



République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche
scientifique



Université de Ghardaïa

Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences
de la terre

Département des sciences agronomiques

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de master en sciences agronomiques

Spécialité : production des végétaux

Thème :

**Etude du bilan énergétique de quelques cultures
stratégiques dans la région de Ghardaïa**

Réalisé par :

- **BEN KOUMAR Samiha**

Soutenu devant le jury composé de / Evalué par :

| Nom et prénom | Grade | Qualité | Etablissement |
|--------------------|------------|-----------|------------------------|
| SIBOUKEUR Abdellah | MCA | Président | Université de Ghardaïa |
| ALIOUA Youcef | Professeur | Examineur | Université de Ghardaïa |
| KADRI Ahmed | MAA | Encadrant | Université de Ghardaïa |

Année universitaire : 2024/2025

2025

Dédicace

À Allah, le Tout-Puissant

Le Généreux et le Miséricordieux, qui a accordé le succès et facilité le chemin.

Louange à Lui en toute circonstance.

À moi-même

Pour la patience et la persévérance face aux défis rencontrés.

À mon cher grand-père Omar ben Tamer

Que Dieu lui fasse miséricorde. Je porte fièrement son nom, et ses prières sincères ont été une lumière sur mon chemin.

À mon estimé père

Pour son soutien constant et la force qu'il m'a transmise par sa confiance.

À ma mère bien-aimée

Source de tendresse et de prière, lumière qui m'a accompagnée à chaque étape.

À mes chers frères

Mon appui dans la vie. Que cet accomplissement soit pour eux une source d'inspiration vers l'excellence et la réussite.

Louange à Dieu pour Ses bienfaits, Son assistance et pour avoir permis la réalisation de cet accomplissement par Sa grâce.

Samiha





Remerciement

J'adresse mes sincères remerciements et ma gratitude à mon directeur de thèse :

KADRI Ahmed, pour ses conseils et son soutien tout au long de la préparation de cette mémoire Je lui en suis profondément reconnaissant.

Je remercie également les membres du jury : les professeurs ALIOUA Youssef et SIBOUKEUR Abdallah, pour leurs précieux commentaires qui ont contribué à l'amélioration de ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude aux parties externes qui ont apporté leur aide et mis à disposition leurs informations et leurs moyens pour la réalisation de cette recherche.

Enfin, j'adresse mes sincères remerciements et ma gratitude à ma famille, qui a été mon principal soutien et encouragement tout au long de mon parcours universitaire. Louange à Dieu, par la grâce duquel les bonnes actions sont accomplies.



Liste des abréviations

| | |
|----------------|---|
| ha | Hectare |
| CUMA | Coopérative d'Utilisation de Matériel Agricole |
| MJ/km.t | MegaJoul/kilomètre-tonne |
| F.A. O | Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture |
| DSA | Direction des Services Agricoles |
| Ha | hectare |
| Min | Minimum |
| Max | maximum |
| C° | Celsius |

Liste de figures :

| | |
|--|----|
| Figure 01: Cadre administratif de la région de Ghardaïa | 14 |
| Figure 02: Carte géomorphologique de la wilaya de Ghardaïa. | 18 |
| Figure 03: Superficies associées aux principales cultures à Ghardaïa..... | 21 |
| Figure 04: Répartition en pourcentage des intrants énergétique du blé. | 27 |
| Figure 05: Répartition en pourcentage des intrants énergétique de dattes | 28 |

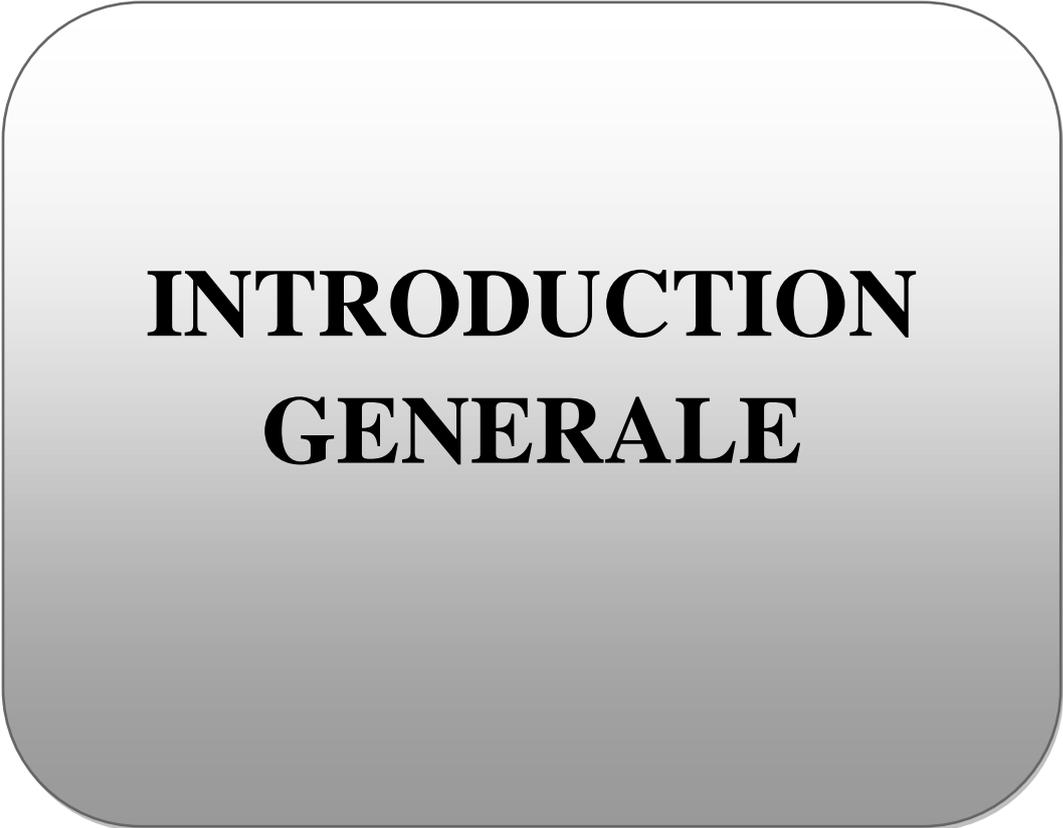
Liste des tableaux :

| | |
|---|----|
| Tableau 01 : Coefficients équivalence énergétique | 11 |
| Tableau 02: Températures mensuelle en °C de la région de Ghardaïa durant l'année 2020...19 | |
| Tableau 03 : Précipitations mensuelles enregistrées dans de la région Ghardaïa en 2020.....19 | |
| Tableau 04 : Vitesse moyenne des vents (m/s) enregistrées à Ghardaïa..... | 20 |
| Tableau 05: Superficies et productions de blé dur dans la région de Ghardaïa..... | 21 |
| Tableau 06: Superficies et productions des palmiers dattiers dans la région de Ghardaïa...22 | |
| Tableau 07: Schéma simplifié des sources d'énergie dans les étapes de la culture du blé...23 | |
| Tableau 08: Quantités des intrants et de l'énergie produite dans la production du blé..... | 25 |
| Tableau 09: Rapport d'énergie entrée –sortie dans la production de blé..... | 28 |
| Tableau 10 : certaines études précédentes sur l'analyse énergétique du blé..... | 28 |
| Tableau 11 : Quantités des intrants et de l'énergie produite dans la production des dattes...30 | |
| Tableau 12: Calculs du bilan énergétique dans la production de palmier dattier | 32 |
| Tableau 13: Analyse économique de la production du blé..... | 33 |
| Tableau 14 : Analyse économique de la production des dattes..... | 35 |

Table de matière

| | |
|---|----------|
| Dédicace | |
| Remerciement..... | |
| Liste des abréviations..... | |
| Liste de figures..... | |
| Liste des tableaux..... | |
| I.1. Introduction général | 1 |
| Chapitre I: Etudes bibliographiques | 3 |
| I.2. Aperçu sur les cultures stratégiques | 3 |
| I.3. Bilan énergétique..... | 4 |
| I.3.1. Consommations d'énergie pour l'agriculture..... | 4 |
| I.3.2. Énergie directe et indirecte..... | 5 |
| I.3.2.1. Énergies directes..... | 5 |
| I.3.2.1. 1. Électricité..... | 5 |
| I.3.2.1. 2 Eau..... | 6 |
| I.3.2. 2. Energies indirectes..... | 6 |
| I.3.2. 2.1. Engrais minéraux..... | 6 |
| I.3.2. 2.2. Engrais organiques..... | 6 |
| I.3.2. 2.3. Machines agricoles..... | 7 |
| I.3.2. 2.4.Pesticides..... | 7 |
| I.3.3. Analyse d'énergie en production agricole..... | 7 |
| I.3.3.1. Définition de la portée et de l'unité fonctionnelle..... | 7 |
| I.3.3. 2. Entrées quantification à différentes activités du système de production agricole..... | 8 |
| I.3.3. 3. Conversion des entrées et sorties (Input-output)..... | 8 |
| I.3.4. Besoins énergétiques agricoles..... | 12 |
| I.3.4. 1. Entrées Naturelles | 12 |

| | |
|--|-----------|
| I.3.4.2. Entrées Chimiques..... | 13 |
| Chapitre II : Méthodologie | 14 |
| II.1. Présentation de la zone d'étude : | 14 |
| II.1.1. Caractéristiques physiques..... | 14 |
| II.1.1.1. Caractères édaphiques :..... | 14 |
| II.1.2. Données climatique..... | 15 |
| II.1.2.1. Température | 16 |
| II.1.2.2. Précipitations | 16 |
| II.1.2.3. Vent..... | 17 |
| II.1.3. Production végétale :..... | 17 |
| II.2. Méthodes de collecte des données: | 19 |
| Chapitre III: Résultats et discussions..... | 22 |
| III.1. Bilan énergétique de blé : | 22 |
| III.2. Bilan énergétique de palmier dattier | 27 |
| III.3. Analyse économique..... | 30 |
| III.3.1. Analyse économique de la production du blé..... | 30 |
| III.3.2. Analyse économique de la production de dattes | 32 |
| IV. Conclusion..... | 33 |
| Références bibliographiques | 37 |
| Résumé | |



**INTRODUCTION
GENERALE**

I.1. Introduction général

Les rapports de la Banque mondiale confirment que l'agriculture est l'un des principaux moteurs du développement durable. Elle contribue au bien-être collectif et à l'alimentation de la population mondiale, estimée à 9,7 milliards d'habitants à l'horizon 2050. Son efficacité est de deux à quatre fois supérieure à celle des autres secteurs. Il est donc nécessaire de développer une agriculture stratégique pour assurer la sécurité alimentaire et soutenir le développement durable en Algérie (BOUCHENAF, 2024).

L'énergie, l'économie et l'environnement sont mutuellement dépendants. De plus, il y a est une relation étroite entre l'agriculture et l'énergie ; L'agriculture elle-même est un consommateur d'énergie (Tabatabaeefar, A., et al. 2009).

Les régions algériennes se distinguent par diverses activités industrielles, commerciales et agricoles. La rentabilité de l'agriculture varie selon le type de région, le climat et les autres conditions spécifiques à chaque zone (MADR, 2020).

Chaque région est caractérisée par une culture agricole stratégique, en fonction du climat et des facteurs qui contribuent à la réussite du type de culture adapté à son environnement. Parmi les cultures stratégiques les plus importantes figurent l'orge, le blé... etc. Cette dernière joue un rôle majeur sur les plans économique et nutritionnel (FAO, 2018).

