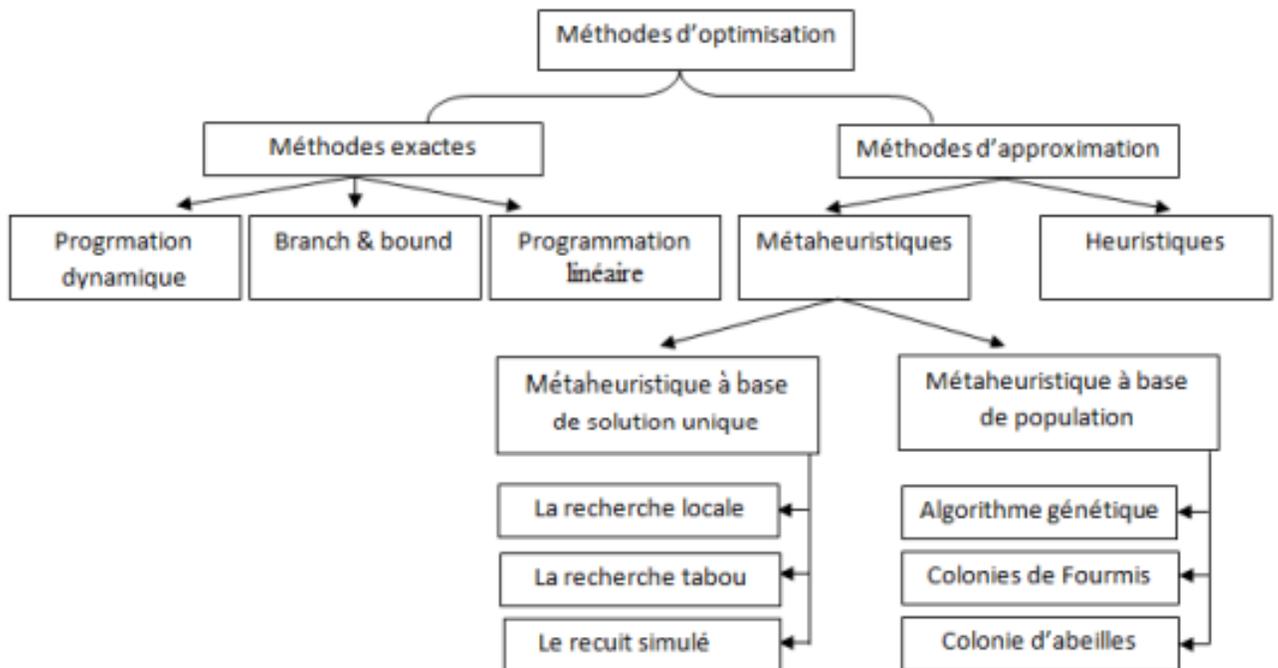


FIGURE 2.1 – Classification des méthodes d’optimisation combinatoire .

Enfin, les méthodes d’optimisation sont réparties en deux groupes :

2.3.1 Méthode exacte

Destinée à introduire des solutions optimales, pour cela, l’espace de recherche est explorée d’une manière exhaustive pour trouver la solution optimale si elle existe, ou de prouver autrement l’inconsistance du problème.

2.3.1.1 La programmation linéaire en variable continue

a). La programmation linéaire

Le modèle de programmation linéaire est une technique qui étudie la fonction objective linéaire maximale ou minimale sous plusieurs restrictions pour obtenir des solutions optimales. Et le modèle a été appliqué dans le secteur agricole pour optimiser les modèles de culture ainsi que les allocations des ressources (eau, terres, engrais, etc.). La PL n’est pas un concept nouveau car elle était répandue il y a des décennies. Il a été développé avant la Seconde Guerre mondiale par un mathématicien soviétique A. N. Kolmogorov en 1945.

Avant le modèle de programmation linéaire, les agriculteurs devaient se fier à des méthodes traditionnelles qui comportaient des essais et des expériences passées pour résoudre tout problème auquel ils étaient confrontés, comme l'engagement des ressources sur les terres disponibles. Aujourd'hui, l'informatique change les méthodes traditionnelles en modélisant les problèmes les plus réels comme des problèmes de PL et en trouvant des solutions optimales. Ainsi, les agriculteurs peuvent utiliser le modèle de PT rapidement et facilement pour prendre les bonnes décisions plutôt que les méthodes traditionnelles. Par exemple, [10] a utilisé un modèle de PT pour affecter les ressources agricoles. Ils ont fait une comparaison entre les solutions PL et les solutions traditionnelles. Ils ont obtenu une solution plus élevée lorsqu'ils ont utilisé le modèle PL. D'autre part, la programmation linéaire ne garantit pas toujours des solutions optimales, mais il existe des solutions réalisables. Par exemple, [11] a élaboré un plan optimal d'attribution des terres pour améliorer la productivité agricole dans différentes cultures d'hiver en utilisant la méthode simplex de programmation linéaire. Il a observé que la solution existante était la moins rentable. Finalement, il a obtenu une solution différente où il a obtenu Rs. 103340,82, soit 1,785 fois plus que le bénéfice net précédent si la superficie totale est de 8,25 ha et que la culture de lentilles y est plantée. La production est la planification des cultures non seulement une application de la PL, mais il y a divers problèmes réels liés à différentes applications qui peuvent être formulées comme la PL comme le problème de la composition des aliments, le plan de rotation des cultures, l'eau et l'attribution des terres, la transformation des produits agricoles, et la quantité d'engrais et ainsi de suite. Ces problèmes peuvent être résolus par le modèle PL et c'est pourquoi le modèle est crucial.

b). Utilisation du modèle PL

Le modèle est applicable pour déterminer la solution optimale pour sélectionner ou combiner des projets agricoles afin de maximiser les revenus ou de réduire les coûts dans les limites des ressources disponibles. C'est une méthode alternative à la méthode traditionnelle, qui est "essai et erreur" que les agriculteurs souffraient de l'utiliser. Il y a trois principales raisons d'utiliser le modèle de PL pour résoudre la plupart des problèmes qui surviennent dans les fermes :

- 1). Accroître la rentabilité de la production agricole des petits agriculteurs et les aider à répondre aux besoins de production des cultures vivrières, et les encourager à utiliser les ressources environnementales [12].

- 2). Utilisé pour optimiser le profit, pour examiner si le profit a augmenté ou non après la mise en œuvre du modèle [13], [14].
- 3). Utilisé les types du modèle de PL, comme le programme de buts flous, pour résoudre leurs problèmes dans le domaine agricole, ou l'ambiguïté et le flou influent sur la prise de décision par nombreux chercheurs [15], [16].

c). Formulation du modèle PL

Cette étude est fondée sur l'optimisation en appliquant le modèle PL, qui est une méthode mathématique de résolution des problèmes impliquant la quantité à optimiser (maximisé ou minimisé) lorsque certaines contraintes sont ajoutées à cette quantité. Cette section donne un aperçu de la méthode PL. Il est considéré comme la technique la plus populaire dans la recherche opérationnelle pour les modèles avec des objectifs et des contraintes qui sont toutes des fonctions linéaires. Il se compose de trois composantes de base : les variables de décision qui détermineront l'objectif (but) fonction, maximisation ou minimisation, et les contraintes que la solution doit satisfaire. La fonction objective est une expression mathématique qui combine les variables de décision et leurs coefficients pour obtenir la solution optimale.

La forme la plus générale d'un problème de PL est la suivante :

$$(PL) \left\{ \begin{array}{ll} Opt z = \sum_{j=1}^n c_j x_j & (1.1) \\ \sum_{j=1}^n t_{ij} x_j \leq d_i & i = 1, \dots, p & (1.2.a) \\ \sum_{j=1}^n t_{ij} x_j = 1 & i = p + 1, \dots, m & (1.2.b) \\ x_j \geq 0 & j = 1, \dots, q & (1.3) \end{array} \right.$$

avec c_j , t_{ij} , d_i constantes et x_j variables.

(1.1) : fonction économique ou fonction objectif.

(1.2) : contraintes réelles.

(1.3) : contraintes de non-négativité (ou de restriction de signe).

Ces notations seront adoptées durant toute cette partie. Ainsi une fois pour toutes :

- Il y aura n variables notées $x_j (j = 1, \dots, n)$.
- Z représente la fonction à optimiser.
- c_j est le coefficient de la variable x_j dans cette fonction z .

- $i(i = 1, \dots, m)$ est l'indice des m contraintes réelles (équations ou inéquations) ; t_{ij} et d_i représentent respectivement le coefficient de la variable x_j dans la contrainte i (appelé coefficient technologique) et le terme indépendant (ou seconde membre) de cette contrainte .

les notation vectorielles suivantes seront indispensables :

$x = (x_1, \dots, x_n)$	vecteur colonne ($n * 1$)
$c = (c_1, \dots, c_n)$	vecteur ligne ($1 * n$)
$d = (d_1, \dots, d_n)$	vecteur colonne ($m * 1$)
$T = (t_{ij}; i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n)$	matrice ($m * n$)
$T_i = (t_{i1}, \dots, t_{in})$	vecteur ligne ($1 * n$) de la matrice T
$t_j = (t_{1j}, \dots, t_{mj})$	vecteur colonne ($m * 1$) de la matrice T

d). Résoudre les problèmes agricoles en appliquant la programmation linéaire

Dans la plupart des problèmes de planification agricole, la PT a été utilisée dans différents domaines, comme l'allocation des ressources limitées, y compris la superficie des terres, la disponibilité de l'eau et de la main-d'œuvre, le capital accordé, etc. qui vise à maximiser le revenu net. Il évalue les ressources existantes et propose ensuite des solutions appropriées fondées sur une analyse quantitative. En général, il existe une grande variété d'applications de la PT en agriculture. La figure suivante illustre la plupart des programmes linéaires utilisés en agriculture.

