

Année : 2026



N° d'enregistrement :
/...../...../...../...../

THESE

Pour l'obtention du Diplôme de Doctorat
en Sciences Agronomiques.

Spécialité : Sciences du sol et de l'eau

Etude de la relation sol-plantes fourragères dans les exploitations agricoles de la région des Ziban.

Présentée et soutenue
publiquement par :

Mme. Touati Fatima Zohra Batoul

Le 01/06/ 2026

Devant le jury composé de :

Dr.	Pr HALILAT Med Tahar	Univ.Ouargla	Président
Dr.	MCA. BOUMADDA Abdelbasset	Univ.Ouargla	Directeur de Thèse
Dr.	Pr. BENBRAHIM Fouzi	ENS.Ouargla	Co-directeur de Thèse
Dr.	MCA. BOUKHALFA DERAOUI Naima	Univ.Ouargla	Rapporteur
Dr.	Pr. ALLAM Abdelkader	INRAA .Touggourt	Rapporteur
Dr.	MCA. SIBOUKEUR Abdellah	Univ.Ghardaia	Rapporteur

Année universitaire 2025 /2026

Dédicace

*À ma chère mère,
source inépuisable d'amour, de patience et de sacrifices. Son soutien constant,
ses prières et sa confiance ont été une force essentielle tout au long de mon
parcours. Que ce travail soit l'expression sincère de ma reconnaissance et de
mon attachement profond.*

*À mes deux frères et à ma sœur et son mari,
pour leur présence, leurs encouragements et leur soutien indéfectible dans les
moments importants comme dans les plus difficiles.*

*À mes nièces et à mon neveu,
dont la joie, l'innocence et les sourires ont toujours été une source de motivation
et d'énergie positive.*

*À mes collègues,
pour l'esprit de collaboration, le respect mutuel et les échanges enrichissants qui
ont accompagné mon parcours professionnel et académique.*

*À toutes celles et tous ceux qui ont cru en moi,
m'ont soutenu moralement et encouragé, de près ou de loin, tout au long de
cette aventure scientifique.*

Je dédie ce travail.

Remerciements

Je remercie Dieu pour l'aide, la force et la patience qu'Il m'a accordées tout au long de ce parcours académique, me permettant d'achever ce travail.

Je souhaite exprimer ma profonde reconnaissance à **M. BOUMADDA Abdelbasset**, Maître de conférences « A » à l'Université Kasdi Merbah – Ouargla, qui a assuré l'encadrement de cette thèse. Je le remercie vivement pour sa disponibilité, son soutien constant, ses orientations pertinentes, ainsi que pour la rigueur scientifique et l'esprit critique qu'il a su m'inculquer tout au long de ce travail. Son accompagnement a été déterminant dans l'aboutissement de cette recherche.

Je tiens également à remercier à **M. BENBRAHIM Fawzi**, Professeur à l'École Normale Supérieure de Ouargla, pour avoir accepté de co-encadrer cette thèse. Je lui suis profondément reconnaissant pour ses conseils avisés, la qualité de ses remarques scientifiques et son encadrement bienveillant, et ses conseils scientifiques et ses remarques constructives ont largement enrichi ce manuscrit.

Je remercie particulièrement à **M. BELAROUSSI Mouhammed**, Maître de conférences « A » à l'Université Kasdi Merbah – Ouargla, pour sa contribution significative aux analyses statistiques, son encadrement méthodologique rigoureux et ses conseils scientifiques éclairés, qui ont grandement contribué à la qualité et à la solidité des résultats de cette thèse.

Je tiens à remercier l'ensemble des institutions ayant contribué à la réalisation de cette étude, notamment le Laboratoire de recherches sur la phoeniciculture « Phoenix » (Ouargla), le Laboratoire de recherche de l'École Normale Supérieure de Ouargla, le Laboratoire de bioressources sahariennes (Ouargla) ainsi que l'ITDAS de Biskra et Laboratoire des Travaux Publics du Sud (LTPS) (Ouargla), pour la mise à disposition des moyens matériels, techniques et scientifiques nécessaires.

Je remercie également les responsables et le personnel de la Direction des Services Agricoles (DSA) de la wilaya de Biskra et de la wilaya d'Ouled Djellal pour leur collaboration, leur disponibilité et l'accès aux données et informations utiles à cette étude.

Ma gratitude va également aux agriculteurs de la région des Ziban, qui ont accepté de participer aux enquêtes de terrain et de partager leurs connaissances et leurs pratiques.

Pour conclure, je remercie toutes les personnes qui m'ont soutenu, de près ou de loin, durant la réalisation de cette thèse, par leurs encouragements et leur confiance.

Résumé :

L'objectif principal de cette étude est d'explorer la relation sol-plantes fourragères dans les systèmes agropastoraux en milieu aride de la région des Ziban (Sud-Est algérien). L'étude a concerné un échantillon de 140 exploitations agricoles réparties entre deux sous-régions contrastées : le Zab Gharbi et le Zab Chergui. Les principales cultures fourragères étudiées sont l'orge (*Hordeum vulgare* L.), la luzerne (*Medicago sativa* L.) et l'avoine (*Avena sativa* L.).

Cette étude vise à déterminer l'effet des caractéristiques physico-chimiques des sols et des eaux d'irrigation sur la qualité nutritionnelle et le niveau de production des fourrages, tout en prenant en compte les pratiques agricoles mises en œuvre par les exploitants dans un contexte aride.

La méthodologie adoptée repose sur une approche intégrée combinant enquêtes de terrain, analyses de laboratoire et traitements statistiques. Une enquête sociotechnique a permis de caractériser les exploitations, les pratiques culturales, les systèmes d'élevage et les stratégies d'adaptation. Des prélèvements de sols, d'eaux d'irrigation et de biomasse fourragère ont été réalisés afin d'évaluer les propriétés des sols et la qualité des fourrages.

L'exploitation des données repose sur des analyses statistiques univariées, bivariées et multivariées, utilisées pour mettre en évidence les relations sol-plantes et les facteurs déterminants de la qualité et de la quantité des fourrages, incluant une Analyse en Composantes Principales (ACP) pour l'étude des relations sol-plante et une Analyse des Correspondances Multiples (ACM) pour la typologie des pratiques agricoles. Des modèles de régression ont permis d'identifier les principaux facteurs édaphiques influençant la qualité et la quantité des fourrages. Les résultats obtenus traduisent des différences significatives entre les deux sous-régions étudiées. Le Zab Chergui est caractérisé par des sols à texture plus fine et une fertilité potentielle relativement élevée, mais fortement contraints par la salinité, l'alcalinité et l'utilisation d'eaux d'irrigation minéralisées, ce qui affecte la qualité organique des fourrages. À l'inverse, le Zab Gharbi présente des sols sableux, bien drainés et globalement moins salins, offrant des conditions plus favorables à l'intensification des cultures fourragères, notamment de la luzerne, mais restant vulnérables à l'appauvrissement progressif des sols en matière organique.

L'analyse comparative des espèces, appuyée par les analyses multivariées, montre une meilleure stabilité qualitative de l'avoine, le rôle structurant de la luzerne et la sensibilité accrue de l'orge aux contraintes salines. Ces résultats confirment la nécessité d'intégrer des espèces fourragères plus résistantes au stress salin et hydrique afin d'améliorer durablement les performances des ressources fourragères et de renforcer la résilience des systèmes agricoles des Ziban.

Mots clés : Ziban ; Fourrages ; Salinisation ; Durabilité ; Résilience.

Abstract:

The main objective of this study is to investigate soil–forage plant relationships in agropastoral systems under arid conditions in the Ziban region (southeastern Algeria). The study involved 140 agricultural farms distributed across two contrasting sub-regions: Zab Gharbi and Zab Chergui. The main forage crops studied were barley (*Hordeum vulgare* L.), alfalfa (*Medicago sativa* L.) and oat (*Avena sativa* L.).

This study aims to determine the impact of the physico-chemical characteristics of soils and irrigation water on forage nutritional quality and yield, while also characterizing the agricultural practices adopted by farmers in an arid context. The methodology was based on an integrated approach combining field surveys, laboratory analyses, and statistical processing. A socio-technical survey was carried out to characterize farms, cropping practices, livestock systems, and adaptation strategies. Soil, irrigation water, and forage biomass samples were collected to assess soil properties and forage quality.

Data analysis relied on univariate, bivariate, and multivariate statistical analyses to highlight soil–plant relationships and the main factors determining forage quality and quantity. These analyses included Principal Component Analysis (PCA) to examine soil–plant interactions and Multiple Correspondence Analysis (MCA) to establish a typology of agricultural practices. Regression models were used to identify the main edaphic factors influencing forage performance.

The results highlight significant differences between the two sub-regions studied. Zab Chergui is characterized by finer-textured soils with relatively high potential fertility but strongly constrained by salinity, alkalinity, and the use of mineralized irrigation water, which negatively affects forage organic quality. In contrast, Zab Gharbi exhibits sandy, well-drained, and less saline soils, offering more favorable conditions for forage crop intensification, particularly alfalfa, although remaining vulnerable to progressive soil organic matter depletion.

The comparative analysis of species, supported by multivariate analyses, shows greater qualitative stability of oat, the structuring role of alfalfa, and increased sensitivity of barley to saline constraints. These results confirm the need to integrate more salt- and drought-tolerant forage species in order to sustainably improve forage quality and quantity and enhance the resilience of agricultural systems in the Ziban region.

Keywords: Ziban; Forages; Salinization; Sustainability; Resilience.

الملخص :

يتمثل الهدف الرئيسي لهذه الدراسة في تحليل العلاقة بين التربة والنباتات العلفية في النظم الزراعية-الرعية في الوسط الجاف بمنطقة الزيبان (جنوب-شرق الجزائر). وقد شملت الدراسة عينة مكونة من 140 مستثمرة فلاحية موزعة على منطقتين متباينتين هما الزاب الغربي والزاب الشرقي. وتتمثل المحاصيل العلفية الرئيسية المدروسة في البرسيم (*Medicago sativa* L.) ، والشوفان (*Avena sativa* L.) ، والشعير (*Hordeum vulgare* L.).

تهدف هذه الدراسة الى تحديد تأثير الخصائص الفيزيائية-الكيميائية للتربة ونوعية مياه الري على الجودة والكمية الإنتاجية للأعلاف، إضافة إلى توصيف الممارسات الزراعية المعتمدة من طرف الفلاحين في سياق جاف.

اعتمدت المنهجية على مقارنة تكاملية جمعت بين التحقيقات الميدانية، والتحليل المخبرية، والمعالجات الإحصائية. وقد سمح الاستبيان الاجتماعي-التقني بتوصيف المستثمرات الفلاحية، والممارسات الزراعية، ونظم تربية الماشية، واستراتيجيات التكيف. كما أجريت عمليات أخذ عينات من التربة ومياه الري والكتلة الحيوية العلفية لتقييم خصائص التربة وجودة الأعلاف.

اعتمد تحليل البيانات على دراسات إحصائية أحادية، وثنائية، ومتعددة المتغيرات، من أجل إبراز العلاقات بين التربة والنباتات العلفية والعوامل المحددة لجودة وكمية الأعلاف. وشملت هذه التحاليل تحليل المكونات الرئيسية (ACP) لدراسة العلاقات تربة-نبات، وتحليل المكونات المتعددة (ACM) لتصنيف الممارسات الزراعية، إضافة إلى نماذج الانحدار التي سمحت بتحديد أهم العوامل الترايبية المؤثرة في الأداء العلفي.

أظهرت النتائج وجود فروق معنوية بين المنطقتين. إذ يتميز الزاب الشرقي بترب ذات نسيج أدق وخصوبة محتملة مرتفعة نسبياً، غير أنها مقيدة بشدة بالملوحة والقلوية واستعمال مياه ري معدنية، مما يؤثر سلباً على الجودة العضوية للأعلاف. في المقابل، يتميز الزاب الغربي بترب رملية جيدة الصرف وأقل ملوحة، مما يوفر ظروفاً أكثر ملاءمة لتكثيف زراعة الأعلاف، خاصة البرسيم، مع بقائها عرضة لتدهور المادة العضوية على المدى الطويل.

وتُظهر المقارنة بين الأنواع، المدعومة بالتحليلات متعددة المتغيرات، استقراراً نوعياً أفضل للشوفان، والدور البنوي للبرسيم، وحساسية أكبر للشعير تجاه الإجهادات الملحية. وتؤكد هذه النتائج ضرورة إدماج أنواع علفية أكثر تحملاً للإجهادين الملحي والمائي من أجل تحسين جودة وكمية الموارد العلفية وتعزيز قدرة النظم الزراعية في منطقة الزيبان على الصمود.

الكلمات الدالة: الزيبان؛ الأعلاف؛ التملح؛ الاستدامة؛ المرونة.

Liste d'abréviations

ADF : Acid Detergent Fiber (Fibre au Détergent Acide)
AFNOR : Association Française de Normalisation
ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques
BNEDER : Bureau National d'Études pour le Développement Rural
C : Carbone organique
 Ca^{2+} : Calcium échangeable
 CaCO_3 : Carbonate de Calcium (Calcaire total)
 CaSO_4 : Sulfate de Calcium
CE : Conductivité Électrique
CEC : Capacité d'Échange Cationique
CI : Continental Intercalaire
 Cl^- : Chlorures
 CO_3^{2-} : Carbonates
CT : Complexe Terminal
DOM : Digestibilité de la Matière Organique
DSA : Direction des Services Agricoles
dS/m : deciSiemens par mètre
EDTA : Acide Éthylène Diamine Tétracétique
EN : Énergie Nette
FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
ha : hectare
HCl : Acide Chlorhydrique
 HCO_3^- : Bicarbonates
ICRA: International Centre for development-oriented Research in Agriculture
INRAA : Institut National de la Recherche Agronomique de l'Algérie

ITDAS : Institut Technique de Développement de l'Agronomie Saharienne

K^+ : Potassium échangeable

kg : kilogramme

km : kilomètre

km² : kilomètre carré

LTPS : Laboratoire des Travaux Publics du Sud

m : mètre

m/s : mètres par seconde

MADR : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural

MFC : Mode de Fertilisation Chimique

MFO : Mode de Fertilisation Organique

Mg^{2+} : Magnésium échangeable

ml : millilitre

mm : millimètre

MM : Matière Minérale

MO : Matière Organique

MS : Matière Sèche

N : Azote total

Na^+ : Sodium échangeable

NDF : Neutral Detergent Fiber (Fibre au Détergent Neutre)

NDFd : Digestibilité de la Fibre au Détergent Neutre

NDT : Nutriments Digestibles Totaux

NFC : Glucides Non Fibreux

NSC : Glucides Non Structuraux

OAIC : Office Algérien Interprofessionnel des Céréales

ONM : Office National de Météorologie

ONS : Office National des Statistiques

ORGM : Office de la Recherche Géologique et Minière

OSS : Observatoire du Sahara et du Sahel

PB : Protéine Brute

PDGDRS : Plan Directeur Général de Développement des Régions Sahariennes

pH : Potentiel Hydrogène

Q2 : Quotient pluviométrique d'Emberger

q/ha : quintaux par hectare

qx : quintaux

RNS : Régions Naturelles Sahariennes

SAT : Superficie Agricole Totale

SAU : Superficie Agricole Utile

SO₄²⁻ : Sulfates

SQ : Soil Quality (Qualité du Sol)

UTM: Universal Transverse Mercator

VIF: Variance Inflation Factor

ZC : Zab Chergui

ZG : Zab Gharbi

°C : degré Celsius

%: pourcentage

Liste des figures

Figure 1. Évolution des superficies des cultures fourragères en Algérie (MADR, 2021).	25
Figure 2. Évolution des productions des cultures fourragères en Algérie (MADR, 2021).	26
Figure 3. Répartition géographique des cultures fourragères en Algérie (MADR, 2021).	27
Figure 4. Évolution des rendements des cultures fourragères en Algérie (MADR, 2021).	28
Figure 5. Localisation géographique de la région des Ziban.	30
Figure.6 : Variation des précipitations moyennes mensuelles, Station de Biskra (2014–2024)...	32
Figure 7. Variation des températures moyennes mensuelles (2014–2024)	33
Figure 8. Variation mensuelle moyennes de l’humidité relative (%) (2014–2024)	34
Figure 9. Variation mensuelle de la vitesse moyenne du vent (m/s) (2014–2024).....	35
Figure 10 : Diagramme Ombrothermique de la région Ziban (2014-2024)	36
Figure 11: Climagramme d'EMBERGER (2014-2024).....	37
Figure12. Réseau hydrographique de la région des Ziban.(Sedrati ,2011).....	42
Figure 13. Les deux grands systèmes aquifères du Sahara septentrional. (OSS, 2003, modifiée)	39
Figure 14. Distribution des aquifères dans la région des Ziban (Sedrati ,2011).....	41
Figure15. Carte géologique de la région des Ziban (Sedrati ,2011).	45
Figure 16. Carte géomorphologique de la région des Ziban (Sedrati ,2011).....	47
Figure 17. Carte pédologique de la région des Ziban (échelle : 1/200.000).	48
Figure 18. Schéma méthodologique global de l'étude.	50
Figure 19. Subdivision géographique de la région des Ziban.....	52
Figure 20 : Schéma méthodologique global de l'enquête	70
Figure 21: Localisation du site d'échantillonnage de la région d'étude	72

Figure 22 : Répartition de l'âge des exploitation.....	79
Figure 23 : Niveau d'instruction des exploitants	80
Figure 24 : L'accès à une formation Agricole	81
Figure 25 : Répartition des types de formation agricole reçue par les exploitants	82
Figure 26 : Répartition de l'activité actuelle des exploitants.....	83
Figure 27: L'expérience professionnelle des exploitants.....	84
Figure 28 : Taux d'adhésion des exploitants à la chambre agricole	85
Figure 29 : Adhésion des exploitants aux associations agricoles	86
Figure 30 : Fréquence des visites de vulgarisation agricole	87
Figure 31 : Participation des exploitants aux manifestations agricoles	88
Figure 32 : Mode d'acquisition des exploitations agricoles	89
Figure 33 : Profondeur de la nappe souterraine	90
Figure 34 : Structure du cheptel.....	91
Figure 35 : Distribution de la taille des troupeaux par exploitation	92
Figure 36 : Type d'équipement des exploitations agricoles	93
Figure 37 : Structure de la main-d'œuvre agricole	93
Figure 38: Financement des exploitations agricoles.....	94
Figure 39: Accès des exploitants aux subventions de l'État.....	95
Figure 40 : Destination des revenus agricoles	95
Figure 41: Destination des productions végétales	96
Figure 42 : Commercialisation des produits agricoles.....	97
Figure 43 : Distribution de la superficie cultivée en orge.....	98
Figure 44: Distribution du rendement de l'orge	98

Figure 45 : Origine des semences utilisées (a) et saisons de semis de l'orge (b)	99
Figure 46 : Modes de semis de l'orge adoptés par les exploitants.....	100
Figure 47: Nature de la fertilisation (a)et Types d'engrais chimiques appliqués (b).....	101
Figure 48: Modes d'application des engrais chimiques(a) et des engrais organiques (b) Irrigation et qualité de l'eau	102
Figure 49: Modes d'irrigation (a) et fréquence d'irrigation (b).....	103
Figure 50 : Qualité de l'eau d'irrigation utilisée pour la culture de l'orge	104
Figure 51 : Traitements phytosanitaires (a) et répartition des précédents culturaux (b)	105
Figure 52 : Destination de la production(a) et modes d'utilisation (b).....	106
Figure 53 : Conservation des fourrages de la culture de l'orge	107
Figure 54: Répartition des types de labour pratiqués(a) et Saison du Superficie et rendement .	108
Figure 55: Distribution de la superficie cultivée (a) et distribution du rendement.....	109
Figure 56: Origine des semences de luzerne utilisées	110
Figure 57: Répartition des saisons de semis de la luzerne(a) et modes de semis (b)	111
Figure 58: Nature de la fertilisation de la luzerne(a) et types d'engrais chimique utilisés (b)...	112
Figure 59: Modes d'application de la fertilisation minérale(a) et organique (b).....	113
Figure 60: Modes d'irrigation (a)et fréquence d'irrigation(b) de la luzerne	114
Figure 61 : Qualité de l'eau d'irrigation utilisée pour la culture de la luzerne	115
Figure 62: Traitements phytosanitaires (a) et Répartition des précédents culturaux (b)	116
Figure 63: Répartition des types de labour pratiqués(a) et saison du labour(b)	117
Figure 64 : Destination de la production (a) et modes d'utilisation (b).....	118
Figure 65: Conservation des fourrages de luzerne.....	119
Figure 66 : Distribution de la superficie cultivée en avoine	120
Figure 67: Distribution du rendement de l'avoine	120

Figure 68: Origine des semences utilisées (a) et répartition des saisons de semis (b) de l'avoine	121
Figure 69 : Modes de semis de l'avoine adoptés par les exploitants	122
Figure 70: Nature de la fertilisation de l'avoine (a) et types d'engrais chimiques utilisés (b) ...	123
Figure 71 : Modes d'application de la fertilisation chimique (a) et organique (b)	124
Figure 72 : Modes d'irrigation (a) et fréquence d'irrigation (b)	125
Figure 73 : Qualité de l'eau d'irrigation utilisée pour la culture de l'avoine	125
Figure 74 : Traitements phytosanitaires appliqués (a) et répartition des précédents culturaux (b)	126
Figure 75 : Répartition des types de labour pratiqués (a) et saison du labour (b)	127
Figure 76 : Destination de la production (a) et modes d'utilisation (b)	128
Figure 77: Conservation des fourrages issus de la culture de l'avoine	129
Figure 78 : Plan factoriel F1–F2 de l'ACM des systèmes fourragers du Zab Chargui	133
Figure 79 : Plan factoriel F1–F2 de l'ACM des systèmes fourragers du Zab Gharbi	135
Figure 80 : Distribution de la matière organique, du carbone organique et de l'azote total des Ziban	141
Figure 81 : Conductivité électrique des sols Ziban	143
Figure 82 : Calcaire total et pH des sols des Ziban	144
Figure 83 : Bilan ionique des sols des deux zones	147
Figure 84 : pH et conductivité électrique des eaux d'irrigation des Ziban	148
Figure 85 : Effet du type de culture fourragère sur certaines propriétés physico-chimiques du sol dans le Zab Chergui : (a) azote total du sol (N %), (b) matière organique du sol (MO %), (c) sodium échangeable (Na^+ , meq/L) et (d) conductivité électrique du sol (CE, dS/m)	153
Figure 86 : Effet du type de culture fourragère sur certaines propriétés physico-chimiques du sol dans le Zab Gharbi : (a) calcium échangeable (Ca^{2+} , meq/L), (b) magnésium échangeable (Mg^{2+} , meq/L), (c) sodium échangeable (Na^+ , meq/L) et (d) conductivité électrique du sol (CE, dS/m)	155

Figure 87 : Corrélations de Spearman entre propriétés du sol et qualité des fourrages dans le Zab Chergui.....	157
Figure 88 : Corrélations de Spearman entre propriétés du sol et qualité des fourrages dans le Zab Gharbi.	159
Figure 89 : Cercle des corrélations de l'ACP pour le Zab Chergui.....	162
Figure 90 : Cercle des corrélations de l'ACP pour le Zab Gharbi.....	164
Figure 91 : Régressions partielles entre la matière sèche des fourrages (MS %) et (a) le sodium échangeable (Na^+ , meq/L) et (b) le calcium échangeable (Ca^{2+} , meq/L) dans le Zab Chergui. .	166
Figure 92 : Regression linéaire entre l'azote total du sol (N %) et la matière organique du fourrage (MO %).....	167
Figure 93 : Relation linéaire entre l'azote total du sol (N %) et la matière minérale du fourrage (MM %)	168
Figure 94 : Régressions partielles entre la matière sèche des fourrages (MS %) et (a) la conductivité électrique du sol (CE, dS/m) et (b) l'azote total du sol (N %) dans le Zab Gharbi.	170
Figure 95 : Régressions partielles entre la matière organique des fourrages (MO %) et (a) les bicarbonates du sol (HCO_3^- , meq/L) et (b) le calcium échangeable (Ca^{2+} , meq/L) dans le Zab Gharbi.	172
Figure 96 : Régressions partielles entre la matière minérale des fourrages (MM %) et (a) les bicarbonates du sol (HCO_3^- , meq/L) et (b) le calcium échangeable (Ca^{2+} , meq/L) dans le Zab Gharbi.	174

Liste des tableaux

Tableau 01. Pluviométrie moyennes mensuelle (2014-2024).....	31
Tableau 02 -Températures moyennes mensuelles (°C) (2014–2024).....	32
Tableau 03. Humidité relative moyenne mensuelle (2014–2024)	34
Tableau 04. Distribution mensuelle de la vitesse du vent (m/s) (2014–2024).....	35
Tableau 05. Répartition des forages dans la région des Ziban(Rechachi,2017).....	42
Tableau 06 : Répartition des superficies agricoles dans le Zab Gharbi (DSA ,2021)	54
Tableau 07 : Utilisation des terres agricoles dans le Zab Gharbi (DSA ,2021).....	56
Tableau 08 : Patrimoine phoenicicole du Zab Gharbi (DSA ,2021).....	57
Tableau 09 : Cheptel et production animal du Zab Gharbi (DSA, 2021).	58
Tableau 10. Structure démographique du Zab Gharbi(ONS ,2018)	59
Tableau 11. Structure des ménages dans le Zab Gharbi (ONS ,2018)	59
Tableau 12. Structure et distribution des unités industrielles du Zab Gharbi (Monographie Biskra,2016).....	60
Tableau 13 : Répartition des superficies agricoles dans le Zab Chergui (DSA,2021)	62
Tableau 14 : Utilisation des terres agricoles dans le Zab Chergui (DSA,2021).....	63
Tableau 15: Patrimoine phoenicicole du Zab Chergui (DSA,2021).....	64
Tableau 16 : Cheptel production animal du Zab Chergui (DSA,2021)	65
Tableau 17. Structure démographique du Zab Chergui par âge et par sexe (ONS,2018).....	65
Tableau 18. Structure des ménages dans le Zab Chargui (ONS,2018).....	66
Tableau 19. Structure et distribution des unités industrielles du Zab Chargui(Monographie biskra 2016)	67

Tableau 20 : Répartition des exploitations enquêtées selon les sous-régions des Ziban et les cultures fourragères étudiées.....	69
Tableau 21: Variables qualitatives et modalités retenues pour l'Analyse des Correspondances Multiples (ACM)	130
Tableau 22. Granulométrie des sols des deux zones.....	140
Tableau 23. Teneurs en azote total, carbone et matière organique des sols des deux zones	141
Tableau 24. Conductivité électrique des sols Ziban	142
Tableau 25. Calcaire total et pH des sols des Ziban	144
Tableau 26. Bilan ionique des sols des Ziban.....	146
Tableau 27. pH et conductivité électrique des eaux d'irrigation des Ziban.....	148
Tableau 28. Composition de la biomasse fourragère selon la culture et la zone	151
Tableau 29. Valeurs propres et variance expliquée de l'ACP pour le Zab Chergui.....	161
Tableau 30. Charges factorielles, valeurs propres et variance expliquée de l'ACP – Zab Gharbi	163

Table des matières

Dédicace.....	I
Remerciements.....	II
Résumé :.....	IV
Liste d'abréviations.....	VII
Liste des figures	VIII
Liste des tableaux.....	XIII
Introduction générale	1
Chapitre 1 Contexte d'étude et concepts de base.....	5
1.1 Définition des concepts	5
1. 1. 1 Système:.....	5
1. 1. 2 Agroécosystème :	6
1. 1. 3 Zone aride	7
1. 1. 4 Le Sahara	7
1. 1. 5 Système agro-pastoral.....	9
1. 1. 6 Région et région agricole.....	10
1. 1. 7 Système de production.....	10
1. 1. 8 Système de culture.....	11
1. 1. 9 Exploitation agricole.....	12
1. 1. 10 Exploitant agricole.....	12
1. 1. 11 Éleveur.....	13
1. 1. 12 Agro-éleveur	13
1. 1. 13 savoir-faire locaux	14
1. 1. 14 Typologie.....	14
1. 1. 15 Pratiques agricoles	14
1. 1. 16 Développement agricole	15
1. 1. 17 définition du sol	15
1. 1. 18 Qualité du sol.....	16
1. 1. 19 Dégradation des sols.....	16
1. 1. 20 Cultures fourragères : définition, classification et qualité	17

1.1.20.1. Définition et rôle agronomique	17
1.1.20.2. Classification des cultures fourragères	17
1.1.20.3. Qualité du fourrage	18
1. 1. 21 Relation Sol-Plante	20
Chapitre 2 Généralités sur les cultures fourragères	21
2.1 Classification des cultures fourragères.....	22
2. 1. 1 Les légumineuses fourragères	22
2. 1. 2 Les graminées fourragères.....	22
2. 1. 3 Autres cultures fourragères.....	23
2.2 État des lieux des cultures fourragères en Algérie	23
2.3 Évolution des superficies des cultures fourragères en Algérie	25
2.4 Évolution de la production fourragère.....	26
2.5 Évolution des rendements des cultures fourragères en Algérie	27
Chapitre 3 Présentation de la région d'étude	29
3.1 Situation géographique de la région des Ziban	29
3.2 Étude climatique et hydrographique	30
3. 2. 1 Analyse climatique	30
3.2.1.1. Précipitations.....	31
3.2.1.2. Températures.....	32
3.2.1.3 Humidité relative	33
3.2.1.4. Vent.....	34
3.2.1.5. Classification climatique.....	35
3. 2. 1. 5. 1. Diagramme ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS	35
3. 2. 1. 5. 2. Climagramme d'Emberger	36
3. 2. 2 Bilan hydrologique et réseau hydrographique.....	37
3.2.2.1. Réseau hydrographique.....	37
3.2.2.2. Structure hydrogéologique et principales nappes	39
3.3 Milieu physique.....	42
3. 3. 1 Cadre géologique	42
3. 3. 2 Cadre géomorphologiques	45
3. 3. 3 Cadre pédologique	47

Chapitre 4 Matériel et méthodes	49
4.1 Objectifs de l'étude	49
4.2 Présentation générale de la zone d'étude	50
4. 2. 1 Choix de la région.....	50
4.3 Description des zones d'étude.....	52
4. 3. 1 Le Zab Gharbi.....	52
4.3.1.1. Situation géographique et limites.....	52
4.3.1.2. Milieu physique	53
4.3.1.3. Ressources hydriques.....	53
4.3.1.4. Situation agricole	54
4. 3. 1. 4. 1. Répartition des superficies agricoles.....	54
.2 .4 .1 .3 .4 Utilisation des terres cultivées.....	55
.3 .4 .1 .3 .4 Phoeniculture.....	57
.4 .4 .1 .3 .4 Élevage et production animale	58
.4.3.1.5 Structure démographique	59
4.3.1.6. Structure des ménages.....	59
.4.3.1.7 Industrie dans le Zab Gharbi.....	60
4. 3. 2 Le Zab Chargui	61
4.3.2.1. Situation géographique et limites.....	61
4.3.2.2. Milieu physique	61
4.3.2.3. Ressources hydriques.....	61
4.3.2.4. Situation agricole	62
.1 .4 .2 .3 .4 Répartition des superficies agricoles.....	62
4. 3. 2. 4. 2. Utilisation des terres cultivées.....	62
.3 .4 .2 .3 .4 Phoeniculture.....	63
4. 3. 2. 4. 4. Élevage et production animale	64
4.3.2.5. .Structure démographique	65
4.3.2.6. Structure des ménages.....	65
.4.3.2.7 Industrie dans le Zab Chergui	66
4.4 Méthodologie de l'enquête.....	67
4. 4. 1 Approche méthodologique	67

4. 4. 2 Phase de préparation et élaboration du questionnaire	67
4. 4. 3 Choix des agriculteurs et plan d'échantillonnage.....	68
4. 4. 4 Déroulement de l'enquête et collecte des données	69
4.5 Méthodologie d'échantillonnage.....	71
4. 5. 1 Échantillonnage des sols.....	71
4. 5. 2 Echantillonnage des eaux d'irrigation	72
4. 5. 3 . Échantillonnage des plantes fourragères	73
4.6 Méthodes d'analyse et de traitement des données	73
4. 6. 1 Analyses de laboratoire	73
4.6.1.1. Analyses physico-chimiques des sols	73
4.6.1.2. Analyses des eaux d'irrigation.....	74
4.6.1.3. Analyses des plantes fourragères (MS, MO, MM)	74
4. 6. 2 Analyse statistique.....	76
Chapitre 5 Résultats et discussion.....	79
5.1 Résultats bruts de l'enquête	79
5. 1. 1 Profil des exploitants	79
5.1.1.1. Âge des exploitants	79
5.1.1.2. Niveau d'instruction.....	80
5.1.1.3. Formation agricole	81
5.1.1.4. Activité principale.....	82
5.1.1.5. Expérience professionnelle	83
5. 1. 2 . Intégration institutionnelle et dynamique collective	84
5.1.2.1. Adhésion à la chambre agricole.....	84
5.1.2.2. Adhésion aux associations agricoles.....	85
5.1.2.3. Accès à la vulgarisation agricole	86
5.1.2.4. Participation aux manifestations agricoles.....	87
5. 1. 3 Structure des exploitations agricoles	88
5.1.3.1. Foncier et ressources hydriques	88
5. 1. 3. 1. 1. Mode d'acquisition des exploitations.....	88
5. 1. 3. 1. 2. Profondeur de la nappe souterraine	89
5.1.3.2. . Systèmes d'élevage.....	90

5. 1. 3. 2. 1. . Structure du cheptel.....	90
5. 1. 3. 2. 2. Taille du troupeau.....	91
5.1.3.3. Facteurs de production.....	92
5. 1. 3. 3. 1. Type d'équipement.....	92
5. 1. 3. 3. 2. Main-d'œuvre.....	93
5. 1. 3. 3. 3. Financement et subventions	94
5.1.3.4. Valorisation économique	95
5. 1. 3. 4. 1. Destination et commercialisation des productions.....	95
5. 1. 4 Pratiques culturales et techniques des cultures fourragères.....	97
5.1.4.1. Orge (<i>Hordeum vulgare</i> L.)	97
5. 1. 4. 1. 1. Superficie et rendement.....	97
5. 1. 4. 1. 2. Semis	99
5. 1. 4. 1. 3. Fertilisation et l'irrigation	100
5. 1. 4. 1. 4. Précédent cultural et phytoprotection.....	104
5. 1. 4. 1. 5. Utilisation, destination et conservation	105
5. 1. 4. 1. 6. Travail du sol.....	107
5.1.4.2. Luzerne (<i>Medicago sativa</i> L.).....	108
5. 1. 4. 2. 1. Superficie et rendement.....	108
5. 1. 4. 2. 2. Semis	109
5. 1. 4. 2. 3. Fertilisation et l'irrigation	111
5. 1. 4. 2. 4. Précédent cultural et phytoprotection.....	115
5. 1. 4. 2. 5. Travail du sol.....	116
5. 1. 4. 2. 6. Utilisation, destination et conservation	117
5.1.4.3. Avoine (<i>Avena sativa</i> L.)	119
5. 1. 4. 3. 1. Superficie et rendement.....	119
5. 1. 4. 3. 2. Semis	121
5. 1. 4. 3. 3. Fertilisation et l'irrigation	122
5. 1. 4. 3. 4. Précédent cultural et phytoprotection.....	125
5. 1. 4. 3. 5. Travail du sol.....	126
5. 1. 4. 3. 6. Utilisation, destination et conservation	127
5.2 Analyse multivariée des systèmes fourragers	129

5. 2. 1 .Analyse des correspondances multiples (ACM)	129
5.3 Discussion des résultats de l'enquête	136
5. 3. 1 Profil des exploitants	136
5. 3. 2 Structure et fonctionnement des exploitations.....	136
5. 3. 3 .Pratiques culturelles spécifiques	137
5. 3. 4 Typologie des systèmes fourragers.....	138
5. 3. 5 Déterminants de la performance fourragère	138
5.4 . Relations sol–plante–fourrage	138
5. 4. 1 . Caractéristiques physico-chimiques des sols.....	138
5.4.1.1. Texture et propriétés physiques	138
5.4.1.2. Matière organique, carbone et azote	140
5.4.1.3. Salinité et conductivité électrique	142
5.4.1.4. .pH et calcaire total	143
5.4.1.5. Bilan ionique	145
5. 4. 2 Qualité des eaux d'irrigation	147
5. 4. 3 Qualité et quantité des fourrages	148
5. 4. 4 Effet du type de culture sur les propriétés du sol	151
5. 4. 5 Relations sol–plante.....	155
5.4.5.1. Analyse bivariée (corrélations)	155
5.4.5.2. .Analyse multivariée(Analyse en composantes principales (ACP))	159
5.4.5.3. Influence des propriétés du sol sur la qualité et quantité des fourrages.....	164
5.5 Discussion des résultats obtenus au laboratoire	174
5. 5. 1 Contrastes texturaux et implications hydropédologiques	174
5. 5. 2 Matière organique et fertilité	175
5. 5. 3 .Salinité, calcaire et contraintes chimiques des sols	175
5. 5. 4 Bilan ionique et dynamiques de minéralisation.....	176
5. 5. 5 Relations sol–plante.....	176
5. 5. 6 Implications pour la gestion durable des sols et des systèmes fourragers.....	177
Conclusion générale.....	178
Références bibliographiques	183
Annexe	198

Introduction Générale

Introduction générale

Les zones arides et semi-arides couvrent environ 41 % des terres émergées et occupent une place stratégique dans la production alimentaire mondiale ainsi que dans les systèmes socio-économiques (Reynolds *et al.*, 2007 ; FAO, 2015). Malgré leur importance, ces régions sont fortement vulnérables en raison de conditions climatiques extrêmes et de pressions anthropiques croissantes, entraînant une dégradation progressive des sols et une altération de leurs fonctions écologiques.