C'est sur cette base que nous avons décidé d'étudier la productivité du blé et de dattes, compte tenu de son importance. Cette recherche est essentielle pour comprendre les défis agricoles auxquels sont confrontées certaines régions, souvent caractérisées par un climat extrême et des ressources en eau limitées.

Dans cette optique, la wilaya de Ghardaïa a été choisie comme zone d'étude en raison de sa localisation dans le sud algérien, de son climat saharien chaud et sec, et de sa forte dépendance à l'agriculture.

L'objectif principal de cette étude est d'analyser les aspects énergétiques liés à la production de blé et de dattes dans un contexte de pénurie de ressources naturelles.

L'aridité de la région influence considérablement les méthodes culturales, la consommation énergétique liée aux activités agricoles et le rendement des cultures. Dans ce cadre, le bilan énergétique permet d'évaluer la quantité d'énergie consommée par rapport à celle produite, et considérer comme un indicateur clé pour juger de la durabilité de l'agriculture dans de tels environnements (BENYOUCEF et TOUMI, 2020).

En outre, la comparaison entre la région aride étudiée et d'autres régions plus prospères en matière de production de blé et de dattes permet d'identifier les différences dans les pratiques agricoles, les technologies utilisées, ainsi que les facteurs environnementaux (climat, qualité des sols, disponibilité en eau, etc.) qui influencent le rendement. Cette analyse est essentielle pour proposer des solutions adaptées à l'amélioration de la production de blé et de dattes dans les zones arides, et soutenir la durabilité de l'agriculture face aux défis climatiques futurs.

Problématique de recherche :

Dans un contexte de changements climatiques marqués et de contraintes environnementales touchant les régions arides en Algérie, et en particulier la wilaya de Ghardaïa, dans quelle mesure une gestion énergétique agricole efficace peut-elle améliorer la productivité du blé et des dattes et contribuer à la durabilité de la sécurité alimentaire malgré la rareté des ressources naturelles ?

Le calcul des inputs-outputs du bilan énergétique est basé sur les données de l'enquête réalisée auprès des producteurs. Chaque entrée est calculée séparément pour chaque exploitation par unité de surface (ha) puis multiplié par l'unité (Coefficient) de l'énergie équivalente. Les données utilisées dans cette étude seront obtenues des exploitations agricoles sélectionnées au hasard à l'aide d'une enquête en face avec l'agriculteur.

Chapitre I:
Etudes
bibliographiques

Chapitre I: Etudes bibliographiques**I.2. Aperçu sur les cultures stratégiques**

L'Algérie est l'un des pays les plus touchés par la désertification. Avec près de 20 millions d'hectares de parcours steppiques et 12 millions d'hectares de parcours présahariens se trouvant dans l'étage bioclimatique semi-aride à aride, l'Algérie perd ainsi quelques milliers d'hectares chaque année (Moulai, 2008). D'autre part, l'Algérie est considérée comme vulnérable aux effets des changements climatiques et elle fait partie des zones arides et semi-arides exposées aux sécheresses chroniques (Aziza, 2006). Les prospectives sur le changement climatique et la démographie montrent que les besoins alimentaires et hydriques seront croissants en Afrique du Nord, alors que les ressources en eau et les rendements agricoles seront plus restreints que prévus (Rousset, 2007).

D'après ROUSSET et ARRUS (2004) indiquent qu'au niveau du Maghreb, le changement climatique conduira à une réduction des disponibilités en eau pour l'agriculture pluviale et irriguée .

L'augmentation des températures et la diminution des pluies dans notre région, va entraîner des problèmes majeurs de ressources en eau, de sécheresse, de désertification et de perte de la biodiversité (Boucherf, SD).

En Algérie, le blé tendre est le plus consommé par les algériens. La grande consommation de pain de blé tendre par les algériens implique un accroissement de la dépendance extérieure (Tounsi, 1986). En effet, l'Algérie est un importateur net de produits alimentaires (blé dur et blé tendre, poudre de lait, produits laitiers et semences agricoles, etc.) (Moulai, 2008). La facture des importations des céréales en Algérie pèse lourd sur l'état algérien qui continue à subventionner ces produits.

La superficie des terres agricoles irriguées a atteint environ 1,5 million d'hectares en 2022, représentant 17 % de la surface agricole utile (SAU) du pays. Cette expansion vise à renforcer la sécurité alimentaire, en particulier dans un contexte de sécheresse persistante [1].

Concernant la céréaliculture, la production a atteint 41 millions de quintaux (4,1 millions de tonnes) pour la campagne 2021/2022, contre 27,6 millions de quintaux en 2021. Cette augmentation est attribuée à l'amélioration des techniques agricoles et à l'extension des superficies irriguées [2].

L'adaptation aux changements climatiques devient impérative dès à présent. Pour l'agriculture, le privilège doit être accordé aux espèces rustiques capables de s'adapter à cette nouvelle problématique. L'agriculture familiale dans les milieux ruraux devrait avoir une place prioritaire dans la politique agricole, elle est considérée par certains spécialistes comme le mode de mise en valeur agricole le plus résilient, grâce aux mécanismes de gestion du risque développés depuis des générations par les agriculteurs et leurs familles (Dugué, 2012).

Les changements et les imprévus climatiques vont rendre la gestion de l'eau de plus en plus difficile. Une action rapide destinée à adapter le secteur au changement climatique sera beaucoup moins coûteuse que les dommages qui résulteront de ce phénomène (Nichane et Khelil, 2014).

Des efforts d'adaptation plus soutenus permettraient de réduire les dommages à court terme, quelle que soit l'évolution du climat à long terme (Fenni et Machane, 2010).

I.3. Bilan énergétique

L'agriculture moderne repose fortement sur l'énergie, non seulement pour la production alimentaire mais aussi pour le maintien de la productivité. Elle consomme de l'énergie sous forme directe (carburants, électricité) et indirecte (engrais, produits phytosanitaires, machines). En retour, l'agriculture peut aussi être source d'énergie via la biomasse. Selon Pimentel et al. (2008), la dépendance énergétique du secteur agricole est un facteur déterminant dans la durabilité des systèmes alimentaires, notamment dans un contexte de raréfaction des ressources fossiles. La rationalisation de l'usage énergétique est ainsi essentielle pour garantir un équilibre entre productivité, rentabilité économique et impact environnemental (PIMENTEL et al., 2008).

I.3.1. Consommations d'énergie pour l'agriculture

L'agriculture, comme toutes les activités humaines, consomme de l'énergie pour ses moyens de production. Mais elle est la seule activité humaine qui soit aussi productrice d'énergie, grâce à la photosynthèse, principalement sous forme d'énergie alimentaire, mais de plus en plus aussi sous forme de produits à vocation énergétique (Jean-Luc BOCHU, 2002).

L'agriculture est productrice d'énergie, mais comme elle nécessite du travail, elle est en même temps consommatrice d'énergie. Il convient d'abord de bien préciser ce double aspect énergétique de l'acte agricole qui nécessite d'établissement de bilan pour en apprécier l'intérêt (Carillon, 1981).

Son évolution au cours de la deuxième partie du 20^{ème} siècle s'est faite en consommant de plus en plus d'intrants pour augmenter la production et satisfaire les besoins alimentaires des pays occidentaux. Cette modernisation a suscité des interrogations sur l'évolution des consommations, des formes d'énergie mises en œuvre, et sur l'efficacité énergétique de cette transformation. Dans les années 70 et 80, la problématique portait surtout sur les économies d'énergie, dans un contexte de crises de l'énergie. Aujourd'hui, le cadre d'une agriculture durable impose de se poser à nouveau la question des économies d'énergie, oubliées dans les années 90 suite à la chute du prix des énergies, et des émissions dans l'air dues à l'agriculture (Jean-Luc BOCHU, 2002).

L'agriculture produit de l'énergie à haute valeur ajoutée sous la forme de denrées alimentaires, tout en étant elle-même dépendante d'énergie directe ou indirecte. L'énergie directe fournie par les carburants, les combustibles et l'électricité permet le fonctionnement et l'utilisation de machines et de bâtiments agricoles, tandis que l'énergie indirecte, aussi appelée énergie grise, sert à la fabrication des moyens de production (p. ex. aliments pour animaux, engrais) et des infrastructures (p. ex. bâtiments, machines). Une part prépondérante de toute cette énergie est de source fossile. Dans le contexte de la transition énergétique, l'agriculture est, elle aussi, appelée à réduire au maximum ses besoins énergétiques et à les couvrir progressivement par des énergies renouvelables. Elle peut encore gagner en efficacité à condition de privilégier une production de biens végétaux et animaux adaptée à la situation aux conditions locales [3].

I.3.2. Énergie directe et indirecte

I.3.2.1. Énergies directes, consommées sur le site de production :

- celle de l'eau potable (énergie pour la mise en pression de l'eau) ;
- les autres produits pétroliers (gazole et essence pour le transport dans la ferme, huile des automoteurs, propane, butane, gaz naturel...) ; (Bernardette et *al.*, 2002).

I.3.2.1. 1. Électricité

La consommation en électricité pèse fortement sur les calculs. Il est donc important de différencier la consommation familiale de celle de l'exploitation. S'il n'y a pas de compteur séparé sur l'exploitation, on faudra évaluer avec l'exploitant la consommation relative au fonctionnement de la ferme (transformation non comprise), ou par défaut considérer une consommation domestique de 5000 kWh/an et par famille (Bernardette et *al.*, 2002).

I.3.2.1. 2 Eau

On retient une donnée allemande fournie par la FHL pour l'eau d'abreuvement qu'on appliquera à la consommation totale d'eau de l'exploitation (hors consommation familiale) : 0,014MJ/litre (Bernardette et al., 2002).

I.3.2. 2. Energies indirectes

C'est l'énergie qui a été consommées lors de la fabrication et du transport d'un intrant

- les engrais minéraux ou organiques (énergie dépensée dans leur fabrication) ;
 - les achats d'aliments du bétail (énergie dépensée dans la culture, la récolte et sa transformation éventuelle) ;
 - les produits phytosanitaires
 - les semences et les jeunes animaux
 - l'amortissement énergétique des matériels et machines utilisées, ainsi que celui des bâtiments (énergie dépensée dans la fabrication des tracteurs et outils, ou dans les matériaux du bâtiment) et d'autres achats tels que les plastiques (bâches, ficelles...)
- (Jean-Luc BOCHU; 2002).

I.3.2. 2.1. Engrais minéraux

Les engrais minéraux représentent une source majeure d'énergie indirecte dans les systèmes agricoles modernes. Leur fabrication, leur transport et leur application mobilisent d'importantes quantités d'énergie, principalement d'origine fossile. L'azote, sous forme d'urée ou de nitrate d'ammonium, est particulièrement énergivore, en raison du procédé industriel impliqué. En agriculture intensive, la part de l'énergie associée aux engrais peut atteindre jusqu'à 50 % de l'énergie totale consommée. Cette dépendance soulève des préoccupations en matière de durabilité et encourage le recours à des pratiques plus sobres en intrants chimiques (FAO, 2011).

I.3.2. 2.2. Engrais organiques

Pour les engrais organiques importés (lisiers, fumiers, compost), sous-produits de productions animales, on ne prend en compte que l'énergie non renouvelable nécessaire à leur élaboration spécifique (stockage, aération,...) ainsi que celle nécessaire à leur transport (voir matériel et transport).