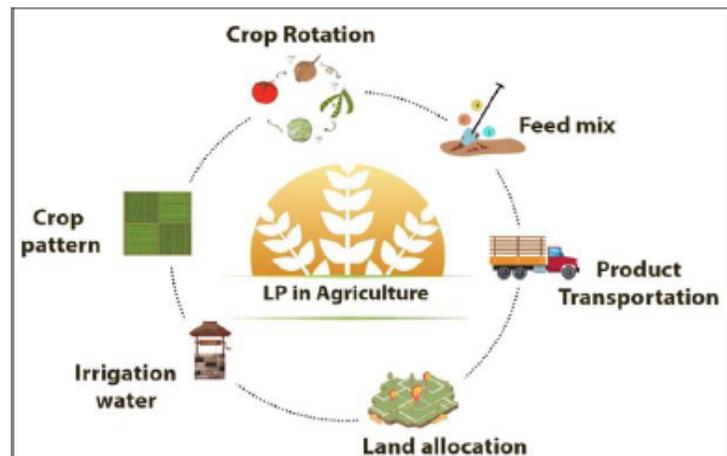


FIGURE 2.2 – programmation linéaire en agriculture.

e). Discussion

D'après les données qualitatives, il est évident que le modèle de programmation linéaire est répandu dans la recherche opérationnelle. Waugh (1995) d'abord utilisé pour optimiser les rations alimentaires et déterminer les rations les moins chères pour l'alimentation et le bétail. Habituellement, les problèmes résolus par PL ont un but qui vise à maximiser ou minimiser un objectif spécifique, généralement les coûts, les revenus ou le revenu net. L'algorithme simplex a été utilisé pour résoudre des nombreux problèmes du monde réel. C'est l'approche classique pour résoudre les problèmes d'optimisation de la programmation linéaire pour trouver une valeur de fonction maximale ou minimale dans un ensemble des contraintes. Plusieurs chercheurs ont constaté que la PL avec une méthode Simplex aide à obtenir un plan d'attribution des terres optimales [17], [18] Ils ont constaté que cela améliorerait la productivité agricole et augmentait les bénéfices lorsque la superficie totale allouée était augmentée. Le modèle de programmation linéaire à nombres entiers mixtes à également été utilisé dans le mélange alimentaire, le plan de rotation des cultures et la planification et l'ordonnancement de l'eau d'irrigation [19], [20]. Cette méthode peut donner un résultat optimal constant, et les exploitants agricoles étaient satisfaits de ce modèle. D'autre part, les modèles de programmations linéaires entiers peuvent déterminer la superficie optimale pour la culture de différentes cultures. Une comparaison a été faite entre PL et PLE qui donne un aperçu des cultures qui se développeront dans la bonne zone de terre [21].

Toutes les applications de la PL ont été discutées pour résoudre les problèmes dans des régions spécifiques et identifier la solution optimale réalisable sous plusieurs restrictions. Le tableau ci-dessous résume ces applications dans un domaine différent et montre comment la PL a contribué à résoudre le problème dans différentes études.

Auteur	Année	Méthodologie	Portée	Objectif	Contrainte
Sarker et al	1997	programmation linéaire	ferme	max contribution totale	Demande alimentaire, terres, capitaux, garantie pour éventualités, superficie et importation
Rizab Shakir Mahmoud Abdul Karim	2019	programmation linéaire	Ferme Al-Rasheed/ Hamorabi à Bagdad	Accroître la productivité de l'exploitation et le revenu, min water consumption	ressources disponibles, Application de la rotation agricole , eau
Rani	2012	programmation linéaire	programmation linéaire	Profit maximum, coût des intrants min & consommation d'eau min	Terre, eau, exigence de rendement minimum-maximum Terre, eau, exigence de rendement minimum-maximum
Sarker et Lingard	2002	programmation linéaire	Pays (Bangladesh)	Contribution maximale du secteur agricole	Contribution maximale du secteur agricole Terres, capital, superficie et importations consolidées, besoins alimentaires minimaux
Mortazavi et al.	2014	programmation linéaire	Pays (Iran)	Revenu brut maximum, emploi maximum, consommation minimale d'eau	Terre, travail, eau

TABLE 2.1 – Les travaux antérieurs liés à programmation linéaire des plans de culture.

f). Outils de programmation linéaire

Différents outils essentiels à l'optimisation des modèles de programmation linéaire. Ceux-ci incluent des logiciels comme LINDO, LINGO, et TORA...peuvent être mentionnés. Le tableau 2. 2 montre certains des logiciels utilisés dans la modélisation mathématique.

Progiciels	Quelques caractéristiques
Solveur MS Excel	Disponible avec MS Excel, facile à utiliser, fenêtre basée, aide en ligne disponible, non applicable pour les problèmes complexes
Systèmes quantitatifs pour Business Plus (QSB+, WinQSB) https://win-qsб.jaleco.com	Gratuit, facile, disponible à la fois pour DOS et Windows OS, facile à suivre pour les débutants mais pas d'options à l'avance pour les utilisateurs expérimentés, manuel disponible
Systèmes quantitatifs de gestion des opérations (QSOM)	Manuel gratuit, facile, basé sur DOS, payant disponible sur impression
Optimisation linéaire interactive discrète (LINDO-API /LINGO) http://www.lindo.com	Version de démonstration gratuite, facile, stochastique Fonctionnalités de programmation, fenêtre basée, API avec compatibilité MATLAB, analyser les modèles infaisables et illimités, LINDOAPI créer des applications web et intranet, manuel disponible
Solveur de programme linéaire (lèvres) http://linearprogram-solveur.soft112.com	Gratuit, facile, basé sur la fenêtre, prend en charge l'analyse de sensibilité, le but et l'entier mixte solveur de programmation
Matlab	Version de démonstration gratuite, logiciel de calcul numérique et de programmation technique, il offre des outils de visualisation de données puissants, des capacités de traitement de signal et de simulation, ainsi qu'une large gamme de boîtes à outils spécialisées.

TABLE 2.2 – Des logiciels utilisés dans la modélisation mathématique.

Le tableau 2.3 montres les objectifs de l'utilisation du modèle PL basé sur les recherches précédentes et les logiciels ont été utilisés pour atteindre leurs objectifs.

Catégories	Objectifs	Logiciel utilisé	Auteurs
Utilisation optimale des terres pour les cultures vivrières	Maximiser : Production agricole, bénéfice net, valeur actualisée nette (VAN)	Logiciel LINGO.	[22],[23],[24],[25].
Formulation optimale	Minimiser Le prix du mélange.	CPLEX Studio IDE, logiciel TORA	[26],[27],[28].
Combinaison optimale de cultures	Maximiser : Bénéfices, revenus, rendements nets	LINGO, MS Office Excel, logiciel LINDO.	[29],[30],[31],[32].
Rotation optimale des cultures	Maximiser Revenu net total minimiser Coûts par rotation des cultures	MS Office Excel, logiciel Xpress Optimiser.	[33],[34],[35].
Répartition économique de l'eau de culture par mois	Maximiser : Bénéfice net, productivité de l'eau. Minimiser la demande à la tête du canal.	Logiciel LINDO.	[36],[37],[38].

TABLE 2.3 – Les objectifs de l'utilisation du modèle PL.

2.3.1.2 La programmation linéaire en variable entière

a). Programmation linéaire en variables 0-1

Un problème de programmation linéaire (PL) en variables 0-1 est un problème d'optimisation où les variables sont binaires et la fonction objective et les contraintes sont tous linéaires. Sa formulation mathématique, dans sa forme canonique, est la suivante :

$$\max \sum_{i=1}^n c_i x_i \quad (1.1)$$

$$s.c. \sum_{i=1}^n a_{ki} x_i \leq b_k \quad k = 1, \dots, m \quad (1.2)$$

$$x_i \in \{0, 1\} \quad i = 1, \dots, n \quad (1.3)$$

avec $c \in \mathbb{R}^n$ vecteur de coûts, $b \in \mathbb{Z}^m$ vecteur des termes constants des contraintes et $A \in \mathbb{Z}^{n \times m}$ matrice des coefficients des contraintes, où n est le nombre de variables et m est le nombre de contraintes. Les éléments de l'ensemble $S = \{x \in \{0, 1\}^n | Ax \leq b\}$ représentent les solutions réalisables du problème (un vecteur x qui respectent toutes les contraintes (1.2) et (1.3)). Les éléments de l'ensemble S qui maximisent la fonction objectif (1.1) sont les solutions optimales du modèle.

Le tableau ci-dessous résume des travaux antérieurs liés à l'optimisation des plans de

culture avec la programmation linéaire en variable 0-1

Auteur	Problème ciblé	Méthodologie	Objectif	Contrainte
Santos et al. (2008) [39]	si la culture i est plantée pendant la période j dans la parcelle k	PL en variable 0-1	l'occupation totale de la parcelle définie dans la planification de la rotation des cultures. Cultures d'engrais verts dans la profession totale	assure une limitation spatiale et temporelle dans le modèle, empêchant deux cultures d'occuper le même endroit en même temps. Évitez de planter des cultures de la même famille dans la même parcelle sans perturber la séquence
Aliano, Florentino e Pato (2014) [40]	si la culture i est plantée pendant la période j dans la parcelle k	PL en variable 0-1	réduire l'érosion pendant la rotation des cultures, maximiser les bénéfices de la séquence des cultures.	éviter de planifier les cultures de la même famille dans les parcelles adjacentes. empêcher les cultures de la même famille d'être ensemencées consécutivement dans une parcelle. Limitation spatiale et temporelle, qui empêche les cultures d'occuper simultanément la même parcelle,
Forrester e Rodriguez (2018) [41]	si la culture i est plantée pendant la période j dans la parcelle k	PL en variable 0-1	minimisant la demande non satisfaite, ils essaient d'atteindre la demande prévue du marché	la demande prévue du marché. l'épuisement des éléments nutritifs du sol, la lutte contre les mauvaises herbes et le type d'irrigation utilisé.

TABLE 2.4 – les travaux précédents dans la méthode programmation linéaire en variable 0-1

b). Branch and Bound

Branch et bound est un paradigme de conception d'algorithme qui est généralement utilisé pour résoudre des problèmes d'optimisation combinatoire. Ces problèmes sont géné-

ralement exponentiels en termes de complexité du temps et peuvent nécessiter d'explorer toutes les permutations possibles dans le pire des cas. La technique de l'algorithme de branche est lié résout ces problèmes relativement rapidement

Dans le tableau suivant, nous pouvons résumer les travaux antérieurs les plus importants qui lient le domaine de la planification des cultures à cette méthode.

Auteur	Année	Méthodologie	objectif	Portée
Agnès plateau Laurent alfandari Xavier schepler	2011_2013	Algorithme Branch and Price	Minimiser le nombre de parcelle	Ferme biologie
Laurent alfandari Agnès plateau Xavier schepler	2014	Algorithme Branch and price and cut	Minimiser le nombre de parcelle	Ferme biologie

TABLE 2.5 – Les travaux précédents dans la méthode de branch and bound .