Ces milieux sont caractérisés par une faible pluviométrie, une forte variabilité des précipitations, des températures élevées et une évapotranspiration intense. Ces contraintes naturelles, combinées à l'intensification agricole, à l'extension des terres cultivées et à la surexploitation des ressources, accélèrent la dégradation des sols.

À l'échelle mondiale, environ 33 % des terres sont affectées par une dégradation modérée à sévère, incluant l'érosion, la salinisation, la compaction, l'acidification et la pollution des sols (FAO, 2015).

Les menaces sur les sols sont multiples, incluant la perte de matière organique, les déséquilibres nutritionnels et la dégradation structurelle. Les pratiques agricoles inadaptées, telles que l'irrigation mal maîtrisée, le labour intensif et l'usage excessif d'intrants chimiques, constituent les principaux facteurs d'aggravation de cette dégradation.

Cette situation représente un enjeu majeur pour la sécurité alimentaire mondiale, affectant plus de 1,5 milliard de personnes dans les zones arides et semi-arides (Yirdaw *et al.*, 2017). Elle entraîne une baisse de la production agricole, une insécurité alimentaire accrue et une augmentation de la pauvreté rurale.

Dans ce contexte, la gestion durable des sols apparaît essentielle pour restaurer leurs fonctions, améliorer leur productivité et renforcer la résilience des agroécosystèmes (FAO, 2015).

Les plantes fourragères occupent une place centrale dans les systèmes agropastoraux des zones arides, où elles constituent la base de l'alimentation animale et contribuent à la durabilité des systèmes agricoles.

Les cultures fourragères, utilisées pour le pâturage, la fauche ou comme cultures de couverture, améliorent la productivité animale tout en réduisant la pression sur les terres agricoles limitées (Ates *et al.*, 2018 ; Fuglie *et al.*, 2021), contribuant ainsi à une intensification durable de l'élevage.

Sur le plan agroécologique, elles jouent un rôle important dans la restauration des sols. Les graminées limitent l'érosion grâce à la couverture végétale, tandis que les légumineuses améliorent la fertilité des sols par la fixation de l'azote atmosphérique (Koudahe *et al.*, 2022), réduisant ainsi la dépendance aux engrais minéraux.

L'intégration des fourrages dans les rotations culturales améliore les propriétés physiques et biologiques des sols. Les systèmes racinaires favorisent l'agrégation du sol, l'infiltration de l'eau et l'activité microbienne, tandis que les résidus végétaux contribuent à l'accumulation de carbone organique et à la résilience des agroécosystèmes.

Ces plantes participent également à l'atténuation du changement climatique grâce au stockage du carbone et à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Certaines espèces, notamment *Brachiaria*, réduisent les émissions d'oxyde nitreux en inhibant la nitrification des sols (Notenbaert *et al.*, 2021).

La salinité constitue l'une des principales contraintes des zones arides. Elle résulte de facteurs naturels (aridité, lithologie) et anthropiques, notamment une irrigation mal gérée et un drainage insuffisant, et limite fortement la production végétale (Shrivastava & Kumar, 2015).

Elle affecte environ 20 % des terres irriguées dans le monde et entraîne une dégradation de la structure du sol, une diminution de la porosité et des déséquilibres nutritionnels (Lu & Fricke, 2023). Sur le plan physiologique, le stress salin perturbe la croissance, la photosynthèse et l'absorption des nutriments (Bukhat *et al.*, 2020).

Cependant, certaines plantes développent des mécanismes d'adaptation tels que l'ajustement osmotique et la régulation ionique (Shelden & Munns, 2023). Les interactions sol-plante, notamment au niveau de la rhizosphère, jouent un rôle clé dans la réponse des cultures aux stress environnementaux (Holz *et al.*, 2024).

En Algérie, la production fourragère reste insuffisante malgré l'importance du secteur de l'élevage. Les fourrages naturels dominent largement, tandis que les cultures fourragères restent marginales (Senoussi & Behir, 2010), ce qui crée un déséquilibre face à la demande croissante.

Les principales contraintes incluent la rareté de l'eau, la dégradation des sols et les limites techniques (Kadi & Djellal, 2009), entraînant une dépendance aux importations et une augmentation des coûts de production (Zirmi-Zembri & Kadi, 2016).

Dans ce contexte, l'étude des relations sol-plantes fourragères en milieu aride apparaît essentielle pour identifier les contraintes et améliorer la productivité et la durabilité des systèmes agropastoraux.

Dans ce même contexte, une multitude de questions s'impose :

- Les plantes fourragères influencent-elles les propriétés du sol et contribuent-elles à sa restauration ainsi qu'à sa durabilité ?
- Les contraintes édaphiques, notamment la salinité et les déséquilibres nutritionnels, limitent-elles la production des cultures fourragères en zones arides ?
- Les interactions sol-plantes fourragères permettent-elles une adaptation efficace des systèmes agropastoraux aux stress abiotiques ?

Toutefois, l'ensemble de ces interrogations s'articule autour d'une question centrale :

- La relation sol-plantes fourragères constitue-t-elle un facteur déterminant de la durabilité des systèmes agricoles en zones arides ?

De cette question principale découlent deux hypothèses de base :

❖ **Première hypothèse :**

Les systèmes de production fourragère en zones arides sont fortement contraints par la dégradation physico-chimique des sols, ce qui limite leur productivité et leur durabilité.

❖ **Deuxième hypothèse :**

Les plantes fourragères, grâce à leurs interactions avec le sol et à leurs capacités d'adaptation, constituent un levier agronomique majeur pour la valorisation des sols et la durabilité des systèmes agricoles en milieux arides.

L'objectif général de cette étude est d'analyser la relation sol-plantes fourragères en zones arides, d'évaluer l'influence des propriétés du sol sur les performances des cultures fourragères et de proposer des orientations pour une gestion durable des systèmes agricoles.

La thèse est structurée en cinq chapitres :

- ✓ **Chapitre 1** : Contexte d'étude et concepts de base
- ✓ **Chapitre 2** : Cultures fourragères en Algérie
- ✓ **Chapitre 3** : Présentation de la région d'étude
- ✓ **Chapitre 4** : Matériel et méthodes
- ✓ **Chapitre 5** : Résultats et discussion

Chapitre 1

Contexte d'étude et concepts de base

Chapitre 1 Contexte d'étude et concepts de base

Toute recherche scientifique devra au préalable établir le cadre conceptuel et théorique. Cette approche représente un pivot essentiel pour structurer la réflexion scientifique au sein d'un cadre cohérent et rigoureux, fournissant les éclaircissements nécessaires sur les concepts fondamentaux.

La compréhension approfondie des concepts fondamentaux et des termes essentiels constitue une condition indispensable à la maîtrise de toute discipline scientifique, afin de mieux comprendre et d'optimiser sa capacité d'analytique.

Ce premier chapitre expose les fondements théoriques de notre étude portant sur les interactions sol-cultures fourragères au sein des systèmes agropastoraux en zones sahariennes. Il permettra également d'identifier les concepts structurants qui soutiennent la réflexion et guident l'analyse, tout en les adaptant aux spécificités écologiques et socio-économiques particulières aux milieux oasiens et sahariens.

1.1 Définition des concepts

1. 1. 1 Système :

Le concept de système constitue un cadre essentiel pour comprendre les interactions entre les composantes d'un ensemble organisé. Selon Jouve (1986) un système est défini comme « un ensemble de composants associés par des liens lui donnant une organisation pour accomplir des fonctions spécifiques ». Dans cette définition, plusieurs dimensions méthodologiques sont soulignées, à savoir que l'étude d'un système implique d'identifier sa structure, d'analyser son fonctionnement et d'examiner la dynamique qui régule ses interactions et modifie son comportement au cours du temps (Bouammar, 2008).

Dans le cadre d'une analyse approfondie, Le Moigne (1980) a introduit la notion de systèmes complexes, qu'il définit comme « un réseau d'actions intentionnelles évoluant dans un environnement actif où il s'organise et se transforme sans perdre son identité. » Cette complexité résulte d'interactions multiples et dynamiques entre les constituants, attribuant à l'ensemble des propriétés émergentes distinctes de celles observées au niveau des éléments isolés. L'application au Sahara de cette perspective systémique et complexe, telle qu'elle a été

développée par Boumadda (2019), nécessite une approche holistique préalable à toute analyse sectorielle. Ensuite, Il convient d'accorder une importance spécifique aux interactions interdépendantes qui définissent la région, lesquelles sont à l'origine de sa complexité, de son évolution et de sa capacité d'adaptation aux dynamiques environnementales et socio-économiques.

1. 1. 2 Agroécosystème :

L'agrosystème se définit comme un système agricole, c'est-à-dire un espace géographique où l'être humain exerce des activités de culture et d'élevage. Il s'agit d'un écosystème modifié et contrôlé par l'activité humaine, destiné à la production de ressources végétales et animales, ainsi qu'à l'échange des produits dérivés de ces activités (Cubizoller & Khene, 2007). Selon Nahal (1998), les agrosystèmes se définissent comme des systèmes artificiels développés par l'être humain dès la création de l'agriculture. Par conséquent, leur stabilité est observée sur le court terme, tandis que leur instabilité et leur fragilité découlent de l'absence de mécanismes d'autorégulation, comparativement aux écosystèmes naturels. Par conséquent, leur maintien en état nécessite des interventions anthropiques continues telle la fertilisation, le labour, la lutte contre les ravageurs et le désherbage. (Boumadda,2019).

D'après Cubizoller, l'agrosystème induit une modification de l'environnement et ajuste ses potentialités. Il substitue aux équilibres naturels des équilibres secondaires et instables, lesquels intègrent des facteurs physico-chimiques, biologiques, socio-économiques et techniques dont l'évolution se trouve à des échelles spatiales et temporelles variées. Dans ce contexte, Bouammar (2010) met en évidence le rôle des agrosystèmes des oasis, tels que les plantations de palmiers dattiers, dans la diminution de l'évaporation, de la turbulence éolienne et de l'intensité lumineuse. L'équilibre optimal visé par les agriculteurs réside dans l'articulation de divers niveaux de végétation, incluant le palmier dattier, les arbustes et les cultures herbacées, afin d'optimiser la production et de limiter les conséquences nuisibles des événements climatiques aléatoires. Par conséquent, cela reflète l'interaction complexe des phénomènes anthropiques et la stratégie d'adaptation de l'individu à l'environnement. La durabilité de l'agroécosystème dépend donc de la création d'un équilibre dynamique entre la productivité agricole, la conservation des ressources naturelles et la stabilité écologique.

1. 1. 3 Zone aride

Les zones arides se caractérisent, selon Safriel et al. (2005), par une déficience structurelle en eau, limitant à la fois la production primaire et le cycle des nutriments. Les apports naturels d'humidité sur une période prolongée, constitués principalement des précipitations, sont équilibrés par les pertes attribuables à l'évaporation et à la transpiration végétale, désignées collectivement sous le terme d'évapotranspiration. Ce déficit hydrique persistant exerce un impact conjoint sur les écosystèmes naturels et les systèmes agricoles, induisant une diminution de la productivité des cultures et des fourrages, et affectant directement les conditions d'existence du bétail ainsi que des populations humaines. Par conséquent, il apparaît nécessaire que toute définition des terres arides s'appuie, d'une façon ou d'une autre, sur le critère d'un déséquilibre hydrique permanent qui affecte la productivité biologique, la disponibilité des ressources végétales, ainsi que la pérennité des systèmes de subsistance agropastoraux, tout en accentuant la vulnérabilité socio-économique des populations rurales.

Ces zones se caractérisent par un indice d'aridité (IA) $\leq 0,65$, impliquant que la pluviométrie annuelle moyenne est inférieure ou égale à 65 % de l'évapotranspiration potentielle annuelle, conformément à l'Atlas mondial de la désertification et tel que cité par Middleton et Thomas (1997). Les quatre sous-catégories, établies en fonction de l'intensité du déficit hydrique, sont les suivantes : subhumide sèche, semi-aride, aride et hyperaride. Les zones arides couvrent plus de six milliards d'hectares, représentant environ 41 % de la superficie terrestre mondiale, assurant la subsistance d'environ 50% de la population. (Safriel et al., 2005). Présentent une diversité considérable d'applications et se répartissent principalement en pâturages et en terres arables, lesquels constituent approximativement quatre-vingt-dix pour cent de l'utilisation globale des terres arides.

1. 1. 4 Le Sahara

Le Sahara est généralement identifié comme le plus grand désert, caractérisée par un climat aride et des températures élevées, et se situe approximativement au centre de l'Afrique du Nord. Le désert s'étend de l'océan Atlantique à l'ouest jusqu'à la mer Rouge à l'est, de la côte méditerranéenne aux contreforts sud de l'Atlas saharien et de l'Anti-Atlas, atteignant les frontières du Soudan (Toutain, 1979). Il se caractérise principalement par la rareté des

ressources en eau, qui est la principale contrainte écologique. La signification littérale de "Sahara" est "désert"; c'est-à-dire, un espace défini par des sols largement infertiles et arides, des sources d'eau pérennes inexistantes, et des conditions climatiques assez extrêmes caractérisées par un taux d'évaporation très élevé, une faible humidité atmosphérique et des précipitations irrégulières et extrêmement limitées (Boumadda,2019).

Écologiquement, Le Sahara peut être classé au sein des déserts les plus arides de la planète, avec une faible diversité biologique, une végétation marginale et une occupation humaine constante. Ses sols présentent des limitations importantes pour leur exploitation, parmi lesquelles une fertilité naturelle limitée, la présence habituelle de croûtes calcaires ou gypseuses, la salinisation secondaire et l'érosion éolienne active accentuée par la couverture de sable (Aubert,1982;Bouammar,2000).

En Algérie, le désert représente environ 80 % du territoire national. Sa délimitation est basée sur des critères géographiques, climatiques, bioclimatiques, agronomiques et socio-économiques (Bouammar, 2000). Une zone d'une telle étendue, située au sud de l'Atlas saharien, est comprise dans les limites du désert saharien continental, le plus vaste désert catégorie à l'échelle mondiale. La limite nord de ce désert est le plus souvent définie par la limite de la culture du palmier dattier, un indicateur écologique de la transition entre les zones de steppe du nord et les zones hyperarides du sud.

Une autre caractéristique remarquable du Sahara algérien est l'homogénéité de son terrain combinée à l'immensité de ses surfaces, ainsi qu'aux énormes distances entre les centres urbains et les capitales administratives. Toute cette zone géographique s'étend sur environ les quatre cinquièmes du territoire national et est délimitée par une frontière de plus de 5000 kilomètres de long (Zenkri, 2017). Administrativement, il se compose de 9 wilayas sahariennes et de 10 communes du Sahara piémontais. Au total, elles constituent un ensemble de 164 communes (PDGDRS,1999).

Selon le PDGDRS, 14 régions naturelles sahariennes (RNS) liées à 4 grandes unités morphologiques ont été mises en évidence dans la division zonale du Sahara en Algérie :

1. Le Bas Sahara, une vaste dépression avec des centres à Ouargla, Hassi Messaoud, El Oued et l'Oued Righ, contient la plupart des établissements et des activités agricoles. Il comprend les régions des Zibans, du Souf, de l'Oued Righ et d'Ouargla.
2. La dorsale mozabite : M'Zab et Dayas font partie des wilayas de Ghardaïa, Laghouat et

Biskra.

3. Le bassin de la Saoura – Sahara occidental est principalement composé de la Saoura, de Tindouf, du pied des Ksours de Gourara et de Touat, et est principalement situé dans les wilayas d'Adrar et de Béchar.

4. Contrairement aux hautes terres les plus septentrionales mentionnées précédemment, par rapport à la région centrale du Sahara, cette région est l'une des plusieurs zones de hautes terres dotées de hautes terres rocheuses ou de chaînes de montagnes comme celles du Hoggar, du Tassili des Ajers et du Tiddikelt, qui couvrent notamment les wilayas de Tamanrasset, Illizi et Adrar.

D'un point de vue bioclimatique, le Sahara algérien se caractérise par de très faibles précipitations annuelles, allant de 200 mm dans les régions de piémont à moins 25 mm, dans les zones les plus arides, comme le Tanezrouft ; une évaporation annuelle considérable pouvant atteindre jusqu'à 2000 mm par an ; une amplitude thermique importante, souvent supérieure à 20°C entre le jour et la nuit ; une luminosité élevée et une faible humidité relative. (Zenkri, 2017).

1. 1. 5 Système agro-pastoral

Selon la FAO (1994), l'expression « système agropastoral » se définit comme un système intégrant des activités agricoles à l'élevage. La définition susmentionnée met en évidence l'intégration fonctionnelle de l'agriculture et de l'élevage dans un système de production unifié, caractérisé par une interdépendance et une complémentarité mutuelle de ses composantes. Les cultures garantissent un approvisionnement en fourrage et des résidus considérables pour l'alimentation animale, tandis que l'élevage participe à la fertilisation des sols et représente un facteur de sécurité économique pour les ménages ruraux.

Dans les zones sahariennes et steppiques, les systèmes agropastoraux constituent une stratégie d'adaptation visant à réduire les contraintes d'origine climatique. Ils promeuvent la diversité de la production, assurent le recyclage des ressources, soutiennent les systèmes agricoles et consolident la résilience socio-économique face à la variabilité environnementale (FAO, 1994).

1. 1. 6 Région et région agricole

Selon Dada Moussa, une région est :« cette portion d'espace, à l'intérieur d'un pays, caractérisée par les liens privilégiés reliant sa population ainsi que par les interactions qu'ils développent avec les ressources disponibles, les contraintes imposées par les milieux et l'organisation de cet espace ». Cela signifie qu'une région constitue une unité territoriale cohérente. Au sein de cette unité, l'interaction des facteurs humains, naturels et socio-économiques est coordonnée dans un cadre spatial particulier.

Une région agricole, en revanche, est un espace homogène en termes agroécologiques, dans lequel les conditions physiques telles que les sols et le climat, ainsi que les modes de développement comme les systèmes de culture et d'élevage, tendent à être assez similaires. Ces régions sont définies principalement en termes de « vocation agricole dominante » c'est-à-dire que ces régions sont spécialisées selon le type de production qui y prédomine (Sebillotte, 1976, cité par Dada Moussa).

La région agricole, par conséquent, est une entité fonctionnelle et spatiale, reflétant les potentialités naturelles de l'environnement et les modes d'organisation humaine, tout en reflétant la cohérence économique et environnementale.

1. 1. 7 Système de production

Un système de production est défini par Jouve (1986) par un ensemble structuré de moyens de production (travail, terre, équipements, ...etc.) mis en place pour assurer la production végétale et/ou animale en vue d'atteindre un objectif des gestionnaires de production. Ce système est organisé au niveau de l'exploitation agricole, avec l'agriculteur comme principal centre de décision, déterminant les orientations de production en fonction de ses propres dotations en ressources et objectifs. (Bouammar, 2008; Boumadda, 2019).

Selon Tourte (dans ICRA, 1994), les systèmes de production représentent "le mode de gestion par l'agriculteur de ses productions et de ses facteurs de production, afin de répondre à ses besoins et objectifs, en prenant en considération le système agraire dans lequel il évolue. Cette définition, plus orientée vers la rationalisation individuelle et économique, correspond presque entièrement aux systèmes agricoles capitalistes où la prise de décision est hautement centralisée. En revanche, dans les contextes oasiens et sahariens, le système de production adopte une nature

plus collective et familiale compte tenu des multiples échelons décisionnels au sein du groupe familial. Les objectifs de production sont souvent encore plus diversifiés, voire conflictuels, selon les intérêts et les ressources de chaque membre du ménage (Boumadda, 2019). Les systèmes de production sont également dynamiques : ils peuvent être modifiés ou déséquilibrés sous la pression de facteurs externes (politiques agricoles, programmes de développement, fluctuations du marché ou aléas climatiques) ou internes (changement générationnel, vieillissement de la main-d'œuvre, innovations paysannes, etc.). Ces changements illustrent bien la relation interactive à laquelle est soumise l'exploitation agricole avec son environnement socio-économique et écologique.

1. 1. 8 Système de culture

La définition classique d'un système de culture par Sebillotte est " une parcelle de terre soumise à un traitement homogène par le biais de cultures, en respectant leur ordre de succession ainsi que les itinéraires techniques qui leur sont appliqués." Ainsi, il s'agit d'un système organisé de pratiques agricoles impliquant l'interaction entre les espèces cultivées, la rotation, la gestion technique des sols, l'irrigation et la fertilisation (Boumadda, 2019).

Selon Bouammar (2008), les systèmes agricoles ont évolué à travers une transformation progressive des pratiques agricoles : en commençant par l'agriculture extensive, en passant par la formation de conditions de production contrôlées ou l'agriculture, en passant à la transformation de l'élevage extensif en élevage intensif, en améliorant la production et la productivité, et enfin, un changement social au sein de la paysannerie, améliorant leurs conditions socio-économiques.

Par conséquent, les systèmes de culture constituent la composante technique du système de production, pratiquement l'une des stratégies afin de mettre en valeur les ressources naturelles et les moyens de production.

Dans les régions arides et sahariennes, ils reflètent véritablement l'adaptation des pratiques agricoles aux contraintes hydriques, pédologiques et climatiques tout en gardant à l'esprit l'aspect durable de la production agricole.

1. 1. 9 Exploitation agricole

Selon la FAO (1996), Une exploitation agricole se définit comme une unité économique de production agricole, conduite de manière unique, englobant l'ensemble du bétail et des terres affectés, intégralement ou partiellement, à la production agricole, abstraction faite de la propriété, du statut juridique ou de la dimension de l'exploitation. La gestion exclusive peut être gérée par un individu, une famille, un groupe tribal, ou bien par une entité juridique. Une exploitation agricole peut comprendre plusieurs parcelles ou blocs agricoles, parfois dispersés sur plusieurs zones géographiques ou administratives, tout en incorporant des moyens de production similaires, tels que la main-d'œuvre, les infrastructures agricoles, les machines agricoles, dans le but d'une exploitation productive. (Dada Moussa,2017).

Pour Raimbault (1994), l'exploitation agricole est un espace où les facteurs de production capital foncier, capital d'exploitation et travail sont combinés pour une ou plusieurs productions végétales et/ou animales.

De même, le Larousse Agricole (1984) la définit comme " "une entité de production dont l'activité principale est dédiée à la production d'organismes végétaux ou animaux," tandis que Boumadda (2019) l'analyse sous une perspective économique, comme une entreprise agricole ou une partie d'entreprise, caractérisée par une gestion autonome et ses propres moyens de production.

Ainsi, l'exploitation agricole constitue l'échelle fondamentale du système de production où s'articulent les décisions techniques, économiques et sociales. Cela représente l'espace fonctionnel donc économique, social et spatialement organisé où le développement des terres agricoles par les humains se manifeste par la combinaison rationnelle des ressources disponibles.

1. 1. 10 Exploitant agricole

Selon Larousse Agricole (1984) , un exploitant agricole est : "celui qui, par son activité professionnelle et sans contrepartie, développe une exploitation agricole." Il est l'un des acteurs clés du système de production, assurant la gestion et la valorisation des ressources disponibles au sein de l'exploitation.

En général, on distingue deux catégories d'exploitants : les exploitants à temps plein, pour qui l'agriculture est l'activité principale, et les exploitants à temps partiel, qui travaillent

également sur une autre activité, artisanale ou salariée (Larousse Agricole, 1984).

Beaucoup ont également souligné la distinction entre les termes "agriculteur" et "exploitant agricole." Le premier, agriculteur, est celui qui cultive directement la terre, tandis que le second, exploitant, est celui qui administre, dirige ou gère l'exploitation agricole considérée comme une entreprise agricole, d'un point de vue économique et organisationnel (Boumadda, 2019; Dada Moussa, 2017).

1. 1. 11 Éleveur

Selon le Larousse Agricole, l'élevage est défini comme "la personne qui garde, nourrit et élève des animaux domestiques pour la production de marchandise d'origine animale.

En termes scientifiques, l'éleveur est défini comme un acteur clé du système d'élevage où il s'agit de gérer le troupeau et de valoriser les ressources animales et pastorales auxquelles il adapte ses pratiques en fonction de la disponibilité des ressources naturelles, des contraintes climatiques et des conditions socio-économiques locales (FAO, 1996).

Ainsi, en apprenant de l'expérience sur le terrain et de la science pour assurer à la fois la production animale et la conservation in situ du capital biologique, l'éleveur combine des connaissances techniques, des compétences traditionnelles et de l'innovation.

1. 1. 12 Agro-éleveur

L'agriculteur agro-pastoral (ou agro-éleveur) est celui dont la production mixte comprend principalement la culture de plantes et la production animale au sein du même système de production. Selon la FAO, un tel modèle repose sur la complémentarité fonctionnelle entre les cultures et le bétail - résidus de récolte pour l'alimentation animale et excréments d'animaux pour la fertilisation des sols et la durabilité du système. Les agro-pasteurs sont un pilier essentiel dans les régions arides et semi-arides, où la diversification entre la culture et l'élevage est souvent perçue comme une stratégie d'adaptation aux défis climatiques et économiques (Boumadda, 2019). Ceux-ci garantissent qu'ils deviennent une partie intégrante du recyclage de la valeur, de la sécurité alimentaire et de la résilience des exploitations rurales.

L'agriculteur agro-élevage, par conséquent, peut connecter les cycles de production végétale et animale tout en optimisant l'utilisation des ressources naturelles et en atteignant un équilibre environnemental et économique sur la ferme.

1. 1. 13 savoir-faire locaux

Ces savoir-faire locaux ne sont pas simplement une tradition empirique héritée d'une génération à l'autre : ils constituent un processus dynamique d'expérimentation et d'innovation qui est mené par les agriculteurs eux-mêmes. Ainsi, Richards (ICRA, 1994) a affirmé que ce n'est pas une connaissance acquise à partir d'expériences sur une longue période, mais une sorte d'innovations actives et d'adaptations locales réalisées par les agriculteurs dans le but de faire face aux contraintes environnementales et socio-économiques. (Bouammar, 2008)

Ainsi, le savoir-faire local est perçu comme une forme de connaissance vivante issue de l'expérience collective, qui contient des observations, des expérimentations et une transmission intergénérationnelle. Pilier de la résilience, ce savoir-faire constitue l'épine dorsale des systèmes agricoles des oasis et est un composant indispensable de la durabilité pour les régions arides.

1. 1. 14 Typologie

L'ICRA se réfère à la typologie comme un regroupement de systèmes de production présentant un fonctionnement identique, c'est-à-dire une similarité d'objectifs, de stratégies et de facteurs limitants (bouammar, 2008).

Donc, il s'agit essentiellement de trier et de distinguer les exploitations agricoles ou les systèmes agricoles selon ces caractéristiques similaires techniques ,physiques, économiques, sociales ou environnementales.

C'est le meilleur appareil analytique pour comprendre la variété des pratiques agricoles et leurs principaux modes de fonctionnement afin de concevoir des profils représentatifs utiles pour la planification du développement agricole et la formulation de politiques appropriées.

1. 1. 15 Pratiques agricoles

Les pratiques agricoles définissent comment un agriculteur ou un éleveur gère techniquement son exploitation en y insérant certaines opérations de production (bouammar, 2008).

Bien que les techniques agricoles puissent être définies de manière abstraite comme si elles étaient indépendantes de la personne qui les applique, les pratiques sont une application concrète et contextualisée influencée par les connaissances, l'expérience, les objectifs et l'environnement socio-économique de l'opérateur.

Ainsi, ils représentent les dimensions humaines et adaptatives de l'activité agricole, incluant à la fois les choix techniques, les valeurs culturelles et les contraintes locales.

1. 1. 16 Développement agricole

Selon Bouammar (2008), le développement agricole est un processus de transformation durable des systèmes de production, résultant d'une croissance économique cumulative progressive ainsi que d'une progression dans la modernisation des facteurs de production. Cela se traduit par la mécanisation des travaux agricoles, l'amélioration de la spécialisation des compétences de la main d'œuvre, ainsi que l'adoption des avancées techniques qui ouvriraient la voie d'une agriculture extensive et aléatoire vers une agriculture intensive et mécanisée.

Ce processus n'est pas une simple augmentation de la productivité ou une amélioration des revenus agricoles ; il entraîne également des changements sociaux et culturels au sein de la paysannerie.

La croissance agricole stimule des effets multiplicateurs sur d'autres facettes du développement en stimulant la demande de biens et de services en dehors du secteur agricole et donc l'économie rurale. (FAO, 1990)

Le développement agricole représente ainsi une dimension de la technicité, tout en constituant un levier économique, social et culturel significatif pour la durabilité et la modernisation de la production agricole.