Le transport s'élève à 3,2 MJ/km.t s'il est fait en tracteur ou à 0,85 MJ/km.t en camion. Il s'avère nécessaire de connaître la provenance et le mode de transport de l'engrais organique

importé. Il manque des références pour les divers engrais organiques utilisés par les agriculteurs biologiques (Bernardette et al., 2002).

I.3.2. 2.3. Machines agricoles

Les apports énergétiques associés aux machines agricoles le matériel et l'équipement varient considérablement d'une année à l'autre et de région en région en fonction des matières premières et technologie employée dans le processus de fabrication, entretien et disponibilité de la main-d'œuvre force. Le type de machines et les dernières technologies avancement, comme les nouvelles aides électroniques et la construction les matériaux, inclus dans les machines sont également importants facteurs qui ajoutent de la variabilité au coût énergétique des machines .Par conséquent, des calculs d'énergie appropriés les soldes dépendront de l'utilisation de données détaillées et précises.

Indiquez uniquement une valeur générale pour tous les types de machines, tandis que d'autres fournissent les coûts spécifiques pour différents types de machines. Même si une valeur générale peut Faciliter l'analyse théorique, il peut ne pas être applicable en réalité situations où des types spécifiques de machines sont nécessaires (Lizarazu et al., 2010).

I.3.2. 2.4. Pesticides

Récemment, le poids des pesticides sur le bilan énergétique a augmenté mais il reste encore modéré par rapport aux coûts des engrais et du carburant. L'estimation de la consommation d'énergie coûts de production des pesticides est difficile et reste incertain en raison du processus complexe impliqué dans leur l'élaboration et la confidentialité des données phytosanitaires fabricants. De telles estimations sont donc généralement sur la base des informations fournies sur les étiquettes des produits. Bien que ce type d'estimation ne soit pas à 100 % précis, il semble assez bon en raison de la limite poids des pesticides dans le bilan énergétique. En tant que guide général les surcoûts énergétiques pour la formulation des émulsions.

I.3.3. Analyse d'énergie en production agricole

I.3.3.1. Définition de la portée et de l'unité fonctionnelle

La portée de l'analyse énergétique en agriculture dépend principalement de l'objectif de l'étude, elle couvre toutes les étapes nécessaires à la production, à commencer par la fabrication et le transport des intrants (tels que les semences, les engrais et les produits phytosanitaires), en passant par les opérations agricoles (comme le labour, le semis, l'irrigation, les traitements), puis la récolte, le stockage et la logistique avant

commercialisation. La consommation d'énergie est alors évaluée par rapport à une unité fonctionnelle appropriée, qui peut être la masse (par exemple, une tonne de production), la surface (par exemple, un hectare) ou encore la valeur économique (par exemple, 1 000 dinars de revenus). Le choix de cette unité influence directement les résultats du bilan énergétique. Par exemple, un système de culture sans labour peut présenter une performance énergétique très différente d'un système irrigué avec un travail du sol intensif (Chen et al. 2010).

I.3.3. 2. Entrées quantification à différentes activités du système de production agricole

L'analyse énergétique consiste à estimer les besoins en énergie et en matières pour la fabrication et le transport des intrants utilisés dans les différentes activités agricoles considérées. Cela permet de quantifier la quantité d'énergie utilisée pour les opérations de production, de récolte et de logistique post-récolte au sein d'une même unité fonctionnelle. Les intrants pour la production végétale, la récolte et la logistique post-récolte peuvent inclure les semences, les engrais chimiques (azote, phosphate, potassium et soufre), les pesticides (herbicides, fongicides et insecticides), le diesel, les lubrifiants, l'électricité, le fumier, l'eau d'irrigation, la main-d'œuvre et les machines. Certaines opérations nécessitent des machines et équipements spécifiques, tels que des tracteurs, des cultivateurs, des épandeurs, des pulvérisateurs, des moissonneuses-batteuses, des systèmes d'irrigation, du matériel de transport et des séchoirs, ainsi que des installations telles que des terminaux de transport et des entrepôts de produits et sous-produits agricoles [4].

I.3.3. 3. Conversion des entrées et sorties (Input-output)

Les intrants et extrants physiques des différentes exploitations agricoles doivent être convertis en unités énergétiques communes à l'aide de coefficients d'équivalence énergétique (tableau 01). Le coefficient d'équivalence énergétique d'un intrant est défini comme la somme de l'énergie consommée lors de sa production et de l'énergie utilisée pour son transport jusqu'à l'utilisateur final ou le marché local [4].

L'énergie utilisée pour la production et la logistique de transport varie en fonction des différences technologiques entre les régions et les pays, de la consommation d'énergie liée au procédé de production utilisé, ainsi que de la distance et de la technologie de transport. Ainsi, le coefficient d'équivalence énergétique d'un intrant varie considérablement en fonction de la localisation. L'énergie incorporée dans la production de machines agricoles et de tracteurs est supposée amortie sur la durée de vie économique de l'équipement [4].

Tableau 01 : Coefficients équivalence énergétique

| Source d'énergie | Unité | Energie équivalent | Référence |
|-------------------------------|----------------|--------------------------|---|
| Entrées | h | (Mj unit ⁻¹) | Singh et al. (2002) |
| Main d'œuvre | | 1.96 | |
| Machines | h | 62.7 | Singh et al. (2002) |
| Diesel | l | 45.4 | Bojacá et al. (2012) |
| Infrastructure | kg | | |
| Acier | | 33 | Medina A, et al (2006) |
| Polyéthylène | | 9.9 | Medina A, et al (2006) |
| Fibre synthétique | | 1.2 | Medina A, et al (2006) |
| PVC | | 11.6 | Medina A, et al (2006) |
| Engrais | kg | | |
| N | | 60.6 | Ozkan et al. (2004) |
| P ₂ O ₅ | | 11.1 | Ozkan et al. (2004) |
| K ₂ O | | 6.7 | Ozkan et al. (2004) |
| Fumier organique | kg | 0.3 | Bojacá et al. (2012) |
| Pesticides | kg | | |
| Fongicides | | 216 | Mohammadi and Omid (2010) |
| Insecticides | | 101.2 | Mohammadi and Omid (2010) |
| Matériel végétal | | | |
| Plantules | unité | 0.2 | Bojacá et al. (2012) |
| Eau d'irrigations | m ³ | 0.63 | Bojacá et al. (2012) |
| Electricité | (kWh) | 3.6 | Ozkan et al. (2004) |
| Sortie | | | |
| Grains de blé | kg | 14.7 | Singh, 2002; Çiçek et al., 2011 |
| Dattes | kg | 2.4 | https://www.feedipedia.org/node/688 |

L'apport énergétique total en unité de surface (ha) constitue les apports énergétiques totaux. Travail humain, machines, engrais chimiques, produits chimiques, eau d'irrigation, de diesel, et les semences de blé ont été les intrants calculés.

Ratios de production d'énergie / intrants des entreprises compris dans l'agriculture de blé et les dattes ont été calculé. Les calculs du bilan énergétique ont été faits pour déterminer le niveau de productivité de production de blé et des dattes. Les unités (indiquées dans le tableau en dessus) ont été utilisées pour calculer les valeurs des intrants de la production de blé et des dattes. Énergie précédente des études d'analyse (sources) ont été utilisées lorsque déterminer les coefficients équivalents en énergie.

Par ajouter les équivalents énergétiques de toutes les entrées dans l'unité MJ, l'équivalent énergétique total a été trouvé. Dans afin de déterminer l'efficacité de la consommation d'énergie production de blé, Mohammadi et al. (2010) ont indiqué que «l'efficacité de l'utilisation de l'énergie, la productivité, et l'énergie nette ont été calculé en utilisant les formules suivantes :

Pour analyser le flux d'énergie, le rapport énergétique (R_E), en utilisant la formule (1.1) suivant :

$$R_E = P_E/A_E \quad (1.1)$$

P_E : Production d'énergie (MJ/ha)

A_E : Rapport d'énergie (MJ/ha)

Ainsi que la productivité énergétique (P_E), calculé par la formule (1.2) :

$$P_E = P_T/A_E \quad (1.2)$$

d'où : P_E : Productivité énergétique

P_T : Production totale (kg/ha)

A_E : Apport énergétique (MJ/ha)

L'énergie net (E_N) à calculer comme suit :

$$E_N = P_E - A_E \quad (1.3)$$

E_N : Energie net

P_T : Production d'énergie (MJ/ha)

A_E : Apport d'énergie (MJ/ha)

L'Energie spécifique (E_S) calculée par la relation 1.4 comme suite :

$$E_S = A_E/P_V \quad (1.4)$$

D'où :

A_E : Apport énergétique (MJ/ha)

P_V : Production végétale (kg/ha)

L'équation 1.5 nous a permis de calculer l'Intensité énergétique (I_E)

$$I_E = \frac{A_E}{C_C} \quad (1.5)$$

A_E : Apport énergétique (MJ/ha)

C_C : Coût de culture (Da/ha)

La production en serre coûte plus cher que produisant la même récolte en plein champ, le plus les facteurs importants déterminant les coûts sont l'amortissement de la structure et l'équipement, la main-d'œuvre, l'énergie et les coûts variables tels que le matériel végétal, le substrat et les engrais (Peet et Welles, 2005). Pour cette raison, la sortie/entrée l'analyse a également été appliquée aux avantages économiques. D'après Fadavi et al., 2011, Cette analyse économique a été déterminée à l'aide des indicateurs suivants :

$$V_B = R_m \times P \quad (1.6)$$

V_B : Valeur brute

R_m : Rendements (kg/ha)

P : Prix (Da/kg)

$$R_B = V_{TP} - C_{PV} \quad (1.7)$$

R_B : Revenu brut

V_{TP} : Valeur totale de la production (Da/ha)

C_{PV} : Coût de production variable (Da/h)

Le revenu net est calculé par la formule 1.8

$$R_N = V_{TP} - C_{TP} \quad (1.8)$$

R_N : Revenu net

V_{TP} : Valeur totale de la production (Da/ha)

C_{TP} : Coûts totaux de production (Da/h)

$$P = R_d / C_{TP} \quad (1.9)$$

P : Productivité

R_d : Rendement (kg/ha)

C_{TP} : Coûts totaux de production (ha)

I.3.4. Besoins énergétiques agricoles

L'agriculture a besoin d'énergie directe et indirecte pour pouvoir produire des denrées alimentaires.

L'énergie directe englobe la consommation de diesel, d'essence, de gaz, de mazout ou d'électricité dans le processus de production, par exemple pour la propulsion de tracteurs et de motoculteurs, le chauffage de serres et de halles d'engraissement de poulets de chair ou le fonctionnement de machines à traire et de systèmes de refroidissement du lait. Pour compléter le tableau, il faut y ajouter l'énergie indirecte, c'est-à-dire l'énergie qui est consommée principalement à l'étranger pour fabriquer un bien destiné à l'agriculture et qui n'est donc habituellement pas comptée dans la consommation énergétique suisse. On citera à titre d'exemple l'énergie consommée pour la fabrication de béton ou d'acier destinés aux bâtiments et aux machines agricoles, pour la production d'engrais minéraux ou pour la culture et l'importation d'aliments pour animaux (BERNE, 2013).