2.3.2 Méthode approchée

Si le problème est très compliqué pour avoir une solution exacte, alors on cherche une solution approximative pour gagner du temps . Ces méthodes explorent une sous-partie de l'espace de recherche

2.3.2.1 Les heuristiques et les métaheuristiques

Une heuristique est une stratégie de bon sens pour se déplacer intelligemment dans l'espace des solutions, afin d'obtenir une solution approchée, la meilleure possible, dans un délai de temps raisonnable.

Deux types d'heuristiques sont principalement utilisées : les heuristiques de construction (par exemple les méthodes gloutonnes), qui construisent itérativement une solution, et les heuristiques de descente, qui à partir d'une solution donnée cherchent un optimum local.

Les heuristiques sont dépendantes du problème à résoudre, principalement dans le choix du voisinage (donc dans le déplacement dans l'espace des solutions).

Des heuristiques plus poussées ont été mises au point et ont donné naissance à une nouvelle famille d'algorithmes : les métaheuristiques. Le but d'une métaheuristique, est de réussir à trouver un optimum global. Pour cela, l'idée est à la fois de parcourir l'espace de recherche, et d'explorer les zones qui paraissent prometteuses ; mais sans être « piégé » par un optimum local.

Les métaheuristiques sont souvent inspirées de processus naturels et sont de plus en plus hybridées avec d'autres méthodes de recherche opérationnelle. Les principales métaheuristiques utilisées pour résoudre des problèmes à variables discrètes sont :

- 1). le recuit simulé, qui explore l'espace de recherche tout en acceptant de dégrader sa solution afin de sortir des optima locaux. Tout au long du processus, le recuit va de moins en moins accepter ces dégradations, ce qui va le faire converger vers un optimum (que l'on espère) global.
- 2). la recherche avec tabous, qui a l'inverse du recuit simulé est déterministe et a une notion de mémoire. Le choix du meilleur voisin d'une solution pousse l'algorithme à trouver les optima locaux ; et comme l'exploration de l'espace de recherche est effectuée en limitant le voisinage de la solution en rendant « tabous » certains mouvements, l'algorithme doit théoriquement visiter l'optimum global.
- 3). les algorithmes évolutionnaires, issus de la théorie de l'évolution de Darwin, qui manipulent plusieurs solutions en même temps, et qui en les combinant forment de nouvelles solutions. Le fait d'avoir une population de solutions facilite l'exploration de l'espace de recherche, et les meilleures solutions seront favorisées pour participer à la création de nouvelles solutions ce qui aura pour effet de favoriser les combinaisons des « bonnes caractéristiques », et donc de trouver un optimum global.

Le tableau ci-dessous résume des travaux antérieurs liés à l'optimisation des plans de culture avec les méthodes précédentes

Auteur	Année	Méthodologie	objectif	Portée
Amy peerlinck John Sheppard Julie pastorino Bruce Maxwell	2019	Algorithme Génétique	Minimiser les Sauts et maintenir la stratification	Champs de blé d'hiver dans le Montana
Oliver musshoff Norbert hirshauer	2009	Simulation de monte Carlo et algorithme génétique	Calculer la position de risque inconnue de l'agriculteur	Ferme agricole Allemande
Amir Abbas Bakhtiari H-Navid J Mehri Dionysis D Bochtis	2019	L'optimisation des colonies de fourmis	la génération itinéraires optimaux pour la couverture de la zone de champ	Zone

TABLE 2.6 – les travaux précédents dans les méthodes approchées.

2.4 Conclusion

La programmation linéaire et l'optimisation offrent des outils puissants pour une planification agricole efficace. En utilisant ces approches, les agriculteurs peuvent prendre des décisions éclairées, améliorer leur rentabilité et leur productivité, tout en contribuant à une utilisation durable des ressources. L'intégration de ces méthodes dans les pratiques agricoles modernes peut ouvrir de nouvelles opportunités pour le secteur agricole, favorisant une agriculture plus efficace, rentable et respectueuse de l'environnement.

Étude cas : modélisation et formulation du problème

3.1 Introduction

Ce chapitre aborde l'étude de cas sur la modélisation et la formulation du problème dans le domaine agricole. Nous allons illustrer comment utiliser des techniques de modélisation pour représenter efficacement les aspects clés d'un problème de planification agricole spécifique. La modélisation du problème consiste à identifier les variables, les contraintes et l'objectif de manière claire et concise. Cela permet de formuler le problème de manière mathématique et de le résoudre à l'aide d'outils d'optimisation.

Dans notre étude, nous formulons à l'aide de la PL le problème de planification culturale en utilisant des variables telles que les cultures, les surfaces allouées, les rendements attendus, les contraintes de ressources et les objectifs de maximisation ou de minimisation.

3.2 Direction des intérêts agricoles de Bordj Bou Arreridj

La direction des intérêts agricole fait partie des instances gouvernementales et vise à soutenir et développer le secteur agricole. La direction fournit des renseignements, des ressources et un soutien technique aux agriculteurs, y compris des semences, engrais, machines agricoles, pesticides, de la formation et des conseils pour accroître la productivité et améliorer la qualité des produits.

En outre, la direction cherche à développer des projets et programmes agricoles durables, à promouvoir la technologie dans l'agriculture, à soutenir l'innovation et la recherche agricoles, à promouvoir l'exportation et à renforcer l'économie locale. La direction collabore avec le secteur privé et les associations locales pour atteindre ces objectifs et soutenir les agriculteurs et les agricultrices.

Il opère dans l'état depuis la scission administrative de 1994. Situé dans le centre ville, ses employés sont répartis comme suit :

- Cadres techniques (vétérinaires, Ingénieurs, Techniciens).
- Administrateurs.
- Agents d'exécution (gardiens, agents de prévention et de sécurité).
- Travailleurs temporaires.

En ce qui concerne la chambre d'état, au niveau du district et de la municipalité, il y a 9 divisions représentées dans ces intérêts, qui sont sous l'autorité directe du directeur général.

1	Al-Hamadia	Al Hamadia , Al ash, Rabta, ksour.
2	Bordj EL-Ghedir	Bordj EL-Ghedir, Belimour, Ghilassa, Taglait ,Al anasser.
3	Bordj Bou Arreridj	Bordj Bou Arreridj.
4	Mansourah	Mansourah, El- mhir , Ouled Sidi brahim , haraza, Ben Daoud.
5	Medjana	Medjana, T El-nasr , Al achir .
6	Hasnaoua	Hasnaoua, Ouled Dahmane , Tassmeurt , Bordj Zemoura.
7	Ain taghrout	Ain taghrout, Bir kasdali, khelil , Sidi mbarek.
8	Ras el oued	Ras el oued, Ouled brahem, Textin, Ain tasser.
9	Al Djaafrah	Al Djaafrah, Al maine, Tefreg , Colla.

TABLE 3.1 – Les divisions de direction des intérêts agricoles de Bordj Bou Arreridj

3.2.1 Le rôle de la direction

La direction a plusieurs tâches, notamment :

- 1). Orientations agricoles.
- 2). Développement de l'agriculture dans le sol de l'État.
- 3). Recueil des statistiques.
- 4). Mise en œuvre et suivi des programmes paysans.

3.2.2 Structure organisationnelle de la direction

L'aperçu suivant illustre la structure organisationnelle de la direction :

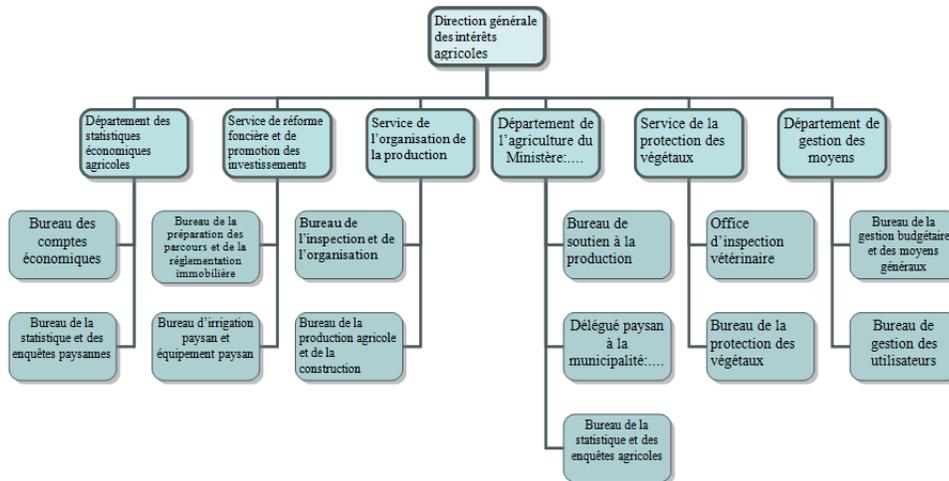


FIGURE 3.1 – Structure organisationnelle de la direction des intérêts agricoles B-B-A

3.2.3 Sous-section agricole de Medjana

L'unité de l'agriculture fait partie de la structure organisationnelle ou de l'institution agricole du gouvernement et son rôle est de fournir un soutien et des services aux agriculteurs et aux paysans locaux. Le Ministère s'intéresse au développement du secteur agricole et à l'amélioration de la qualité de la production agricole et de l'efficacité du travail du secteur. Ce division s'occupent des préoccupations des paysans, trouvant des solutions à leurs problèmes dans le cadre des pouvoirs qui leur sont conférés, l'organisation du cycle agricole, car elle constitue une partie importante du travail agricole et comprend la planification et la mise en œuvre des diverss processus liés à la production agricole, y compris la culture des plantes, gestion du pâturage, élevage, récolte des cultures, préparation des sols, nettoyage des champs et des terres et autres processus de base.

Ainsi, la sous-section agricole identifie les méthodes agricoles durables et encourage les agriculteurs à appliquer, ce qui contribue à améliorer la productivité agricole et à réduire l'impact environnemental négatif de l'agriculture sur la région.

Chef de l'unité agricole de Madjana M . Ait Muammar Ali, situé au milieu de l'état.



FIGURE 3.2 – Localisation de la commune dans la wilaya de Bordj Bou Arreridj

3.3 Présentation de lieu de stage

Département de la statistique et des comptes économiques :

Il s'occupe de la collecte des statistiques et des enquêtes paysannes, de la préparation des rapports et des cartes annuelles, ces statistiques reposent sur : la production agricole, le développement des investissements agricoles, le nombre de travailleurs dans le secteur agricole, la superficie agricole exploitée...etc.

qui se compose de deux bureaux :

- Bureau des comptes économiques.
- Bureau de la statistique et des enquêtes paysannes.