1. 1. 17 définition du sol

Le sol est un corps tridimensionnel naturel que l'on trouve à la surface de la Terre. Il a été créé par plusieurs facteurs physiques, chimiques et biologiques se combinant pour organiser les minéraux et la matière organique en ensembles d'horizons distincts. Ce sera un système dynamique qui permettra l'interaction des processus atmosphériques, lithosphériques et hydrosphériques pour garantir le fonctionnement et le maintien des écosystèmes terrestres (McBratney et al., 2014; McBratney & Hartemink, 2024).

Le sol joue un rôle essentiel dans la production de biomasse et la productivité primaire nette, la régulation du climat, la filtration et la purification de l'eau, la dégradation biologique des polluants, le stockage des nutriments et le recyclage des éléments essentiels à la vie. Par conséquent, il agit comme l'âme même de la biosphère et un élément central dans le maintien environnemental du monde.

1. 1. 18 Qualité du sol

Au fil des années, la qualité du sol (Soil Quality, SQ) a évolué d'une conception productive à une conception plus écosystémique et fonctionnelle. La qualité du sol a été définie pour la première fois par Mausel (1971) comme la capacité du sol à produire durablement des cultures, sous une gestion optimale.

Cette définition a été davantage détaillée par Doran & Parkin (1994), où la qualité du sol est "la capacité du sol à fonctionner dans les limites des écosystèmes naturels ou gérés pour maintenir la productivité biologique, la qualité environnementale et la santé des plantes et des animaux."

La qualité du sol est une intégration de trois dimensions de base selon Karlen *et al.*, (1997) : la productivité biologique durable, la qualité environnementale et la santé des organismes vivants. La qualité du sol se réfère donc au potentiel d'un type de sol à remplir ses diverses fonctions biologiques, chimiques et physiques dans un écosystème particulier, tout en soutenant la vie végétale, animale et humaine sans dégradation de l'environnement (Acton & Gregorich, 1995; Mohkam-Singh & Nunes, 2025).

De plus, selon Doran et al. (1996), la qualité du sol doit être jugée en fonction de sa capacité à remplir ses fonctions écologiques : régulation de l'eau, stockage des nutriments, maintien de la biodiversité et réduction du changement global. Cela relie les sciences du sol à la durabilité environnementale et à la sécurité alimentaire mondiale (McBratney & Hartemink, 2024).

1. 1. 19 Dégradation des sols

Le terme « dégradation des sols » se réfère en termes généraux à une détérioration de la qualité et de la capacité fonctionnelle du sol par des perturbations naturelles ou anthropiques. La capacité actuelle ou potentielle du sol à remplir ses fonctions écologiques les plus cruciales, telles que la production de nourriture, de fourrage et de fibres, est réduite. Selon Lal (1993; 1997; 2009), la dégradation des sols est définie comme suit : " Les sols présentant actuellement ou potentiellement des aptitudes à assurer des fonctions écosystémiques subissent une perte de leurs éléments constitutifs essentiels, à savoir les ressources alimentaires, le fourrage et les fibres.

Selon Lal (2009), la dégradation des sols peut être conceptualisée de manière générale dans trois domaines essentiels, à savoir : Physique : perte de structure ; formation de croûtes de surface ; compaction et érosion accélérée ; Chimique : carences en nutriments et déséquilibres minéraux ; acidification et salinisation ; Biologique : moins de matière organique du sol, moins d'activité biologique et moins de diversité microbienne. L'effet de dégradation causé par de tels processus interactifs entraîne une fertilité réduite, des changements dans la production agricole et une résilience écologique et une durabilité réduite des écosystèmes terrestres à long terme.

1. 1. 20 Cultures fourragères : définition, classification et qualité

1.1.20.1. Définition et rôle agronomique

Pour Wedin et Russelle (2007), les cultures fourragères sont définies comme toutes les plantes herbacées qui produisent de l'alimentation animale, soit fraîche, séchée (foin) ou ensilée. Ainsi, ils sont devenus l'un des liens importants dans les systèmes agropastoraux et parmi les plus anciennes façons de nourrir l'humanité, transformant l'énergie solaire en biomasse végétale, qui est ensuite utilisée par les animaux comme produit alimentaire.

Ce concept est également soutenu par FAO (2008), indiquant que les cultures fourragères et les cultures de prairies font partie, sinon de l'ensemble, mais ont assuré à de nombreuses sociétés humaines et à des élevages du fourrage pendant des millénaires.

En plus de leur rôle productif, ces cultures jouent une fonction écologique majeure. Ils protègent les sols contre l'érosion, capturent le carbone, régulent l'eau, recyclent les nutriments, préservent la biodiversité et limitent la pollution azotée (Franzluebbers, 2013; Karlen *et al.*, 2007; Putnam *et al.*, 2001). Ils constituent ainsi un levier écologique et économique stratégique, en particulier dans les zones arides et semi-arides où ils contribuent à la durabilité et à la résilience des agroécosystèmes.

1.1.20.2. Classification des cultures fourragères

Comme indiqué dans Batello *et al.*, (2008) et le rapport de la FAO (2008), les cultures fourragères varient dans leur nature botanique, la durée de leur cycle de vie (annuelles vs. Pérennes) et leur mode d'utilisation. Cette diversité laisse une adaptabilité impressionnante aux scénarios agroclimatiques et aux modes d'alimentation des différents systèmes d'élevage.

Les graminées fourragères sont des espèces tempérées et tropicales/subtropicales telles que

l'avoine (*Avena sativa*), l'orge (*Hordeum vulgare*), le seigle (*Secale cereale*), le ray-grass (*Lolium spp.*), l'herbe à éléphant (*Pennisetum purpureum*), le panicum maximum et le sorgho fourrager (*Sorghum bicolor*). Ces graminées, annuelles ou pérennes, occupent une place majoritaire dans l'alimentation des ruminants en raison de leur production élevée de biomasse.

Les légumineuses fourragères se distinguent par leur haute valeur nutritionnelle et par leur capacité à fixer l'azote atmosphérique grâce à la symbiose avec des bactéries du genre *Rhizobium*. Les espèces cultivées les plus importantes sont la luzerne (*Medicago sativa*), les trèfles (*Trifolium spp.*), les vesces (*Vicia spp.*) et les pois fourragers (*Pisum sativum*). Ces espèces améliorent la fertilité du sol et la qualité des rations animales.

Cultures de racines et de tubercules : Elles étaient plus importantes autrefois qu'aujourd'hui, surtout dans les zones tempérées, par exemple, les navets, les betteraves fourragères, les radis et les choux, mais aujourd'hui, elles servent principalement de compléments aux programmes d'alimentation hivernale.

Fourrage annuel et pérenne : Les rotations de cultures courtes ou de rattrapage incluaient généralement des espèces annuelles (maïs, sorgho, avoine, vesce), tandis que les espèces pérennes (luzerne, dactyle, fétuque, trèfle rouge) assurent une production durable et servent à fournir une couverture végétale permanente qui limite l'érosion et améliore la structure du sol. Ils peuvent être pâturés directement (prairies naturelles ou artificielles), récoltés et distribués verts, séchés en foin, ou conservés par fermentation pour créer de l'ensilage. Cette flexibilité d'utilisation permet leur incorporation dans divers systèmes agricoles et d'élevage, qu'ils soient extensifs ou intensifs, et fait de ces cultures un élément clé de la sécurité fourragère mondiale (Batello *et al.*, 2008)

1.1.20.3. Qualité du fourrage

La qualité du fourrage se réfère à la valeur nutritionnelle, énergétique et fonctionnelle du fourrage pour le bétail qui le consomme. Par conséquent, ces critères sont déterminants pour la productivité, la santé et la rentabilité des systèmes d'élevage. Reid (1994) et Ball *et al.*, (2001) ont déclaré que c'est une affirmation d'un fourrage pour susciter une réponse animale optimale par unité de matière sèche ingérée, en fonction du type d'animal, de son stade physiologique et de son niveau de production.

La biologie, l'environnement et la science du fourrage ont été inclus dans : la composition botanique et morphologique (espèces, variétés, rapport feuille/tige) ; le stade de maturité de la

coupe, qui modifie la fibre et la digestibilité ; la technique de culture, la fertilisation et l'arrosage, qui changent les valeurs en protéines et en minéraux ; et les procédures de conservation et de stockage qui transformeraient autrement la valeur nutritionnelle et l'appétibilité du fourrage (Putnam & Orloff, 2014).

D'un point de vue analytique, plusieurs paramètres sont utilisés pour l'évaluation objective de la qualité du fourrage (Putnam & Orloff, 2014).

: Matière sèche (MS) : représente la fraction sans eau dans le fourrage. Cela permet de vérifier le matériau jusqu'à la matière sèche pour différents fourrages, en identifiant la quantité de matériau réellement disponible pour l'animal lors de l'ingestion. Moins de 15 % est requis pour le foin afin d'une meilleure conservation contre la croissance des moisissures.

Fibres : La fibre au détergent neutre (NDF) détermine la quantité totale de parois cellulaires (cellulose, hémicellulose, lignine) ce qui affecte l'apport de matière sèche ingérée : plus le NDF est élevé, plus la consommation est faible, Fibre détergente acide (ADF) fractions moins digestibles (cellulose et lignine) utilisée pour estimer la valeur énergétique du fourrage. De bons indicateurs de fourrage de qualité incluraient des valeurs inférieures à 40 % de NDF et 35 % d'ADF,

Protéine brute (PB) : Elle est liée à toute la teneur en azote ($N \times 6,25$) et reflète les riches valeurs nutritionnelles du fourrage. Cependant, leur interprétation doit aller de pair avec les teneurs en fibres, car le niveau de protéines est ensuite dilué à mesure que la maturité augmente en raison de l'accumulation des parois cellulaires,

énergie : elle dérive de l'énergie supposée que les fractions fibreuses et protéiques montrent en tant que nutriments digestibles totaux (NDT) ou énergie nette (EN). Les caractéristiques d'une meilleure disponibilité énergétique, donc d'une qualité supérieure, sont une teneur élevée en glucides non fibreux (NFC) et en glucides non structuraux (NSC), La matière organique (MO) comprend des composés carbonés (glucides, lipides, protéines, lignine) et constitue la principale source d'énergie de l'animal. La digestibilité de la MO (DOM) est une norme globale majeure de ce qu'est une telle qualité nutritionnelle,

Matière minérale (MM) : ou cendres, reflète la teneur totale en éléments minéraux (Ca, P, K, Mg, Na). Des niveaux modérés de ces minéraux sont essentiels dans le métabolisme animal ; cependant, des indicateurs d'excès de concentration élevée indiquent normalement une contamination du sol, ce qui réduit la digestibilité et la valeur énergétique.

La digestibilité et la concentration en fibres (ADF, NDF et NDFd) selon Mertens (2010)

sont les deux facteurs les plus influents sur la valeur énergétique et le taux d'ingestion par les ruminants. Ainsi, la luzerne (*Medicago sativa*), en raison de sa haute teneur en protéines, de sa bonne digestibilité et de sa bonne appétence, serait considérée comme le fourrage de référence utilisé dans les systèmes de production laitière et bovine.

La qualité du fourrage est un indice majeur de durabilité car elle conditionne la performance des animaux pour la zootechnie, le profit économique et la gestion des ressources naturelles de manière durable. Il contribue à l'amélioration des sols et à la résilience des systèmes agropastoraux, en particulier dans les zones arides et semi-arides où de telles conditions de disponibilité et de qualité du fourrage affectent directement la productivité des animaux.

1. 1. 21 Relation Sol-Plante

Les interactions sol-plante désignent l'ensemble des processus biologiques, chimiques et physiques distincts qui se produisent entre les sols et les plantes. Ehrenfeld (2013) a avancé que ces interactions exercent une influence déterminante sur la survie, la croissance et la reproduction des végétaux, ainsi que sur l'action réciproque de ces derniers sur la pédogenèse, la structure du sol et son activité biologique. Ces processus interactifs se manifestent à diverses échelles spatio-temporelles et gouvernent, par conséquent, la coévolution du sol et de la végétation au sein des écosystèmes terrestres.

Par conséquent, les sols influent sur les végétaux en régulant la biodisponibilité des nutriments, l'humidité, la salinité, la température et les paramètres physico-chimiques de l'environnement. Les plantes, quant à elles, exercent une influence sur le sol par l'intermédiaire des exsudats racinaires, des sécrétions, de la décomposition de la litière, des modifications microclimatiques et de la régulation de l'humidité du sol (Morgan & Connolly, 2013; Ehrenfeld, 2013).

Cela signifie que la relation sol-plante maintient un système de rétroaction dynamique qui impliquerait que les propriétés du sol influencent le développement des plantes, tandis que les plantes, par leurs activités biologiques, structurent, fertilisent et diversifient le sol, contribuant ainsi à la stabilité et à la durabilité des écosystèmes.

Chapitre 2:
Cultures fourragères en
Algérie

Chapitre 2 Généralités sur les cultures fourragères

Les cultures fourragères désignent l'ensemble des espèces végétales cultivées principalement en vue de l'alimentation des animaux d'élevage, qu'elles soient consommées directement au pâturage ou valorisées sous forme de fourrage vert, de foin ou d'ensilage. Elles constituent un élément structurant des systèmes d'élevage, en particulier ceux basés sur les ruminants, dont la productivité dépend étroitement de la disponibilité quantitative et qualitative des ressources fourragères (Abdelguerfi *et al.*, 2008 ; Issolah, 2018).

À l'échelle mondiale, la production fourragère représente un levier fondamental de la durabilité des systèmes agricoles intégrant cultures et élevage. Elle conditionne non seulement les performances zootechniques, mais également l'efficacité économique des exploitations et la stabilité des écosystèmes agricoles, notamment dans les régions soumises à de fortes contraintes climatiques (Klein *et al.*, 2014). Dans ce contexte, les cultures fourragères jouent un rôle central dans la sécurisation de l'alimentation animale et la réduction de la dépendance aux aliments concentrés importés.

En Algérie, la production fourragère repose majoritairement sur les ressources naturelles (parcours, jachères, chaumes de céréales), tandis que les cultures fourragères cultivées occupent une place relativement marginale dans les systèmes de production végétale (Houmani, 1999; Abdelguerfi *et al.*, 2008). Cette situation est à l'origine d'un déficit fourrager chronique qui affecte durablement les performances des élevages, en particulier dans les zones arides et semi-arides où la variabilité climatique accentue l'irrégularité des disponibilités alimentaires (Issolah, 2018).

D'un point de vue agronomique, les cultures fourragères ne se limitent pas à leur fonction alimentaire. Elles contribuent également à l'amélioration de la fertilité des sols, à la protection contre l'érosion et à la structuration des rotations culturales. Les légumineuses fourragères, en particulier, jouent un rôle clé grâce à leur capacité de fixation symbiotique de l'azote atmosphérique, permettant d'enrichir les sols en azote et de réduire l'usage des engrais minéraux de synthèse (Jensen & Hauggaard-Nielsen, 2003 ; Cesar *et al.*, 2004).

Ainsi, les cultures fourragères doivent être considérées comme un élément stratégique des systèmes agricoles, à l'interface entre production végétale, élevage et durabilité

environnementale. Leur développement et leur intégration raisonnée constituent un enjeu majeur pour l'amélioration de l'autonomie alimentaire des exploitations et la résilience des systèmes d'élevage en Algérie.

2.1 Classification des cultures fourragères

La classification des cultures fourragères repose principalement sur des critères botaniques, agronomiques et fonctionnels. Sur le plan botanique, les espèces fourragères cultivées appartiennent essentiellement à deux grandes familles : les graminées (Poacées) et les légumineuses (Fabacées). Cette distinction est largement retenue dans la littérature scientifique en raison des différences fondamentales entre ces groupes en termes de physiologie, de valeur nutritive et de rôle agronomique (Cesar *et al.*, 2004 ; Klein *et al.*, 2014).

2.1.1 Les légumineuses fourragères

Les légumineuses fourragères regroupent des espèces herbacées annuelles ou pérennes, et plus rarement ligneuses, appartenant à la famille des Fabacées. Les légumineuses fourragères se distinguent principalement par leur aptitude à fixer l'azote atmosphérique grâce à une symbiose avec des bactéries du sol du genre *Rhizobium* ou *Bradyrhizobium*. Cette aptitude confère aux légumineuses un rôle agronomique déterminant dans les systèmes de culture, en améliorant la fertilité des sols et en réduisant la dépendance aux fertilisants azotés (Cesar *et al.*, 2004 ; Schneider *et al.*, 2015).

Sur le plan nutritionnel, les légumineuses fourragères se distinguent par leur teneur élevée en protéines et leur bonne digestibilité, ce qui les rend particulièrement adaptées à l'alimentation des animaux à forts besoins, tels que les bovins laitiers et les jeunes ruminants en croissance (Baumont *et al.*, 2009). En Algérie, les principales légumineuses fourragères cultivées sont la luzerne (*Medicago sativa* L.), les vesces (*Vicia* spp.), le trèfle (*Trifolium* spp.) et, dans certaines régions, le sulla (*Hedysarum coronarium* L.) (Abdelguerfi *et al.*, 2008 ; Issolah, 2018).

2.1.2 Les graminées fourragères

Les graminées fourragères appartiennent à la famille des Poacées et constituent une composante essentielle des systèmes fourragers, en raison de leur capacité à produire des quantités importantes de biomasse et à s'adapter à une large gamme de conditions climatiques. Elles fournissent principalement de l'énergie sous forme de glucides structuraux et jouent un

rôle complémentaire à celui des légumineuses dans l'alimentation du bétail (Abdelguerfi *et al.*, 2008).

En Algérie, les graminées fourragères les plus couramment cultivées sont l'orge (*Hordeum vulgare* L.), l'avoine (*Avena sativa* L.), le sorgho (*Sorghum* spp.) et, plus rarement, le maïs fourrager (*Zea mays* L.), dont la culture reste limitée par la disponibilité en eau (Issolah, 2018). Ces espèces sont généralement exploitées en culture pure ou en association avec des légumineuses, notamment dans les zones céréalières et semi-arides.

2. 1. 3 Autres cultures fourragères

Les systèmes fourragers algériens ne reposent pas exclusivement sur les cultures fourragères au sens strict, mais intègrent également d'autres ressources végétales jouant un rôle important dans l'alimentation du cheptel. Il s'agit notamment de certaines cultures fourragères alternatives et des sous-produits de la céréaliculture, largement utilisés pour compenser le déficit fourrager (Abdelguerfi *et al.*, 2008 ; Issolah, 2018).

Parmi ces cultures, le pois fourrager (*Pisum sativum*), certaines vesces cultivées pour le grain, ainsi que les céréales récoltées en vert (orge, avoine, blé) occupent une place importante, en particulier dans les zones céréalières et semi-arides. Ces cultures sont généralement exploitées pour la production de fourrage grossier ou comme complément stratégique dans l'alimentation des ruminants (Abdelguerfi *et al.*, 2008 ; Issolah, 2018).

Les sous-produits de la céréaliculture et des activités agro-industrielles, notamment les pailles, chaumes et résidus de récolte, ainsi que le son, les grignons, ou les déchets de tomate industrielle, constituent une composante essentielle des ressources fourragères en Algérie ; bien que leur valeur nutritive soit globalement limitée, ces ressources jouent un rôle déterminant dans l'alimentation du cheptel, en particulier durant les périodes de pénurie fourragère et les années sèches, contribuant ainsi au maintien et à la survie des systèmes d'élevage extensifs (Houmani, 1999; Abdelguerfi *et al.*, 2008).

2.2 État des lieux des cultures fourragères en Algérie

En Algérie, les cultures fourragères constituent un élément central mais structurellement fragile des systèmes de production agricole et d'élevage. Elles sont composées à la fois de fourrages naturels (parcours, prairies naturelles, jachères pâturées) et de fourrages cultivés ou

artificiels, exploités sous forme sèche ou verte. Malgré leur importance stratégique pour l'alimentation du cheptel, ces ressources demeurent l'un des principaux facteurs limitants du développement de l'élevage, en particulier dans les zones arides et semi-arides du pays (MADR, 2021).

Le système fourrager algérien reste largement dépendant des ressources naturelles, dont la disponibilité et la productivité sont fortement conditionnées par les aléas climatiques. Les parcours naturels, les jachères ainsi que les chaumes de céréales assurent encore une part majeure de l'alimentation du cheptel, traduisant le caractère extensif dominant des systèmes d'élevage (Houmani, 1999 ; Issolah, 2018). Cette dépendance rend les exploitations particulièrement vulnérables aux périodes de sécheresse et accentue l'irrégularité de l'offre fourragère.

Les cultures fourragères cultivées occupent, en revanche, une place relativement marginale dans l'assolement agricole national. Elles sont dominées par un nombre restreint d'espèces, principalement des graminées annuelles et quelques légumineuses, souvent conduites selon des itinéraires techniques peu intensifiés. Cette situation reflète à la fois une priorité historiquement accordée aux cultures céréalières et des contraintes techniques et économiques liées à la disponibilité en eau, à l'accès aux semences adaptées et à la maîtrise des pratiques culturales spécifiques aux fourrages (Abdelguerfi *et al.*, 2008 ; Issolah, 2018).

L'insuffisance persistante de l'offre fourragère conduit à une dépendance marquée vis-à-vis des importations, notamment en semences fourragères et en aliments concentrés destinés à satisfaire les besoins nutritionnels du cheptel. Cette dépendance génère des coûts élevés pour les exploitations et fragilise la durabilité économique des systèmes d'élevage, en particulier pour l'élevage bovin laitier (Issolah, 2018).

Toutefois, l'Algérie dispose d'un potentiel fourrager important, lié à la diversité de ses zones agro-climatiques et à la richesse de sa flore pastorale. De nombreuses espèces de légumineuses et de graminées fourragères, adaptées aux conditions locales, sont présentes sur le territoire national et constituent un réservoir génétique précieux encore insuffisamment valorisé (Issolah & Abdelguerfi, 1999 ; Issolah *et al.*, 2011 ; Issolah *et al.*, 2016). La valorisation de ce potentiel apparaît ainsi comme un enjeu majeur pour renforcer l'autonomie alimentaire

des exploitations, réduire la pression sur les parcours naturels et améliorer la résilience des systèmes d'élevage face aux changements climatiques.

2.3 Évolution des superficies des cultures fourragères en Algérie

Les superficies consacrées aux cultures fourragères présentent une évolution irrégulière mais globalement orientée à la hausse entre les campagnes 2009/2010 et 2018/2019 (Figure 1). Les superficies totales passent de 893 652 ha en début de période à 1 250 945 ha en 2015/2016, avant de diminuer à 878 012 ha en 2017/2018 puis d'enregistrer une reprise partielle en 2018/2019, avec une superficie de 960 237 ha.

Cette dynamique est essentiellement portée par l'extension des fourrages artificiels, regroupant les cultures fourragères cultivées, notamment les associations vesce-avoine, la luzerne, les céréales reconverties et d'autres cultures fourragères "divers", ainsi que les céréales récoltées en vert (orge, avoine, seigle). Les superficies des fourrages artificiels augmentent ainsi de 548 232 ha en 2009/2010 à 821 102 ha en 2015/2016, traduisant une intensification progressive des systèmes fourragers.

À l'inverse, les fourrages naturels, regroupant les prairies naturelles et les jachères fauchées, présentent des superficies plus limitées et peu fluctuantes, comprises entre 210 073 ha et 280 767 ha selon les campagnes considérées. Cette faible variabilité traduit leur forte dépendance aux conditions climatiques et aux contraintes des systèmes extensifs.

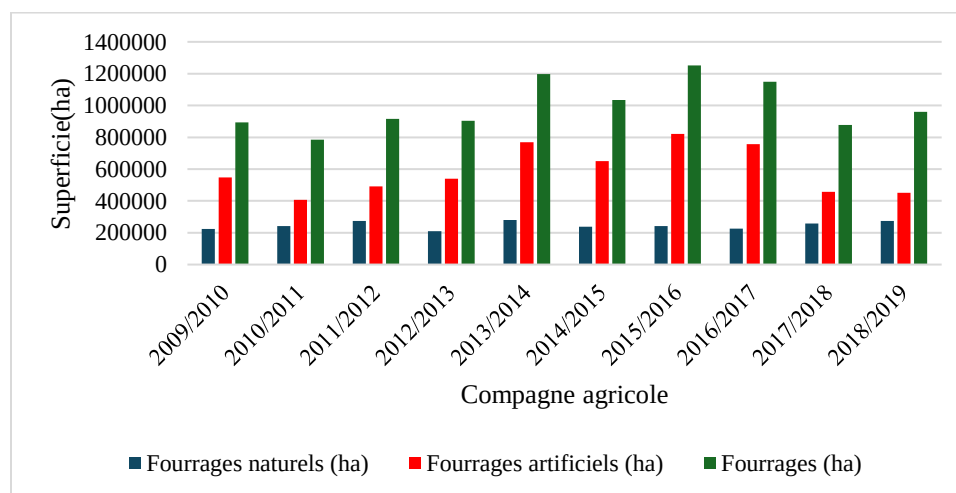


Figure 1 : Évolution des superficies des cultures fourragères en Algérie (MADR, 2021).

2.4 Évolution de la production fourragère en Algérie

L'évolution de la production fourragère (Figure 2), reflète une variabilité interannuelle plus marquée. La production totale de fourrages passe de 31,36 millions de quintaux en 2009/2010 à 52,61 millions de quintaux en 2018/2019.

Cette progression est largement attribuable aux fourrages artificiels, issus principalement des fourrages secs (vesce-avoine, luzerne, céréales reconverties et autres cultures fourragères) et des fourrages verts (orge, avoine et seigle récoltés en vert). Leur production augmente de 25,90 millions de quintaux en 2009/2010 à plus de 43,64 millions de quintaux en 2018/2019, traduisant leur fonction essentielle dans la couverture des besoins alimentaires du cheptel.

La production des fourrages naturels, provenant des prairies naturelles et des jachères fauchées, demeure plus modeste et fluctuante, variant entre 5,46 millions de quintaux et 8,97 millions de quintaux. Cette contribution limitée reflète à la fois la faible productivité de ces ressources et leur sensibilité aux aléas climatiques.

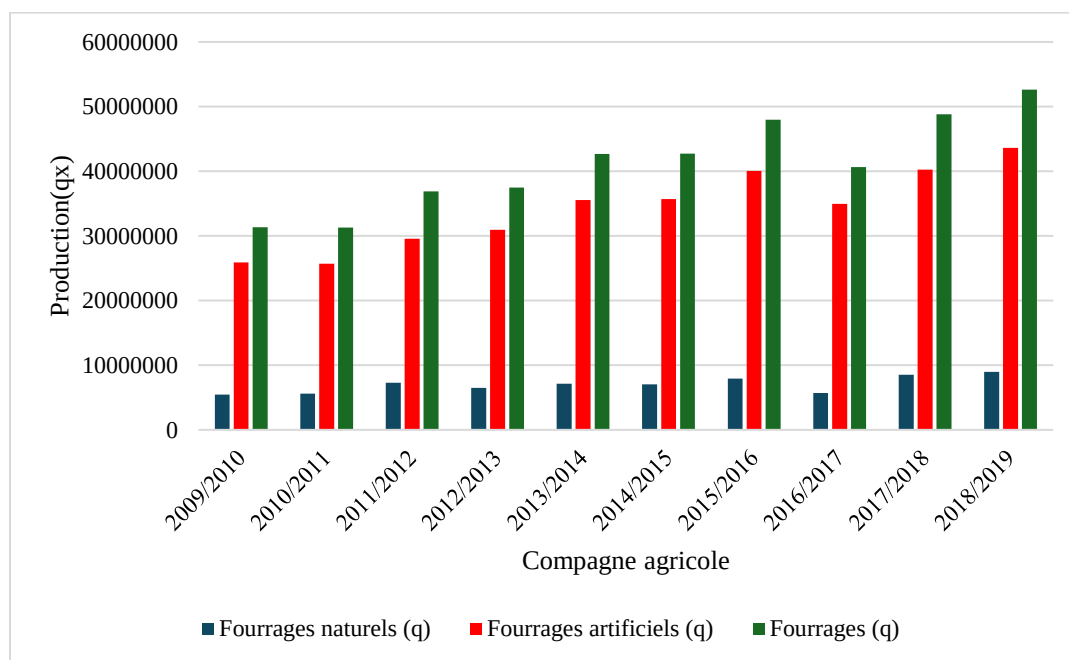


Figure 2 : Évolution des productions des cultures fourragères en Algérie (MADR, 2021).

La carte de répartition spatiale de la production (Figure 3) met en évidence une concentration des productions les plus élevées dans les wilayas agricoles du Nord et du Nord-Est, où les cultures fourragères cultivées sont mieux développées, tandis que les régions steppiques et sahariennes, dominées par les fourrages naturels, enregistrent des niveaux de production inférieurs.

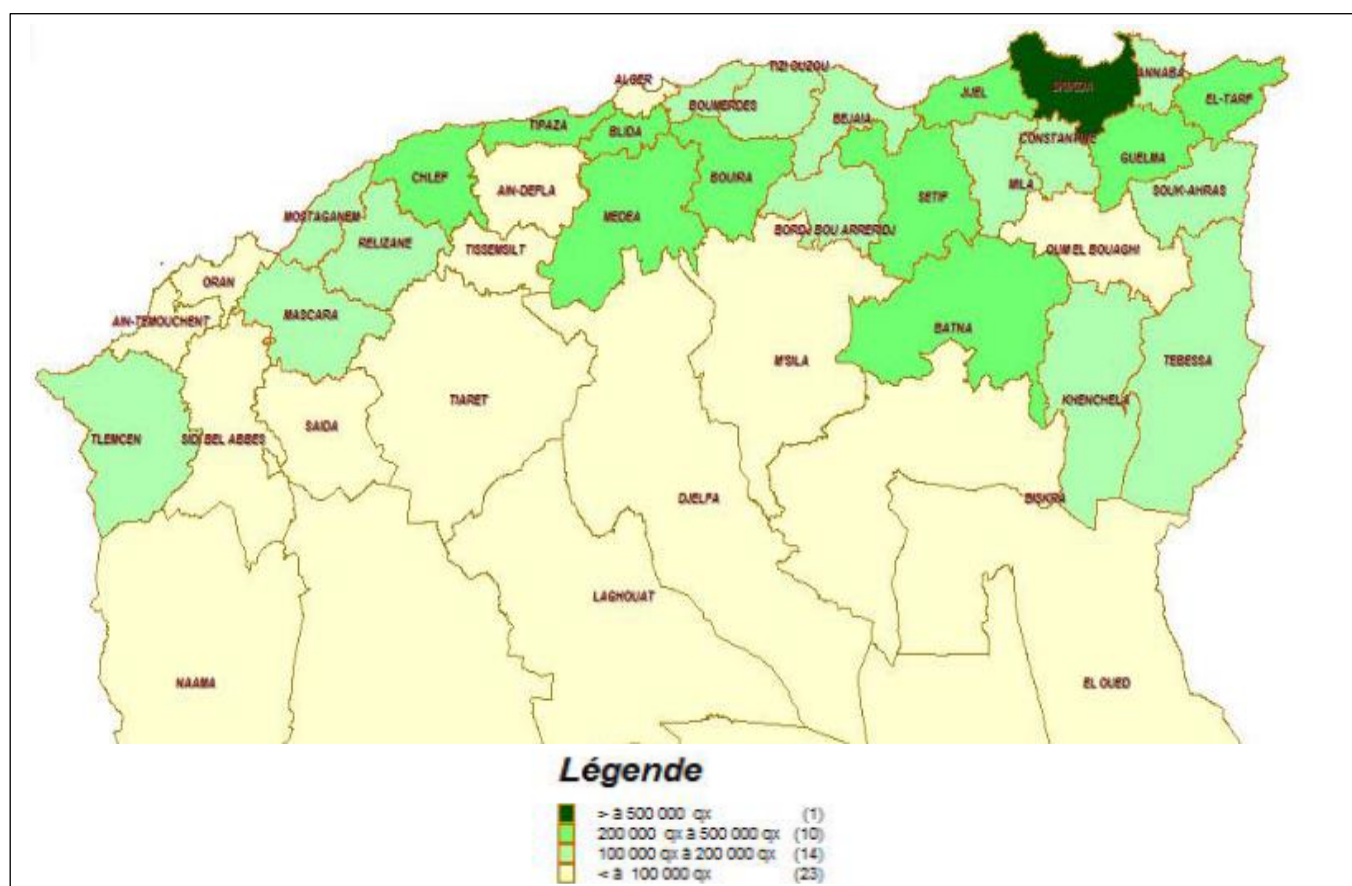


Figure 3 : Répartition géographique des cultures fourragères en Algérie (MADR, 2021).

2.5 Évolution des rendements des cultures fourragères en Algérie

Les rendements constituent un indicateur clé pour apprécier l'efficacité des systèmes de production fourragère. Le rendement moyen des fourrages totaux, intégrant les fourrages naturels, les fourrages artificiels secs et les fourrages artificiels verts, s'établit à 41,4 qx/ha sur l'ensemble de la période étudiée.

Les fourrages naturels (prairies naturelles et jachères fauchées) affichent des rendements relativement faibles et instables, variant de 23,1 qx/ha à 32,9 qx/ha, avec une moyenne de 28,4 qx/ha. En revanche, les fourrages artificiels, en particulier les cultures fourragères intensifiées et les céréales récoltées en vert, présentent des rendements plus élevés, compris entre 107,3 qx/ha et 139,0 qx/ha, pour une moyenne de 117,5 qx/ha.