En agriculture, les termes "entrée naturelle" et "entrée chimique" se réfèrent principalement aux types d'intrants utilisés pour améliorer les rendements et protéger les cultures :

I.3.4. 1. Entrées Naturelles

Les entrées naturelles incluent les intrants d'origine naturelle, tels que les engrais organiques (compost, fumier) et les pesticides naturels. Ces produits sont souvent utilisés en agriculture biologique, où l'accent est mis sur la préservation de l'environnement et la biodiversité. Les exemples incluent [5]:

- **Engrais Organiques** : Compost, fumier, engrais vert.
- **Pesticides Naturels** : Huiles essentielles, pyréthrinés naturels, *Bacillus thuringiensis* (Bt).
- **Avantages** : Moins polluants, favorisent la santé des sols et la biodiversité.

I.3.4.2. Entrées Chimiques

Les entrées chimiques se réfèrent aux intrants synthétiques fabriqués en laboratoire, tels que les engrais chimiques et les pesticides de synthèse. Ces produits sont largement utilisés en agriculture conventionnelle pour leur efficacité et leur coût relativement bas. Les exemples incluent [5] :

- **Engrais Chimiques** : Nitrates, phosphates, potassium.
- **Pesticides de Synthèse** : Glyphosate, carbamates, pyréthrinés de synthèse.

Ce chapitre théorique a permis d'acquérir une compréhension approfondie des concepts fondamentaux liés aux bilans énergétiques dans le secteur agricole, en particulier pour les cultures de blé et de palmier dattier. À travers l'exploration des différentes formes d'énergie mobilisées dans les systèmes de production, nous avons posé les bases nécessaires pour l'analyse pratique qui suivra. Cette compréhension est essentielle pour évaluer efficacement l'efficacité énergétique des cultures étudiées dans le cadre de notre travail.

Chapitre II

Méthodologie

Chapitre II : méthodologie

II.1. Présentation de la zone d'étude :

La wilaya de Ghardaïa est située à 600 km au sud d'Alger. Elle a été créée lors du découpage administratif de 1984, anciennement rattachée à Laghouat.

Superficie : 19 240 km²

Limites : Nord : Laghouat (200 km)

Nord-Est : Djelfa (300 km)

Est : Ouargla (200 km)

Sud : El Menia (274 km)

Ouest : El Bayadh (350 km)



Figure 01 : Carte de position géographique de la wilaya de Ghardaïa

(<https://ar.wikipedia.org>)

II.1.1. Caractéristiques physiques

II.1.1.1. Caractères édaphiques :

Les sols de Ghardaïa sont influencés par la géologie, la pédologie et l'hydrographie, jouant un rôle écologique important, notamment pour certains insectes.

* Particularité géologique:

Trois zones géomorphologiques :

- Chabka du M'Zab (au nord, avec monticules rocheux)

- Région des dayas (vallées fertiles)
- Région des ergs (dunes de sable)

*** Particularité pédologique:**

Les sols sont désertiques et pierreux. Les sols argileux prédominent dans certaines zones, particulièrement dans les dépressions où les dépôts alluviaux enrichissent les sols

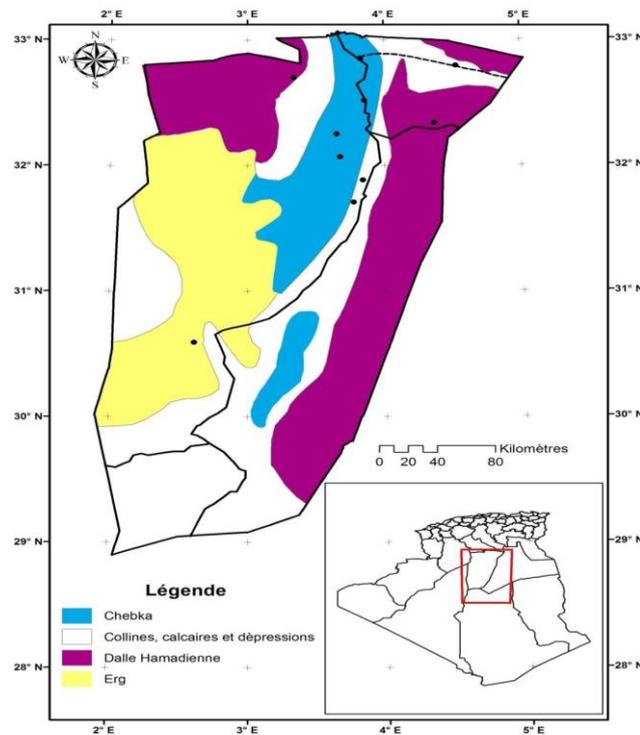


Figure 02 : Carte géomorphologique de la wilaya de Ghardaïa (MEHIRI et al, 2018).

***Hydrogéologie :**

La nappe phréatique de Ghardaïa, alimentée par les pluies et les crues, est exploitée par des puits. Elle est profonde (10 à 50 m) et essentielle pour l'eau potable et l'irrigation.

II.1.2. Données climatiques :

Le caractère fondamental du climat Saharien est la sécheresse de l'air, mais l'existence de microclimats jouent un rôle considérable dans les milieux désertiques. Le relief, la présence d'une végétation abondante peuvent modifier localement les conditions climatiques

(microclimat). Au sein d'une palmeraie on peut relever un degré hygrométrique élevé, le degré hygrométrie modifie les effets de la température pour l'homme (DSA, 2018).

II.1.2.1. Température :

Elle est marquée par une grande amplitude entre les températures de jour et de nuit, d'été et d'hiver. La période chaude commence au mois de Mai et dure jusqu'au mois de Septembre. L'analyse d'une série rétrospective d'observations statistiques enregistrée au niveau de la Wilaya de Ghardaïa, durant l'année de 2020 dans la région de Ghardaïa sont notées dans le tableau :

Tableau 02 : Températures mensuelle en °C de la région de Ghardaïa durant l'année 2020 :

| T (°C) | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Août | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre |
|-------------|---------|---------|------|-------|------|------|---------|------|-----------|---------|----------|----------|
| M | 17,5 | 22,1 | 22,7 | 27,4 | 33,5 | 37,7 | 40,5 | 40,9 | 34,4 | 28 | 22,3 | 18,1 |
| m | 4,9 | 8,7 | 11,4 | 16 | 20,6 | 25 | 27,6 | 27,5 | 22,9 | 16,1 | 11,8 | 8,1 |
| (M + m) / 2 | 11,3 | 15,7 | 17,3 | 21,8 | 27,6 | 31,9 | 34,6 | 34,9 | 28,9 | 22,1 | 17 | 13 |

T: Température mensuelle en (°C) ;

(info climat, 2020)

M : Moyenne mensuelle des températures maximales de l'année 2020 en °C ;

m : Moyenne mensuelle des températures minimales de l'année 2020 en °C;

(M + m) / 2 : Moyenne mensuelle des températures de l'année 2020 en °C.

La région de Ghardaïa est caractérisée par une température moyenne la plus faible est enregistré en janvier (T moy = 11,3°C) et une température moyenne du mois le plus chaud est notée en Aout (T moy = 34,9°C).

II.1.2.2. Précipitations :

Dans le Sahara septentrional, les pluies sont rares, irrégulières et tombent surtout en hiver. Elles ruissellent souvent sans bien s'infiltrer, limitant ainsi leur bénéfice pour la végétation, Les pluies sont en général torrentielles et durent peu de temps sauf en cas exceptionnels (DSA, 2018).

Les valeurs des précipitations mensuelles obtenues à Ghardaïa a 2020 (exprimées en millimètres) sont mentionnées dans le tableau :

Tableau 03: Précipitations mensuelles enregistrées dans de la région Ghardaïa en 2020

| Mois | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Août | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre |
|------|---------|---------|------|-------|-----|------|---------|------|-----------|---------|----------|----------|
|------|---------|---------|------|-------|-----|------|---------|------|-----------|---------|----------|----------|

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|-----|-----|------|---|---|---|------|---|---|---|
| P | 0 | 0 | 3.3 | 9.4 | 5.59 | 0 | 0 | 0 | 4.57 | 0 | 0 | 0 |
|---|---|---|-----|-----|------|---|---|---|------|---|---|---|

P: Précipitation mensuelle exprimées en millimètres.

(info.climat.2020)

II.1.2.3. Vent :

Le vent exerce une grande influence sur les êtres vivants (FAURIE *et al.*, 1984). Elle est le facteur principal de la topographie désertique. Pendant certaines périodes de l'année, en général en mars et avril, on assiste au Sahara à de véritables tempêtes de sable se déplaçant avec violence et pouvant atteindre plusieurs centaines de mètres de haut (DSA, 2018).

Tableau 04 : Vitesse moyenne des vents (m/s) enregistrées à Ghardaïa

| Mois | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | Total |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| V.V | 12,1 | 14,0 | 14,2 | 13,9 | 14,0 | 13,4 | 11,1 | 10,4 | 10,9 | 9,86 | 11,3 | 10,7 | 145,8 |

V.V : Vitesse de vent (m/s)

Source : www. Tutiempo.com (2020)

II.1.3. Production végétale :

La wilaya de Ghardaïa exploite une gamme diversifiée de cultures et une variété de troupeaux d'élevages et donc, de productions végétales et animales, comme il ressort des données dont nous disposons, et que nous exploiterons à titre indicatif. (BOUZID, M. et al., 2021).

La wilaya de Ghardaïa a enregistré une production totale de 55 231 quintaux de céréales durant la campagne agricole 2023/2024, dont 53 990 quintaux de blé dur et 1 241 quintaux de blé tendre. Cette production provient d'une superficie irriguée de 1 426 hectares, répartie principalement entre les communes de Métlili, El Guerrara, Zelfana et Mansoura (DSA, 2025).

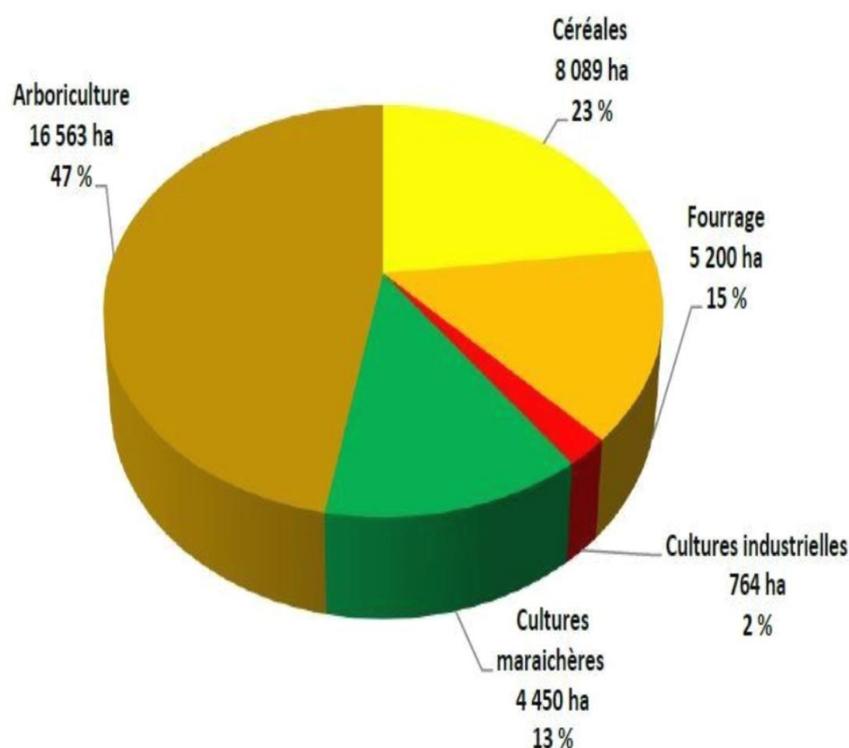


Figure 03: Superficies associées aux principales cultures à Ghardaïa (BOUZID et al,2021).