3.4 collection des données

L'ensemble des données a été compilé conformément au tableau(3.2) les superficies , production des culture...etc. Sont estimés en fonction des domaines actuels et conseils des experts.

Le tableau (3.3) et (3.4) et (3.5), (3.6) illustre un ensemble de données. Les variables sont explicites.

Article	Description
Emplacement	Medjana
Nombre de quartiers	Medjana-T Ennasr-Colla-Teffreg-Djaafra-El Main.
Nombre de variables	Rendements nets par ha, Quantité Minimale d'engrais, Quantité Maximale d'engrais, superficies des cultures, prix d'engrais, Production des cultures, Prix et Besoins des semences
Nombre de cultures	Tomates- Oignons – Haricots Vert – Melon – Piments – Courgettes – Choux Vert – Navet- Ails – Salade – Fèves verts

TABLE 3.2 – Description du jeu de données

Le tableau (3.3) présente la liste complète des cultures, le schéma de culture existant et le calendrier cultural en fonction de l'environnement et des pratiques agricoles dans la région. Une valeur de « 1 » signifie que la terre peut être cultivée par une culture au cours du mois civil spécifié.

Cultures	Zone (ha)	jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Tomates	31	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
Oignons	67	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Haricots vert	8	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Melon	16	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
Piments	21	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
Poivrons	10	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Courgettes	15	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
Choux vert	6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Navet	13	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Ails	25	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
Salade	16	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Fèves verts	12	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0

TABLE 3.3 – Cultures et calendrier respectif des cultures utilisées dans le modèle

Cultures	Quantité Mini-male d'engrais azotés (kg/ha)	Quantité Maxi-male d'engrais azotés (kg/ha)	Quantité Mini-male d'engrais phosphatés (kg/ha)	Quantité Maxi-male d'engrais phosphatés (kg/ha)	Quantité Mini-male d'engrais potassiques (kg/ha)	Quantité Maxi-male d'engrais potassiques (kg/ha)	Prix de Vente (DA/kg)
Tomates	50	100	50	80	100	150	80
Oignons	50	150	50	80	100	150	90
Haricots vert	100	150	50	80	100	150	160
Melon	100	160	50	75	80	120	70
Piments	50	100	50	75	80	120	70
Poivrons	120	160	50	80	130	150	60
Courgettes	30	100	50	80	60	120	70
Choux vert	50	100	60	90	50	100	50
Navet	100	120	40	60	20	40	70
Ails	100	150	60	90	100	150	300
Salade	50	100	50	75	80	120	60
Fèves verts	50	100	50	75	30	50	120

TABLE 3.4 – Illustration de l'ensemble de données pour les exemples de cultures sélectionnés

Surface(ha)	Medjana	T Ennasr	Colla	Teffreg	Djaafra	El Main
Tomates	10	2	2	2	3	12
Oignons	16	7	7	6	13	18
Haricots vert	2	1	1	1	1	2
Melon	6	1	1	1	3	6
Piments	4	3	3	3	4	4
Poivrons	2	2	1	1	2	2
Courgettes	3	2	2	1	3	4
Choux vert	1	1	1	1	1	1
Navet	2	3	2	2	2	2
Ails	7	3	3	2	4	6
Salade	3	2	3	2	3	3
Fèves verts	2	2	2	2	2	2

TABLE 3.5 – Superficies des cultures maraichère

Production qx	Medjana	T Ennasr	Colla	Teffreg	Djaafra	El Main
Tomates	320	200	200	200	240	640
Oignons	1530	600	600	430	1110	1360
Haricots vert	80	0	94	0	90	0
Melon	300	0	300	0	100	0
Piments	100	90	90	95	95	100
Poivrons	100	85	85	85	85	85
Courgettes	320	80	160	80	240	320
Choux vert	150	150	150	150	150	150
Navet	200	200	200	200	200	200
Ails	105	35	35	35	70	105
Salade	80	80	80	80	80	80
Fèves verts	90	90	90	90	90	90

TABLE 3.6 – Production des cultures maraichère

Parenté botanique	Légumes
Solanacées	Tomates, Piments, poivrons
Alliacées	Oignons, Ails
Cucurbitacées	Melon, Courgettes, Navet
Fabacées	Haricots Verts, Fèves verts
Brassicacées	Choux Verts
Astéracées	Salade

TABLE 3.7 – Classification des légumes selon leur parenté botanique

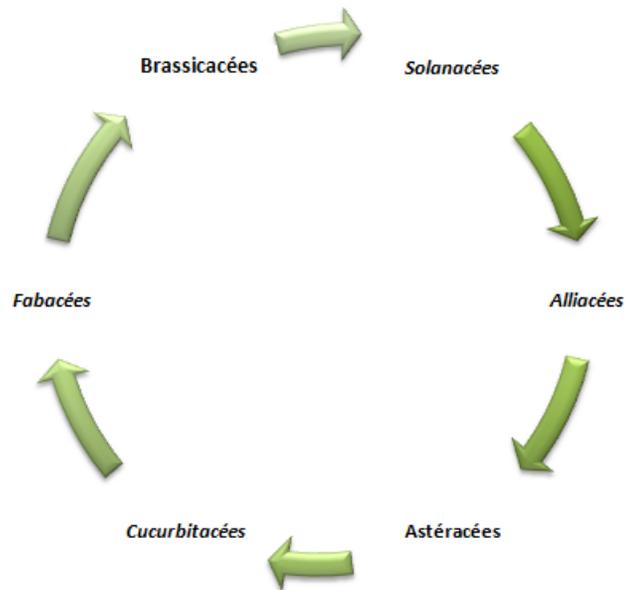


FIGURE 3.3 – Rotation des cultures sur le terrain selon la classification des familles

3.5 Le Modèle Proposé

3.5.1 Nomenclature modèle

Il s'agit d'une description d'un modèle mathématique pour la planification des cultures dans une ferme. Les différentes variables et paramètres définis dans le modèle sont les suivants :

ENSEMBLES ET INDICES

Culture=1...N

i est l'indice sur l'ensemble des cultures.

Ferme= 1...M.

K est l'indice sur l'ensemble des parcelles.

Mois = 1...j

l est l'indice sur l'ensemble des mois.

Paramètres

$Surf_k$ =Surface cultivable de la ferme K (unité de surface).

L_{ik} =Production de la culture i dans la parcelle k.

T_i =Cycle de la production de la culture i de la semence a la récolte (unité de temps).

P_i = Rendement typique des cultures i.

D_i = Demande pour la culture i (rendement de la culture i).

Cn =Cout type de l'engrais azoté.

Cp = Cout type de l'engrais phosphoré.

Cr = Cout type de l'engrais potassique.

$FN_{min i}$ = Apport minimum d'engrais azoté pour la culture i.

$FN_{max i}$ = Apport maximum d'engrais azoté pour la culture i.

$Fp_{min i}$ = Apport minimum d'engrais phosphoré pour la culture i.

$Fp_{max i}$ = Apport maximum d'engrais phosphoré pour la culture i.

$Fr_{min i}$ = Apport minimum d'engrais potassique pour la culture i.

$Fr_{max i}$ = Apport maximum d'engrais potassique pour la culture i.

P = bénéfices nets du régime des cultures.

FN_i = Quantité d'engrais azoté moyenne nécessaire pour la culture i.

FP_i = Quantité d'engrais phosphoré moyenne nécessaire pour la culture i.

FR_i = Quantité d'engrais potassique moyenne nécessaire pour la culture i.

A_{ik} = Allocation de superficie pour la culture i a la parcelle k.

a_{il} = Coefficient de calendrier des culture pour la culture i et la mois l.

$$a_{il} = \begin{cases} 0 & \text{si la culture } i \text{ dans le mois } l \text{ ne se produit pas} \\ 1 & \text{sinon} \end{cases}$$

S_i = Début de plantation pour la culture i.

E_i =Fin de récolte pour la culture i.

Cs_i = Cout des semences pour la culture i .

C_i = Quantité nécessaire des semences pour la culture i .

Remarque 3.1.

$$FN_i = (FN_{max\ i} + FN_{min\ i})/2$$

$$FP_i = (FP_{max\ i} + FP_{min\ i})/2$$

$$FR_i = (FR_{max\ i} + FR_{min\ i})/2$$

Ces équations sont utiles pour déterminer les quantités moyennes d'engrais phosphoré et potassique, azoté nécessaires pour une culture spécifique, en prenant en compte à la fois les valeurs minimales et maximales recommandées. Cela permet de fournir des niveaux adéquats de ces éléments nutritifs essentiels aux plantes, contribuant ainsi à leur croissance et à leurs développements sains.

Variables de décision :

X_{ikl} = Variable d'allocation de cultures ou :

$$X_{ikl} = \begin{cases} 1 & \text{si on semencé la culture } i \text{ dans la parcelle } k \text{ et durent le mois } l \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

X_{ikl} est le variable "drapeau" qui garde une trace du moment et de l'endroit ou les cultures sont plantées.

Le Modèle Mathématique

La fonction objective

$$Max\ p = \sum_{i=0}^N \sum_{k=0}^M \sum_{l=0}^J sur\ f_k * l_{ik} * p_i * X_{ikl} - \sum_{i=0}^N \sum_{k=0}^M (FN_i * Cn + FP_i * Cp + FR_i * Cr) * sur\ f_k - \sum_{i=0}^N \sum_{k=0}^M Csi * c_i * sur\ f_k \quad (1)$$

La fonction (1) donnée est une fonction objective pour un problème d'optimisation linéaire. Elle a pour but de maximiser le bénéfice net total de la production agricole sur un ensemble des cultures, parcelles et de moi. Plus précisément, elle est composée de trois termes :

- Le premier terme correspond aux bénéfices générés par la production agricole.
- Le deuxième terme correspond aux coûts des engrais azoté, phosphoré et potassique.
- Le troisième terme correspond aux coûts des semences.

L'objectif global de cette fonction est de maximiser la quantité des bénéfices nets en soustrayant les coûts des engrais et des semences des revenus générés par la production agricole. Le problème d'optimisation linéaire consisterait donc à trouver les valeurs optimales des variables X_{ikl} (qui indiquent quelles cultures sont cultivées dans quelles parcelles pendant quels mois) pour maximiser la fonction objective.