La campagne 2017/2018 se distingue par un rendement exceptionnel des fourrages totaux atteignant 55,6 qx/ha, suivi d'un niveau également élevé en 2018/2019 (54,8 qx/ha). Toutefois, Ces performances restent discontinues, sans amélioration durable des rendements à long terme.

En conséquence, malgré l'augmentation des superficies et de la production, les rendements demeurent le maillon le plus instable de la chaîne de production fourragère. Cette situation souligne la nécessité d'améliorer les itinéraires techniques, la gestion de l'eau et l'adaptation des espèces cultivées, qu'il s'agisse de fourrages naturels ou de cultures fourragères semées, afin d'assurer une progression durable de la productivité fourragère.

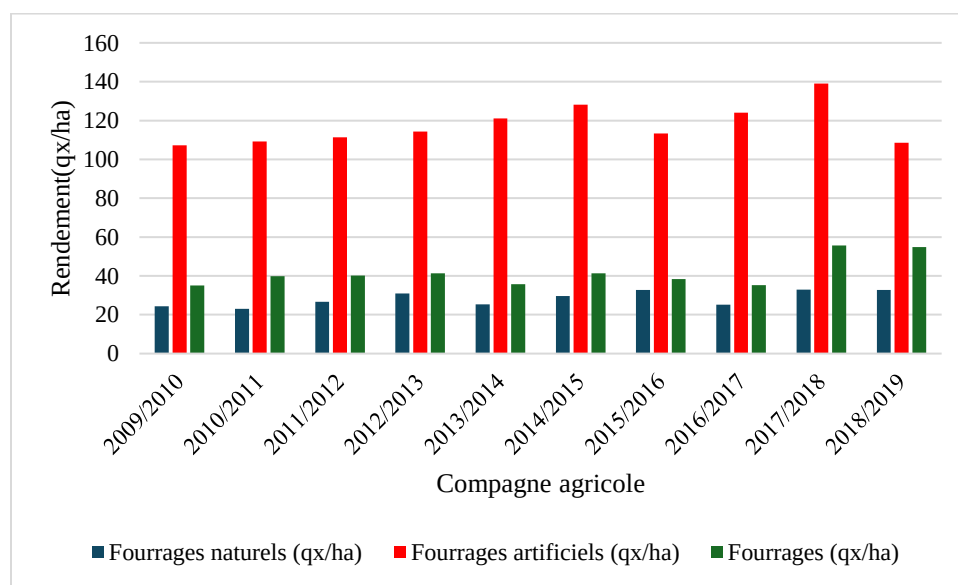


Figure 4 : Évolution des rendements des cultures fourragères en Algérie (MADR, 2021).

Chapitre 3
*Présentation de la
région d'étude*

Chapitre 3 Présentation de la région d'étude

3.1 Situation géographique de la région des Ziban

La région d'étude correspond aux Ziban, situés dans les wilayas de Biskra et d'Ouled Djellal, au Sud-Est de l'Algérie, à environ 420 km d'Alger (Monographie de Biskra, 2021). Elle couvre 21 509,8 km² (près de 1 % du territoire national) et est délimitée par Batna au nord, Khenchela à l'est, M'Sila et Djelfa à l'ouest, et Ouargla et El Oued au sud (Rechachi, 2017).

les Ziban occupent une zone de transition entre les reliefs de l'Atlas saharien et les dépressions sahariennes. La région s'étend au pied des Aurès, entre les chotts Melghir et Merouane (Boumaraf & Saadi, 2023). Elle se situe entre 34°30'–34°52' N et 5°45'–6°45' E, à une altitude moyenne de 125 m (Bakroune *et al.*, 2020 ; Sedrati, 2011).

Le terme « Ziban », pluriel de Zab, désigne un ensemble d'oasis situées dans le Bas Sahara algérien (Belguedj *et al.*, 2008). Ces oasis forment l'un des pôles agricoles les plus importants du Sahara septentrional, grâce à la disponibilité des eaux souterraines, à la fertilité relative des sols alluvionnaires, et à un savoir-faire oasien ancestral. Spatialement, la région couvre environ 130 km d'ouest en est et 40 km du nord au sud, limitée par les monts du Zab au nord, le Chott Melghir au sud, l'Oued Bizar à l'est et le plateau de Doucen à l'ouest (Mancer, 2019 ; Abdelhafid, 2012).

Les Ziban se subdivisent traditionnellement en deux ensembles majeurs :

a).Le Zab Gharbi :

Le Zab Gharbi occupe la partie occidentale de la région et comprend les communes de Tolga, El Ghrous, Lichana, Foughala, Bouchagroune, Bordj Ben Azouz, Doucen, El Hadjeb, Ouled Djellal, Sidi Khaled, Besbes, Ras El-Miaâd et Chaïba, ainsi qu'Ourlal, Lioua, Mekhadma, M'lili et Oumache

b).Le Zab Chergui

Le Zab Chergui, localisé à l'est de Biskra vers le bassin du Chott Melghir, regroupe les communes de Sidi Okba, Chetma, Aïn Naga, M'Ziraa, Zribet El Oued, Khanguet Sidi Nadji, El Haouch, El Feidh et M'Chouneche (Rechachi, 2017 ; Allia, 2018).

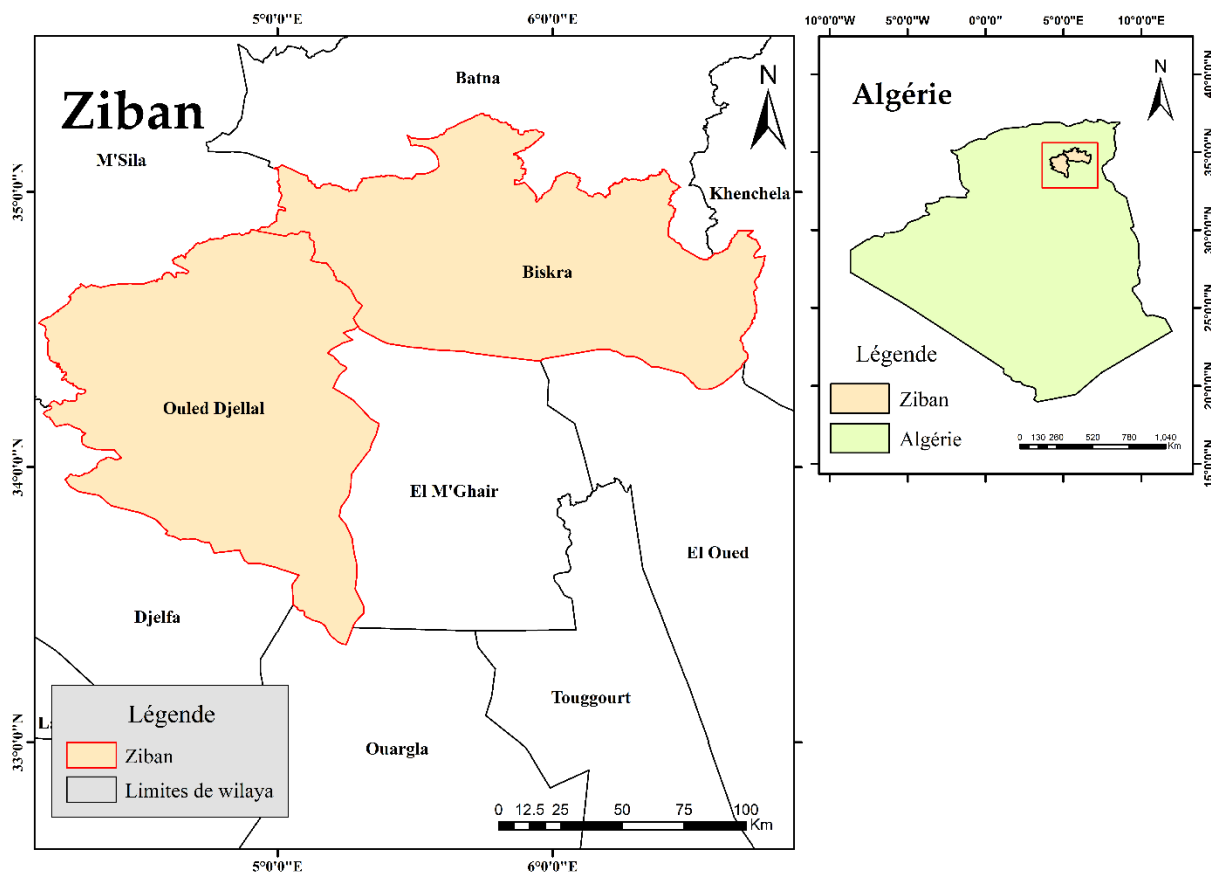


Figure 5 : Localisation géographique de la région des Ziban.

3.2 Étude climatique et hydrographique

3. 2. 1 Analyse climatique

La région des Ziban présente un climat aride à saharien désertique, marqué par une pluviométrie faible, des températures élevées, une évaporation intense et des vents desséchants (Allia, 2018. ; Benounas & Chaib, 2007 ; Ozenda, 1991 ; Aidaoui, 1994).

L'analyse climatique repose sur les données de la station de Biskra (ONM), située à 34°51'40" N, 5°43'48" E, à une altitude de 86 m . La période 2014–2024 est retenue comme référence climatologique. (ONM,2024)

3.2.1.1. Précipitations

Selon Dubief (1963), les précipitations en milieu saharien se distinguent par leur faible importance quantitative et leur forte irrégularité saisonnière. Les données de la station étudiée confirment ce caractère aride, avec une pluviométrie annuelle totale de 175,55 mm.

La répartition mensuelle des pluies est irrégulière, marquée par une concentration des précipitations au printemps (mars à mai) et en automne, avec un maximum en septembre (32,49 mm). En revanche, la période estivale connaît une sécheresse quasi absolue, notamment en juillet (0,65 mm) et août (6,88 mm). Les pluies hivernales restent faibles et peu efficaces sur le plan hydrique et pédologique.

Cette distribution pluviométrique irrégulière, marquée par une forte variabilité mensuelle et des précipitations de courte durée parfois intenses, traduit une très faible disponibilité hydrique et constitue une contrainte permanente pour les systèmes agricoles oasiens.

Tableau 1. Pluviométrie moyennes mensuelle (2014-2024)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jun	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Total annuel
Précipitations (mm)	7.97	9.18	22.56	23.34	22.58	8.26	0.65	6.88	32.49	16.95	15.30	9.39	175.55

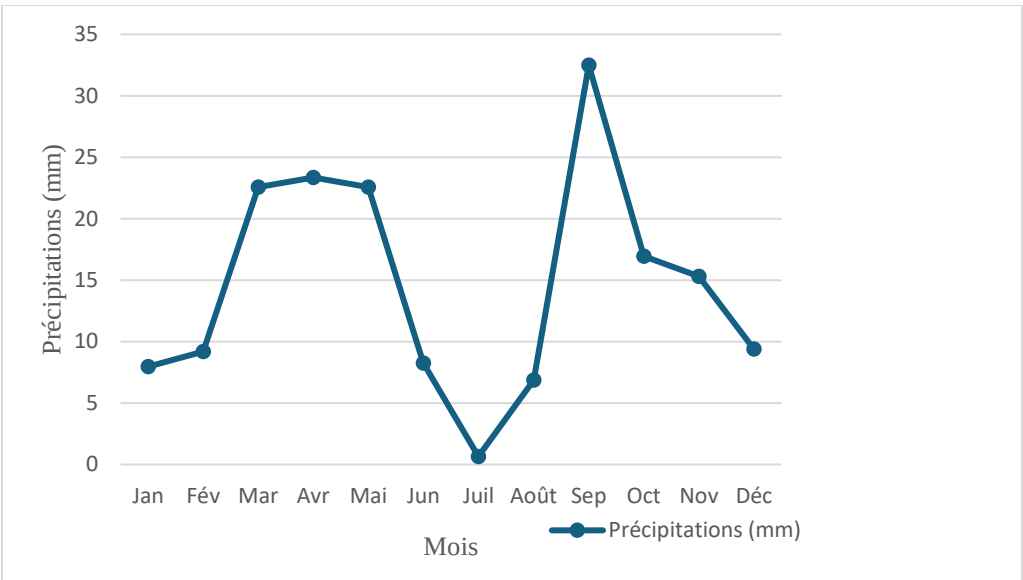


Figure.6 : Variation des précipitations moyennes mensuelles, Station de Biskra (2014–2024).

3.2.1.2. Températures

Les températures enregistrées traduisent un climat aride à forte contrainte thermique, caractérisé par une température moyenne annuelle de 20,68 °C. L’hiver demeure relativement doux, avec un minimum en janvier (9,14 °C), tandis que l’été se distingue par des températures très élevées, avec des maximas observés en juillet (33,52 °C) et août (32,53 °C). L’amplitude thermique annuelle, supérieure à 24 °C, reflète une forte variabilité saisonnière, influençant directement les flux d’évapotranspiration, le fonctionnement hydrique des sols et la croissance des cultures. La période chaude, s’étendant de mai à septembre, induit un stress thermique marqué et une augmentation significative des besoins en eau des systèmes de production agricole.

Tableau 02 -Températures moyennes mensuelles (°C) (2014–2024)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy. Annuelle
Températures moyennes (°C)	9.14	11.06	14.33	19.11	23.91	29.78	33.52	32.53	27.67	21.48	14.88	10.75	20.68

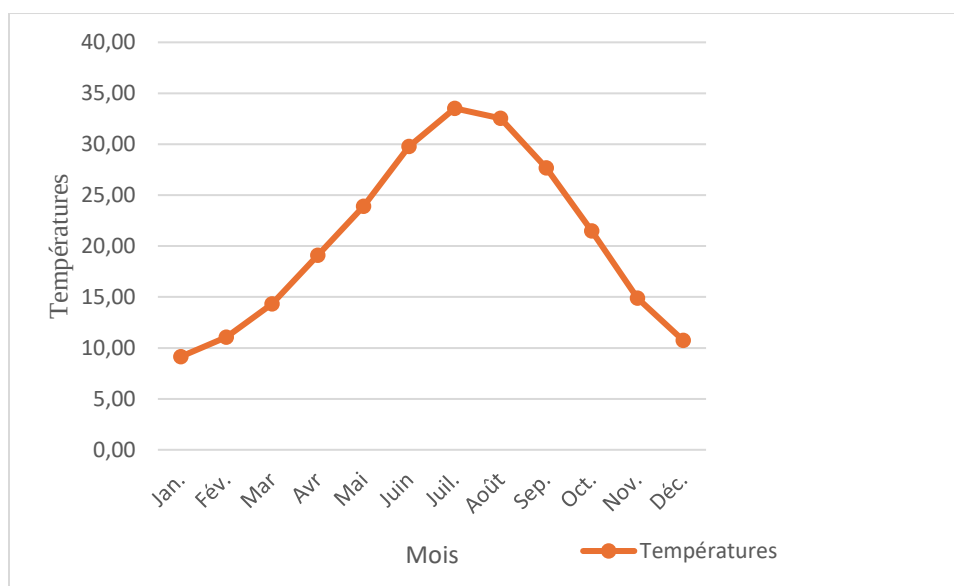


Figure 7. Variation des températures moyennes mensuelles (2014–2024)

3.2.1.3. Humidité relative

L'humidité relative moyenne annuelle atteint 44,19 %, traduisant un air globalement sec caractéristique des régions arides. Les valeurs les plus élevées sont observées en hiver, avec un maximum en décembre (63,76 %) et janvier (62,03 %), tandis que les minima estivaux sont enregistrés en juillet (23,02 %) et août (27,83 %), associée à des températures élevées, favorise une évapotranspiration intense et accentue le déficit hydrique des sols et des cultures.

La dynamique saisonnière se caractérise par une diminution progressive du printemps vers l'été, suivie d'une remontée en automne et en hiver, traduisant un fonctionnement climatique typique des milieux sahariens et une contrainte majeure pour les systèmes agricoles oasiens.

Tableau 03. Humidité relative moyenne mensuelle (2014–2024)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Moy. annuelle
Humidité relative (%)	62.03	54.50	48.08	41.89	37.53	29.62	23.02	27.83	39.66	46.34	56.71	63.76	44.24

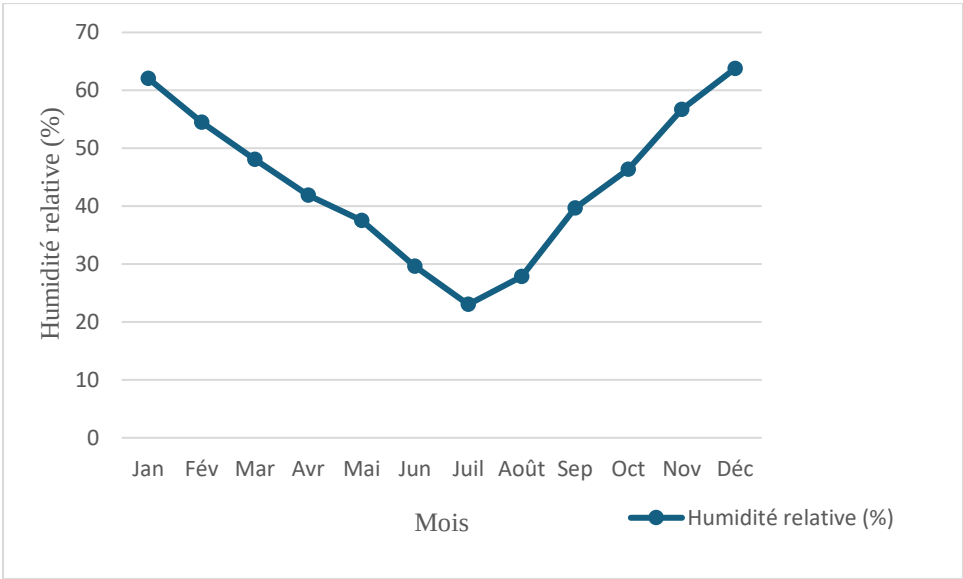


Figure 8. Variation mensuelle moyennes de l’humidité relative (%) (2014–2024)

3.2.1.4. Vent

La vitesse du vent montre des fluctuations saisonnières modérées. La vitesse moyenne annuelle du vent est de 3,80 m/s, traduisant une activité éolienne modérée. Les vitesses les plus élevées sont observées au printemps, notamment en mars (4,32 m/s) et mai (4,23 m/s), tandis que les valeurs les plus faibles sont enregistrées en automne, en particulier en septembre (3,49 m/s) et octobre (3,44 m/s). Cette dominance saisonnière des vents, combinée à la sécheresse atmosphérique, favorise l’érosion éolienne, accentue l’évaporation et influence négativement les conditions de croissance des cultures en milieu aride.

Tableau 04. Distribution mensuelle de la vitesse du vent (m/s) (2014–2024)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Moy. annuelle
Vitesse du vent (m/s)	3.72	3.88	4.32	4.09	4.23	4.17	3.90	3.50	3.49	3.44	3.63	3.34	3.80

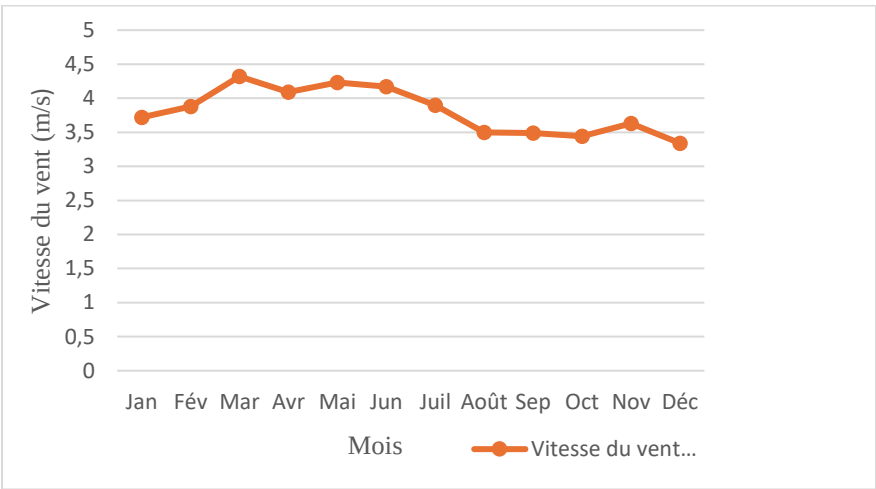


Figure 9. Variation mensuelle de la vitesse moyenne du vent (m/s) (2014–2024)

3.2.1.5. Classification climatique

3. 2. 1. 5. 1. Diagramme ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS

Le diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls permet d’identifier les périodes sèches et humides à partir du critère $P < 2T$, où P correspond aux précipitations mensuelles et T à la température moyenne mensuelle, L’aire comprise entre les deux courbes représente la période sèche. (Dajoz, 1985)

Le diagramme établi pour la région des Ziban sur la période 2014–2024 (Figure 10) met en évidence une sécheresse quasi permanente : la courbe des précipitations demeure inférieure à celle des températures durant la quasi-totalité de l’année, traduisant l’absence de période humide. Cette aridité atteint son intensité maximale en été, de juin à août, où les températures culminent (jusqu’à 33,5 °C en juillet) tandis que les précipitations deviennent quasi nulles (0,65 mm en juillet). Les mois d’automne, d’hiver et de début de printemps (notamment mars-avril et

septembre) bénéficient d'apports pluviométriques un peu plus marqués, qui atténuent la sécheresse sans jamais l'interrompre véritablement.

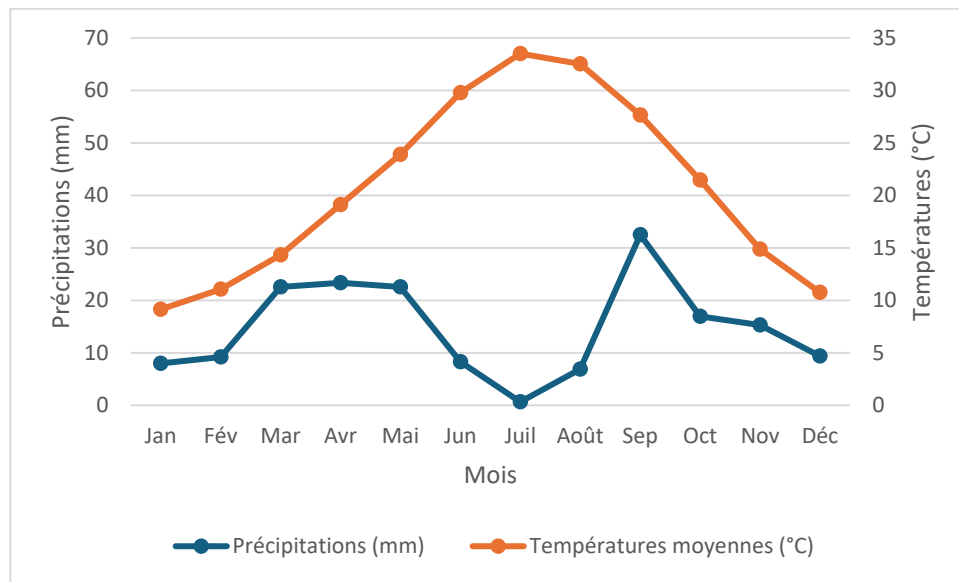


Figure 10 : Diagramme Ombrothermique de la région Ziban (2014-2024)

3. 2. 1. 5. 2. Climagramme d'Emberger

Le climagramme d'Emberger permet de caractériser les étages bioclimatiques méditerranéens et sahariens, en distinguant plusieurs types de climats allant du plus aride au plus humide,

L'indice quotient pluviométrique **Q2**, calculé selon la formule suivante:

$$Q2 = 3,43 P/M-m$$

Q2 : quotient pluviométrique d'Emberger. ;

P : pluviométrie moyenne annuelle en mm ;

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en °C ;

m : moyenne des minima du mois le plus froid en °C.

Le climagramme d'Emberger, établi à partir des données de la station de Biskra pour la période 2014–2024 permet de déterminer l'étage bioclimatique.

Avec $P = 175.56 \text{ mm}$, $M = 33.27 \text{ °C}$ et $m = 8.97 \text{ °C}$, donne une valeur de :

$$Q2 = 24.78$$

Cette valeur situe clairement la région des Ziban dans le bioclimat saharien à hiver chaud (Figure 11)

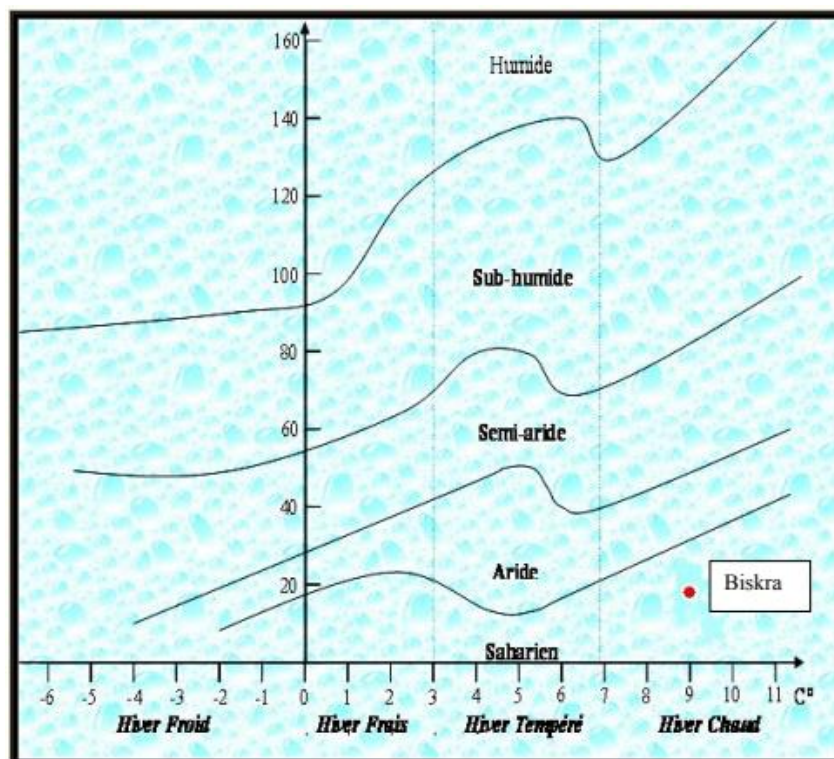


Figure 11: Climagramme d'EMBERGER (2014-2024)

3. 2. 2 Bilan hydrologique et réseau hydrographique

3.2.2.1. Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est formé d'oueds temporaires, actifs uniquement lors d'épisodes pluvieux. Ces cours d'eau appartiennent au bassin du Chott Melghir et contribuent ponctuellement à la recharge par infiltration (Sedrati, 2011).

Les principaux oueds sont :

- **Oued Djedi**, le plus vaste ($\approx 9\,130 \text{ km}^2$), drainant le versant sud de l'Atlas saharien et se perdant dans le Chott Melghir.

- **Oued Biskra**, issu de plusieurs affluents aurasiens, alimentant une nappe d'inféoflux utilisée pour l'irrigation à El Outaya et Tolga.
- **Oued El Arab**, provenant des montagnes orientales des Aurès et s'écoulant vers le Melghir (Masmoudi, 2012).
- **Oued El Abiod**, capté par le barrage de Foug El Gherza, principal ouvrage de régulation des crues (Boudibi, 2021).
- **Oued Djemoura** et **Oued El Hai**, affluents secondaires, contribuant localement à la recharge superficielle (Rechachi, 2017).

Ces oueds, à régime torrentiel et discontinu, jouent un rôle central dans l'accumulation alluvial et la recharge ponctuelle des nappes.

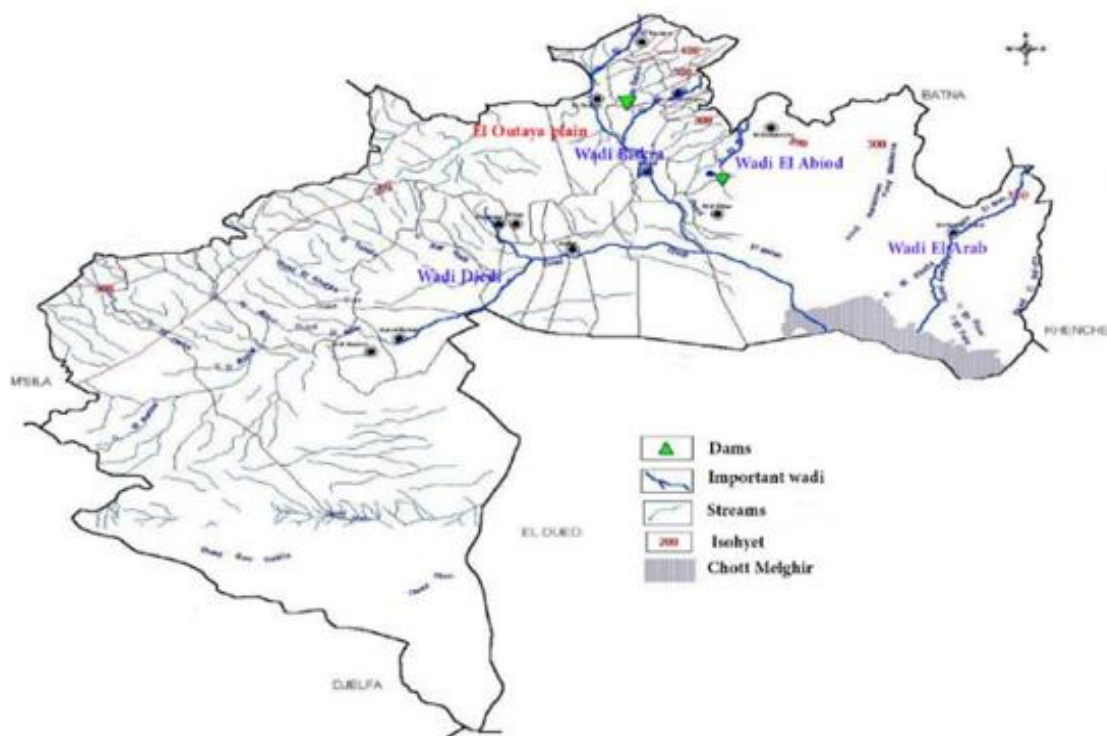


Figure12 : Réseau hydrographique de la région des Ziban.(Sedrati ,2011)

3.2.2.2. Structure hydrogéologique et principales nappes

L'hydrogéologie du Sahara septentrional est le résultat d'une longue évolution géologique marquée par des phases d'érosion continentale et de sédimentation détritique, ayant conduit à la mise en place d'épaisses formations sableuses et gréseuses capables de stocker d'importantes réserves d'eau durant les périodes climatiques humides (Dubost, 1991). Dans ce contexte, les ressources en eau souterraine de la région des Ziban reposent principalement sur deux grands systèmes aquifères régionaux : le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT) (Figure 9) (Khadraoui, 1998).

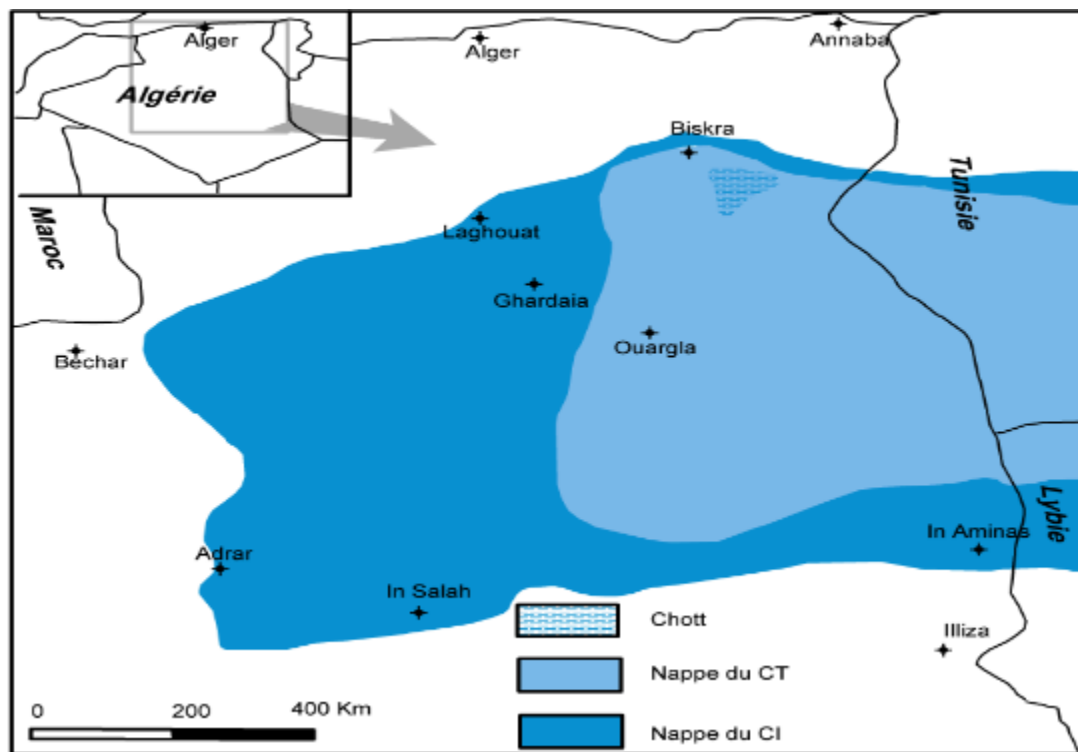


Figure 13 : Les deux grands systèmes aquifères du Sahara septentrional. (OSS, 2003, modifiée)

À l'échelle locale, la combinaison des caractéristiques lithologiques et hydrodynamiques permet d'individualiser quatre unités aquifères principales dans la région des Ziban (Masmoudi, 2012 ; Mancier, 2019).