Grâce à l’introduction du système d’irrigation par pivot et à l’accompagnement technique des services agricoles, le rendement moyen a atteint 40 quintaux par hectare. Pour la prochaine saison, la superficie emblavée devrait dépasser 2 000 hectares avec une production attendue de plus de 81 000 quintaux (DSA, 2025).

Tableau 05: Superficies et productions de blé dur dans la région de Ghardaïa (DSA, 2025)

| Cultures Commune: | Céréales | |
|----------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| | Superficie moissonnée (ha) | Production récoltée (qx) |
| GHARDAÏA | - | - |
| BOUNOURA | - | - |
| DHAYET | - | - |
| BENDAHOUA | - | - |
| BERRIANE | - | - |
| METLILI | 180.00 | 6 675.80 |

| | | |
|-------------|--------|-----------|
| EL GUERRARA | 98.00 | 1 869.40 |
| EL ATTEUF | - | - |
| ZELFANA | - | - |
| SEBSEB | 545.00 | 26 569.40 |
| EL-MANSOURA | 572.00 | 21 444.80 |

Tableau 06: Superficies et productions des palmiers dattiers (Deglet Nour) dans la région de Ghardaïa

| Cultures Régions | Palmiers dattiers | |
|---------------------|-------------------------------|--------------------------|
| | Nombre de palmiers en rapport | Production récoltée (qx) |
| GHARDAÏA | 53 634 | 27 735 |
| BOUNOURA | 20 154.00 | 10 422 |
| DHAYET BENDAHOUA | 31 387.00 | 16 230 |
| BERRIANE | 24 559.00 | 12 700 |
| METLILI | 58 590.00 | 30 298 |
| EL GUERRARA | 72 356.00 | 37 417 |
| EL ATTEUF | 21 586.00 | 11 163 |
| ZELFANA | 37 445.00 | 19 364 |
| SEBSEB | 20 484.00 | 10 593 |
| EL-MANSOURA | 21 035.00 | 10 878 |

II.2. Méthodes de collecte des données :

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer le rendement énergétique de deux systèmes agricoles pratiqués dans la région de Ghardaïa, à savoir la culture du blé dur et celle des dattes de variété Deglet Nour. Ces deux cultures ont été choisies en raison de leur importance économique et de leur prédominance dans la région, selon les données les plus récentes fournies par la Direction des Services Agricoles (DSA) de la wilaya de Ghardaïa.

Les données utilisées dans cette analyse ont été collectées principalement dans la commune de Metlili, au sud de la wilaya. L'enquête de terrain a été menée auprès de plusieurs exploitants agricoles, notamment au niveau de la Ferme Ouled El Aid et de la Ferme Ghazil. Ces données ont été complétées par des informations officielles issues des statistiques agricoles actualisées pour l'année en cours, fournies par la DSA, concernant les rendements, les superficies cultivées, la répartition des variétés, et les pratiques culturales dominantes pour les deux cultures ciblées.

Les principaux **intrants** énergétiques pris en compte sont :

- Le carburant utilisé pour les travaux mécaniques (labour, irrigation, transport, etc.)
- Les engrais minéraux (azotés, phosphatés, potassiques)
- Les produits phytosanitaires
- L'énergie humaine mobilisée (main-d'œuvre)
- L'eau d'irrigation, y compris l'énergie nécessaire pour le pompage
- Les semences ou rejets
- L'énergie indirecte liée à l'usage des machines agricoles et aux opérations de maintenance

Les sorties énergétiques correspondent à la production de biomasse récoltée par hectare (grain ou dattes), exprimée en équivalents énergétiques (MJ/ha), permettant ainsi le calcul du rendement énergétique de chaque culture (rapport énergie produite / énergie consommée).

Les données relatives aux rendements ont été extraites des statistiques actualisées de la Direction des Services Agricoles (DSA) de Ghardaïa, représentant la production moyenne locale pour la campagne agricole en cours.

Tableau 07: Schéma simplifié des sources d'énergie dans les étapes de la culture du blé

| Méthode d'estimation simplifiée | Sources d'énergie principales | Étape agricole |
|---|--|-----------------------------|
| Calcul du carburant utilisé et quantité de semences | Carburant des tracteurs, semences de blé | Préparation du sol et semis |
| Mesure de l'eau utilisée et énergie nécessaire au pompage | Eau d'irrigation, énergie de pompage | Irrigation |
| Estimation des quantités | Engrais, pesticides, | Fertilisation et lutte |

| | | |
|--|--|----------------------|
| d'engrais, pesticides et carburant utilisés | carburant pour pulvérisation | phytosanitaire |
| Calcul de la consommation de carburant pour la récolte et le transport | Carburant des machines de récolte et tracteurs | Récolte et transport |
| Conversion des heures de travail en énergie consommée | Heures de travail manuel | Énergie humaine |
| Estimation de l'énergie liée aux machines répartie par hectare | Entretien et fabrication des machines | Énergie indirecte |

Les sections suivantes détailleront les résultats pour chaque culture, en précisant les consommations et productions énergétiques, avant de procéder à une comparaison entre les deux systèmes selon les spécificités agro-climatiques de Ghardaïa. Cette analyse vise à dégager des pistes d'optimisation pour une agriculture plus efficiente et durable en milieu saharien.

Ce chapitre a permis de poser les bases méthodologiques nécessaires à l'analyse du bilan énergétique des principales cultures agricoles dans la wilaya de Ghardaïa, à savoir le blé et le palmier dattier. À travers une description détaillée de la zone d'étude, de ses caractéristiques agro-climatiques, pédologiques et hydrogéologiques, nous avons mis en évidence les contraintes spécifiques de l'agriculture saharienne ainsi que les potentialités offertes par l'irrigation localisée et la diversité culturelle.

La méthodologie adoptée repose sur la collecte rigoureuse de données issues à la fois des institutions agricoles (DSA) et d'enquêtes de terrain menées auprès d'agriculteurs locaux. Ces données ont permis de quantifier les intrants énergétiques mobilisés (carburants, engrais, semences, irrigation, etc.) et les sorties énergétiques sous forme de production agricole.

L'objectif de cette démarche est de mesurer l'efficacité énergétique des systèmes agricoles étudiés, en identifiant les leviers d'optimisation dans une logique de durabilité et d'adaptation aux conditions sahariennes. Cette analyse comparative constitue un socle

essentiel pour interpréter les résultats présentés dans les chapitres suivants, en vue de proposer des orientations pour une agriculture plus efficiente à Ghardaïa

Chapitre III

Résultats et discussions

Chapitre III: Résultats et discussions

La wilaya de Ghardaïa se caractérise par une situation stratégique importante et un climat favorable qui lui fait occuper une position économique, commerciale et agricole, c'est pourquoi la recherche a été menée dans cette région.

On va étudier le bilan énergétique et son analyse, dans le domaine de l'agriculture, dans les chapitres précédents.

Dans ce chapitre, nous discuterons des résultats liés à la quantité d'apports énergétiques pour la production de blé et de dattes, ainsi que le coût de production et le pourcentage de distribution d'énergie dans les techniques agricoles.

III.1. Bilan énergétique de blé :

Les besoins énergétiques de l'agriculture ont été divisés en deux groupes, directs et indirects (Samavatean et al., 2011).

Le tableau ci-dessous montre les sources d'énergie utilisées dans la production du blé et leur équivalent énergétique, ainsi que les ratios d'énergie, d'entrée et de sortie. Consommation d'énergie et sources de production du blé.

Tableau 08: Quantités des intrants et de l'énergie produite dans la production du blé.

| Source d'énergie | Énergie (MJ/unit) équivalent | Entrée utilisée par hectare (unité/ha) | Valeur énergétique (MJ/h1) | Rapport (%) |
|---------------------|------------------------------|--|----------------------------|-------------|
| Entrées | | | | |
| Main d'œuvre (h) | 1.96 | 10 | 19.6 | 0.04 |
| Machines (h) | 62.7 | 6.9 | 432.63 | 1.03 |
| Diesel (L) | 45.4 | 21 | 953.4 | 2.27 |
| Engrais (kg) | | | | |
| Azote | 60.6 | 600 | 36360 | 86.63 |

| | | | | |
|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------|
| Phosphate | 11.1 | 20 | 222 | 0.52 |
| potassium | 6.7 | 20 | 134 | 0.31 |
| Semences de blé (kg) | 14.6 | 250 | 3650 | 8.69 |
| Pesticides (L) | 199 | 1 | 199 | 0.47 |
| Total d'énergie entrée | | | 41970.63 | 100 |
| Sortie | Energie équivalent (MJ/unité) | Sortie par hectare (unité/ha) | Valeur énergétique (MJ/ha) | Rapport (%) |
| Grain de blé (kg/ha) | 14.7 | 4050 | 59535 | |

L'analyse énergétique réalisée concerne la culture du blé sur un hectare. Les résultats obtenus montrent que la valeur totale de l'énergie d'entrée s'élève à 41 970,63 MJ/ha, Ramah et Baali (2013), en Maroc, calculés rapport de sortie d'énergie / entrée comme 3,30 Çiçek et al. (2011), en Turquie, ont calculé le rapport production / entrée d'énergie comme 2,51, Ces résultats sont à peu près proches de ceux obtenus dans notre étude, ce qui confirme la cohérence du système analysé. D'autre part, La quantité de semence de blé semée est de 250 kg/ha, la puissance de la machine qui produit du blé dans la zone d'étude 6.9 heures par hectare avec une énergie équivalente de 432.63 MJ/ha, l'énergie économisée par le travail humain et pesticides est très faible dans la culture du blé, elle équivaut à 19.6 MJ/h et 199 MJ/kg respectivement.

La figure en dessous représente les résultats de répartition en pourcentage des intrants énergétique du blé. Les résultats ont indiqué que la majeure partie de l'énergie consommée pour produire la récolte de blé était consommée sous forme d'engrais (87.46%), semences de blé (8.69%). Cette comparaison a montré que chaque région a une spécificité en termes de partage de l'apport énergétique.