Contraintes :

$$\sum_{i=0}^N \sum_{k=0}^M \sum_{l=0}^J A_{ik} * X_{ikl} \leq Surf_k \quad (2)$$

Cette contrainte garantit que la superficie totale allouée à toutes les cultures dans une parcelle k et un mois l est inférieure ou égale à la superficie cultivable totale de la parcelle k .

$$\sum_{i=0}^N \sum_{k=0}^M \sum_{l=0}^J Surf_k * y_{ik} * X_{ijk} \geq D_i \quad (3)$$

Contrainte (2) est une contrainte de satisfaction de la demande. Elle permet de s'assurer que la production agricole est en mesure de satisfaire les besoins du marché ou des consommateurs pour chaque culture spécifique.

$$\sum_{k=0}^M X_{ikl} \geq 1 \quad i = 1...N; l = 1...j \quad (4)$$

$$\sum_{i=0}^N X_{ikl} = 1 \quad l = 1...j; k = 1...M/M < 6 \quad (5)$$

$$\sum_{i=0}^N X_{ikl} \geq 1 \quad l = 1...j; k = 1...M/M \geq 6 \quad (6)$$

La troisième contrainte (équation 4) garantit que pour chaque culture i , il doit exister au moins une parcelle k dans laquelle cette culture est cultivée pendant chaque mois l .

La quatrième contrainte (équation 5) garantit que chaque parcelle de terre est utilisée pour cultiver exactement une culture au cours de chaque mois.

La cinquième contrainte (équation 6) limite le nombre total des parcelles de terre qui peuvent être utilisées pour cultiver Cela signifie qu'il doit y avoir au moins une culture

cultivée dans chaque parcelle pendant chaque mois.

$$X_{ikl} + X_{ik(l+1)} \leq 1 \quad i = 1 \dots N; k = 1 \dots M; l = 1 \dots j - 1 \quad (7)$$

Si pendant le mois l , la culture i est cultivée dans la parcelle k , alors la culture i ne peut pas être cultivée dans la parcelle k pendant mois $l + 1$

$$X_{1kl} + X_{5kl} + X_{6kl} - X_{2k(l+1)} - X_{10k(l+1)} \leq 0 \quad k = 1 \dots M; l = 1 \dots j - 1 \quad (8)$$

Si pendant le mois l , tomates ($i = 1$) ou piments ($i = 5$) ou poivrons ($i = 6$) appartenant à une famille de Solanacées est cultivé dans la parcelle k , alors pendant le mois $l + 1$, oignons ($i = 2$) ou Ails ($i = 10$) appartenant à une famille de Alliées, doit être cultivé dans la parcelle k .

$$X_{2kl} + X_{10kl} - X_{4k(l+1)} - X_{7k(l+1)} - X_{9k(l+1)} \leq 0 \quad k = 1 \dots M; l = 1 \dots j - 1 \quad (9)$$

Si pendant le mois l , oignons ($i = 2$) ou Ails ($i = 10$) appartenant à une famille de Alliées est cultivé dans la parcelle k , alors pendant le mois $l + 1$, Melon ($i = 4$), ou Courgettes ($i = 7$), ou Navet ($i = 9$) appartenant à une famille de Cucurbitacées, doit être cultivé dans la parcelle k .

$$X_{4kl} + X_{7kl} + X_{9kl} - X_{3k(l+1)} - X_{12k(l+1)} \leq 0 \quad k = 1 \dots M; l = 1 \dots j - 1 \quad (10)$$

Si pendant le mois l , Melon ($i = 4$), ou Courgettes ($i = 7$), ou Navet ($i = 9$) appartenant à une famille de Cucurbitacées, est cultivé dans la parcelle k , alors pendant le mois $l + 1$, Haricots Verts ($i = 3$), Fèves verts ($i = 12$) appartenant à une famille de Fabacées, doit être cultivé dans la parcelle k .

$$X_{3kl} + X_{12kl} - X_{8k(l+1)} \leq 0 \quad k = 1 \dots M; l = 1 \dots j - 1 \quad (11)$$

Si pendant le mois l , Haricots Verts ($i = 3$), Fèves verts ($i = 12$) appartenant à une famille de Cucurbitacées, est cultivé dans la parcelle k , alors pendant le mois $l + 1$, Choux Verts ($i = 8$) appartenant à une famille de Brassicacées, doit être cultivé dans la parcelle k .

$$X_{8kl} - X_{11k(l+1)} \leq 0 \quad k = 1 \dots M; l = 1 \dots j - 1 \quad (12)$$

Si pendant le mois l , Choux Verts ($i = 8$) appartenant à une famille de Brassicacées, est cultivé dans la parcelle k , alors pendant le mois $l + 1$, salade ($i = 11$) appartenant à une famille de Astéracées doit être cultivé dans la parcelle k .

$$X_{11kl} - X_{1k(l+1)} - X_{5k(l+1)} - X_{6k(l+1)} \leq 0 \quad k = 1 \dots M; l = 1 \dots j - 1 \quad (13)$$

Si pendant le mois l , salade ($i = 11$) appartenant à une famille de Astéracées est cultivé dans la parcelle k , alors pendant le mois $l + 1$, tomates ($i = 1$) ou piments ($i = 5$) ou poivrons ($i = 6$) appartenant à une famille de Solanacées doit être cultivé dans la parcelle k .

Les équations (8) à (13) introduisent des contraintes supplémentaires qui régissent les relations entre les cultures appartenant à différentes familles botaniques et leur rotation dans les parcelles au fil des mois.

Ces contraintes assurent une rotation spécifique des cultures en fonction de leur famille botanique, favorisant ainsi une gestion efficace des ressources, la prévention des maladies et la promotion de la diversité des cultures.

$$\sum_{k=0}^M \sum_{l \in j / \{S_i \dots E_i\}} X_{ikl} = 0 \quad i = 1 \dots N \quad (14)$$

Cette contrainte est utilisée pour respecter les calendriers de plantation et de récolte spécifiques pour chaque culture, en évitant une culture continue dans une même parcelle tout au long de l'année.

La contribution potentielle du modèle formulé est l'intégration de la séquence des cultures avec les variations spatiales et temporelles, tout en tenant compte des contraintes agronomiques.

Le modèle produit la séquence des cultures et la superficie allouée pour chaque culture simultanément en utilisant un seul modèle.

3.6 Conclusion

L'étude de cas de modélisation et de formulation du problème démontre l'importance et l'efficacité des techniques de modélisation mathématique dans le domaine de la planification agricole. En utilisant ces outils, les agriculteurs et les planificateurs peuvent prendre des décisions basées sur des informations quantitatives et optimiser les résultats de leurs activités agricoles. Cela conduit à une meilleure utilisation des ressources, à une meilleure rentabilité et à une prise de décision plus.

Implémentation, Démonstration, Discussion des résultats

4.1 Introduction

Dans cette section, nous discutons de la solution du modèle de programmation linéaire binaire proposé et menons une analyse computationnelle afin de maximiser le rendement net accumulé à la fin du cycle de rotation. Le modèle a été implémenté en utilisant MATLAB, et le solveur utilise l'algorithme de branch and bound pour trouver les calendriers de rotation optimaux. L'étude porte sur 12 cultures appartenant à 6 familles de vieilles terres à Medjana.

Le modèle d'optimisation complet comprend 864 variables binaires avec 36 contraintes linéaires, dont 24 contraintes d'inégalité et 12 contraintes d'égalité. Il peut être résolu en moins de 15 minutes.

Ce problème est un problème d'optimisation combinatoire avec des variables entières, spécifiquement un problème d'affectation pour l'affectation des cultures aux parcelles pendant les mois.

Le résultat du problème montre que la branche peut obtenir un bénéfice de 695100000 DA, utilisation totale des terres est 25 hectares.

Pour résoudre ce problème à l'aide de MATLAB, nous utilisons la fonction prédéfinie 'intlinprog'. Cette fonction utilise des techniques avancées d'optimisation pour explorer efficacement l'espace des solutions et trouver la meilleure combinaison des variables entières qui satisfait toutes les contraintes et maximise l'objectif donné.

La fonction 'intlinprog' peut être personnalisée en spécifiant des options supplémentaires pour affiner le processus de résolution. Par exemple, nous pouvons définir des limites de temps pour la résolution, des tolérances pour la précision de la solution, ainsi que des méthodes de branchement pour améliorer l'efficacité de la recherche.

En résumé, en utilisant 'intlinprog' dans MATLAB, nous bénéficions d'une fonctionnalité puissante pour résoudre des problèmes d'optimisation combinatoire avec des variables entières. Nous pouvons ajuster les paramètres et les options pour obtenir des résultats optimaux dans des délais raisonnables.

4.2 Listing de code source

Nous expliquerons comment traduire la fonction objective de modèle en code informatique.

Nous utiliserons un langage de programmation populaire Matlab

```
function[f1] = objectives(surf ,l,y,cn,cp,cr,cs,c,A,D,fnmax,fnmin,frmax,
frmin,fpmax,fpmin,n,ll,z,a)
%Listing 1
%calcul de la première partie de la fonction objective (gain)
f1=[];
part1=[];
    for i=1 :n
        for k=1 :ll
            for u=1 :z
                part1= [part1 surf(k).*l(i).*y(i,k).*a(i,u)];
            end
        end
    end
end
```

```
%Listing 2
%calcul de la deuxième partie de la fonction objective (engrais)
part2=[];
for i=1 :n
    for k=1 :ll
        for u=1 :z
            part2= [part2
((fnmax(i)+fnmin(i))./2.*cn.*surf(k)+(fpmax(i)+fpmin(i))./2*cp.*surf(k)+(fr
max(i)+frmin(i))./2*cr.*surf(k)).*a(i,u)];
            end
        end
    end
end
%Listing 3
%calcul de la troisième partie de la fonction objective
part3=[];
for i=1 :n
    for k=1 :ll
        for u=1 :z
            part3= [part3 cs(k).*c(k).*surf(k).*a (i,u)];
            end
        end
    end
end
%calcul de la fonction objective
f1=vertcat(f1 ,-(part1-part2-part3) )
f1=-f1
end % function _objective
```

4.3 Discussion des résultats

	Medjana	T Ennasr	Colla	Teffreg	Djaafra	El Main
Tomates		X	X	X	X	
Oignons						
Haricots vert	X	X		X	X	X
Melon	X	X	X		X	X
Piments	X	X	X			X
Poivrons	X	X	X	X		X
Courgettes	X	X	X	X		X
Choux vert		X	X	X	X	X
Navet	X		X	X	X	X
Ails				X	X	X
Salade	X	X	X	X	X	
Fèves verts	X	X	X	X	X	

TABLE 4.1 – Résultats de la distribution des cultures sur les parcelles

Le tableau fournit les résultats de la distribution des cultures sur les parcelles dans différentes régions (Medjana, T Ennasr, Colla, Teffreg, Djaafra, El Main).