1. Nappe phréatique du Quaternaire

La nappe phréatique quaternaire est développée dans les dépôts alluvionnaires récents, principalement au niveau des palmeraies. Il s'agit d'une nappe libre et superficielle, fortement influencée par les conditions climatiques arides. Les eaux sont généralement salées à très salées (5 à 15 g/L), avec des faciès chlorurés alcalins ou sulfatés calco-magnésiens. La forte évaporation favorise l'accumulation des sels dans les horizons supérieurs des sols et dans cette nappe, ce qui limite sa qualité chimique (Khadraoui, 1994 ; Masmoudi, 2012).

2. Nappe des sables du Mio-Pliocène (Complexe Terminal)

La nappe des sables du Mio-Pliocène constitue l'un des principaux réservoirs du Complexe Terminal. Sa lithostratigraphie est hétérogène et localement mal connue. Les eaux présentent des faciès dominants sulfatés (alcalins, calco-magnésiens ou calciques), avec des teneurs en sels dissous comprises entre 3 et 8 g/L, traduisant une qualité médiocre. Malgré ces contraintes, cette nappe joue un rôle majeur dans l'alimentation en eau des palmeraies et des périmètres irrigués du Bas-Sahara, notamment dans les Ziban (Dubost, 1991 ; Masmoudi, 2012 ; Mancier, 2019).

3. Nappe des calcaires de l'Éocène inférieur et du Sénonien supérieur (Complexe Terminal)

La nappe des calcaires éocènes et sénoniens est historiquement la plus exploitée dans la région des Ziban, notamment dans la palmeraie de Tolga. Elle est constituée de calcaires fissurés et dolomitiques, et son écoulement régional s'effectue selon une direction Nord-Ouest – Sud-Est. Cette nappe alimentait autrefois les sources d'Oumache et de M'lili, aujourd'hui tarées à la suite de la baisse généralisée du niveau piézométrique liée à la surexploitation. Les eaux présentent un faciès sulfaté alcalin à dominance alcalino-terreuse, avec une augmentation progressive de la salinité et une diminution de la productivité vers le sud-est (Khadraoui, 1998 ; Masmoudi, 2012).

4. Nappe profonde du Continental Intercalaire (CI – Albien)

La nappe profonde du Continental Intercalaire, souvent désignée sous le nom d'Albien, constitue le réservoir aquifère le plus profond et le plus ancien de la région. Elle est formée de

grès continentaux d'âge crétacé, avec des profondeurs dépassant fréquemment 2 000 m. Les eaux sont chaudes (environ 60 °C) et modérément à fortement minéralisées (1 à 5 g/L). Bien que son exploitation soit techniquement complexe et économiquement coûteuse, cette nappe représente une ressource stratégique de substitution, notamment dans les secteurs de Sidi Khaled, Ouled Djellal et M'lili, où elle contribue au soutien de l'agriculture irriguée en milieu aride (Dubost, 1991 ; Masmoudi, 2012 ; Mancet, 2019).

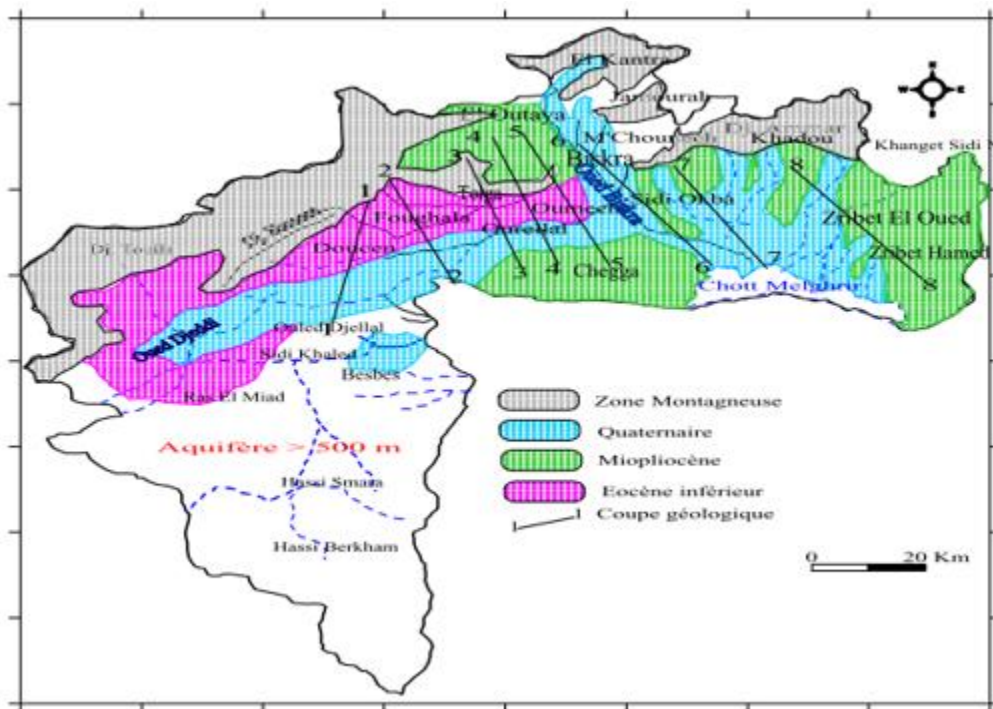


Figure 14 : Distribution des aquifères dans la région des Ziban (Sedrati ,2011).

Selon les données de l'ANRH (2008) rapportées par Rechachi (2017), la région des Ziban compte plus de 9 900 forages, dont la répartition spatiale met en évidence de forts contrastes d'exploitation entre les différentes zones hydrogéologiques. L'exploitation est particulièrement concentrée dans les zones à vocation agricole, notamment au centre et à l'est de la région, où les nappes du Complexe Terminal et du Continental Intercalaire sont fortement sollicitées. (Tableau 5)

Cette concentration de l'activité agricole se traduit par une pression accrue sur les ressources en eau souterraine, avec des besoins en irrigation élevés, pouvant atteindre 7 000

m³/ha/an dans les principaux périmètres irrigués des Ziban (Bouziane & Labadi, 2009). Cette situation souligne les enjeux de durabilité liés à la gestion des nappes dans un contexte climatique aride.

Tableau 05. Répartition des forages dans la région des Ziban(Rechachi,2017).

Zone	Daïras concernées	% du total des forages	Caractéristiques dominantes
Zone I	El Kantara, Djemoura, El Outaya	3 %	Nappes de faible profondeur, qualité moyenne.
Zone II	Sidi Khaled, Ouled Djellal, Tolga, Foughala	40 %	Secteurs agricoles intensifs ; nappes CT et CI fortement sollicitées.
Zone III	Zribet El Oued, Ourlal, M'chouneche, Sidi Okba	54 %	Densité maximale de forages ; recharge ponctuelle ; salinité élevée.
Zone IV	Biskra (chef-lieu)	3 %	Captages domestiques et irrigation urbaine périphérique.

3.3 Milieu physique

3.3.1 Cadre géologique

La région de Biskra constitue une zone de transition structurale et sédimentaire entre le domaine atlasique au nord, caractérisé par des reliefs plissés, et le Sahara septentrional au sud, correspondant à un domaine subsident. Le passage entre ces deux ensembles s'effectue par un système de flexures, plis-failles et failles orientés est-ouest, connu sous le nom d'accident sud-atlasique ou flexure saharienne (Sedrati, 2011 ; Chebbah, 2007).

La région est dominée par des formations sédimentaires d'âge Barrémien à Quaternaire, dont la mise en place est étroitement liée à la tectonique alpine, ayant fortement influencé l'organisation des bassins et la répartition des dépôts (Chebbah, 2007). D'après l'O.R.G.M. (1998) et Sedrati (2011), la wilaya de Biskra et sa périphérie présentent une succession lithostratigraphique complète, du Trias au Quaternaire, reflétant l'évolution sédimentaire d'une marge saharienne en subsidence, affectée par des phases tectoniques successives.

D'après la classification stratigraphique proposée par Gousskov (1964), reprise par Anonyme (1980), la succession stratigraphique est caractérisée par :

- Formations du Trias

Les affleurements triasiques, limités et localisés au Djebel Melah, sont constitués de marnes, gypses et sel gemme, caractérisant un environnement évaporitique restreint. Ils représentent les terrains les plus anciens de la région (O.R.G.M., 1998).

- Formations du Jurassique

Le Jurassique, d'extension réduite, n'affleure qu'au Djebel Ez-Zerga, où il se présente sous forme de calcaires et marnes déposés en milieu marin peu profond (O.R.G.M., 1998).

- Formations du Crétacé

Les formations crétacées dominent les reliefs de l'Atlas saharien, notamment au Djebel El Azreg et au Djebel El Ksoum. Elles comprennent une succession de roches terrigènes et carbonatées (grès, calcaires, marnes, dolomies, argiles).

Deux ensembles principaux sont distingués :

- Crétacé inférieur (Barrémien–Albien) : grès et argiles rouges, témoignant de dépôts continentaux à lagunaires.
- Crétacé supérieur (Cénomaniens–Sénonien) : calcaires cristallins, marnes, dolomies, alternances gypseuses et niveaux lagunaires (O.R.G.M., 1998 ; Chebbah, 2007).

Ces unités carbonatées épaisses constituent l'ossature des chaînes du Zab et des Aurès.

- Formations du Paléogène

Les dépôts paléogènes, d'origine lagunaire à marine, se situent dans les zones de transition entre les reliefs atlasiques et le plateau saharien. Ils comprennent des argiles, marnes, calcaires à silex, gypses, phosphates, grès et conglomérats.

L'Éocène moyen (Lutétien) est particulièrement développé au sud du Djebel Kahila, du Djebel El Ksoum, et dans la région d'Ouled Djellal, où affleurent de puissants niveaux gypseux

et calcaires, continus le long de l'Oued Djedi (O.R.G.M., 1998). Ces formations alimentent notamment le Complexe Terminal sur le plan hydrogéologique.

- Formations du Néogène

Représentées par le Miocène et le Pliocène, elles reposent en discordance sur les terrains plus anciens.

- Miocène : marnes, calcaires, argiles, gypses et grès conglomératiques, bien développés dans les zones de transition atlas-Sahara.

- Pliocène : très répandu à Chetma, Chaïba et Ouled Djellal ; constitué de poudingues, grès, argiles sableuses, croûtes calcaro-gypseuses renfermant galets et graviers (O.R.G.M., 1998 ; Sedrati, 2011).

Ces formations constituent le substratum des plaines oasiennes actuelles

- Formations du Quaternaire

Le Quaternaire recouvre la majeure partie du plateau saharien et des dépressions intramontagneuses, notamment à El-Outaya. Il comprend des dépôts proluviaux, alluviaux, lacustres et éoliens (galets, limons, sables, argiles, conglomérats).

Trois niveaux principaux sont distingués :

- Quaternaire ancien : poudingues au pied des reliefs ;
- Quaternaire moyen : croûtes calcaro-gypseuses de type Deb-Deb et travertins (Oumache, M'lili, Magloub) ;
- Quaternaire récent : alluvions sablo-argileuses, dunes et dépôts éoliens récents (Figure15) (Sedrati, 2011).

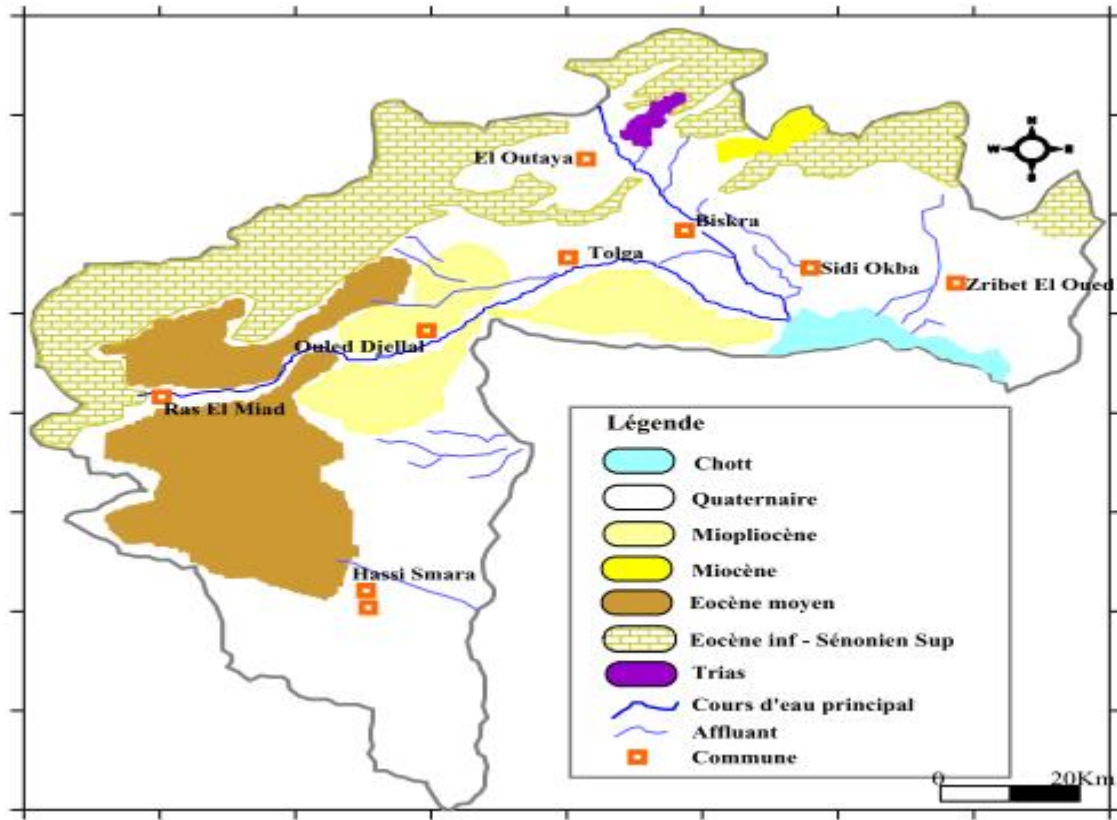


Figure15 : Carte géologique de la région des Ziban (Sedrati ,2011).

3. 3. 2 Cadre géomorphologiques

La région des Ziban constitue une zone de contact morphologique où la structure tectonique, dominée par l'accident sud-atlasique, contrôle fortement la topographie et la répartition des formes du relief. Le territoire se présente ainsi comme un piémont légèrement incliné vers le sud, reliant par une pente douce les chaînes atlasiques aux plaines arides du Sahara.

Le relief de la wilaya de Biskra peut être subdivisé en quatre grands ensembles géographiques distincts (Benounas & Chaib, 2007) :

- Montagnes atlasiques (Nord)

Elles représentent la limite méridionale de l'Atlas saharien, avec des reliefs vigoureux culminant entre 1 500 et 1 700 m. Ces massifs plissés et faillés, tels que le Djebel

El Azreg, Djebel El Ksoum, Djebel Kahila et Djebel Gouara, dominant les plaines d'El Outaya et de Tolga et témoignent de l'héritage tectonique alpin.

- Plateaux et piémonts structuraux (Centre et Ouest)

Localisés autour d'Ouled Djellal et Tolga, ces plateaux reposent sur les formations crétacées et néogènes. Ils s'abaissent progressivement vers le sud en un système de glacis d'accumulation, composé de dépôts grossiers à la base des reliefs, relayés par des matériaux argilo-sableux vers la plaine saharienne (Sedrati, 2011).

- Plainnes alluviales (Centre et Est)

Les plaines d'El Outaya, Doucen, Sidi Okba et Zeribet El Oued occupent près des deux tiers du territoire. Elles résultent du colmatage alluvial quaternaire et sont drainées par des oueds temporaires tels que Oued Biskra, Oued Djedi et Oued El Arab, convergeant vers le Chott Melghir (Masmoudi, 2012). Ces plaines constituent les zones agricoles les plus fertiles, abritant les principales oasis.

- Dépressions et chotts (Sud et Sud-Est)

Cette unité englobe les cuvettes endoréiques, dont les Chotts Melghir et Merouane, caractérisées par des dépôts salins, gypseux et argileux. Elles sont associées à des ergs et regs, formes typiques des environnements hyperarides soumis à une forte déflation éolienne.

Le contraste entre les reliefs atlasiques et les étendues planes sahariennes fait de la région de Biskra un modèle de transition géomorphologique entre le monde méditerranéen tempéré et l'espace saharien hyperaride (Sedrati, 2011 ; Masmoudi, 2012).

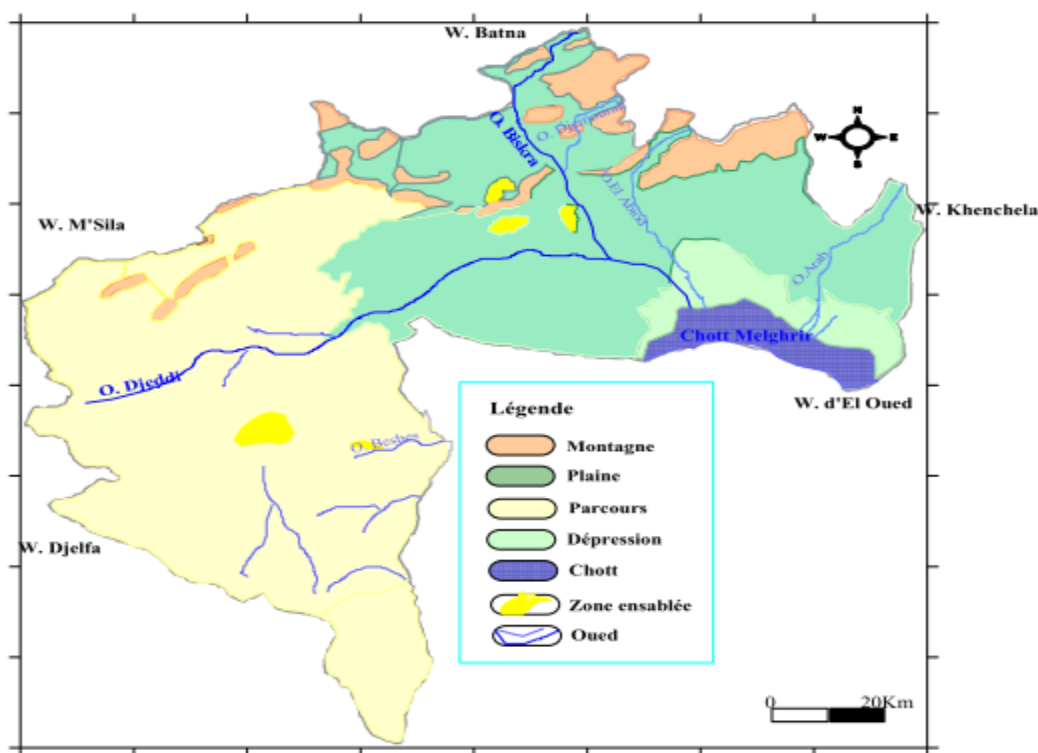


Figure 16 : Carte géomorphologique de la région des Ziban (Sedrati ,2011).

3. 3. 3 Cadre pédologique

La région des Ziban se caractérise par une forte hétérogénéité pédologique(Figure 17), liée à la diversité géomorphologique et aux conditions climatiques arides, se traduisant par des variations marquées de texture, profondeur, salinité et fertilité des sols (Sedrati, 2011 ; Benounas & Chaib, 2007 ; Masmoudi, 2012). Les sols sont globalement peu évolués et pauvres en matière organique, à l'exception de certaines plaines alluviales où les conditions pédologiques sont plus favorables.

Selon Khachai (2001) et Benounas et Chaib (2007), les sols des Ziban peuvent être regroupés en quatre grands ensembles géographiques :

les sols du Sud, sableux à sablo-argileux, souvent halomorphes, gypseux ou calcaires ;

les sols de l'Est (Zab Chergui), majoritairement alluvionnaires et relativement fertiles ;

les sols du Nord, peu épais et faiblement développés en zones montagneuses ;

les sols de l'Ouest (Zab Gharbi), alluviaux argileux-sodiques, affectés par la salinisation et la sodisation sous l'effet de l'irrigation avec des eaux minéralisées (Halitim, 1988 ; Mancier, 2019).

Cette diversité pédologique conditionne fortement les potentialités agricoles et les contraintes de gestion des sols dans la région.

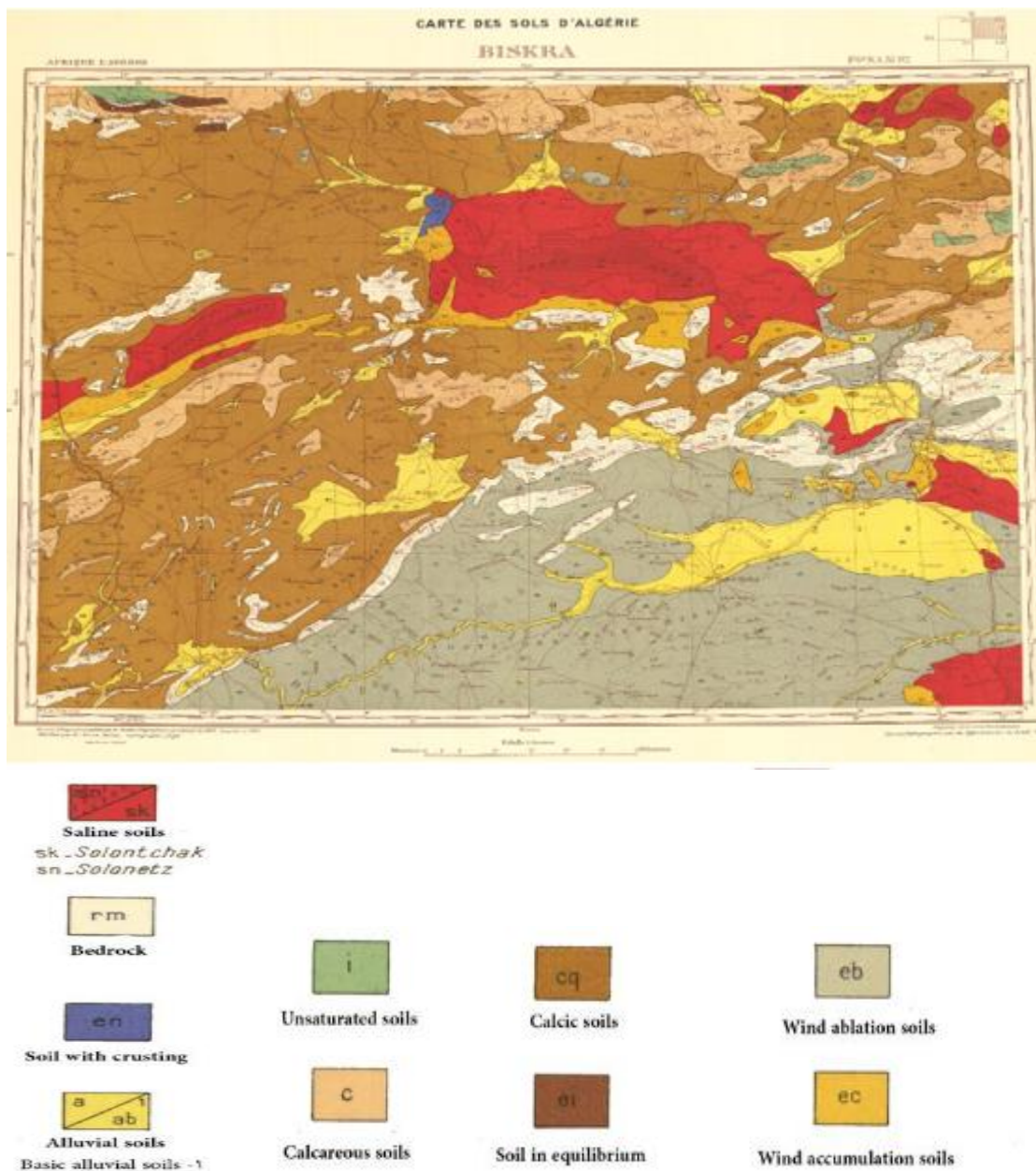


Figure 17 : Carte pédologique de la région des Ziban (échelle : 1/200.000).

Chapitre 4
Matériel et méthodes

Chapitre 4 Matériel et méthodes

4.1 Objectifs de l'étude

Chaque région agricole se caractérise par des conditions pédologiques, climatiques et socio-économiques spécifiques, qui orientent les choix techniques de l'agriculteur et déterminent l'organisation de son système de production. (FAO 2020). Dans les Ziban, les pratiques agricoles et les choix techniques des exploitants sont largement conditionnés par la disponibilité limitée en eau, la salinité croissante des sols et les contraintes d'un climat très aride (Rechachi, 2017).

L'objectif principal de ce travail est de connaître la place des cultures fourragères dans les pratiques agricoles des agriculteurs des Zibans, de connaître l'offre fourragère dans cette région agropastorale et l'influence de la qualité des sols sur les rendements, quantitatifs et qualitatifs, des cultures fourragères.

Afin d'atteindre les objectifs de cette étude, il est essentiel de considérer la spécificité du milieu oasien saharien, la diversité des sols cultivés, les contraintes hydriques, ainsi que les pratiques culturelles et le savoir-faire des agriculteurs locaux. C'est pourquoi nous avons adopté une démarche fondée sur l'enquête de terrain, permettant de recueillir des informations fiables sur les systèmes de culture fourragère, les pratiques agricoles et les contraintes rencontrées par les enquêtés.

Les enquêtes menées auprès des agriculteurs et agro-éleveurs, combinées aux analyses physico-chimiques des sols, d'eaux d'irrigation et des analyses fourragères, offrent une compréhension intégrée des interactions entre les propriétés du sol, les besoins des plantes fourragères (luzerne, orge, avoine) et les stratégies d'adaptation développées dans un contexte aride (figure 18). Cette méthodologie permet également d'appréhender les effets de la salinisation, de la structure du sol, de la qualité de l'eau d'irrigation et des pratiques culturelles sur la qualité et quantité fourragère.

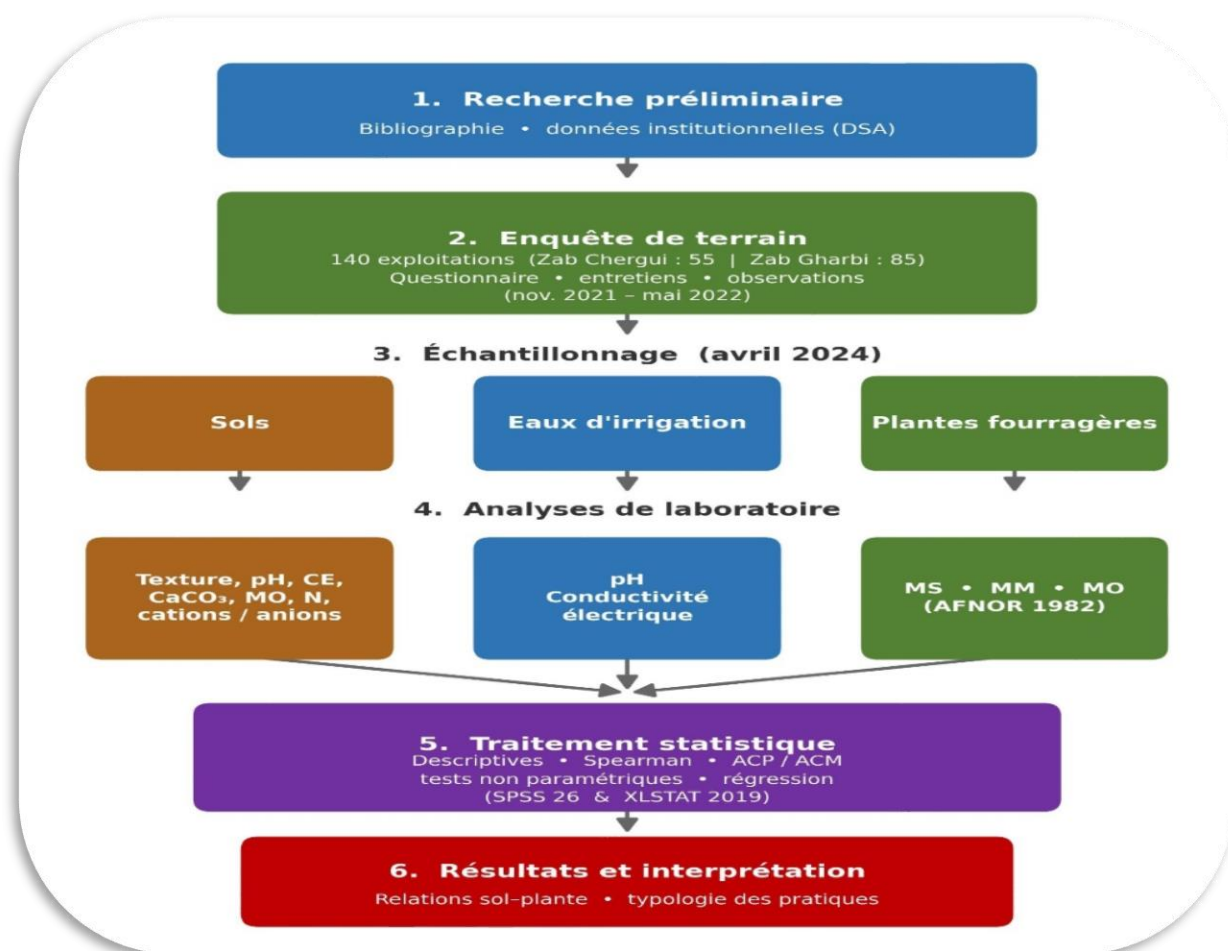


Figure 18 : Schéma méthodologique global de l'étude.

4.2 Présentation générale de la zone d'étude

4.2.1 Choix de la région

La région des Ziban a été retenue comme zone d'étude en raison de son importance agricole dans le Bas-Sahara algérien et de son rôle reconnu comme pôle agropastoral majeur, où coexistent des systèmes oasiens irrigués, une agriculture diversifiée et un élevage en expansion. Elle se subdivise en deux ensembles complémentaires : le Zab Gharbi, à l'ouest, et le Zab Chergui, à l'est, offrant des contextes pédologiques et hydriques contrastés essentiels pour analyser les relations sol-plantes fourragères.

Le Zab Gharbi se caractérise par des palmeraies anciennes, des nappes plus accessibles et des sols gypseux ou salins, mais soutient une activité agropastorale dynamique grâce à l'irrigation. Le Zab Chergui, dispose de plaines alluviales plus profondes et fertiles, mais présente une salinité variable influençant les systèmes de culture. Ces différences conditionnent la conduite des fourrages et les performances de l'élevage ovin et bovin qui lui est associé.

La variabilité pédologique de la région , sols alluviaux fertiles du Chergui, sols argileux-sodiques d'El Outaya, sols gypseux et salins du Zab Gharbi , constitue un cadre idéal pour étudier l'influence des caractéristiques physico-chimiques du sol sur les rendements fourragers (Mancer, 2019 ; Sedrati, 2011). À cela s'ajoutent des contraintes hydriques majeures liées à l'aridité climatique, à l'évaporation intense et à la dépendance aux nappes profondes (Rechachi, 2017).

Enfin, les Ziban représentent un écosystème saharien emblématique confronté à la salinisation, à la pression sur les ressources en eau, à l'intensification agricole et à des besoins croissants en fourrage. Cette diversité biophysique et socio-économique justifie pleinement le choix de cette région pour analyser la durabilité des systèmes fourragers en milieu aride.