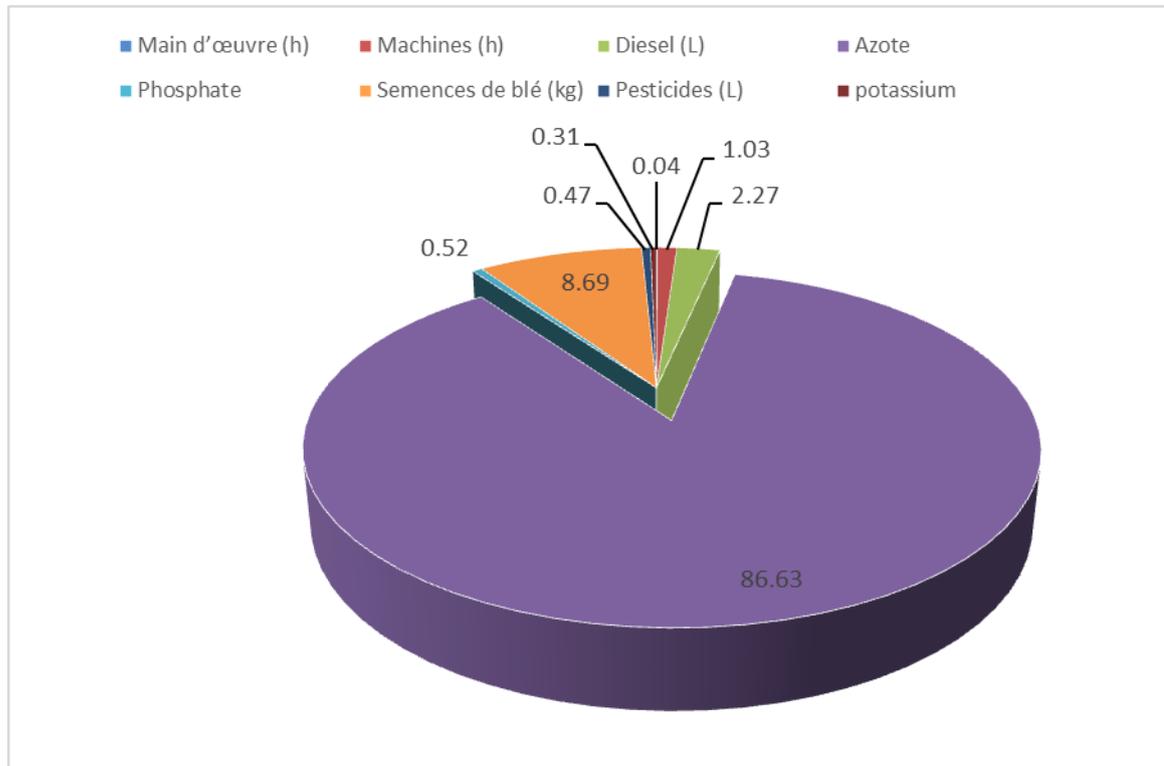


Figure 04: Répartition en pourcentage des intrants énergétique du blé.

Ce graphique circulaire illustre la répartition des intrants utilisés dans la production agricole.

On remarque clairement que l'azote (Azote) constitue la part dominante des intrants, représentant la quasi-totalité de la consommation. Cela signifie que l'engrais azoté est l'élément le plus consommé ou le plus déterminant dans le processus de production analysé.

Les autres intrants, tels que : La main-d'œuvre, Les machines (Machines), Le diesel, Les semences de blé, Les pesticides, Le phosphate, Le potassium, représentent chacun une part très faible, presque négligeable, par rapport à l'azote.

Le tableau ci-dessous présente l'efficacité de l'utilisation énergétique, la productivité énergétique, l'énergie spécifique, l'énergie nette et l'intensité énergétique de la production du blé.

Tableau 09: Rapport d'énergie entrée –sortie dans la production de blé.

| | Unité | Valeur |
|--------------------------|--------|----------|
| Energie entrée | MJ/ha | 41970.63 |
| Energie sortie | MJ/ha | 59535 |
| Rendement énergétique | – | 1.41 |
| Energie spécifique | MJ/Kg | 10.36 |
| Productivité énergétique | Kg /MJ | 0.09 |
| Energie nette | MJ/ha | 17564.37 |

Le tableau présente les principaux indicateurs énergétiques liés à la culture du blé. L'énergie totale consommée par hectare est de 41 970,63 MJ/ha, tandis que l'énergie produite atteint 59535 MJ/ha, ce qui conduit à un rendement énergétique de 1,41. Cela signifie que pour chaque mégajoule investi, 1,41 MJ sont récupérés sous forme de produit récolté, traduisant une performance énergétique raisonnable.

L'énergie spécifique, c'est-à-dire la quantité d'énergie utilisée pour produire un kilogramme de blé, est de 10,36 MJ/kg, indiquant une intensité énergétique modérée. En parallèle, la productivité énergétique est de 0,09 kg/MJ, ce qui exprime la quantité de production obtenue par unité d'énergie dépensée : près de 90 grammes de blé par MJ consommé.

Enfin, l'énergie nette, obtenue par la différence entre l'énergie sortie et l'énergie entrée, est de 17564.37 MJ/ha. Ce solde positif indique que le système de production est énergétiquement rentable et capable de générer un excédent énergétique appréciable.

Tableau 10 : certaines études précédentes sur l'analyse énergétique du blé

| Comparaison de nos résultats avec les études précédentes | Rendement (kg ha ⁻¹) | Énergie totale l'input (MJ ha ⁻¹) Énergie intrante | Énergie totale l'output (MJ ha ⁻¹) Énergie sortante | Efficacité énergétique |
|--|----------------------------------|---|--|------------------------|
| | | | | |

| Notre résultats | 4050 | 41970.63 | 59535 | 1.41 |
|--|-------------|-----------------|--------------|-------------|
| Tipi et al. (2009) en Turquie | 4346 | 20653.54 | 63686.20 | 3.09 |
| Shahin et al. (2008) en Iran | 3675 | 38356.39 | 120097.90 | 3.13 |
| Kardoni et al. (2013) en Khuzestan | 4285 | 35605 | 62989.50 | 1.76 |
| Karaagac et al. (2011) en Turquie | 2587.20 | 16553.94 | 63686.20 | 3.09 |
| Moghimi et al. (2013) en Kordestan | 5537.50 | 42998.44 | 97935.53 | 2.28 |

Le tableau ci-dessus présente une comparaison des résultats obtenus dans cette étude avec ceux rapportés par différentes recherches antérieures. Le rendement enregistré dans notre cas est de 4050 kg/ha, avec une énergie totale entrante de 41 970,63 MJ/ha et une énergie totale sortante de 59 535 MJ/ha, ce qui donne une efficacité énergétique de 1,41.

Comparativement, les études de Tipi et al. (2009) et Shahin et al. (2008) affichent des efficacités énergétiques nettement supérieures, atteignant respectivement 3,09 et 3,13, grâce à une meilleure valorisation de l'énergie entrante. De même, les travaux de Karaagac et al. (2011) montrent une efficacité équivalente à celle de Tipi, malgré un rendement inférieur (2587,2 kg/ha), ce qui suggère une gestion énergétique optimisée.

L'étude de Kardoni et al. (2013), avec un rendement de 4285 kg/ha, présente une efficacité intermédiaire (1,76), tandis que Moghimi et al. (2013) obtiennent un rendement plus élevé (5537,5 kg/ha) mais une efficacité plus modeste (2,28), ce qui peut indiquer une consommation énergétique relativement plus importante.

En conclusion, bien que nos résultats montrent une efficacité énergétique plus faible que la majorité des études citées, ils restent acceptables dans un contexte de production réelle. Cela pourrait être amélioré par une meilleure optimisation des intrants (carburants, engrais, irrigation, etc.).

III.2. Bilan énergétique de palmier dattier :

Les résultats présents dans le tableau 9, Quantités des intrants et de l'énergie produite dans la production de dattes.

Tableau 11 : Quantités des intrants et de l'énergie produite dans la production des dattes

| Source d'énergie | Énergie (MJ/unit) équivalent | Entrée utilisée par hectare (unité ha-1) | Valeur énergétique (MJ/h1) | Rapport (%) |
|-----------------------------------|------------------------------|--|----------------------------|-------------|
| Entrées | | | | |
| Main d'œuvre (h) | 1.96 | 700 | 1372 | 7.23 |
| Machines (h) | 62.7 | 60 | 3762 | 19.84 |
| Diesel (L) | 45.5 | 50 | 2275 | 11.99 |
| Engrais (kg) | | | | |
| N | 60.6 | 60 | 3636 | 19.17 |
| P ₂ O ₅ | 11.1 | 40 | 444 | 2.34 |
| Produits chimiques (L) | 101.2 | 0.6 | 60.72 | 0.32 |
| Fumier | 0.3 | 10000 | 3000 | 15.82 |
| eau d'irrigation(m ³) | 0.63 | 7000 | 4410 | 23.26 |

| | | | | |
|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|--------------------|
| Total d'énergie entrée. | | | 18960 | 100 |
| Sortie | Energie équivalent (MJ/unité) | Sortie par hectare (unité h-1) | Valeur énergétique (MJ/h-1) | Rapport (%) |
| Dattes (kg) | 2.4 | 2585.6 | 6205.44 | |

Ce tableau détaille les différentes sources d'énergie utilisées dans la production de dattes par hectare, en indiquant pour chaque poste : l'énergie équivalente par unité, la quantité utilisée, la valeur énergétique totale (MJ/ha), et le pourcentage par rapport à l'énergie totale. On observe que les principales contributions à l'énergie entrante proviennent de l'eau d'irrigation (4 410 MJ/ha, soit 23.26 %), des machines agricoles (3 762 MJ/ha, soit 19.84 %), de l'azote (3 636 MJ/ha, soit 19.17 %) et du diesel (2 275 MJ/ha, soit 11.99 %). Ces postes, à eux seuls, représentent plus de 74 % de l'énergie totale dépensée. À l'inverse, la sortie énergétique repose uniquement sur la production de dattes (2.4 MJ/kg pour un rendement de 2585.6 kg/ha). Cette répartition révèle un déséquilibre énergétique important, principalement attribuable à un rendement trop faible pour justifier les apports énergétiques investis.

La répartition en pourcentage des intrants énergétique de dattes présentée dans la figure :

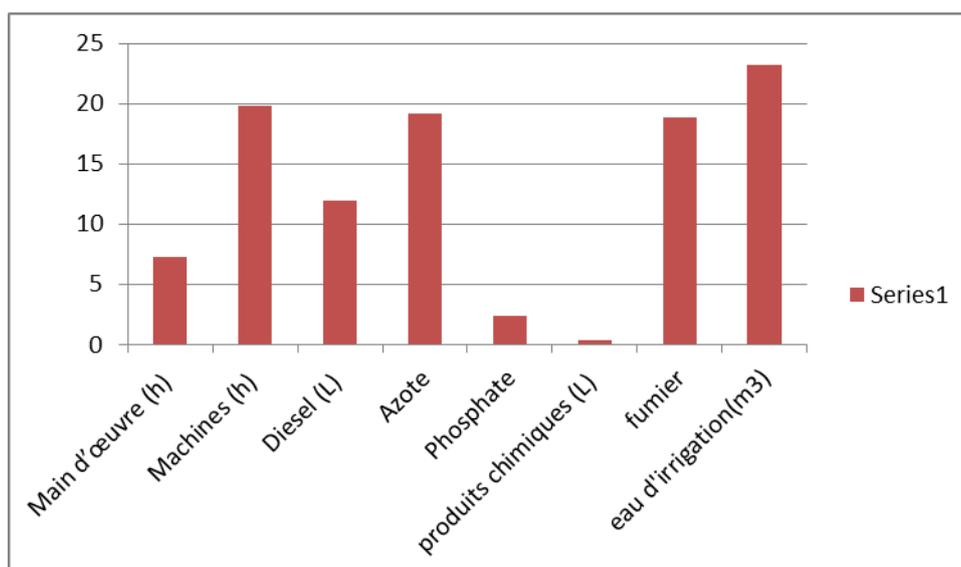


Figure 05: Répartition en pourcentage des intrants énergétique de dattes

Le graphique met en évidence la contribution relative des différents intrants énergétiques dans la production des dattes. Il révèle une répartition relativement équilibrée entre plusieurs sources d'énergie, sans qu'un intrant unique ne domine de manière excessive.