La présence d'un "X" indique que la culture n'existe pas dans la zone correspondante. Voici un exemple d'interprétation pour chaque culture et région :

. Medjana : les cultures présentes son tomates, oignons, choux vert.

Ce tableau permet de visualiser la répartition des cultures sur les parcelles dans les différentes régions, en indiquant quelles cultures sont présentes et sur combien de parcelles elles sont cultivées.

	jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Medjana	Tomates											
	Oignons											
		Choux vert										
	Ails											

TABLE 4.2 – Cultures maraîchères en medjana avec sa calendrier

	jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	
T Ennasr		Oignons											
								Navet					
						Ails							

TABLE 4.3 – Cultures maraîchères en T Ennasr avec sa calendrier

	jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Colla		Oignons										
		Haricots vert										
						Ails						

TABLE 4.4 – Cultures maraîchères en colla avec sa calendrier

	jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Teffreg		Oignons										
			Melon									
			Piments									

TABLE 4.5 – Cultures maraîchères en Teffreg avec sa calendrier

	jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Djaafra		Oignons										
			Piments									
			Poivrons									
			Courgettes									

TABLE 4.6 – Cultures maraîchères en djaafra avec sa calendrier

	jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
El Main			Tomates									
			Oignons									
		Salade										
					Fèves verts							

TABLE 4.7 – Cultures maraîchères en El main avec sa calendrier

	Medjana	T Ennasr	Colla	Teffreg	Djaafra	El Main
Tomates	10	-	-	-	-	12
Oignons	16	7	7	6	13	18
Haricots vert	-	-	1	-	-	-
Melon	-	-	-	1	-	-
Piments	-	-	-	3	4	-
Poivrons	-	-	-	-	2	-
Courgettes	-	-	-	-	3	-
Choux vert	1	-	-	-	-	-
Navet	-	3	-	-	-	-
Ails	7	3	3	-	-	-
Salade	-	-	-	-	-	3
Fèves verts	-	-	-	-	-	2
Surface alloué	34	13	11	10	22	35
Reste	24	16	17	14	19	27

TABLE 4.8 – Résultats de la répartition des superficies cultivées (ha)

Ce tableau représente la répartition des superficies cultivées pour différentes cultures dans différentes régions. Voici une explication :

- Pour chaque culture et région :
 - Le nombre indiqué représente la superficie cultivée en hectares.
 - Un "-" dans une cellule indique que la culture n'est pas cultivée dans la région correspondante.
- Voici une petite interprétation pour chaque culture et région :
 - Medjana : Les cultures cultivées sont les tomates (10 ha), les oignons (16 ha), le chou vert (1 ha) et l'ail (7 ha).
 - T Ennasr : Les cultures cultivées sont les oignons (7 ha), l'ail (3 ha) et le navet (3 ha).

La ligne "Surface allouée" indique la somme des superficies allouées pour chaque région, tandis que la ligne "Reste" indique la superficie restante non cultivée dans chaque région. Veuillez noter que certaines cultures ne sont pas cultivées dans certaines régions, ce qui explique les "-" dans certaines cellules du tableau.

Figure (4.1) représenté la planification du pourcentage de superficie à cultiver dans les différentes parcelles.

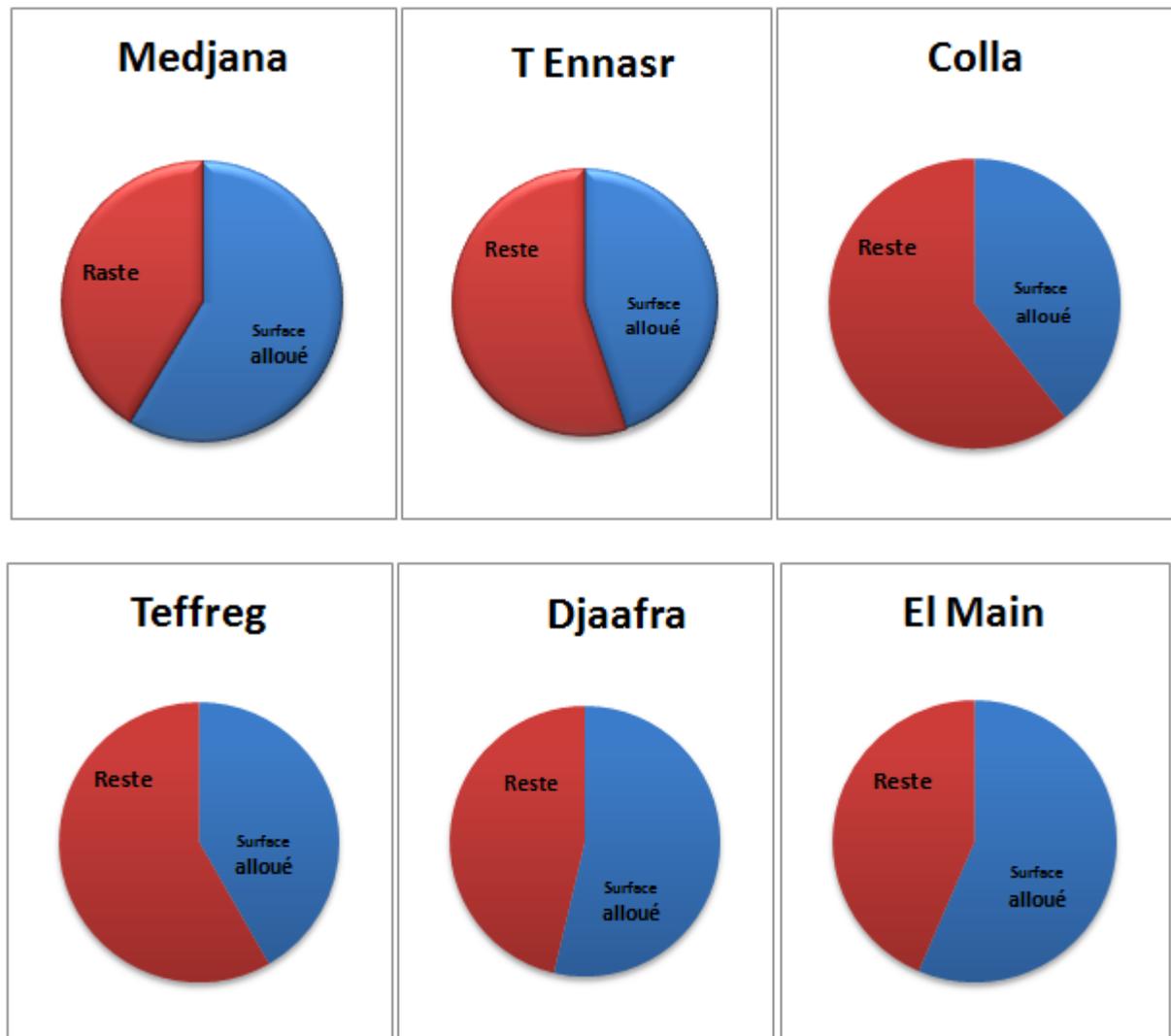


FIGURE 4.1 – Superficie plantée

	Medjana	T Ennasr	Colla	Teffreg	Djaafra	El Main
Tomates	320	-	-	-	-	640
Oignons	1530	600	600	430	1110	1360
Haricots vert	-	-	94	-	-	-
Melon	-	-	-	300	-	-
Piments	-	-	-	95	95	-
Poivrons	-	-	-	-	85	-
Courgettes	-	-	-	-	240	-
Choux vert	150	-	-	-	-	-
Navet	-	200	-	-	-	-
Ails	105	35	35	-	-	-
Salade	-	-	-	-	-	80
Fèves verts	-	-	-	-	-	90

TABLE 4.9 – Résultat de Production des cultures maraichère

Ce tableau représente les résultats de production des cultures maraîchères dans différentes régions. Voici une explication :

— Pour chaque culture et région :

- nombre indiqué représente la quantité de production.
- Un "-" dans une cellule indique que la culture n'est pas produite dans la région correspondante.

— Voici une interprétation pour chaque culture et région :

- Medjana : Les tomates ont une production de 320 tonnes.
- T Ennasr : Les oignons ont une production de 600 tonnes.

L'histogramme suivant représente les résultats globaux par tableau précédent :

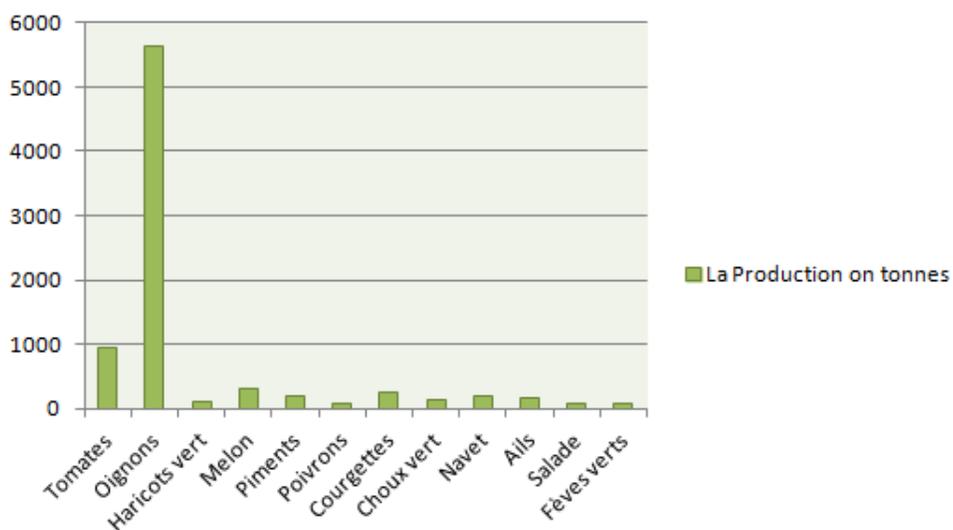


FIGURE 4.2 – La production on tonne

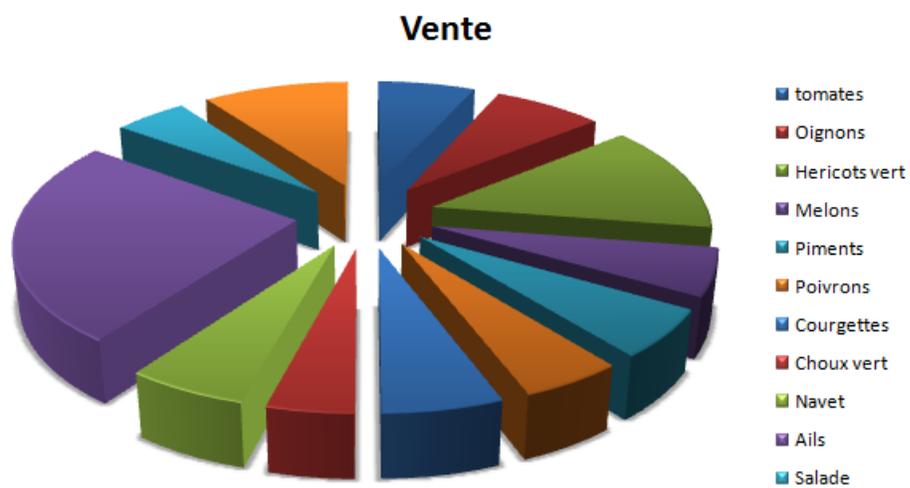


FIGURE 4.3 – Part de chaque culture

La figure (4.3) représente le part relative de chaque culture par rapport au prix du marché, ainsi que son impact sur le bénéfice global.