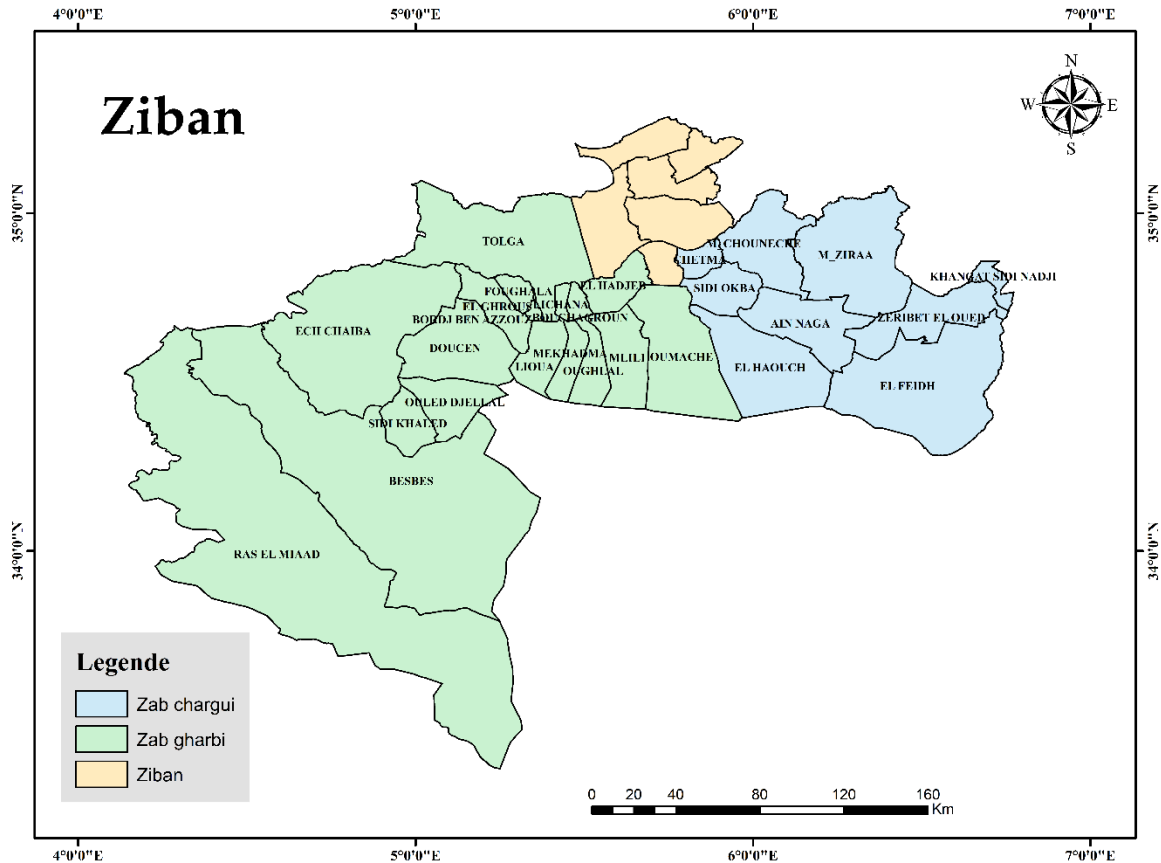


Figure 19. Subdivision géographique de la région des Ziban.

4.3 Description des zones d'étude

4.3.1 Le Zab Gharbi

4.3.1.1. Situation géographique et limites

Le Zab Gharbi occupe la partie occidentale de la région des Ziban, constituant l'un des ensembles agricoles les plus dynamiques du Bas-Sahara algérien. Il regroupe un ensemble de communes s'étendant de Tolga, El Ghrou, Lichana, Foughala, Bouchagroune et Bordj Ben Azouz au nord, jusqu'à Ouled Djellal, Sidi Khaled, Besbes, Râs El-Miaâd, Chaïba, Ourlal, Lioua, Mekhadma, M'lili et Oumache au sud. Cette zone s'inscrit dans un couloir oasien adossé au piémont méridional de l'Atlas saharien, entre les Monts du Zab et la bordure septentrionale du Chott Melghir. D'après Rechachi (2017), la structuration spatiale du Zab Gharbi s'explique par son inscription dans un système oasien ancien ayant bénéficié historiquement d'un accès privilégié aux eaux souterraines.

4.3.1.2. Milieu physique

Le Zab Gharbi se caractérise par des glacis d'accumulation et des plaines alluviales issus de la sédimentation des oueds provenant des Aurès. Ces formations donnent lieu, dans les communes centrales comme Tolga, El Ghrous, Lichana et Foughala, à des sols alluviaux relativement profonds et fertiles, favorables aux cultures oasiennes.

Dans les communes situées plus au sud et à l'ouest du Zab Gharbi, notamment Doucen, Ourlal, Lioua, M'lili, El Hadjeb, Sidi Khaled, Ouled Djellal, Besbes et Râs El-Miaâd, les sols deviennent plus gypseux, salins, calcimagnésiques ou argilo-sodiques, sous l'effet de la remontée capillaire, de l'évaporation et de l'irrigation par des eaux minéralisées (Sedrati, 2011 ; Mancier, 2019).

Malgré ces contraintes, le Zab Gharbi demeure l'un des pôles agricoles les plus productifs du Sahara septentrional grâce à la combinaison de sols relativement épais, d'une topographie favorable et d'un savoir-faire oasien ancien.

4.3.1.3. Ressources hydriques

L'activité agricole du Zab Gharbi repose principalement sur l'exploitation de la nappe phréatique quaternaire et de la nappe du Complexe Terminal (CT), cette dernière constituant la principale ressource hydrique pour l'irrigation oasienne. Les forages y sont particulièrement nombreux : la zone concentre près de 40 % des forages de la région des Ziban, témoignant d'une exploitation intensive des aquifères (Rechachi, 2017). Dans la partie méridionale du Zab Gharbi, en particulier à Ouled Djellal et Sidi Khaled, les agriculteurs recourent également au Continental Intercalaire (CI), aquifère profond non renouvelable dont la salinité peut atteindre 1 à 5 g/L (Masmoudi, 2012). L'exploitation intensive du CT entraîne une baisse généralisée des niveaux piézométriques, le tarissement des sources naturelles d'Oumache et de M'lili, ainsi qu'un risque accru de salinisation des sols.

L'irrigation repose principalement sur l'aspersion, le goutte-à-goutte et l'irrigation gravitaire, couvrant 69 % de la SAU (61 366 ha), ce qui confirme la dépendance totale de la zone à l'eau souterraine. (DSA 2020)

4.3.1.4. Situation agricole

4. 3. 1. 4. 1. Répartition des superficies agricoles

Le Zab Gharbi représente le principal pôle agricole des Ziban. Selon la DSA (2020/2021), il compte 88 836 ha de SAU, soit 48 % de la SAU régionale, dont 69 % sont irrigués, révélant une forte orientation vers l'agriculture intensive. Les communes les plus dotées en superficies cultivées sont Doucen, Lioua, M'lili et Ourlal.

Les terres pastorales et jachères couvrent 1 002 706 ha, soit 67,2 % du territoire, avec des proportions particulièrement élevées à Besbes, Râs El-Miaâd et Chaïba, témoignant de la prédominance des milieux steppiques et du rôle majeur de l'agropastoralisme. Cette co-présence d'une agriculture irriguée dense et de vastes espaces pastoraux confirme la position stratégique du Zab Gharbi dans l'économie agro-pastorale régionale.

Tableau 6 : Répartition des superficies agricoles dans le Zab Gharbi (DSA ,2021)

Commune	SAU (ha)	SAU irriguée (ha)	Terres pastorales / jachères (ha)	Superficie totale (ha)	% SAU / Total	% Pastorales / Total
Tolga	4 384	4 284	4 599	121 430	3,6 %	3,8 %
El Ghrous	7 030	3 776	15 599	23 760	29,6 %	65,7 %
Lichana	2 122	1 744	1 288	3 960	53,6 %	32,5 %
Foughala	1 799	1 501	4 599	8 030	22,4 %	57,3 %
Bouchagroune	1 845	1 513	3 173	5 790	31,9 %	54,8 %
Bordj Ben Azouz	1 666	1 654	371	2 320	71,8 %	16,0 %
Doucen	8 484	8 180	37 664	62 160	13,6 %	60,6 %
El Hadjeb	5 394	1 888	11 222	20 810	25,9 %	53,9 %
Ouled Djellal	4 121	3 550	13 680	32 090	12,8 %	42,6 %
Sidi Khaled	3 511	2 000	5 888	21 730	16,2 %	27,1 %
Besbes	1 889	1 675	279 640	363 360	0,5 %	76,9 %
Râs El-Miaâd	1 561	1 517	377 476	478 390	0,3 %	78,9 %
Chaïba	4 414	820	117 299	168 650	2,6 %	69,6 %
Ourlal	4 777	4 639	11 142	19 010	25,1 %	58,6 %
Lioua	7 495	5 856	11 346	24 210	30,9 %	46,9 %
Mekhadma	5 409	4 242	7 134	15 160	35,7 %	47,0 %
M'lili	7 483	7 089	26 872	37 160	20,1 %	72,3 %
Oumache	4 452	4 367	73 016	81 680	5,4 %	89,4 %
Total Zab Gharbi	88 836	61 366	1 002 706	1 490 950	6,0 %	67,2 %

4. 3. 1. 4. 2. Utilisation des terres cultivées

L'analyse des cultures dans le Zab Gharbi met en évidence un système agricole hautement diversifié. Les légumes de plein champ et sous serre représentent 45 % de la superficie cultivée, illustrant le poids majeur du maraîchage irrigué dans les oasis (DSA, 2021). Les céréales couvrent 33 % des surfaces (8 016 ha), principalement concentrées dans les communes de Doucen, Oumache, Besbes et Râs El-Miaâd.

Les cultures fourragères occupent 3 386 ha, soit 22 % des terres cultivées. Les communes les plus fourragères sont Doucen (1 560 ha), Ouled Djellal (384 ha), Ourlal et Chaïba. Cette structuration culturelle confirme que le Zab Gharbi dispose d'un système fourrager intensif, étroitement associé à un élevage sédentaire fortement développé dans la zone.

Boudechiche (2014) et Benounas & Chaib (2007) mettent en évidence que l'intégration des dattiers, des cultures maraîchères et des fourrages constitue un déterminant majeur de la résilience et de l'efficacité agronomique des systèmes oasiens sahariens.

Tableau 7 : Utilisation des terres agricoles dans le Zab Gharbi (DSA ,2021).

Commune	Céréales (ha) / (q)	Légumes de plein champ (ha) / (q)	Légumes sous serre (ha) / (q)	Fourrages (ha) / (q)	Superficie totale cultivée (ha)	Céréales %	Légumes %	Fourrages %
Tolga	400 / 14	119 / 37	338 / 382	58 / 3 890	915	43,7 %	50,0 %	6,3 %
El Ghrous	0 / 0	133 / 31	70 / 63	0 / 0	203	0 %	100 %	0 %
Lichana	0 / 0	90 / 25 770	64 / 75 517	0 / 0	154	0 %	100 %	0 %
Foughala	0 / 0	80 / 14 142	27 / 32 605	0 / 0	107	0 %	100 %	0 %
Bouchagroune	0 / 0	49 / 12 389	6 / 5 456	0 / 0	55	0 %	100 %	0 %
Bordj Ben Azouz	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0	0 %	0 %	0 %
Doucen	1 970 / 56 075	1 417 / 147 879	530 / 582 076	1 560 / 94 550	5 477	36 %	36 %	28 %
El Hadjeb	0 / 0	13 / 2 420	66 / 83 224	61 / 4 150	140	0 %	57 %	43 %
Ouled Djellal	150 / 3 975	703 / 118 010	124 / 67 521	384 / 27 300	1 361	11 %	60 %	28 %
Sidi Khaled	0 / 0	713 / 86 128	38 / 19 844	6 / 310	757	0 %	99 %	1 %
Besbes	570 / 21 550	336 / 66 336	67 / 69 645	37 / 3 680	1 010	56 %	40 %	4 %
Râs El-Miaâd	530 / 18 470	238 / 50 462	128 / 108 159	44 / 5 420	940	56 %	40 %	4 %
Chaïba	155 / 4 225	157 / 23 300	63 / 51 385	160 / 11 360	535	29 %	41 %	30 %
Ourlal	720 / 23 390	713 / 159 321	148 / 129 225	272 / 31 320	1 853	39 %	46 %	15 %
Lioua	365 / 11 695	1 738 / 342 473	277 / 273 848	120 / 6 710	2 500	15 %	76 %	9 %
Mekhadma	180 / 5 690	921 / 195 979	244 / 167 160	60 / 4 820	1 405	13 %	83 %	4 %
M'lili	385 / 9 400	522 / 113 741	218 / 212 597	222 / 15 800	1 347	29 %	62 %	9 %
Oumache	810 / 24 765	774 / 150 970	186 / 180 600	80 / 5 790	1 850	44 %	50 %	6 %
Total Zab Gharbi	8 016 / 203 460	10 734 / 2 000 000	2 226 / 2 700 000	3 386 / 240 000	24 362	33 %	45 %	22 %

4. 3. 1. 4. 3. Phoeniciculture

Le Zab Gharbi possède l'un des patrimoines phoenicicoles les plus importants d'Algérie. La région compte 3 063 390 palmiers, dont 66 % appartiennent à la variété « Deglet Nour », considérée comme la variété premium à forte valeur marchande (DSA, 2021). Les communes de Tolga, El Ghrous, Lichana et Doucen forment le noyau de production de haute qualité.

Les rendements atteignent plus de 3,4 millions de quintaux, démontrant un haut niveau de maîtrise technique de la phoeniciculture. Le système de culture oasien du Zab Gharbi repose sur une superposition productive : dattier en étage supérieur, arbres fruitiers en étage intermédiaire et fourrages ou maraîchage en étage inférieur.

Tableau 8 : Patrimoine phoenicicole du Zab Gharbi (DSA ,2021)

Commune	Nombre total de palmiers	Palmiers productifs	Production totale (q)	Palmiers 'Deglet Nour' (total)	Palmiers 'Deglet Nour' productifs	Production 'Deglet Nour' (q)	% Deglet Nour / Total
Tolga	316 218	309 515	443 080	249 888	243 185	376 210	85 %
El Ghrous	115 920	113 890	161 170	83 780	81 750	125 990	79 %
Lichana	146 108	144 020	211 670	122 788	120 700	187 740	84 %
Foughala	143 440	141 850	215 670	136 340	134 750	208 430	95 %
Bouchagroune	122 480	120 800	167 130	79 800	78 200	120 530	65 %
Bordj Ben Azouz	187 710	184 710	274 360	163 750	160 750	249 860	87 %
Doucen	216 219	209 619	205 820	200 648	194 900	191 030	93 %
El Hadjeb	240 245	232 349	220 233	155 140	147 900	142 090	65 %
Ouled Djellal	215 799	214 790	212 700	127 461	126 500	122 810	59 %
Sidi Khaled	115 096	111 500	110 940	74 776	71 600	71 240	65 %
Besbes	54 460	47 180	44 900	50 680	43 928	43 140	93 %
Râs El-Miaâd	43 412	39 650	38 316	40 220	37 150	36 779	93 %
Chaïba	24 258	23 410	22 670	21 964	21 400	20 640	90 %
Ourlal	201 740	195 691	194 930	69 163	63 251	61 420	34 %
Lioua	227 812	223 327	222 020	87 640	84 750	82 280	38 %
Mekhadma	212 131	208 469	207 754	89 088	85 714	82 984	42 %
M'lili	215 449	212 863	222 877	85 809	83 613	82 777	40 %
Oumache	253 573	250 708	257 080	135 979	134 008	137 950	54 %
Total Zab Gharbi	3 063 390	2 987 382	3 421 280	2 010 311	1 905 019	2 194 900	66 %

4. 3. 1. 4. 4. Élevage et production animale

Le Zab Gharbi s'impose comme la zone pivot du pastoralisme régional . Il rassemble 990 000 ovins, 369 300 caprins, 4 162 dromadaires et 3 248 bovins, soit plus de 83 % du cheptel total des Ziban. Les communes de Besbes, Râs El-Miaâd, Chaïba et Doucen concentrent les effectifs les plus importants.

L'élevage combine systèmes traditionnels pastoraux et élevage sédentaire engraisseur, liée à la production fourragère irriguée. La production annuelle de viande rouge dépasse 83 928 quintaux, tandis que la production d'œufs atteint 8,5 millions d'unités (DSA, 2021).

Tableau 9 : Cheptel et production animal du Zab Gharbi (DSA, 2021).

Commune	Ovins	Bovins	Caprins	Dromadaires	Chevaux	Viande blanche (q)	Viande rouge (q)	Œufs (× 1000)
Tolga	67 900	281	15 200	0	0	341	8 518	999
El Ghrous	23 900	24	14 300	0	0	25	4 218	0
Lichana	31 400	51	8 200	0	6	57	4 533	0
Foughala	20 200	37	5 900	0	0	29	1 316	0
Bouchagroune	14 600	98	22 000	0	3	140	1 221	0
Bordj Ben Azouz	25 200	301	9 000	289	0	71	2 262	480
Doucen	102 000	934	8 500	606	210	27	8 561	0
El Hadjeb	5 800	338	7 400	20	0	160	1 110	900
Ouled Djellal	79 000	228	46 100	50	30	28	8 768	0
Sidi Khaled	27 000	118	34 500	632	22	63	4 137	0
Besbes	221 000	0	65 600	797	86	30	10 212	0
Râs El-Miaâd	124 000	9	43 400	106	27	37	9 254	0
Chaïba	183 000	113	61 400	471	20	130	14 290	0
Ourlal	9 300	40	6 100	0	0	40	1 635	0
Lioua	11 800	120	10 800	0	6	233	3 587	3 071
Mekhadma	13 400	36	5 400	0	0	168	2 148	0
M'lili	19 600	155	8 700	1 121	0	648	4 300	0
Oumache	11 800	120	10 800	0	6	233	3 587	3 071
Total Zab Gharbi	990 000	3 248	369 300	4 162	426	2 431	83 928	8 521

4.3.1.5. Structure démographique

Le Zab Gharbi regroupe une population totale de 353 469 habitants, constituée de 179 847 hommes (50,9 %) et 173 622 femmes (49,1 %). La distribution par âge révèle une prépondérance marquée des classes d'âge jeunes, témoignant d'une dynamique démographique caractérisée par une croissance naturelle élevée. La population âgée de moins de 30 ans représente 67 % de l'ensemble du Zab Gharbi, tandis que les personnes âgées de 60 ans et plus ne constituent que 5,8 %, ce qui reflète une structure nettement juvénile.

Tableau 10. Structure démographique du Zab Gharbi(ONS ,2018)

Tranche d'âge	Hommes	Femmes	Total	% du total
0–14 ans	63 580	60 024	123 604	34,9 %
15–29 ans	57 745	55 830	113 575	32,1 %
30–44 ans	30 907	31 077	61 984	17,5 %
45–59 ans	16 974	16 815	33 789	9,6 %
>60 ans	10 641	9 876	20 517	5,8 %
Total	179 847	173 622	353 469	100 %

4.3.1.6. Structure des ménages

Le Zab Gharbi regroupe 63 661 ménages ordinaires et 436 ménages collectifs, soit près de trois fois plus que le Zab Chergui. Cette différence reflète la densité résidentielle plus élevée du secteur occidental, marquée par des centres oasis anciens, des extensions urbaines et une concentration plus forte d'institutions et d'infrastructures, ce qui explique la présence plus notable de ménages collectifs.

Le Zab Gharbi concentre environ 74 % de l'ensemble des ménages des Ziban, due : une organisation territoriale plus dense à l'ouest, une urbanisation plus marquée dans les oasis du Zab Gharbi.

Tableau 11. Structure des ménages dans le Zab Gharbi (ONS ,2018)

Indicateur	Valeur
Ménages ordinaires	63 661
Ménages collectifs	436
Total ménages	64 097

4.3.1.7. Industrie dans le Zab Gharbi

Le Zab Gharbi constituant la sous-région la plus industrialisée des Ziban. Bien que l'implantation industrielle y demeure globalement modeste, cette zone présente une diversification sectorielle plus marquée et une répartition spatiale plus étendue. Les unités industrielles recensées se concentrent principalement dans les secteurs agroalimentaire, matériaux de construction, chimie-plastique et, textile-cuir.

Tolga et Oumache se distinguent par la présence d'industries agroalimentaires, en cohérence avec l'importance de la phoeniciculture et des activités de transformation dattier. Les communes d'El Hadjeb et d'Ouled Djellal accueillent des unités liées aux matériaux de construction, reflétant la disponibilité de gisements locaux. À Tolga, l'émergence d'entreprises de chimie-plastique accompagne la modernisation de l'irrigation et des systèmes agricoles, tandis qu'une unité textile-cuir est implantée à Sidi Khaled.

Le tissu industriel du Zab Gharbi, apparaît plus diversifié et mieux intégré aux dynamiques agricoles locales que celui du Zab Chergui, renforçant son rôle dans la structuration économique régionale.

Tableau 12. Structure et distribution des unités industrielles du Zab Gharbi (Monographie Biskra,2016)

Commune du Zab Gharbi	Agro-alimentaire	Mat. construction	Chimie-plastique	Textile-cuir	Bois-papier-liège	Autres	Total
Tolga	3	0	2	0	2	0	7
Oumache	2	0	0	0	0	0	2
Ouled Djellal	0	1	0	0	0	1	2
Sidi Khaled	0	0	0	1	0	0	1
El Hadjeb	1	1	0	0	0	0	2

4.3.2 Le Zab Chergui

4.3.2.1. Situation géographique et limites

Le Zab Chergui s'étend à l'est de Biskra, et forme une unit géographique distincte appartenant au bassin du Chott Melghir. Il regroupe les communes de Sidi Okba, Chetma, Ain Naga, M'Ziraa, Zribet El Oued, Khanguet Sidi Nadji, El Haouch, El Feidh et M'Chouneche. La région est limitée au nord par les monts du Zab, au sud par la dépression du Chott Melghir, à l'est par l'Oued Bizar et à l'ouest par l'Oued Biskra (Rechachi, 2017; Mancér, 2019).

4.3.2.2. Milieu physique

Le Zab Chergui présente des sols alluviaux profonds dans les secteurs fertiles de Sidi Okba et Aïn Naga, tandis que les communes de M'Ziraa, El Feidh et Zribet El Oued se caractérisent par des sols gypseux, salins et sodiques. Ces sols peuvent contenir plus de 63 % de calcaire, jusqu'à 28 % de gypse, et afficher des salinités très contrastées, avec des CE comprises entre 0,4 et 57,8 dS·m⁻¹ (Mancér, 2019 ; Benaouda *et al.*, 2008).

Le relief plat et la proximité du Chott Melghir favorisent la remontée capillaire et l'accumulation des sels, accentuant la dégradation des sols et expliquant la productivité plus irrégulière des cultures.

4.3.2.3. Ressources hydriques

L'approvisionnement hydrique du Zab Chergui repose principalement sur les nappes du Complexe Terminal, dont les eaux présentent un degré de minéralisation sensiblement plus élevé que celui observé dans le Zab Gharbi (Rechachi, 2017). La profondeur importante des forages, notamment dans les communes de M'Ziraa, El Haouch et El Feidh, accroît le risque de salinisation, en raison de l'exploitation d'eaux plus anciennes, plus profondes et généralement plus concentrées en sels dissous.

Par ailleurs, l'aquifère du Continental Intercalaire, mobilisé dans les secteurs les plus arides du Zab Chergui, fournit une eau dont la salinité varie entre 1 et 5 g/L, avec des températures pouvant dépasser 60 °C (Masmoudi, 2012). Les contraintes liées à la qualité physico-chimique des eaux notamment leur salinité et leur dureté, demeurent un facteur limitant majeur pour le développement agricole et la durabilité des systèmes de production dans cette sous-région.

4.3.2.4. Situation agricole

4. 3. 2. 4. 1. Répartition des superficies agricoles

Le Zab Chergui regroupe neuf communes situées au nord-est de Biskra, totalisant 84 051 ha de SAU, soit 45 % de la SAU régionale. La SAU irriguée atteint 55 937 ha, confirmant une forte dépendance, similaire à celle du Zab Gharbi, aux ressources hydriques souterraines. Les terres pastorales s'élèvent à 244 051 ha, équivalant à 48,3 % de la superficie totale (DSA, 2021).

Les communes d'Aïn Naga, de M'Ziraa et d'El Haouch montrent les plus grandes superficies agricoles et pastorales. Toutefois, cette sous-région est marquée par des sols plus salins et des ressources hydriques plus minéralisées, ce qui limite la performance agricole par rapport au Zab Gharbi (Halima, 2019).

Tableau 13 : Répartition des superficies agricoles dans le Zab Chergui (DSA,2021)

Commune	SAU (ha)	SAU irriguée (ha)	Terres pastorales / jachères (ha)	Superficie totale (ha)	% SAU / Total	% Pastorales / Total
Sidi Okba	7 025	6 849	11 898	25 410	27,6 %	46,8 %
Chetma	1 928	1 868	7 583	11 020	17,5 %	68,8 %
Aïn Naga	22 150	10 586	12 673	50 780	43,6 %	25,0 %
M'Ziraa	7 805	7 027	40 061	96 080	8,1 %	41,7 %
Zribet El Oued	13 652	11 147	28 211	50 090	27,3 %	56,4 %
Khanguet Sidi Nadji	1 217	670	2 485	8 010	15,2 %	31,0 %
El Haouch	18 067	6 221	41 195	75 490	23,9 %	54,6 %
El Feidh	10 606	10 024	64 850	137 510	7,7 %	47,2 %
M'Chouneche	1 601	1 545	35 095	50 440	3,2 %	69,5 %
Total Zab Chergui	84 051	55 937	244 051	504 880	16,7 %	48,3 %

4. 3. 2. 4. 2. Utilisation des terres cultivées

Dans le Zab Chergui, les céréales constituent la principale occupation des terres avec 47 % (20 825 ha), suivies des cultures maraîchères (39%) et des fourrages (13 %, soit 5 946 ha). Les cultures fourragères restent plus limitées que dans le Zab Gharbi, en raison des contraintes pédologiques et hydriques.

Les communes les plus productrices de fourrages sont M'Ziraa (980 ha), Aïn Naga (830 ha) et El Haouch (1 140 ha). Néanmoins, les rendements y sont plus variables, la salinité des sols et des eaux limitant les performances productives(Halima ;2019 et Benaouda et al. ;2008).

Il s'agit d'un système intermédiaire qui soutient un élevage extensif, tout en demeurant moins intensifié que celui développé dans le Zab Gharbi.

Tableau 14 : Utilisation des terres agricoles dans le Zab Chergui (DSA,2021)

Commune	Céréales (ha) / (q)	Légumes de plein champ (ha) / (q)	Légumes sous serre (ha) / (q)	Fourrages (ha) / (q)	Superficie totale cultivée (ha)	% Céréales	% Légumes	% Fourrages
Sidi Okba	1 210 / 42 570	1 401 / 215 010	564 / 504 164	205 / 11 050	3 380	35,80 %	58,14 %	6,07 %
Chetma	120 / 3 380	62 / 8 680	13 / 11 920	120 / 9 630	315	38,10 %	23,81 %	38,10 %
Aïn Naga	4 110 / 136 670	2 320 / 307 150	1 361 / 1 124 588	830 / 38 180	8 621	47,67 %	42,70 %	9,63 %
M'Ziraa	4 985 / 188 163	4 070 / 731 327	677 / 827 313	980 / 87 620	10 712	46,54 %	44,31 %	9,15 %
Zribet El Oued	2 360 / 91 168	2 160 / 580 426	1 938 / 2 357 180	778 / 33 850	7 236	32,61 %	56,63 %	10,75 %
Khanguet Sidi Nadji	105 / 3 925	135 / 27 855	3 / 5 100	43 / 1 400	286	36,71 %	48,25 %	15,03 %
El Haouch	2 280 / 72 070	1 293 / 161 810	38 / 16 670	1 140 / 40 970	4 751	47,99 %	28,02 %	23,99 %
El Feidh	5 550 / 205 250	1 360 / 283 520	232 / 302 510	1 810 / 126 830	8 952	62,00 %	17,78 %	20,22 %
M'Chouneche	105 / 3 925	72 / 13 040	6 / 4 480	40 / 2 160	223	47,09 %	34,98 %	17,94 %
Total Zab Chergui	20 825 / 746 121	12 873 / 2 328 818	4 832 / 5 153 925	5 946 / 477 710	44 476	46,84 %	39,81 %	13,37 %

4. 3. 2. 4. 3. Phoeniculture

Le Zab Chergui compte un patrimoine phoenicicole de 1 062 641 palmiers, dont 60 % appartiennent à la variété Deglet Nour. La productivité y présente toutefois de fortes disparités entre communes. M'Ziraa et El Feidh figurent parmi les zones les plus performantes, avec respectivement 87 % et 83 % de Deglet Nour productifs. À l'inverse, des communes comme M'Chouneche n'en comptent que 25 %, révélant des conditions de production plus contraignantes.

Ces variations sont largement imputables à la salinité élevée des sols et à la forte minéralisation des eaux d'irrigation. Les secteurs les plus arides, où les nappes profondes sont sollicitées, montrent des contraintes hydriques plus marquées. La production totale du Zab

Chergui atteint 1 069 820 quintaux, dont 607 540 quintaux de Deglet Nour. Malgré ces hétérogénéités, la phoeniciculture demeure un pilier économique majeur de cette sous-région saharienne.

Tableau 15: Patrimoine phoenicicole du Zab Chergui (DSA,2021)

Commune	Nombre total de palmiers	Palmiers productifs	Production totale (q)	Palmiers 'Deglet Nour' (total)	Palmiers 'Deglet Nour' productifs	Production 'Deglet Nour' (q)	% Deglet Nour / Total
Sidi Okba	381 946	378 200	393 070	219 546	216 100	216 210	57 %
Chetma	123 931	120 602	122 960	91 400	88 400	88 300	74 %
Aïn Naga	126 396	123 300	127 250	76 474	73 800	73 750	60 %
M'Ziraa	62 980	62 840	57 617	54 508	54 368	49 300	87 %
Zribet El Oued	32 649	32 199	28 040	21 941	21 491	18 700	67 %
Khanguet Sidi Nadji	22 720	22 720	21 423	17 096	17 096	15 580	75 %
El Haouch	156 441	154 000	166 670	75 466	73 700	73 750	48 %
El Feidh	66 498	66 498	61 210	54 946	54 946	49 880	83 %
M'Chouneche	89 080	85 600	90 780	22 580	21 100	21 070	25 %
Total Zab Chergui	1 062 641	1 045 959	1 069 820	634 957	620 001	607 540	60 %

4. 3. 2. 4. 4. Élevage et production animale

Le cheptel du Zab Chergui est moins dense que celui du Zab Gharbi, avec 153 408 ovins, 123 600 caprins, 1 507 bovins et 1 145 dromadaires (DSA, 2021). L'élevage y est principalement extensif, reposant sur l'exploitation des parcours steppiques et des jachères pâturées, qui couvrent près de la moitié du territoire.

La production animale reflète cette structure pastorale, avec 36 176 q de viande blanche et 42 719 q de viande rouge par an. Le système pastoral du Zab Chergui s'apparente aux modèles décrits par le BNEDER (2005), caractérisés par une forte mobilité et une dépendance accrue aux ressources naturelles locales.

Tableau 16 : Cheptel production animal du Zab Chergui (DSA,2021)

Commune	Ovins	Bovins	Caprins	Dromadaires	Chevaux	Viande blanche (q)	Viande rouge (q)	Œufs (× 1000)
Sidi Okba	14 800	423	16 000	0	15	34 293	12 941	0
Chetma	7 600	136	7 600	25	2	1 249	4 135	1 074
Aïn Naga	10 500	259	12 200	239	0	146	6 476	0
M'Ziraa	23 700	295	19 100	142	0	108	4 915	0
Zribet El Oued	8 200	14	10 700	0	0	30	2 500	0
Khanguet Sidi Nadji	1 008	0	600	0	0	11	350	0
El Haouch	40 900	183	10 200	527	3	124	6 015	0
El Feidh	43 200	197	29 100	212	0	21	6 702	0
M'Chouneche	3 500	0	8 100	0	0	194	685	315
Total Zab Chergui	153 408	1 507	123 600	1 145	20	36 176	42 719	1 389

4.3.2.5. Structure démographique

Le Zab Chergui compte une population totale de 119 163 habitants, comprenant 60 397 hommes (50,7 %) et 58 766 femmes (49,3 %). La répartition par âge présente une structure similaire à celle du Zab Gharbi, dominée par les classes jeunes. Les moins de 30 ans constituent 64,4 % de la population totale du Zab Chergui, tandis que les 60 ans et plus représentent 6,5 %.

Tableau 17. Structure démographique du Zab Chergui par âge et par sexe (ONS,2018)

Tranche d'âge	Hommes	Femmes	Total	% du total
0–14 ans	19 753	18 520	38 273	32,1 %
15–29 ans	19 608	18 845	38 453	32,3 %
30–44 ans	11 154	11 373	22 527	18,9 %
45–59 ans	5 893	6 168	12 061	10,1 %
60 ans et +	3 839	3 860	7 699	6,5 %
Total	60 397	58 766	119 163	100 %

4.3.2.6. Structure des ménages

Le Zab Chergui compte 21 584 ménages ordinaires et 154 ménages collectifs, soit un total de 21 738 ménages. La domination des ménages ordinaires, qui dépassent 99 %, reflète une organisation résidentielle fondée sur l'habitat familial traditionnel. Ce modèle est typique des oasis orientales, où les unités domestiques sont de taille élevée.

Il repose sur des réseaux de parenté étendus et une forte cohésion sociale. La sous-région ne regroupe qu'environ 26 % des ménages des Ziban, témoignant d'une occupation plus dispersée du territoire. Cette dispersion est liée à la configuration steppique et à la fragmentation des périmètres agricoles. Ainsi, la structure des ménages du Zab Chergui demeure marquée par un modèle résidentiel traditionnel et faiblement urbanisé.

Tableau 18. Structure des ménages dans le Zab Chergui (ONS,2018)

Indicateur	Valeur
Ménages ordinaires	21 584
Ménages collectifs	154
Total ménages	21 738

4.3.2.7. Industrie dans le Zab Chergui

Le Zab Chergui se caractérise par une implantation industrielle, reflet à la fois de sa marginalité historique et d'un poids démographique plus limité. Les données disponibles recensent 10 unités industrielles, majoritairement concentrées dans la commune de Chetma, située en périphérie immédiate du chef-lieu Biskra. Les autres installations sont dispersées entre Sidi Okba, Zribet El Oued, El Kantara et M'Chouneche, avec une représentation très modeste des secteurs agroalimentaire et chimie-plastique.