L'eau d'irrigation représente la part la plus importante, avec 23,26 % de l'énergie totale consommée, soulignant l'importance cruciale de l'irrigation dans les zones arides où se cultive le palmier dattier. Elle est suivie de près par les machines agricoles (19,84 %) et l'azote (19,17 %), ce qui traduit un recours important à la mécanisation et à la fertilisation azotée pour maintenir la productivité.

Le fumier intervient également de manière significative avec 18,82 %, traduisant une valorisation notable des amendements organiques. Le diesel, utilisé pour les opérations mécanisées, représente 11,99 %, tandis que la main-d'œuvre humaine n'intervient qu'à hauteur de 7,23 %, ce qui reflète une certaine automatisation des tâches agricoles.

Les phosphates n'atteignent que 2,34 %, et les produits chimiques liquides affichent une contribution marginale de 0,32 %, suggérant une gestion raisonnable des intrants chimiques.

En conclusion, ce profil énergétique met en lumière un système agricole qui repose principalement sur l'irrigation, la mécanisation et la fertilisation, tout en maintenant une utilisation modérée des produits chimiques. Cela peut constituer un avantage en termes de durabilité environnementale et d'impact économique à long terme.

Tableau 12: Calculs du bilan énergétique dans la production de palmier dattier (Deglet Nour):

| | Unité | Valeur |
|--------------------------|--------|-------------|
| Energie entrée | MJ/ha | 18960 |
| Energie sortie | MJ/ha | 6205.44 |
| Rendement énergétique | – | 0.327291139 |
| Energie spécifique | MJ/Kg | 7.332920792 |
| Productivité énergétique | Kg /MJ | 0.136371308 |

| | | |
|---------------|-------|-----------|
| Energie nette | MJ/ha | -12754.56 |
|---------------|-------|-----------|

Ce tableau présente les indicateurs clés du bilan énergétique de la culture des dattes. L'énergie totale consommée par hectare est de 18 960 MJ, alors que l'énergie restituée sous forme de production (dattes récoltées) n'est que de 6205.44 MJ/ha. Cela se traduit par un rendement énergétique très faible de 0,32 ce qui signifie que pour chaque mégajoule investi, seulement 0,32 MJ est récupéré.

De plus, l'énergie spécifique, estimée à 7,33 MJ/kg, indique une forte intensité énergétique par kilogramme de dattes produit. La productivité énergétique est également faible (0,13 kg/MJ), traduisant une faible efficacité de conversion énergétique.

Enfin, l'énergie nette est négative (-12 754.56 MJ/ha), ce qui confirme que le système consomme beaucoup plus d'énergie qu'il n'en produit. Ce déséquilibre énergétique met en évidence une dépendance excessive aux intrants externes (eau, engrais, carburant) et soulève des questions sur la durabilité de ce modèle de culture dans le contexte actuel.

III.3. Analyse économique

La majorité des études effectuées sur le bilan énergétique du blé et des dattes ne tiennent pas compte de la caractéristique économique.

De notre côté, le coût de chaque intrant utilisé et les valeurs de la production brute calculées pour la production de ces deux cultures sont présentés aux tableaux ci-dessous.

III.3.1. Analyse économique de la production du blé dur

L'analyse économique a été réalisée dans la production de blé à Ghardaïa. Les résultats révèlent que la valeur brute de la production de blé est de **243000** DA/ha.

Les coûts totaux pour la production étaient de **125709** DA/ha. En appliquant les formules standards de calcul économique, nous avons obtenu les résultats suivants :

Tableau 13: Analyse économique de la production du blé.

| Indice économique | Unité | Valeur |
|-------------------|-------|--------|
| Rendement | Kg/ha | 4050 |

| | | |
|--------------------------|-------|----------|
| Prix de vente | DA/kg | 60 |
| Valeur brute | DA/ha | 243000 |
| Coût de production total | DA/ha | 125709 |
| Coût variable | DA/ha | 113138.1 |
| Coût fixe | DA/ha | 12570.9 |
| Revenu brut | DA/ha | 129861.9 |
| Revenu net | DA/ha | 117291 |
| Productivité | Kg/DA | 1.93 |

Les résultats montrent qu'avec un rendement de 4050 Kg/ha, la production de blé dans la région reste économiquement rentable.

Contrairement à certaines situations déficitaires observées ailleurs, les coûts de production restent ici modérés, atteignant 125 709 DA/ha, ce qui représente un bon contrôle des dépenses agricoles.

La valeur brute de production est de 243 000 DA/ha, ce qui permet de dégager un revenu net positif de 117 291 DA/ha. Cela reflète une rentabilité économique appréciable dans le contexte local.

La productivité économique atteint 1.93 Kg/DA (0.193 qx/ha), ce qui signifie qu'un dinar investi génère presque 2 kilogrammes de blé, un indicateur très favorable comparé à d'autres régions agricoles.

Le coût variable représente environ 90% des charges totales, ce qui reste cohérent avec d'autres analyses réalisées sur des systèmes agricoles similaires, où les coûts directs (engrais, irrigation, main-d'œuvre) dominent les dépenses.

Ces résultats indiquent que, dans les conditions actuelles de production, la culture du blé est économiquement viable, et pourrait constituer une activité rentable si les conditions techniques et climatiques restent favorables.

III.3.2. Analyse économique de la production de dattes

Une analyse économique a été réalisée dans la production de dattes à Ghardaïa. Les résultats révèlent que la valeur brute de la production de dattes est de **646400**DA/ha.

Les coûts totaux pour la production étaient de 172360 DA/ha. En appliquant les formules standards de calcul économique, nous avons obtenu les résultats suivants :

Tableau 14 : Analyse économique de la production des dattes.

| Indice économique | Unité | Valeur |
|--------------------------|-------|--------|
| Rendement | Kg/ha | 2585.6 |
| Prix de vente | DA/kg | 250 |
| Valeur brute | DA/ha | 646400 |
| Coût de production total | DA/ha | 172360 |
| Coût variable | DA/ha | 155124 |

| | | |
|--------------|-------|--------|
| Coût fixe | DA/ha | 17236 |
| Revenu brut | DA/ha | 491276 |
| Revenu net | DA/ha | 474040 |
| Productivité | Kg/DA | 3.75 |

L'analyse économique de la production de dattes montre une situation très favorable. Avec un rendement de 2585.6 kg par hectare et un prix de vente de 250 DA par kilogramme, la valeur brute atteint 646 400 DA par hectare. Les coûts totaux de production sont relativement bas, s'élevant à 172 360 DA par hectare, dont la majeure partie correspond aux coûts fixes. Cette structure de coûts, combinée à un faible coût variable, permet d'obtenir un revenu net important de 474 040 DA par hectare, ce qui traduit une bonne rentabilité.

De plus, la productivité financière de 3,75 kg par dinar investi souligne l'efficacité économique de cette production.

En somme, la culture des dattes présente un excellent rapport coût-revenu, assurant une performance économique solide pour les producteurs.

Ce chapitre a permis d'analyser les bilans énergétiques et économiques de deux cultures majeures dans la wilaya de Ghardaïa : le blé et le palmier dattier. Les résultats ont révélé des dynamiques contrastées entre ces deux systèmes de production.

Pour le blé, le bilan énergétique montre une efficacité modérée avec un rendement énergétique de 1,41, indiquant que la production est énergétiquement rentable. L'analyse économique confirme cette viabilité, avec un revenu net positif et une productivité de 1,93 kg/DA, témoignant d'une bonne gestion des coûts et des intrants. Cependant, l'étude comparative avec d'autres recherches souligne des marges d'amélioration possibles, notamment dans l'optimisation des apports énergétiques.

En revanche, la production de dattes présente un déséquilibre énergétique marqué, avec un rendement énergétique faible (0,32) et une énergie nette négative (-12 754.56 MJ/ha), reflétant une forte dépendance aux intrants externes comme l'eau et les engrais. Malgré cela, l'analyse économique révèle une rentabilité élevée, avec un revenu net important (474 040 DA/ha) et une productivité de 3,75 kg/DA, grâce à la valeur marchande élevée des dattes.

En conclusion, bien que la culture du blé soit énergétiquement plus efficace, la production de dattes demeure économiquement plus attractive. Ces résultats mettent en lumière la nécessité d'adopter des pratiques agricoles durables, notamment pour réduire la consommation énergétique dans la culture des dattes, tout en capitalisant sur leur rentabilité. Ces insights pourraient guider les décideurs et les agriculteurs vers des systèmes de production plus équilibrés et performants à long terme.

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce mémoire de master a exploré le bilan énergétique et économique de deux cultures stratégiques dans la région aride de Ghardaïa : le blé dur et le palmier dattier (Deglet Nour). À travers une analyse approfondie des intrants et extrants énergétiques, ainsi qu'une évaluation économique rigoureuse, cette étude a permis de mieux cerner les défis de durabilité et de rentabilité de l'agriculture en milieu saharien.

Les résultats obtenus montrent que la culture du blé présente un rendement énergétique de 1,41, ce qui reflète un système relativement efficace du point de vue énergétique. De plus, l'analyse économique révèle une rentabilité positive, avec un revenu net de 117 291 DA/ha et une productivité économique de 1,93 Kg/DA, indiquant que chaque dinar investi permet de produire près de 2 kg de blé. Cependant, cette culture demeure dépendante de coûts élevés en intrants, notamment en engrais azotés.

À l'opposé, la culture du palmier dattier (Deglet Nour) affiche un rendement énergétique de 0,32. Toutefois, sur le plan économique, elle se distingue nettement par une rentabilité exceptionnelle, générant un revenu net de 474 040 DA/ha et une productivité économique de 3.75 Kg/DA. Ces résultats confirment l'adaptation stratégique du palmier dattier aux conditions climatiques locales et à la réalité socio-économique du sud algérien.

Ainsi, cette étude souligne la nécessité d'orienter les politiques agricoles vers des cultures localement adaptées et économiquement viables. Elle appelle également à une meilleure gestion énergétique, notamment par la réduction des intrants coûteux et l'adoption de pratiques durables.

✚ Solutions proposées :

- ✓ Adoption de techniques d'irrigation de précision (goutte-à-goutte intelligent, capteurs, télégestion) pour réduire la consommation d'eau et d'énergie.
- ✓ Valorisation des résidus agricoles (paille, feuilles de palmier) pour la production de biomasse ou d'amendements organiques.
- ✓ Utilisation de variétés de blé plus résilientes à la sécheresse, moins dépendantes en engrais chimiques.
- ✓ Diversification agricole avec des espèces à forte valeur ajoutée et faible demande en eau (ex. : figuier de Barbarie, moringa).

✚ Perspectives de recherche

- ✓ Évaluation de systèmes agroécologiques innovants (agroforesterie associant palmiers et cultures vivrières) pour maximiser les synergies énergie/économie.
- ✓ Intégration des énergies renouvelables (solaire pour l'irrigation, le pompage ou la transformation des produits).
- ✓ Développement de modèles d'aide à la décision basés sur des données climatiques, économiques et énergétiques en temps réel.
- ✓ Étude de la résilience des exploitations agricoles face aux aléas climatiques et au changement global.

Ce travail apporte une contribution précieuse à la compréhension des dynamiques énergétiques et économiques de l'agriculture saharienne. Il démontre que l'avenir de l'agriculture dans les zones arides repose sur une approche intégrée, combinant innovation technologique, adaptation locale et durabilité environnementale. La culture du palmier dattier, en particulier, se révèle être un pilier stratégique pour une agriculture saharienne résiliente, rentable et durable.