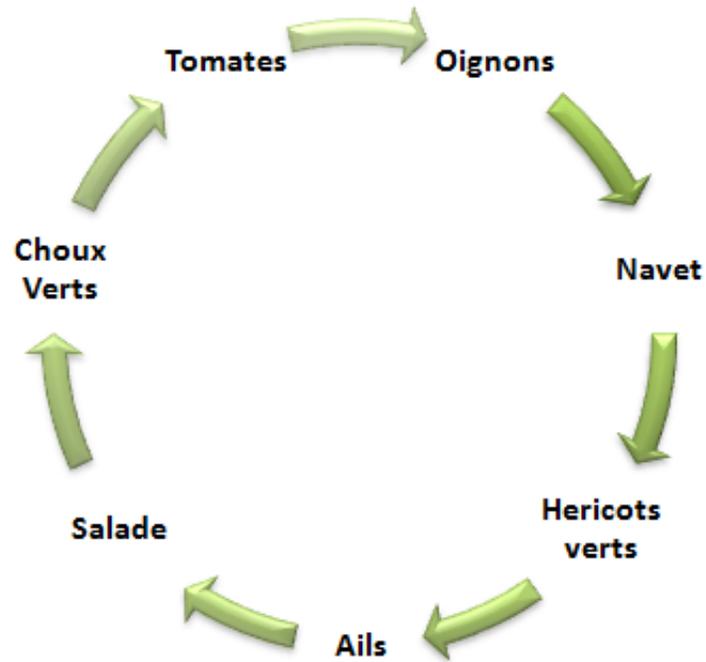


FIGURE 4.4 – Résultat de la Rotation des cultures sur le terrain variante 1

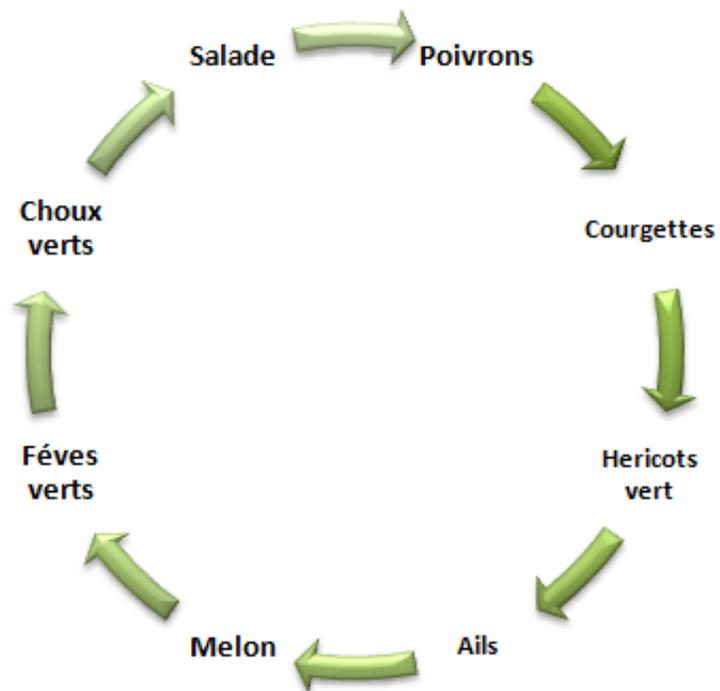


FIGURE 4.5 – Résultat de la Rotation des cultures sur le terrain variante 2

4.4 Conclusion

Ce chapitre a apporté une contribution pratique à la résolution des problèmes de planification agricole en fournissant des solutions implémentées, démontrées et discutées. Il offre une vision claire des performances et des applications réelles des méthodes présentées dans les chapitres précédents, et ouvre la voie à de futures améliorations et recherches dans ce domaine.

Conclusion générale

Nous nous sommes intéressées dans le cadre de ce mémoire à une application de la Recherche Opérationnelle au domaine de l'agriculture : le problème de planification durable des rotations culturales. Ce problème qui consiste à couvrir des demandes en diverses cultures sur un horizon de temps donné (une saison à plusieurs années), tout en minimisant l'espace de terre requis. La rotation culturale est une pratique très employée dans tous les pays du monde dont le principe est d'alterner des périodes de cultures et de jachères et permet de maintenir des rendements satisfaisants avec des engrais naturels ou chimiques en préservant les sols. La planification de la rotation des cultures est utilisée également pour maximiser les bénéfices de l'agriculteur en déterminant les calendriers optimaux des cultures. Dans ce mémoire, un modèle de programmation linéaire binaire capable de résoudre de manière optimale le problème de planification de la rotation des cultures est proposé.

L'aspect combinatoire se pose en raison des critères écologiques qui doivent être respectés dans la rotation des cultures. Ces critères comprennent certaines dates de production pour les cultures, des restrictions sur la culture de certaines cultures successivement et l'amélioration de la fertilité du sol grâce aux cultures maraichère. Les surfaces cultivées sont considérées comme un paramètre essentiel dans l'étude des problèmes de rotation des cultures.

Dans le problème considéré dans ce mémoire, l'espace agricole de la daïra de Medjana est divisé en parcelles de taille différente (suivant le nombre de communes), et l'objectif revient à minimiser le nombre de parcelles de terre utilisées en associant à chacune d'elles un plan de rotations culturales sur l'horizon fixé (une saison d'une année) tout en maximisant le profit et la fonction de gains des agriculteurs.

Deux facteurs importants devraient être inclus dans les travaux futurs afin d'obtenir des résultats plus pertinents. Premièrement, une extension du modèle pour inclure les propriétés du sol, l'irrigation déficitaire et les contraintes en ressources telles que les machines utilisées et la main-d'œuvre disponible. Deuxièmement, l'intégration de l'évaluation des risques avec son impact sur la sélection optimale des cultures.

En guise de conclusion, notre travail de recherche met en évidence l'importance cruciale de la rotation des cultures dans l'agriculture moderne. Grâce à une planification soignée et à l'utilisation de modèles d'optimisation appropriés, les agriculteurs peuvent améliorer la productivité de leurs exploitations tout en préservant la santé du sol et en favorisant la durabilité environnementale. La rotation des cultures se positionne comme une pratique essentielle pour assurer la prospérité à long terme des exploitations agricoles et contribuer à la sécurité alimentaire mondiale.

En perspective, ce travail peut être amélioré ainsi :

- Rendre le problème multi-objectif.
- Prendre en compte des facteurs très importants tels que la main d'œuvre, irrigation, effet des pesticides sur l'environnement . . . etc.
- Utiliser des algorithmes d'optimisation heuristiques et méta-heuristiques afin d'extraire les meilleurs scénarios de rotation et de planification.
- Transformation du problème actuel en un problème de MSCRP (Minimum Space Crop Rotation Planning).
- Introduction des techniques de simulation informatique qui permettent de générer aléatoirement des instances de test, afin d'éviter les difficultés de collection de données auprès des services agricoles.

Bibliographie

- [1] La FAO et le Programme de développement pour l'après-2015., Objectifs de développement durable.
- [2] Brundtland, rapport de l'UICN ,1980.
- [3] Haveman,R,2015,FARM PLANNING.
- [4] Farm planning and control - Elements of planning, Farm level management information systems.
- [5] Ebenezer.A,Degrande.A,Tchoundjeu.Z,Apollinaire.B,Berandette.H,Cyrille.H,Salvator.K,Agroforesterie et domestication des arbres en Afrique centrale.
- [6] Keith R. Baldwin, Crop Rotations on Organic Farms(1914).
- [7] Saskia .H, Harm. B, Jan .S (Delphy, The Netherlands), Miguel ,Marian .D, Vincent .M, Leendert. M ., ROTATION DES CULTURES,(2020).
- [8] Dioula.B.M., ROTATION ET ASSOCIATION DES CULTURES,(2010).
- [9] Katayayan.A., Fundamentals of Agriculture-vol-1,(2000).
- [10] M. Felix et M. Judith, A farm resource allocation problem : case study of small scale commercial farmers in Zimbabwe, J. Sustain. Dev. Africa, vol. 12, no. 2, pp. 315–20, 2010.
- [11] A. Upadhyaya, Application of optimization techniques for crop planning to improve farm productivity of ICAR-RCER, Patna, India, J. AgriSearch, vol. 4, no. 1, pp. 68–70, 2017.
- [12] [P. K. Muhammed Jaslam, B. Joseph, T. Paul Lazarus, and T. Rakhi, —Determination of optimum crop mix for crop cultivation in Kerala homesteads, Indian J. Agric. Res., vol. 52, no. 1, pp. 22–27, 2018