La présence industrielle se limite principalement à quelques unités isolées, dont une seule de chimie-plastique à Sidi Okba et des activités diverses dans les communes montagneuses d'El Kantara et de M'Chouneche. L'ensemble révèle une faible diversification sectorielle et une capacité industrielle limitée, contrastant nettement avec la structure plus dense et diversifiée du Zab Gharbi. Ce déficit d'infrastructures industrielles souligne la dépendance économique du Zab Chergui vis-à-vis du chef-lieu et son intégration plus partielle dans les dynamiques de modernisation régionale (Mancer ,2019 ; Monographie biskra 2016).

Tableau 19. Structure et distribution des unités industrielles du Zab Chergui (Monographie Biskra 2016)

Commune du Zab Chergui	Agro-alimentaire	Mat. construction	Chimie-plastique	Textile-cuir	Bois-papier-liège	Autres	Total
Sidi Okba	0	0	1	0	0	0	1
Chetma	4	0	0	0	0	1	5
Zribet El Oued	1	0	0	0	0	0	1
El Kantara	1	0	0	0	0	1	2
M'Chouneche	0	0	0	0	0	1	1

4.4 Méthodologie de l'enquête

4.4.1 Approche méthodologique

La méthodologie adoptée repose sur une approche systémique, permettant d'appréhender les interactions entre les facteurs pédologiques, hydriques, techniques et socio-économiques qui conditionnent la mise en culture des fourrages dans la région des Ziban. Cette démarche a été structurée en plusieurs phases complémentaires : recherche documentaire préalable, contacts institutionnels, élaboration du questionnaire, pré-enquête, enquête de terrain et validation des données.

Une première phase de recherche bibliographique a permis de rassembler les informations existantes sur les systèmes de production oasiens, l'agriculture saharienne, les contraintes hydriques, ainsi que les pratiques relatives aux cultures fourragères (luzerne, orge, avoine..ect), un travail de collecte de données institutionnelles a été conduit auprès de la Direction des Services Agricoles (DSA) de Biskra et d'Ouled Djellal, et des subdivisions agricoles relevant des communes étudiées et la chambre d'agriculture, afin d'obtenir les listes d'agriculteurs et les informations permettant de définir le plan d'échantillonnage.

L'ensemble de cette démarche a permis d'établir un cadre opérationnel rigoureux et adapté à la diversité des exploitations agricoles de la région.

4.4.2 Phase de préparation et élaboration du questionnaire

L'enquête repose sur un questionnaire structuré, conçu pour recueillir des informations exhaustives sur :

- Les caractéristiques socio-professionnelles de l'agriculteur (âge, niveau d'instruction, expérience professionnelle, formation agricole et type de formation, mode d'acquisition du terrain..ect).
- Les pratiques culturelles et techniques de conduite des cultures fourragères (mode et saison de labour, origine et dose de semence, mode de semis, types de fertilisation, modes de fertilisation, mode et fréquence d'irrigation,..ect).
- Les contraintes ressenties et les stratégies d'adaptation (disponibilité et accessibilité de l'eau, qualité de l'eau, , gestion des ressources fourragères, financement, subventions, adhésion aux structures agricoles et recours à la vulgarisation).

Le questionnaire a été pré-testé auprès d'un échantillon réduit d'agriculteurs afin de vérifier la clarté des items et leur adéquation au terrain ; les ajustements nécessaires ont été intégrés avant la mise en œuvre définitive de l'enquête.

4. 4. 3 Choix des agriculteurs et plan d'échantillonnage

L'échantillon étudié est composé de 140 exploitations, répartis dans 2 zones de la région des Ziban : Zab Gharbi et Zab Chargui. La sélection des exploitations a été réalisée selon un échantillonnage raisonné, fondé sur des critères préalablement définis en adéquation avec les objectifs de l'étude. Les principaux critères retenus étaient : :

- ❖ présence de cultures fourragères,
- ❖ importance de l'activité agropastorale,
- ❖ accessibilité des exploitations,
- ❖ disponibilité et acceptation de l'agriculteur à participer à l'enquête

Les exploitations enquêtées ont été réparties dans plusieurs communes des deux sous-régions afin de couvrir les principales zones de production fourragère et de refléter la diversité des contextes agricoles de la région des Ziban.

Tableau 20 : Répartition des exploitations enquêtées selon les sous-régions des Ziban et les cultures fourragères étudiées

Région	Zone	Nombre d'exploitations enquêtées	Orge	Luzerne	Avoine	Total des cultures	Pourcentage (%)
Ziban	Zab Chergui (ZC)	55	24	20	18	62	39,3 %
	Zab Gharbi (ZG)	85	36	25	36	97	60,7 %
Total		140	60	45	54	159	100 %

4. 4. 4 Déroulement de l'enquête et collecte des données

L'enquête de terrain s'est déroulée entre novembre 2021 et mai 2022, ce qui a permis d'observer les pratiques fourragères sur l'ensemble d'un cycle cultural et de prendre en considération la variabilité saisonnière des interventions agricoles.

La collecte des données s'est effectuée selon trois modalités complémentaires :

Entretiens directs avec les agriculteurs : entretien semi-structuré basé sur le questionnaire.

Observations directes sur les parcelles : vérification des pratiques culturales, types de matériel utilisé, état des cultures et conditions de fertilité du sol.

Relevés techniques : notes sur l'irrigation, le type de sol, les variétés cultivées et les rendements déclarés ou estimés.

Dans certains cas (indisponibilité de l'agriculteur), l'entretien a été conduit avec un membre de la famille ou un gestionnaire de l'exploitation.

Toutes les données ont été vérifiées, codées puis saisies avant le traitement statistique. Lorsque certaines informations étaient manquantes ou imprécises, un retour ciblé sur le terrain a été réalisé pour compléter ou valider les réponses.

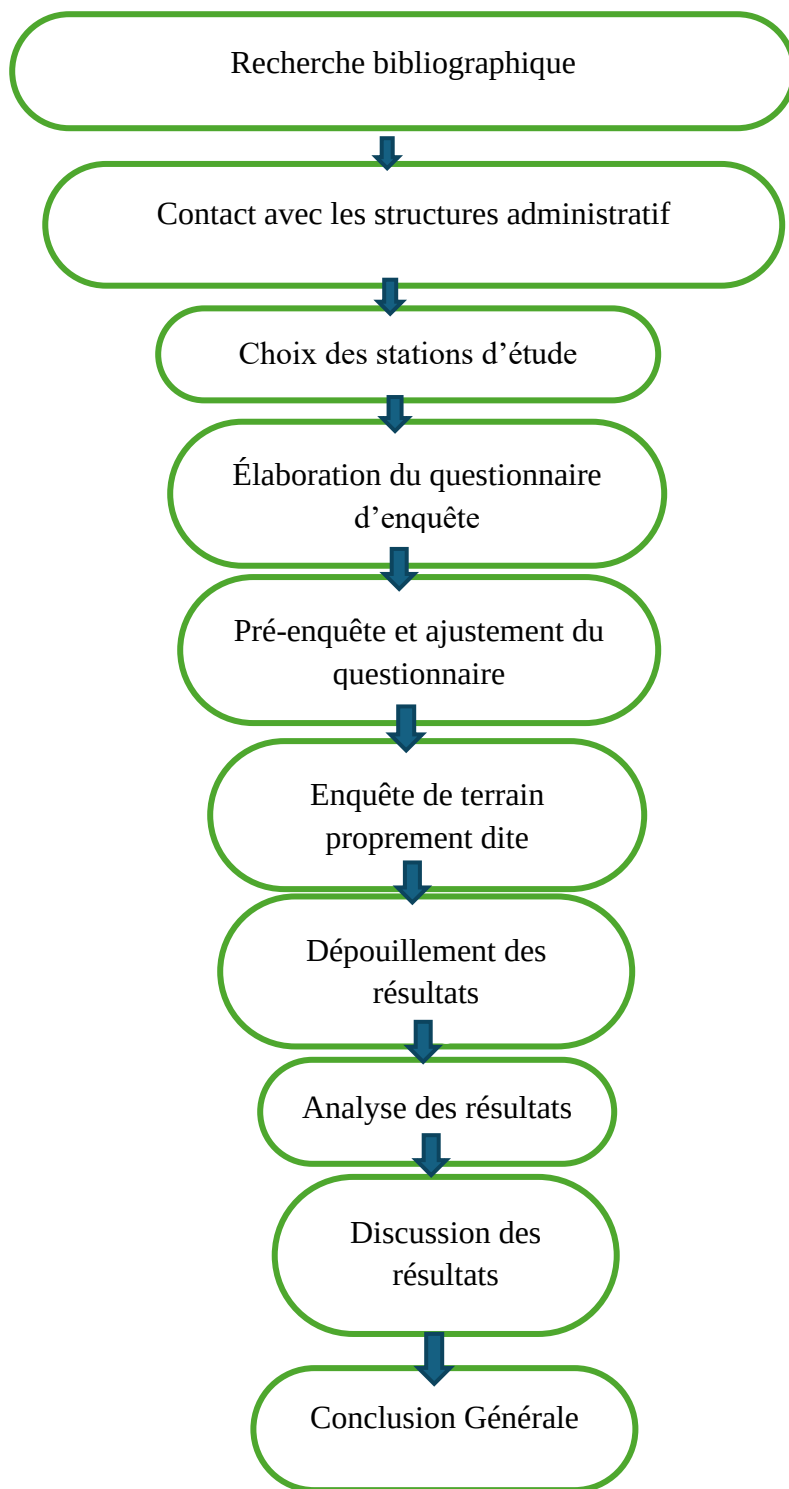


Figure 20 : Schéma méthodologique global de l'enquête .

4.5 Méthodologie d'échantillonnage

4.5.1 Échantillonnage des sols

Les prélèvements de sol ont été réalisés en avril 2024 dans la région des Ziban, couvrant les deux zones : Zab Gharbi et Zab Chergui. Les échantillons ont été prélevés dans des parcelles cultivées avec les trois principales cultures fourragères étudiées : la luzerne (*Medicago sativa* L.), l'orge (*Hordeum vulgare* L.) et l'avoine (*Avena sativa* L.).

Pour la luzerne, un total de 45 échantillons de sol de surface (0–30 cm) a été collecté, réparti entre 25 parcelles situées dans le Zab Gharbi et 20 parcelles dans le Zab Chergui. Les parcelles échantillonnées étaient cultivées de manière continue en luzerne depuis 7 à 8 années, garantissant une homogénéité de l'historique cultural et permet d'évaluer des interactions sol–plante stabilisées, reflétant les effets cumulatifs de la culture pérenne sur la fertilité, la structure et la salinité des sols en milieu aride.

Concernant l'orge, 60 échantillons de sol (0–30 cm) ont été prélevés, dont 36 dans le Zab Gharbi et 24 dans le Zab Chergui. Pour l'avoine, 55 échantillons de sol de surface (0–30 cm) ont été collectés, comprenant 37 échantillons dans le Zab Gharbi et 18 dans le Zab Chergui. Les prélèvements de sol pour l'orge et l'avoine ont été réalisés au stade de montaison, correspondant à une phase de croissance végétative active caractérisée par une accumulation importante de biomasse et une forte absorption des ressources du sol, permettant ainsi d'évaluer les interactions entre les cultures et leur environnement édaphique dans des conditions de développement optimales.

Dans chaque parcelle cultivée, trois prélèvements de sol ont été prélevés de manière aléatoire sur une surface de 20 m × 20 m, à l'aide d'une tarière manuelle, puis mélangées afin d'obtenir un échantillon composite représentatif de la parcelle. Cette méthode vise à réduire la variabilité spatiale intra-parcellaire et à améliorer la représentativité des analyses.

Les parcelles sélectionnées présentaient des conditions pédologiques, topographiques et hydrologiques comparables au sein de chaque zone. Les coordonnées géographiques de chaque

site de prélèvement ont été enregistrées à l'aide du système de projection UTM (Universal Transverse Mercator).

Après prélèvement, les échantillons de sol ont été séchés à l'air libre à température ambiante, et tamisés à 2 mm, avant d'être soumis aux analyses physico-chimiques en laboratoire.

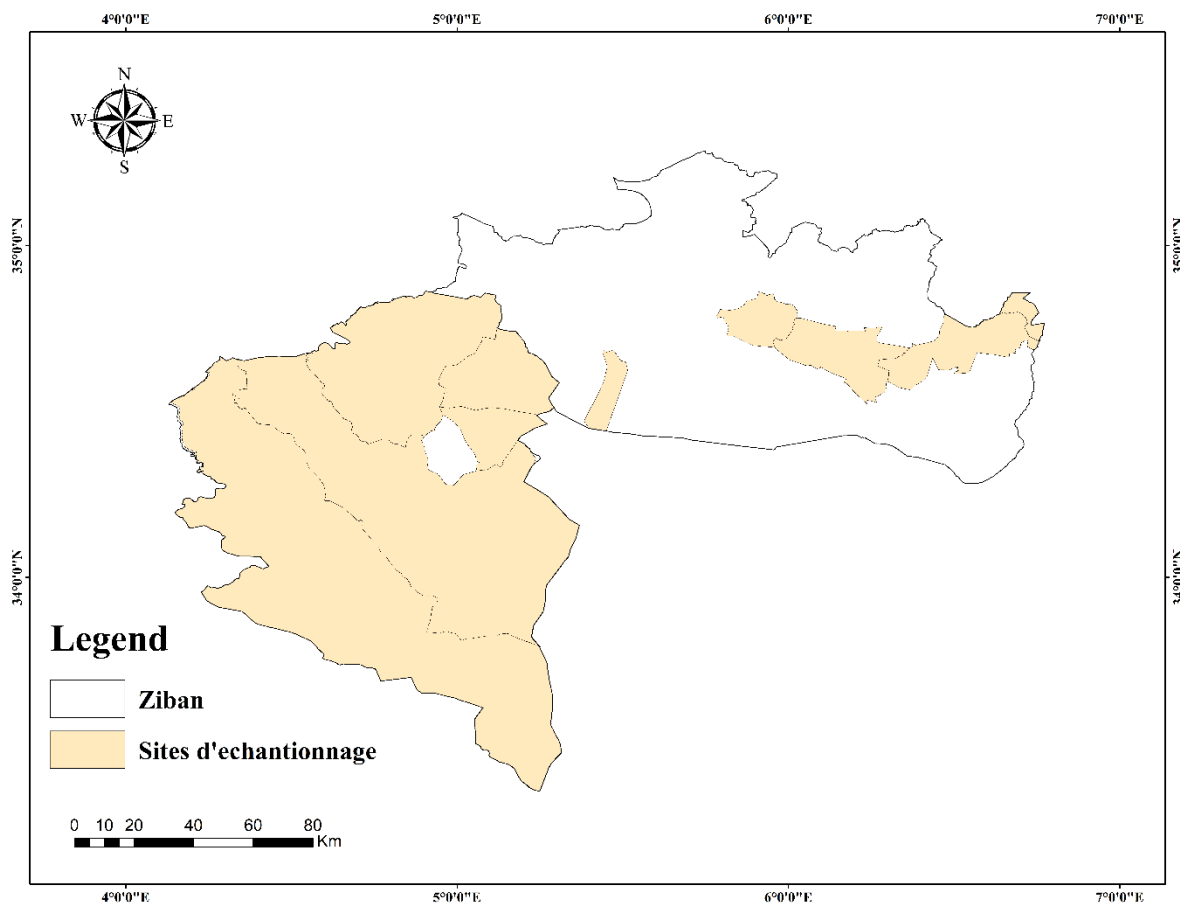


Figure 21: Localisation du site d'échantillonnage de la région d'étude

4. 5. 2 Echantillonnage des eaux d'irrigation

Les eaux d'irrigation ont été échantillonnées à partir des puits exploités dans chaque exploitation agricole enquêtée. Les prélèvements ont été réalisés à la sortie des systèmes de pompage, après purge, afin d'obtenir des échantillons représentatifs de la qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation des cultures fourragères dans les Ziban.

4. 5. 3 . Échantillonnage des plantes fourragères

L'échantillonnage des plantes fourragères a concerné l'orge (*Hordeum vulgare* L.), l'avoine (*Avena sativa* L.) et la luzerne (*Medicago sativa* L.). Au total, 159 échantillons ont été prélevés, dont 60 pour l'orge, 54 pour l'avoine et 45 pour la luzerne, répartis dans les deux sous-régions des Ziban. L'orge et l'avoine ont été échantillonnées au stade de montaison, correspondant à une phase de croissance végétative active, tandis que la luzerne a été prélevée au stade bouton floral à début floraison. Pour chaque culture, la biomasse aérienne consommable, composée principalement des tiges et des feuilles, a été prélevée par coupe manuelle à quelques centimètres au-dessus du sol. Les prélèvements ont été réalisés sur plusieurs plants répartis aléatoirement dans chaque parcelle afin d'assurer la représentativité de l'échantillon. Les échantillons élémentaires ont ensuite été homogénéisés pour constituer un échantillon composite par culture et par exploitation.

Après prélèvement, les échantillons ont été séchés à l'air libre afin de réduire leur teneur en eau, puis placés dans une étuve à 80 °C pendant 72 heures jusqu'à obtention d'un séchage complet, condition nécessaire pour faciliter les opérations de broyage. Les échantillons secs ont ensuite été broyés à l'aide d'un broyeur mécanique.

Enfin, les échantillons broyés correspondant à une même espèce et à une même parcelle ont été mélangés, puis conditionnés dans des flacons hermétiques, préalablement nettoyés et séchés. Chaque flacon a été soigneusement étiqueté (saison, date de prélèvement, numéro de relevé, type et lieu de prélèvement) et conservé en vue des analyses de la matière sèche (MS), de la matière minérale (MM) et de la matière organique (MO).

4.6 Méthodes d'analyse et de traitement des données

4. 6. 1 Analyses de laboratoire

4.6.1.1. Analyses physico-chimiques des sols

La texture du sol a été déterminée par la méthode de l'hydromètre de Bouyoucos, selon le protocole décrit par Gee et Or, permettant la quantification des fractions sable, limon et argile. Le pH et la conductivité électrique (CE) ont été mesurés dans un extrait sol-eau distillée au rapport 1:5, à une température de 25 °C, à l'aide d'un pH-mètre et d'un conductimètre.

Le carbonate de calcium total (CaCO_3) a été déterminé par la méthode volumétrique au calcimètre de Bernard. La matière organique (MO) a été évaluée par la méthode d'oxydation au dichromate de potassium de Walkley et Black, avec application du facteur de correction 1,742. L'azote total (N) a été dosé par la méthode de Kjeldahl après digestion acide.

Les cations solubles (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) ainsi que les anions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- et CO_3^{2-}) ont été extraits dans un rapport 1:5 sol-eau distillée. Le calcium et le magnésium ont été déterminés par titration complexométrique à l'EDTA, en utilisant le murexide comme indicateur, le magnésium étant calculé par différence. Le sodium et le potassium ont été mesurés par photométrie de flamme. Le chlorure (Cl^-) a été dosé par titrage argentimétrique, tandis que les bicarbonates (HCO_3^-) et carbonates (CO_3^{2-}) ont été déterminés par titrage avec de l'acide chlorhydrique (HCl), en utilisant la phénolphthaléine comme indicateur pour les carbonates et le rouge de méthyle pour les bicarbonates. Le sulfate (SO_4^{2-}) a été quantifié par méthode gravimétrique, après précipitation sous forme de sulfate de baryum en milieu acidifié.

4.6.1.2. Analyses des eaux d'irrigation

Le pH et la conductivité électrique (CE) des eaux d'irrigation ont été mesurés respectivement à l'aide d'un pH-mètre et d'un conductimètre, selon les recommandations du U.S. Salinity Laboratory Staff.

4.6.1.3. Analyses des plantes fourragères (MS, MO, MM)

Les analyses des plantes fourragères ont porté sur la matière sèche (MS), la matière minérale (MM) et la matière organique (MO). Ces paramètres constituent des indicateurs fondamentaux de la qualité nutritionnelle des fourrages et ont été déterminés aux méthodes normalisées décrites par l'AFNOR (1982).

a) Détermination de la matière sèche (MS)

La teneur en matière sèche a été déterminée par dessiccation à l'étuve. Une prise d'essai de 1 g de matière végétale fraîche a été placée dans une étuve réglée à 105 °C jusqu'à obtention

d'un poids constant. Ce traitement permet l'évaporation totale de l'eau contenue dans l'échantillon ; le résidu obtenu correspond à la matière sèche (MS).

La teneur en humidité a été calculée selon la relation suivante :

$$\text{Humidité (\%)} = (P_f - P_s) / P_f \times 100$$

où :

P_f : est le poids de l'échantillon frais,

P_s : est le poids de l'échantillon sec.

La teneur en matière sèche est ensuite exprimée par :

$$\text{MS (\%)} = 100 - \text{Humidité (\%)}$$

Les résultats sont exprimés en pourcentage de la matière brute.

b) Détermination de la matière minérale (MM)

La matière minérale, également appelée cendres, a été obtenue par incinération de la matière sèche. Une prise d'essai de 1 g de matière sèche a été placée dans un four à moufle et calcinée à 550 °C pendant 7 heures, jusqu'à destruction complète de la matière organique. Le résidu minéral obtenu après incinération correspond à la matière minérale (MM).

La teneur en matière minérale a été calculée selon la formule suivante :

$$\text{MM (\%)} = (M_1 - M_0) / P_E \times 100$$

où :

M_0 : est la masse du creuset vide (g),

M_1 : est la masse du creuset contenant les cendres (g),

P_E : est la masse de la prise d'essai (g).

Ce résidu minéral constitue également une base analytique pour d'éventuelles analyses minérales complémentaires.

c) Détermination de la matière organique (MO)

La teneur en matière organique a été déterminée par différence, à partir des teneurs en matière sèche et en matière minérale. Elle est calculée selon l'expression suivante :

$$MO = 100 - MM$$

La matière organique représente l'ensemble des composés carbonés de la plante (glucides, protéines, lipides), essentiels pour l'évaluation de la valeur alimentaire des fourrages.

4. 6. 2 Analyse statistique

Le traitement statistique des données a été réalisé afin de caractériser l'état des sols, la qualité des fourrages et les pratiques agricoles, et d'analyser les relations sol-plante dans le contexte agropastoral des Ziban.

1. Analyses descriptives

Analyses descriptives

Les statistiques descriptives ont été adaptées à la nature des variables. Pour les variables quantitatives, à savoir les propriétés physico-chimiques des sols et la composition des fourrages (MS, MO, MM), la moyenne, le minimum, le maximum, l'écart-type et le coefficient de variation ont été calculés afin de caractériser la tendance centrale et la dispersion de chaque paramètre. Pour les variables qualitatives issues de l'enquête sociotechnique, la description a reposé sur les fréquences relatives (pourcentages) de chaque modalité. L'ensemble a permis d'établir un état des lieux des propriétés des sols, de la composition des fourrages et des pratiques agricoles observées dans les exploitations enquêtées.

2. Tests de normalité

La normalité des distributions a été évaluée à l'aide du test de Shapiro-Wilk. Étant donné que la majorité des variables ne suivent pas une distribution normale, des méthodes statistiques non paramétriques ont été privilégiées pour l'analyse des données.

3. Analyses de corrélation

Les coefficients de corrélation de Spearman ont été utilisés pour examiner les relations entre les propriétés du sol, les variables fourragères. Cette approche permet d'identifier les relations monotones significatives sans hypothèse de normalité des données.

4. Analyses multivariées

Une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été appliquée aux variables quantitatives normalisées afin de réduire la dimension des données et de mettre en évidence les structures dominantes expliquant la variabilité des relations sol-plante. L'ACP a été réalisée à partir de la matrice de corrélation, permettant d'identifier les gradients principaux liés à la fertilité, à la salinité et à la structure du sol.

Pour les variables qualitatives issues de l'enquête, une Analyse des Correspondances Multiples (ACM) a été réalisée afin d'explorer les associations entre modalités et de caractériser les profils de pratiques agricoles dans les exploitations étudiées.

5. Analyses comparatives

Les tests de Mann-Whitney U et de Kruskal-Wallis ont été utilisés pour comparer les propriétés du sol et la qualité des fourrages en fonction des types de cultures et des zones d'étude (Zab Gharbi et Zab Chergui). Ces tests permettent d'évaluer l'effet des facteurs de gestion agricole sur les variables étudiées.

6. Modélisation par régression

Des régressions linéaires multiples ont été réalisées lorsque des corrélations significatives ont été mises en évidence, afin d'identifier les variables du sol expliquant le mieux la variabilité de la qualité et de la quantité des fourrages.

7. Outils statistiques

L'ensemble des analyses statistiques a été réalisé à l'aide des logiciels IBM SPSS Statistics (version 26) et XLSTAT (version 2019). Le seuil de signification statistique a été fixé à $\alpha = 0,05$ pour l'ensemble des tests.

Chapitre 5
Résultats et discussion

Chapitre 5 Résultats et discussion

5.1 Résultats bruts de l'enquête

5.1.1 Profil des exploitants

5.1.1.1. Âge des exploitants

L'analyse descriptive de l'âge des exploitants met en évidence une structure démographique globalement comparable entre les deux zones étudiées. En Zab Chargui, l'âge des enquêtés varie de 21 à 69 ans, avec une moyenne de $46,87 \pm 13,98$ ans, tandis qu'en Zab Gharbi, il s'étend de 23 à 68 ans, pour une moyenne légèrement inférieure ($45,39 \pm 11,74$ ans)(figure 22). Cette répartition traduit un vieillissement de la population agricole locale, marqué par la coexistence de jeunes actifs.

Cette structure d'âge suggère une prédominance d'agriculteurs disposant d'une expérience professionnelle significative, caractéristique des systèmes agricoles des régions arides, où la continuité des activités repose largement sur des exploitants d'âge mûr.

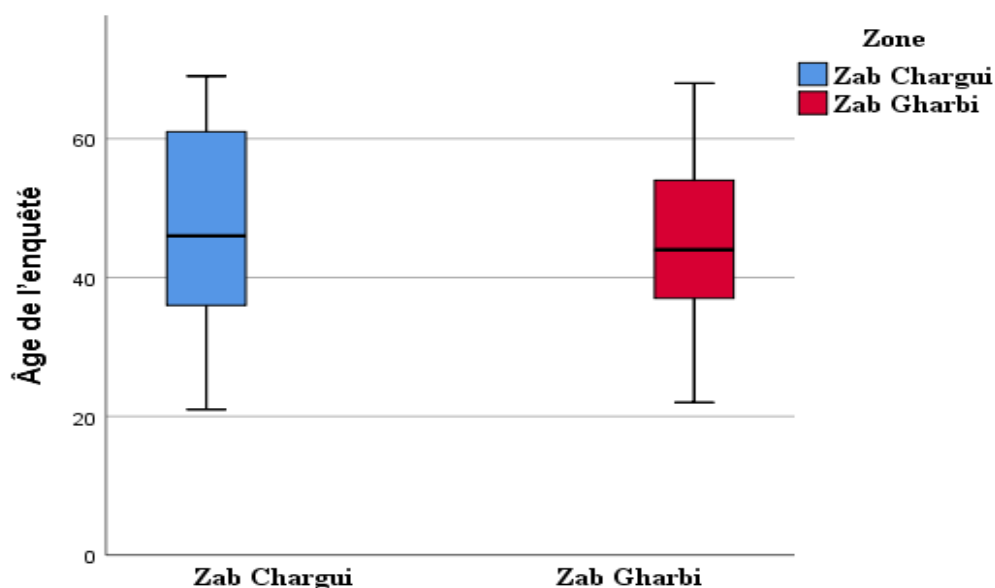


Figure 22 : Répartition de l'âge des exploitation

5.1.1.2. Niveau d'instruction

Le niveau d'instruction des exploitants présente une structure relativement comparable entre les deux zones étudiées (figure 23). En Zab Chargui, l'enseignement coranique (25,6 %), est le plus représenté, suivis de niveaux moyen (20,8 %) et primaire (20,6 %). En Zab Gharbi, la répartition montre une proportion plus élevée d'exploitants ayant un niveau supérieur (23,2 %) et secondaire (21,3 %), tandis que les niveaux primaire (19,6 %) et moyen (19,5 %) restent également bien représentés ; l'enseignement coranique y demeure plus faible (16,4 %).

Le niveau d'instruction des exploitants de faible à moyen dans les deux zones. Une part importante des exploitants dispose d'une scolarisation formelle limitée, ce qui explique que l'accès aux connaissances agricoles repose principalement sur l'expérience pratique, les réseaux locaux et la transmission intergénérationnelle des savoirs, plutôt que sur une formation académique formelle ou supérieure.

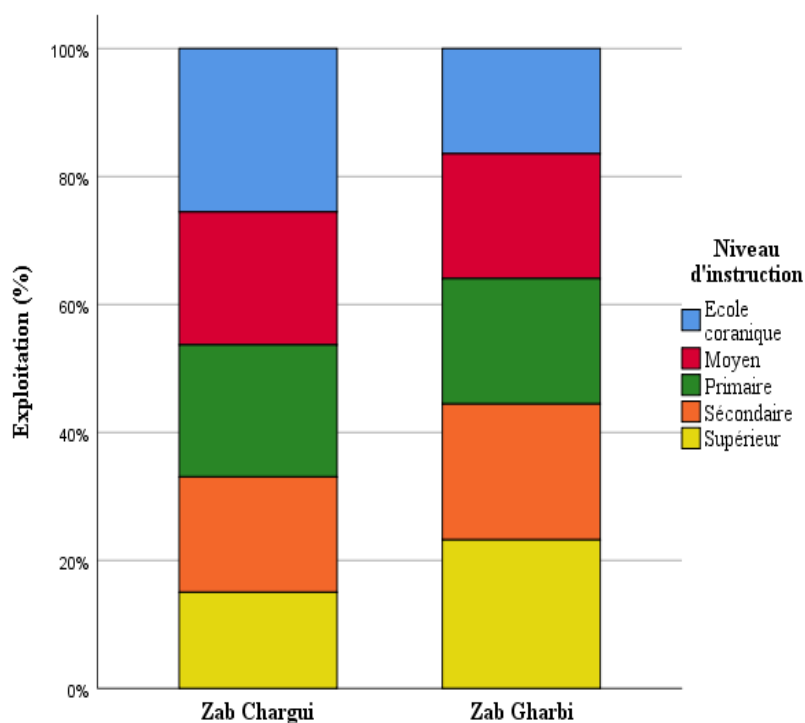


Figure 23 : Niveau d'instruction des exploitants

5.1.1.3. Formation agricole

la formation agricole varie entre les deux zones étudiées (figure 24). En Zab Chargui, 50 % des exploitants déclarent avoir bénéficié d'une formation agricole, tandis que 50 % n'en ont reçu aucune. En Zab Gharbi, la proportion d'exploitants formés est plus élevée (60 %), contre 40 % n'ayant pas bénéficié de formation, traduisant une meilleure diffusion des actions de formation agricole dans cette zone.

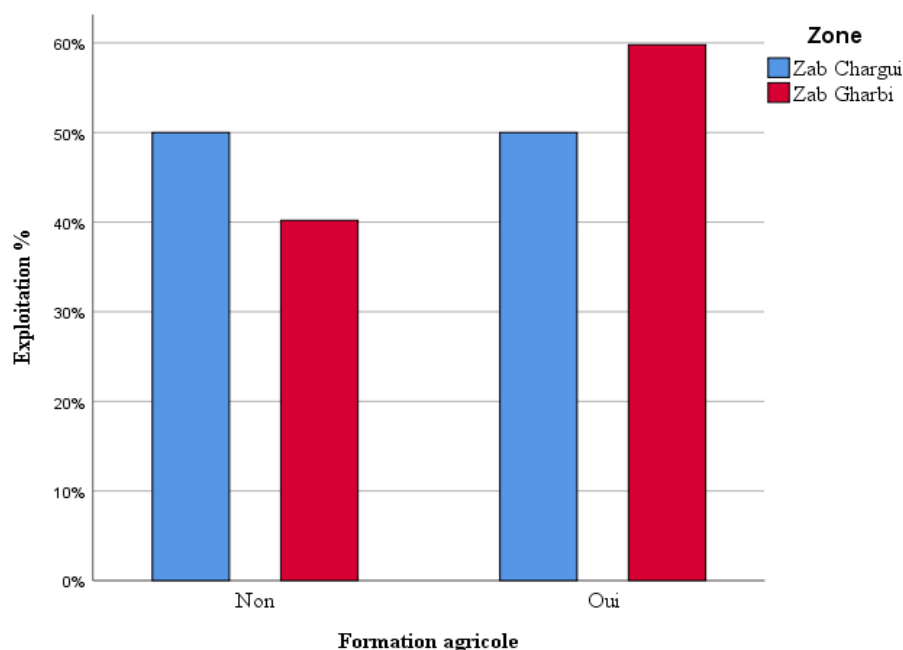


Figure 24 : L'accès à une formation Agricole

Le type de formation agricole suivie par les exploitants varie selon la zone étudiée (figure 25). En Zab Chargui, la catégorie la plus représentée correspond aux formations classées comme « autres » (30,1 %) basée surtout en l'expérience de terrain., suivie de l'absence de formation (23,6 %) et des diplômes universitaires (21,3 %). Les ateliers pratiques concernent 17,3 % des exploitants, tandis que les cours en ligne restent très marginalisés (7,6 %).