Références bibliographiques

Références bibliographiques



1. Algérie Presse Service (APS). (s.d.). Article sur les palmiers dattiers et les cultures stratégiques.
2. Aziza M. A., 2006. La lutte contre les effets néfastes des changements climatiques. Bulletin des énergies renouvelables, n° 9: 10-11.
3. BENYOUCEF, M. et TOUMI, S., 2020. Évaluation du bilan énergétique des systèmes agricoles en zones arides : Cas du sud algérien. Revue des Sciences et Technologies, vol. 18, no 2, p. 45-56.
4. BERNADETTE, R. (dir.), THÉOBALD, O., (2002), Référentiel pour l'analyse énergétique de l'exploitation agricole et son pouvoir de réchauffement global. Dijon : ENESAD. Annexes au rapport d'étude pour l'ADEME, p. 43.
5. BERNE, (2013), Conseil fédéral. Besoins énergétiques de l'agriculture suisse : situation actuelle et potentiel d'amélioration. Rapport du Conseil fédéral en réponse au postulat 13.3682 Bourgeois du 11 septembre 2013.
6. BOCHU, J.-L. (2002). L'agriculture productrice d'énergie : enjeux et perspectives. Cahiers de l'Agriculture, 11(6), 405–410.
7. BOCHU, J.-L. (2002). PLANETE : Méthode pour l'analyse énergétique de l'exploitation agricole et l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre. Colloque SOLAGRO, Toulouse Cedex 3, France.
8. Bojacá, C. R., H. A. Casilimas, R. Gil, and E. Schrevens. 2012. Extending the input/output energy balance methodology in agriculture through cluster analysis. Energy, 47(1): 465–470.
9. Bouchenaf, F. (2024). The challenges of developing the strategic agriculture in Algeria as a mechanism to guarantee the sustainable food security – With reference to the experience of the Wilayas of El Oued and M'niaa. University of Djelfa - Algeria, Vol. 06(03), 145–170.
10. Boucherf D., SD. Variabilité et changement climatique en Algérie. CRSTRA, Biskra: 109-126.

11. BOUZID, M. A., & KARRACHE, A. (2021). Enquête sur les problèmes phytosanitaires liés à la céréaliculture sous pivot dans la région de Ghardaïa.
12. Carillon Rémi, 1981. L'agriculture et l'énergie . In: Revue d'économie industrielle, vol. 18. Genèse et développement de la BIOINDUSTRIE. pp. 110-123.
13. CHEN, Guangnan, MARASENI, Tek et YANG, Zhou, 2010. Évaluation du cycle de vie énergétique et de l'empreinte carbone : produits agricoles et alimentaires. In : CAPEHART, Barney L., éd. Encyclopédie de l'ingénierie et de la technologie de l'énergie. Vol. 1. Londres : Taylor & Francis, p. 1–5. ISBN 978-0-8493-3653-9.
14. Çiçek, A., G. Altıntaş and G. Erdal, 2011. Energy consumption patterns and economic analysis of irrigated wheat and rainfed wheat production: case study for Tokat region, Turkey. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 17(3):378-388 .
15. Dugué M.J., 2012.- Caractérisation des stratégies d'adaptation au changement climatique en agriculture paysanne. *Agronomes et vétérinaires sans frontières*, 50 p.
16. Fadavi, R., Keyhani, A., & Mohtasebi, S.S. (2011). An analysis of energy use, input costs and relation between energy inputs and yield of apple orchard. *Research in Agricultural Engineering*, 57(3), 88–96.
17. FAO. Analyse du secteur agricole en Algérie : cultures stratégiques et sécurité alimentaire. Rome : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, 2018.
18. Faurie, C., Ferra, C., & Médori, P. (1984). *Écologie : Approche scientifique et pratique*. Paris : Masson, 453 pages.
19. Fenni M., Machane Y., 2010.- Changement climatique et agriculture de conservation. *Agronomie*, n° 0-2010: 16-20.
20. GAILLARD G., CRETZAZ P., HAUSHEER J., 1997 - Inventaire environnemental des intrants agricoles en production végétale. Base de données pour l'établissement de bilans énergétiques et écologiques en agriculture. *FATTänikon*, Suisse, 49 p.
21. JARADAT, A. (2011). Biodiversity of date palm. *USDA-ARS, USA*, pp. 3–10.
22. KAMAL AL-DIN, A. (2011). Le palmier dattier dans la religion et la culture des Arabes. *Journal de l'Alimentation et de l'Agriculture*, volume 5.
23. MEHIRI, A., & ZAHOUANI, A. (2018). Variabilité intra-parcellaire chez la rhizosphère d'un sol cultivé de luzerne (*Médicago sativa* L.) dans la région de Ghardaïa (Cas de El' Atteuf).
24. MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DU DÉVELOPPEMENT RURAL. Rapport sur le développement agricole régional en Algérie. Alger : MADR, 2020.

25. Mohammadi A and Omid M (2010) Economical analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran, *Appl. Energy* ,87:191-196.
26. Moulai A., 2008. Suivi de la stratégie méditerranéenne pour le développement durable. Développement agricole et rural. Etude nationale Algérie, vol. 1, Plan bleu, centre d'Activité Régionales, Sophia Antipolis, 44 p.
27. Ozkan B, Kurklu A and Akcaoz H (2004) An input--output energy analysis in greenhouse vegetable production: a case study for Antalya region of Turkey. *Biomass Bioenergy*,26: 189-95.
28. PIMENTEL, David, PIMENTEL, Marcia, KARPOFF, Michael, EMERY, John, PHIPPS, Rosalie, HORTON, Philip, LIPNER, Victor, KEARNS, Michael, MILLER, Sara et PAULY, Linda, 2008. *Food, Energy, and Society*. 3^e éd. Boca Raton : CRC Press, 380 p. ISBN 978-1-4200-4667-3.
29. Rahal-bouziane Hafida, Quelques Cultures Strategiques Pour L'algerie Face Aux Changements Climatiques: L'orge (hordeum Vulgare L.) Et Le Mil [pennisetum Glaucum (L.) R. Br]. Volume 6, Numéro 1, Pages 15-31. 2016-06-10.
30. RAHAL-BOUZIANE, H. (2016). Quelques cultures stratégiques pour l'Algérie face aux changements climatiques : L'orge (Hordeum vulgare L.) et le mil (Pennisetum glaucum (L.) R. Br). *Revue des Bio Ressources*, 6(1), 15–31.
31. Ramah, M. and E.H. Baali, 2013. Energy balance of wheat and barley under Moroccan conditions. *Journal of energy Technologies and Policy*, 3(10):20- 27
32. ROBINSON, M. L., BROWN, B., & WILLIAMS, C. F. (2012). *The Date Palm in Southern Nevada*. University of Nevada Cooperative Extension, pp. 1–10.
33. Rousset N., 2007. Le commerce international comme stratégie d'adaptation à la rareté des ressources hydriques; utilité et application du concept de commerce d'eau virtuelle en Afrique du Nord. Note de travail, N° 24/2007, LEP II, université de Grenoble, CNRS, Paris, 14 p.
34. ROUSSET, N., & ARRUS, R. (2004). Économie de l'adaptation aux changements climatiques et agriculture dans le bassin méditerranéen. *Environnement et identité en Méditerranée*, IV^{ème} congrès international, Università di Corsica Pasquale Paoli, Corte, 8 p.
35. Samavatean N., Rafiee S. and Mobli H., (2011), An Analysis of Energy Use and Estimation of a Mechanization Index of Garlic Production in Iran, *Journal of Agricultural Science*, Vol.3, issue 2, pp. 198-205; Canadian Centre of Science and Education, Toronto/Canada.

36. Singh, J.M. 2002. On farm energy use pattern in different cropping systems in Haryana, India. International Institute of Management University of Flensburg, Sustainable Energy Systems and Management. Master of Science, Germany.
37. Tabatabaeefar, A., Emamzadeh, H., Ghasemi Varnamkhasti, M., Rahimizadeh, R., & Karimi, M. (2009). Comparison of energy of tillage systems in wheat production. *Energy*, 34(1), 41–45.
38. ZEGADA-LIZARAZU, W., Matteucci, D., & Monti, A.,(2010). Critical review on energy balance of agricultural systems. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 4, 423–446. Society of Chemical Industry and John Wiley & Sons, Ltd.

Les site web:

[1]: Agriculture irriguée : Clef de voûte de la sécurité alimentaire. [En ligne]. Consulté le : 01/05//2025. Disponible à l'adresse : <https://ecotimesdz.com/agriculture-irriguee-clef-de-voute-de-la-securite-alimentaire/>

[2]: Céréales : la production a atteint 41 millions de quintaux, la collecte est toujours en cours. . [En ligne]. Consulté le : 18/04/2025. Disponible à l'adresse : <https://www.algerie-eco.com/2022/09/24/cereales-la-production-a-atteint-41-millions-de-quintaux-la-collecte-est-toujours-en-cours/>

[3]: Consommation énergétique de l'agriculture. [En ligne]. Consulté le : 02/04/2025. Disponible à l'adresse : <https://2019.agrarbericht.ch/fr/environnement/energie/consommation-energetique-de-lagriculture>

[4]: Fundamentals of Energy Analysis for Crop Production Agriculture. . [En ligne]. Consulté le : 05/05/2025. Disponible à l'adresse : <https://ohioline.osu.edu/factsheet/fabe-6621>.

[5]: Géoconfluences ENS-Lyon. Définition de « Intra ». [En ligne]. Consulté le : 02/04/2025. Disponible à l'adresse : <https://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/intra>

الملخص

يتناول هذا البحث دراسة الحصيلة الطاقوية والإنتاجية الاقتصادية لمحصولين استراتيجيين في منطقة غرداية: القمح الصلب ونخيل التمر. اعتمدت الدراسة على جمع وتحليل بيانات مدققة من مزارعين ومصالح فلاحية محلية، لحساب موازنة الطاقة (المدخلات والمخرجات الطاقوية) وتحليل العائد الاقتصادي للهكتار. أظهرت النتائج أن زراعة القمح تحقق مردودية طاقوية متوسطة (1.41) وربحية اقتصادية إيجابية، بينما زراعة النخيل تُظهر أداءً طاقويًا (0.31) مقابل مردودية اقتصادية عالية. توصي الدراسة بتوجيه السياسات الفلاحية نحو الزراعة المستدامة وتقنيات الري المقتصدة وتحسين استخدام الموارد الطاقوية.

الكلمات المفتاحية: الحصيلة الطاقوية، القمح، النخيل، الزراعة الصحراوية، المدخلات الطاقوية، المردودية الاقتصادية، غرداية.

Résumé en français

Ce mémoire de master analyse le bilan énergétique et la rentabilité économique de deux cultures stratégiques dans la wilaya de Ghardaïa : le blé dur et le palmier dattier. À partir de données collectées auprès d'exploitations agricoles et d'organismes locaux, l'étude quantifie les intrants et extrants énergétiques, et évalue l'efficacité des systèmes agricoles en milieu saharien. Les résultats montrent une efficacité énergétique modérée pour le blé (1,41) avec une rentabilité économique positive, tandis que le palmier dattier présente un rendement énergétique (0,31) et une rentabilité remarquable. Le travail souligne la nécessité d'optimiser les pratiques agricoles par des techniques durables et adaptées aux conditions arides.

Mots clés : bilan énergétique, blé dur, palmier dattier, agriculture saharienne, intrants énergétiques, efficacité économique, Ghardaïa.