-
- [13] A. Upadhyaya, -Application of optimization techniques for crop planning to improve farm productivity of ICAR-RCER, Patna, India, *J. AgriSearch*, vol. 4, no. 1, pp. 68–70, 2017
- [14] [R. Joolaie, A. Abedi Sarvestani, F. Taheri, S. Van Passel, and H. Azadi, —Sustainable cropping pattern in North Iran : application of fuzzy goal programming, *Environ. Dev. Sustain.*, vol. 19, no. 6, pp. 2199–2216, 2017
- [15] B. B. Pal, S. B. Goswami, S. Sen, and D. Banerjee, —Using fuzzy goal programming for long-term water resource allocation planning in agricultural system : A case study, *Commun. Comput. Inf. Sci.*, vol. 283, no. 1, pp. 170–184, 2012
- [16] A. Upadhyaya, —Application of optimization techniques for crop planning to improve far productivity of ICAR-RCER, Patna, India, *J. AgriSearch*, vol. 4, no. 1, pp. 68–70, 2017.
- [17] N. A. Sofi, A. Ahmed, M. Ahmad, and B. A. Bhat, —Decision Making in Agriculture : A Linear Programming Approach, *Int. J. Mod. Math. Sci.*, vol. 13, no. 2, pp. 160–169, 2015.
- [18] M. A. Şahman, A. A. Altun, and A. O. Dündar, —A new MILP model proposal in feed formulation and using a hybrid-linear binary PSO (H-LBP) approach for alternative solutions, *Neural Comput. Appl.*, vol. 29, no. 2, pp. 537–552, 2018.
- [19] R. J. Forrester and M. Rodriguez, —An Integer Programming Approach to Crop Rotation Planning at an Organic Farm, *UMAP J.*, vol. 38, no. 4, pp. 5–25, 2018, [Online]. Available :<http://www.comap.com/product/?idx=1617>.
- [20] Z. Mohammadi, S. M. Limaie, and T. R. Shahraji, —Linear programming approach for optimal forest plantation, *J. For. Res.*, vol. 28, no. 2, pp. 299–307, 2017.
- [21] M. T. Mellaku, T. W. Reynolds, and T. Woldeamanuel, —Linear programming-based cropland allocation to enhance performance of smallholder crop production : A pilot study in Abaro Kebele, Ethiopia, *Resour. J.*, vol. 7, no. 4, pp. 1–15, 2018 ..
- [22] J. Romero and K. Smith, —Crop profit optimization for farmers, in *IEEE Systems and Information Engineering Design Symposium(SIEDS 2016)*, 2016, pp. 289–291 .
- [23] M. Bhatia and A. Rana, —A mathematical approach to optimize crop allocation – A linear programming model, *Int. J. Des. Nat. Ecodynamics*, vol. 15, no. 2, pp. 245–252, 2020 .
-

-
- [24] J. Prišenk, J. Turk, Č. Rozman, A. Borec, M. Zrakić, and K. Pažek, —Advantages of combining linear programming and weighted goal programming for agriculture application, *Oper. Res.*, vol. 14, no. 2, pp. 253–260, 2014 .
- [25] Z. Mohammadi, S. M. Limaie, and T. R. Shahraji, —Linear programming approach for optimal forest plantation, *J. For. Res.*, vol. 28, no. 2, pp. 299–307, 2017.
- [26] N. A. Sofi, A. Ahmed, M. Ahmad, and B. A. Bhat, —Decision Making in Agriculture : A Linear Programming Approach, *Int. J. Mod. Math. Sci.*, vol. 13, no. 2, pp. 160–169, 2015.
- [27] M. A. Şahman, A. A. Altun, and A. O. Dündar, —A new MILP model proposal in feed formulation and using a hybrid-linear binary PSO (H-LBP) approach for alternative solutions, *Neural Comput. Appl.*, vol. 29, no. 2, pp. 537–552, 2018.
- [28] N. N. Ai Thy, J. Buddhakulsomsiri, and P. Parthanadee, —A Mathematical Model for Optimizing Organic Feed Mix Problem, in *IEEE 7th International Conference on Industrial Engineering and Applications, ICIEA 2020*, 2020, pp. 570–573.
- [29] P. Saxena and N. Khanna, —Formulation and Computation of Animal Feed Mix : Optimization by Combination of Mathematical Programming, *Adv. Intell. Syst. Comput.*, vol. 1, pp. 621–629, 2015.
- [30] M. K. Islam, M. M. Alam, M. F. Uddin, and G. M. Faruque, —Coordination and Profit Optimization by Producer-Distributor System of Agricultural Products in Bangladesh, *Am. J. Appl. Math.*, vol. 8, no. 1, pp. 22–28, 2020 .
- [31] K. C. Igwe and C. E. Onyenweaku, —A Linear Programming Approach to Food Crops and Livestock Enterprises Planning in Aba Agricultural Zone of Abia State, Nigeria, *Am. J. Exp. Agric.*, vol. 3, no. 2, pp. 412–431, 2013.
- [32] N. H. Mohamad and F. Said, —A mathematical programming approach to crop mix problem, *African J. Agric. Res.*, vol. 6, no. 1, pp. 191–197, 2011.
- [33] J. Dury, N. Schaller, F. Garcia, A. Reynaud, and J. E. Bergez, —Models to support cropping plan and crop rotation decisions. A review, *Agron. Sustain. Dev.*, vol. 32, no. 2, pp. 567–580, 2012.
- [34] J. Prisenk and J. Turk, —A multi-goal mathematical approach for the optimization of crop lanning on organic farms : A slovenian case study, *Pakistan J. Agric. Sci.*, vol. 52, no. 4, pp. 971–979, 2015
-

-
- [35] R. J. Forrester and M. Rodriguez, —An Integer Programming Approach to Crop Rotation Planning at an Organic Farm, *UMAP J.*, vol. 38, no. 4, pp. 5–25, 2018, [Online]. Available : <http://www.comap.com/product/?idx=1617>.
- [36] M. O. Wankhade and H. S. Lunge, —Allocation of Agricultural Land to The Major Crops of Saline Track By Linear Programming Approach : A Case Study, *Int. J. Scientific Technol. Res.*, vol. 1, no. 9, pp. 21–25, 2012.
- [37] A. A. Anwar and D. Clarke, —Irrigation scheduling using mixed-integer linear programming, *J. Irrig. Drain. Eng.*, vol. 127, no. 2, pp. 63–69, 2001.
- [38] SANTOS, L. et al. Crop rotation scheduling with adjacency constraints. *Ann Oper Res*, v. 190, p. 165–180, 2011. Cited 4 times on pages 15, 19, 32, and 38.
- [39] ALIANO, A. ; FLORENTINO, H. ; PATO, M. Metaheuristics for a crop rotation problem. *Int. J. Metaheuristics*, v. 3, n. 3, 2014. Cited 5 times on pages 21, 25, 26, 27, and 31.
- [40] FORRESTER, R. J. ; RODRIGUEZ, M. An integer programming approach to crop rotation planning at an organic farm. *The UMAP Journal*, p. 5–23, 2018. Cited 4 times on pages 15, 20, 27, and 28.
- [41] Cskhpau, Palampur, Production Economics and Farm Management, India(2017).
- [42] Schoeneberger, Michele M. Patel-Weynand, Toral, Bentrup, Gary, *Agroforesterie : Améliorer la résilience des paysages agricoles américains dans des conditions changeantes*,(2017).
- [43] Z.Ramdani, Cours de programmation linéaire, Université Mohamed El bachir E librahimi de B.B.A, (Algérie 2020/2021).
- [44] All rights reserved, Optimization modeling with IBM ILOG OPL© Copyright IBM Corporation (2009).
- [45] Alexander Schrijver. *Theory of Linear and Integer Programming*. John Wiley Sons, (1998).
- [46] Dr.T.V.Neelakanta Sastry, Cours Farm Management and Production Economics,(13/07/2011).
- [47] <https://www.mutualia.fr/agriculteur/infos/economie-etsociete/news/avantages-et-inconvenients-de-la-rotation-des-cultures>, (20/06/2022).
-

- [48] J.Dury, N.Schaller, F.Garcia, A.Reynaud, J.E.Bergez, Models to support cropping plan and crop rotation decisions, A review, *Agron. Sustain. Dev.*, vol. 32, no.2, (2012).
- [49] Rajni .J, Shbana. B, Prem .C, Evolutionary Computing for Optimum Crop Planning,(2021).
- [50] Akebo Yamakami. Optimization Techniques in Agriculture :The Crop Rotation Problem.(2020).
- [51] I. FIKRY , AMR ELTAWIL, AND MOHAMED GHEITH, A Robust Crop Rotation Optimization Model With Water Scarcity and Net Return Uncertainty Considerations,(2021).
- [52] Pierre DAGNELIE, RECHERCHE OPERATIONNELLE ET AGRONOMIE, Faculté des Sciences agronomiques del' Etat, Gembloux,(1968).

- **Résumé :**

Le propos de ce projet de fin d'études est de proposer et d'analyser un modèle d'optimisation pour la rotation des cultures sur plusieurs surfaces focalisées sur la production agricole des cultures maraichères an niveau de la Daïra de Medjana. L'objectif est d'optimiser l'utilisation des terres soumises aux contraintes de voisinage et de succession pour les cultures de la même famille, en plus bien sûr de maximiser les gains de l'agriculteur. Ce projet introduit les fondements de la rotation des cultures et de planification agricole, présente un modèle sous forme d'un programme linéaire -implémenté sur Matlab- pour déterminer une meilleure planification culturale sur un ensemble de parcelles.

- **Mots clés : Planification agricole, Programmation linéaire, rotation de cultures, optimisation.**

- **Abstract:**

The purpose of this project is to propose and analyze an optimization model for crop rotation on several surfaces focused on the agricultural production in the Daïra of Medjana. The objective is to optimize the use of land subject to neighborhood and succession constraints for crops of the same botanic family, in addition of course to maximizing the farmer's profit. This project introduces the basic concepts of crop rotation and agricultural planning, presents a model which takes the form of a linear program -implemented on Matlab- to determine better crop planning on a set of plots.

- **Keywords : Agricultural planning, Linear programming, Optimization, Crop rotation..**

- **ملخص:**

الغرض من مشروع نهاية الدراسة هذا هو اقتراح وتحليل نموذج تحسين لتناوب المحاصيل على مجموعة من الأراضي، التي تركز على الإنتاج الزراعي على مستوى دائرة مجانية. الهدف من هذه الدراسة هو تحسين استخدام الأراضي الزراعية الخاضعة لقيود الجوار واستخلاف للمحاصيل من نفس العائلة، بالإضافة طبعا إلى زيادة أرباح المزارع إلى الحد الأقصى. يقدم هذا المشروع أسس تدوير المحاصيل والتخطيط الزراعي، ويقدم نموذجا في شكل برنامج خطي - يتم تنفيذه على *Matlab* - لتحديد تخطيط أفضل للمحاصيل على مجموعة من قطع الأراضي.

- **الكلمات المفتاحية : التخطيط الزراعي، البرمجة الخطية، تدوير المحاصيل، التحسين.**