En Zab Gharbi, les cours en ligne occupent une place plus importante (27,4 %), suivis des ateliers pratiques (21,6 %) et des diplômes universitaires (19,2 %). L'absence de formation concerne 17,8 % des exploitants.

demeure majoritairement non diplômante et de nature pratique, avec une diversification plus marquée de formation en Zab Gharbi. Les formations académiques structurées restent

limitées dans les deux zones, confirmant que l'acquisition des compétences repose encore largement sur des dispositifs informels, des apprentissages pratiques et l'expérience de terrain.

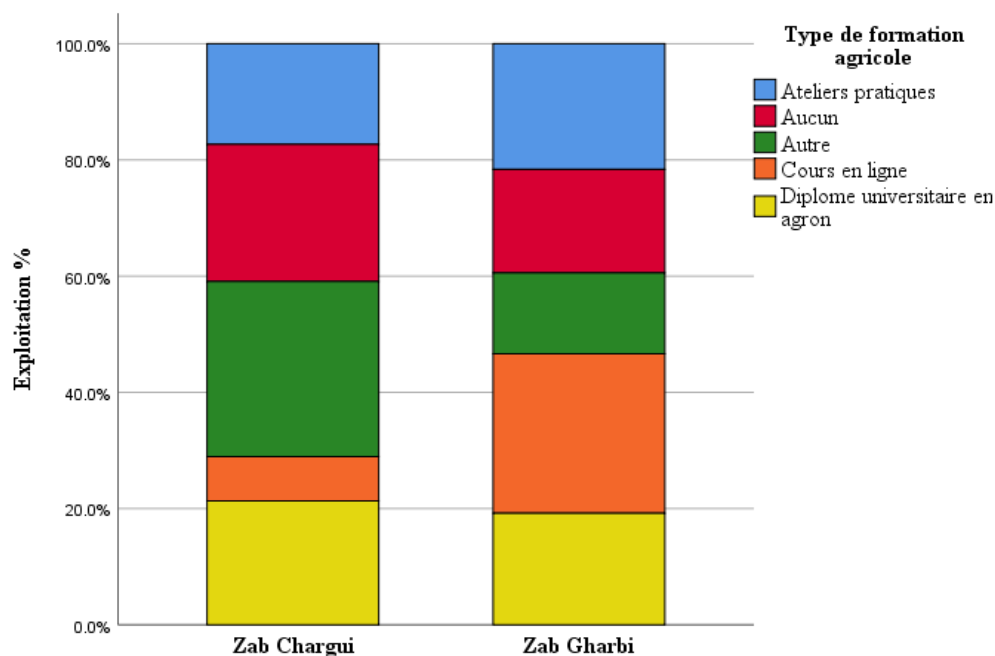


Figure 25 : Répartition des types de formation agricole reçue par les exploitants

5.1.1.4. Activité principale

L'activité principale des enquêtés est dominée, dans les deux zones étudiées, par le profil agro-éleveur (figure 26). Celui-ci concerne 54,8 % des exploitants en Zab Chargui et 61,9 % en Zab Gharbi, tandis que les agriculteurs spécialisés dans les productions végétales représentent 45,2 % en Zab Chargui et 38,1 % en Zab Gharbi. Cette prédominance de l'agro-élevage met en évidence l'importance de l'intégration cultures-élevage comme stratégie d'adaptation aux contraintes des milieux arides, où les cultures fourragères jouent un rôle central dans l'alimentation du cheptel et la stabilité économique des exploitations.

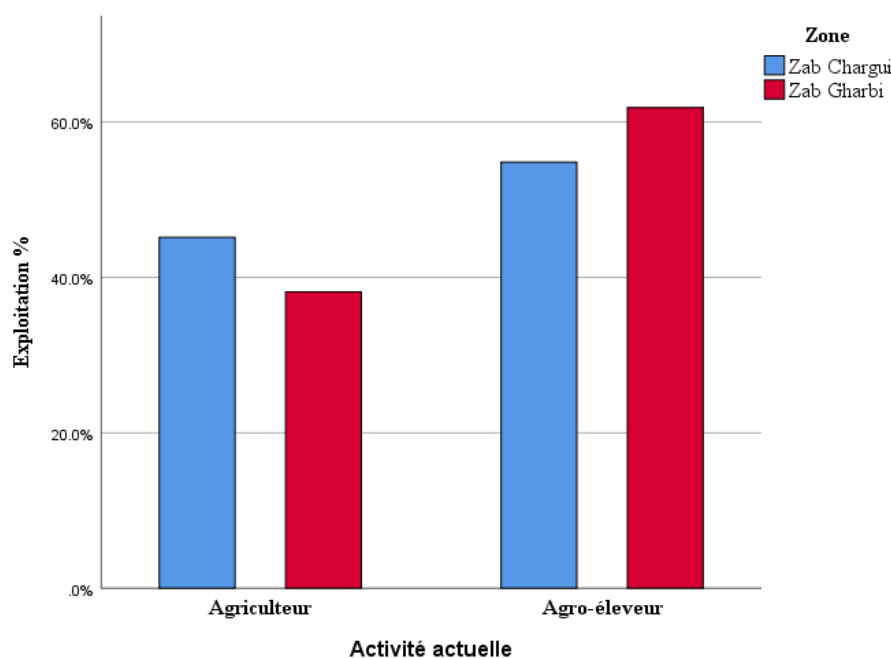


Figure 26 : Répartition de l'activité actuelle des exploitants

5.1.1.5. Expérience professionnelle

les exploitants des deux zones étudiées disposent d'une expérience professionnelle relativement élevée dans l'activité agricole. L'expérience moyenne est estimée à $15,3 \pm 8$ ans dans la zone de Zab Chargui et à $14,44 \pm 7$ ans dans la zone de Zab Gharbi (figure 27), indiquant une ancienneté comparable entre les deux zones, sans différence marquée.

La distribution de l'expérience professionnelle révèle toutefois une forte variabilité intra-zone, dans les deux zones. Cette dispersion traduit une hétérogénéité des trajectoires professionnelles, caractérisée par la coexistence d'exploitants récemment installés et d'autres disposant d'une longue expérience dans le métier.

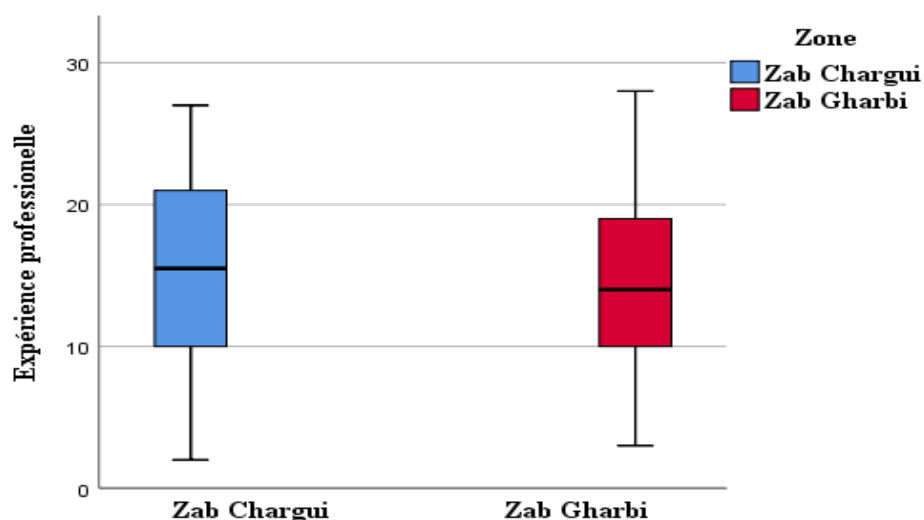


Figure 27: L'expérience professionnelle des exploitants

5. 1. 2 . Intégration institutionnelle et dynamique collective

5.1.2.1. Adhésion à la chambre agricole

L'adhésion à la chambre agricole est relativement élevée dans les deux zones (figure 28). En Zab Chargui, 74 % des exploitants déclarent être adhérents, contre 26 % de non-adhérents, traduisant une intégration institutionnelle modérée. La situation est plus marquée en Zab Gharbi, où 81 % des exploitants sont affiliés, contre 19 % de non-adhésion. Ces niveaux d'adhésion témoignent d'une structuration professionnelle plus avancée, facilitant l'accès à l'information et aux dispositifs d'appui, tout en laissant une marge d'amélioration pour renforcer les actions de vulgarisation.

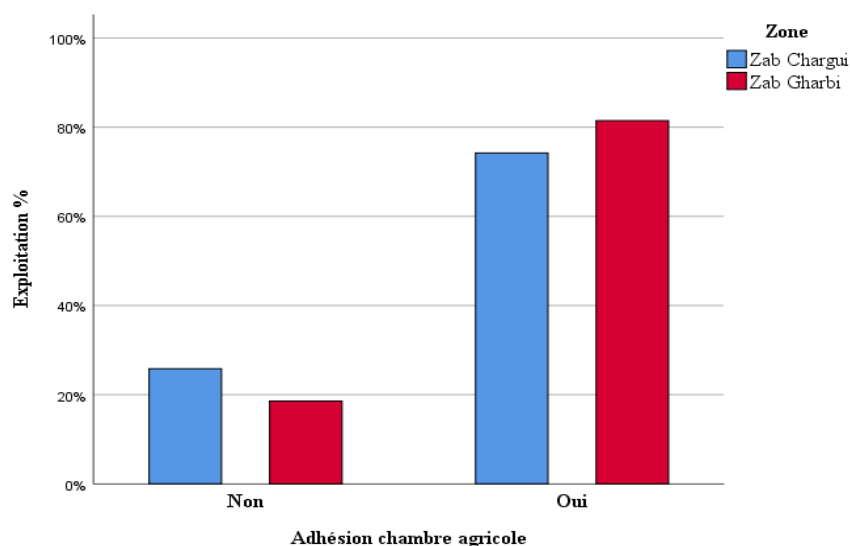


Figure 28 : Taux d'adhésion des exploitants à la chambre agricole

5.1.2.2. Adhésion aux associations agricoles

L'adhésion aux associations agricoles demeure globalement faible dans les deux zones (figure 29). En Zab Chargui, seuls 23 % des exploitants sont membres d'une association, contre 77 % de non-adhérents. En Zab Gharbi, ce taux est légèrement plus élevé (33 %), mais la majorité des exploitants (67 %) reste en dehors des structures associatives. Cette faible adhésion traduit une dynamique collective limitée, susceptible de restreindre la mutualisation des moyens et la diffusion des innovations.

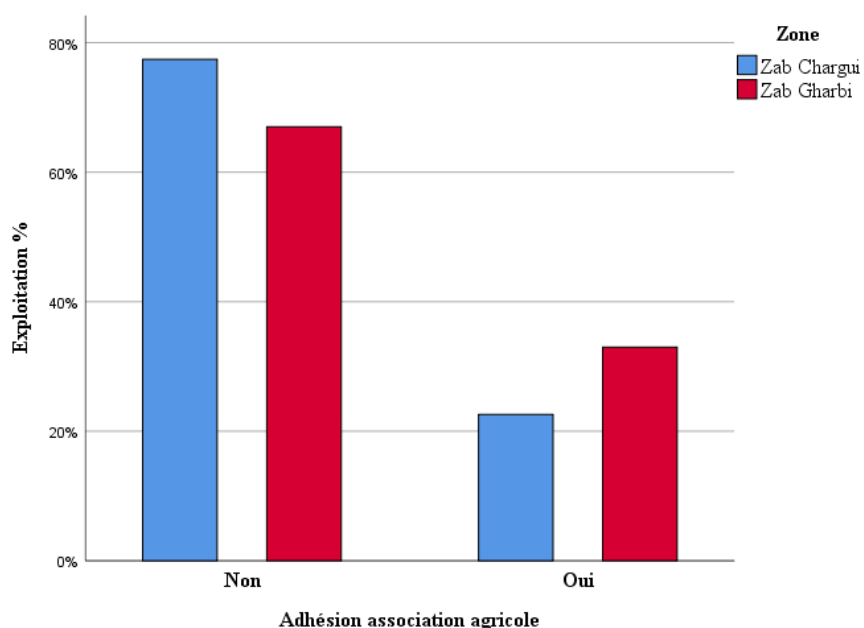


Figure 29 : Adhésion des exploitants aux associations agricoles

5.1.2.3. Accès à la vulgarisation agricole

Les visites de vulgarisation agricole restent peu fréquentes dans les deux zones (figure 30). En Zab Chargui, 18 % des exploitants déclarent en avoir bénéficié, contre 82 % n'en ayant pas reçu ; en Zab Gharbi, 20 % sont bénéficiaires contre 80 % de non-bénéficiaires. Ce faible niveau d'encadrement technique traduit un déficit d'accompagnement de proximité, pouvant freiner l'adoption de pratiques adaptées aux contraintes arides.

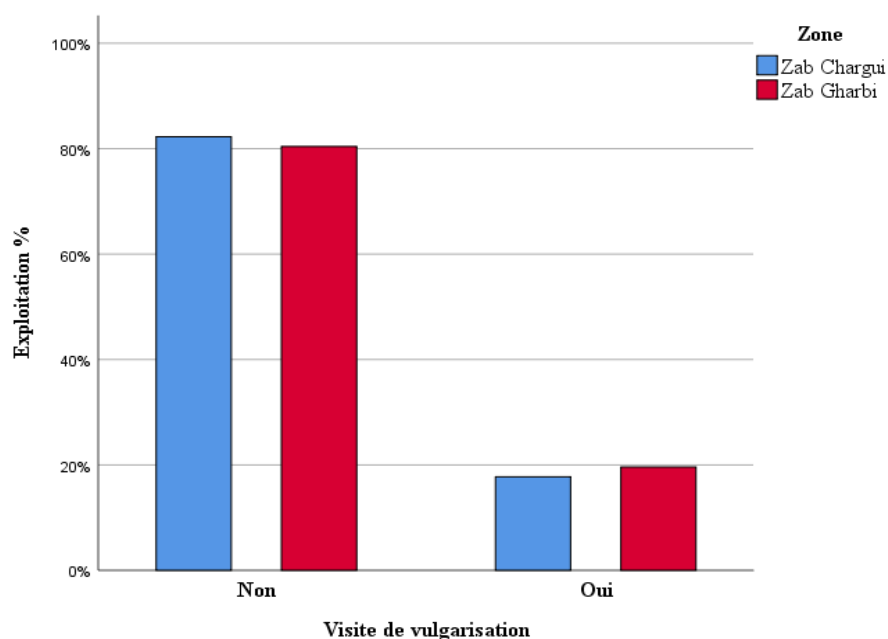


Figure 30 : Fréquence des visites de vulgarisation agricole

5.1.2.4. Participation aux manifestations agricoles

La participation aux manifestations agricoles est limitée dans les deux zones (figure 31). En Zab Chargui, 24 % des exploitants y participent, contre 76 % de non-participants ; en Zab Gharbi, 21 % participent contre 79 % de non-participants. Ces taux modestes reflètent un engagement restreint dans les espaces d'échange et de formation collective, soulignant la nécessité de renforcer l'intégration des exploitants dans les réseaux professionnels.

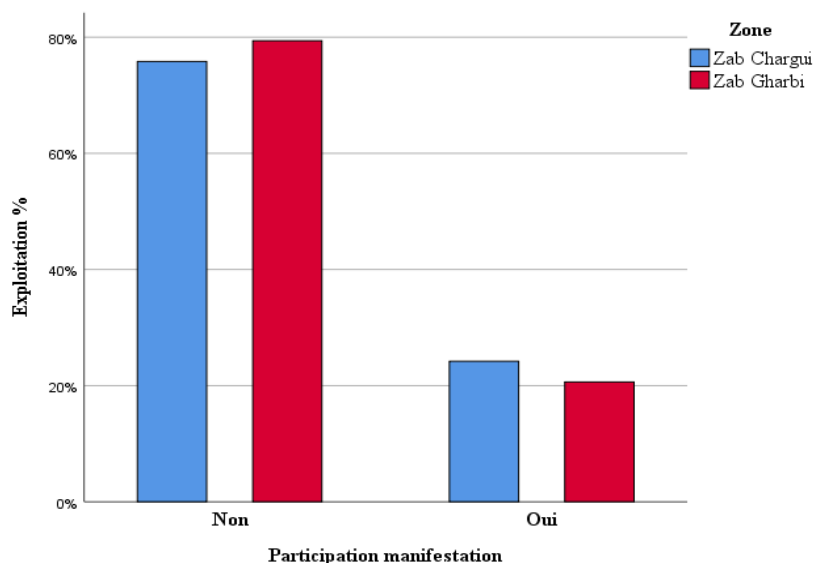


Figure 31 : Participation des exploitants aux manifestations agricoles

5. 1. 3 Structure des exploitations agricoles

5.1.3.1. Foncier et ressources hydriques

5. 1. 3. 1. 1. Mode d'acquisition des exploitations

L'acquisition des terres se fait par achat, héritage et location dans les deux zones étudiées. En Zab Chargui, l'héritage représente 40 % des exploitations, suivi de la location (33 %) et de l'achat (27 %). En Zab Gharbi, l'achat devient la modalité la plus représentée (38 %), suivi de la location (34 %) et de l'héritage (28 %) (figure 32). Cette répartition traduit une logique de sécurisation foncière et patrimoniale, caractéristique des systèmes agricoles arides, où l'investissement individuel et la transmission familiale jouent un rôle structurant.

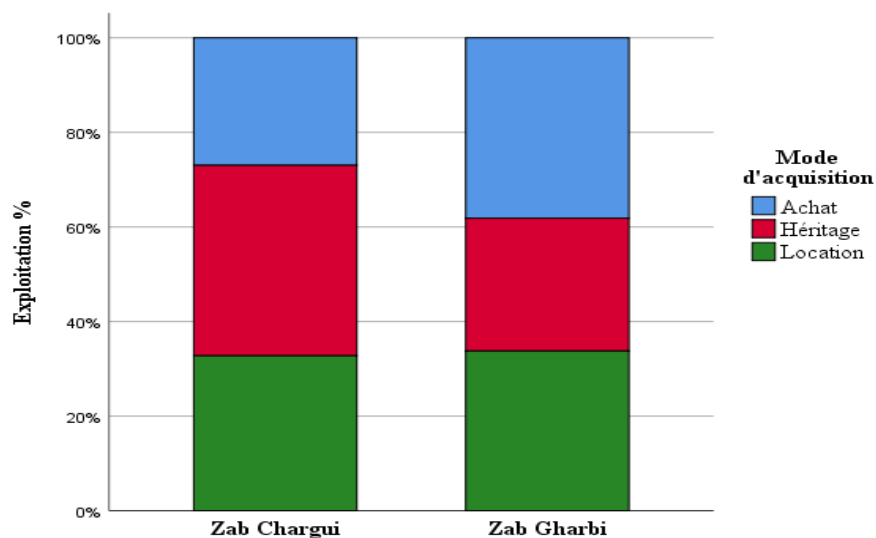


Figure 32 : Mode d'acquisition des exploitations agricoles

5. 1. 3. 1. 2. Profondeur de la nappe souterraine

La figure 33 montre que la profondeur de la nappe est plus élevée en Zab Chargui, avec une moyenne de $173,55 \pm 38$ m, contre $140,30 \pm 44$ m en Zab Gharbi. Cette différence implique des coûts de pompage plus importants pour les exploitants de Zab Chargui. Les deux zones présentent une forte hétérogénéité spatiale de la ressource en eau souterraine. Cette variabilité traduit des contraintes hydrogéologiques communes aux régions arides, influençant les choix techniques et les coûts de production agricoles.

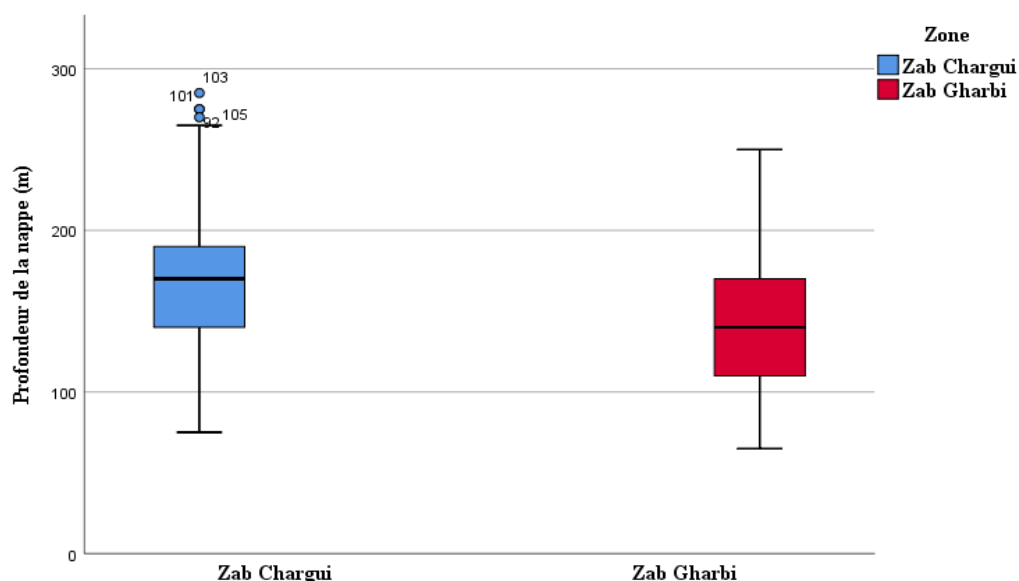


Figure 33 : Profondeur de la nappe souterraine

5.1.3.2. . Systèmes d'élevage

5. 1. 3. 2. 1. . Structure du cheptel

Les systèmes d'élevage reposent principalement sur les petits ruminants dans les deux zones. En Zab Chargui, l'association ovin–caprin concerne 28 % des exploitations, suivie de l'ovin seul (25 %), de l'ovin–bovin (23 %) . En Zab Gharbi, l'ovin–bovin représente 26 %, suivi de l'ovin seul (25 %), de l'ovin–caprin (23 %) (figure 34).

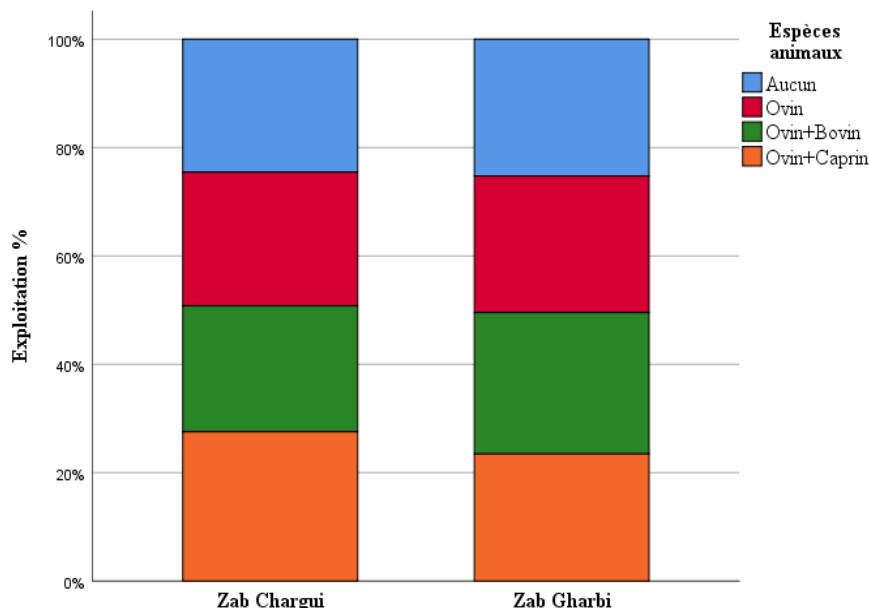


Figure 34 : Structure du cheptel

5. 1. 3. 2. 2. Taille du troupeau

La taille des troupeaux présente une forte variabilité dans les deux zones étudiées. En Zab Chargui, le nombre de têtes par exploitation varie fortement, avec une moyenne de $39,89 \pm 42$ têtes, traduisant la coexistence de petits et de grands élevages. En Zab Gharbi, la taille moyenne est plus élevée ($59,76 \pm 34$ têtes) (figure 35), confirmant une importance économique plus marquée de l'élevage dans cette zone. Cette hétérogénéité reflète des niveaux d'investissement différenciés et des stratégies d'exploitation variées, caractéristiques des systèmes agro-pastoraux en milieu aride.

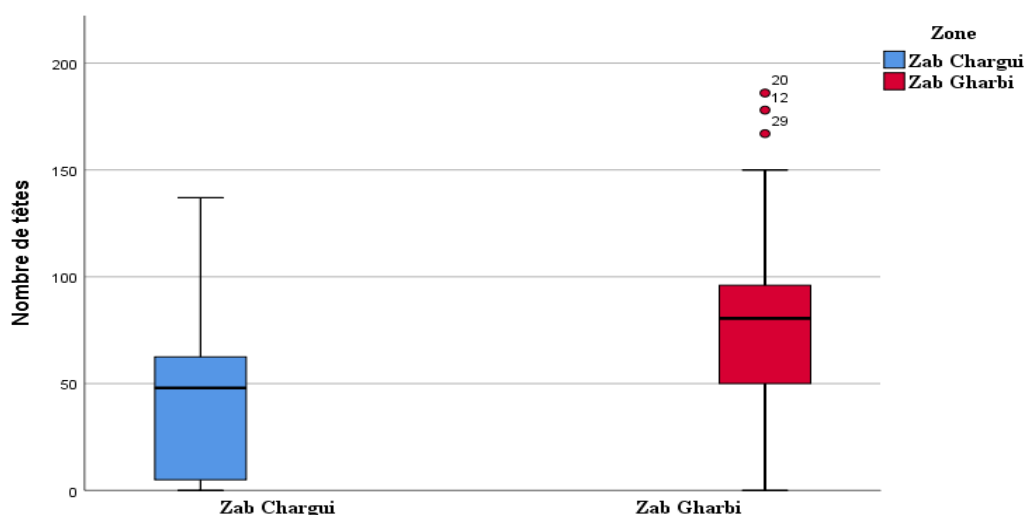


Figure 35 : Distribution de la taille des troupeaux par exploitation

5.1.3.3. Facteurs de production

5. 1. 3. 3. 1. Type d'équipement

Les équipements agricoles ont été classés selon le degré de mécanisation en trois catégories : équipement traditionnel (utilisation d'outils manuels ou de traction animale), équipement moderne (recours à la mécanisation agricole à base de tracteurs et de matériels motorisés) et équipement mixte (association des deux systèmes au sein de la même exploitation).

Les exploitations de Zab Chargui sont majoritairement équipées de matériel traditionnel (40,1 %). En Zab Gharbi, l'équipement moderne est le plus représenté (38,1 %), suivi de l'équipement mixte (33,4 %) (figure 36). Cette configuration traduit une transition progressive vers la mécanisation, plus avancée en Zab Gharbi.

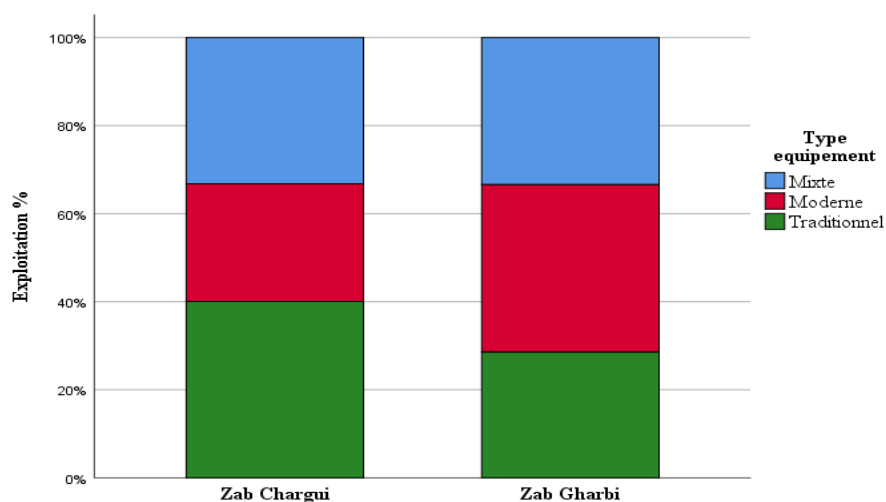


Figure 36 : Type d'équipement des exploitations agricoles

5. 1. 3. 3. 2. Main-d'œuvre

En Zab Chargui, la main-d'œuvre est dominée par les salariés permanents (33,0 %), suivis des salariés saisonniers (25,8 %), de la main-d'œuvre familiale (23,6 %). En Zab Gharbi, la main-d'œuvre mixte domine (30,4 %), suivie de la familiale (26,0 %), des saisonniers (24,4 %) (figure 37).

Cette structuration traduit une dépendance accrue au salariat, permettant de compenser la diminution de la main-d'œuvre familiale et le vieillissement des exploitants.

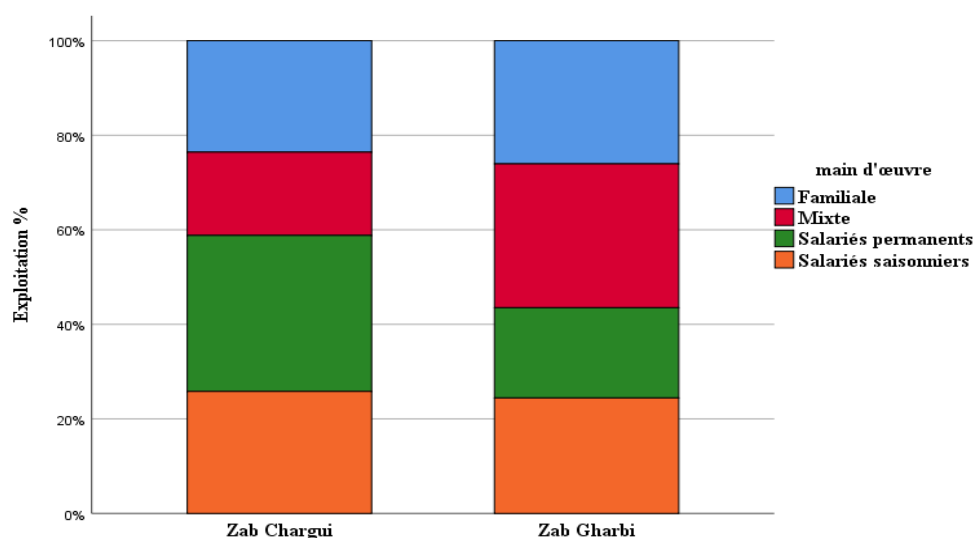


Figure 37 : Structure de la main-d'œuvre agricole

5. 1. 3. 3. 3. Financement et subventions

En Zab Chargui, les subventions de l'État + autofinancement représentent 44,5 %, suivies de l'autofinancement seul (29,2 %). En Zab Gharbi, le crédit bancaire + autofinancement domine (38,2 %), suivi de l'autofinancement (36,2 %) et des subventions + autofinancement (25,6 %) (figure 38). Ces résultats mettent en évidence une forte dépendance aux ressources propres des exploitants.

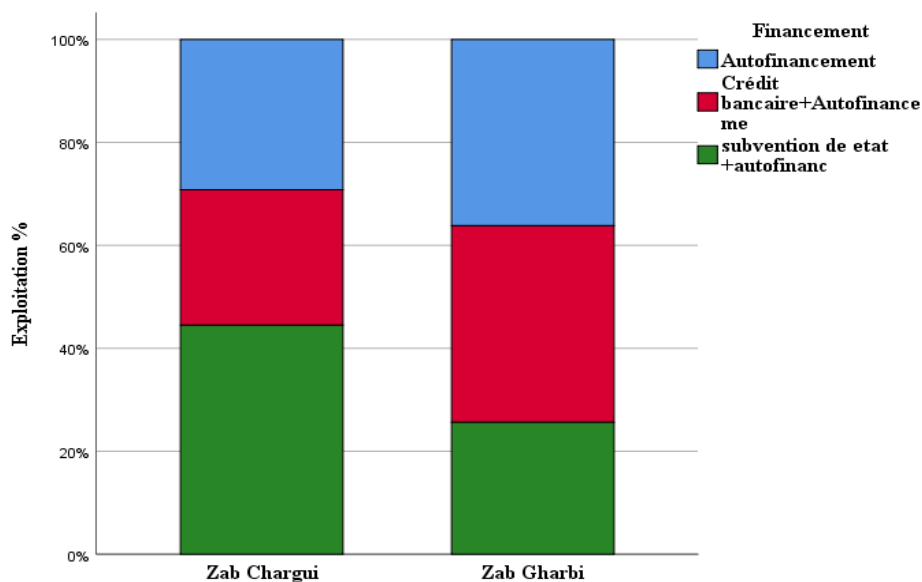


Figure 38: Financement des exploitations agricoles

La majorité des exploitants bénéficie de subventions ciblées. En Zab Chargui, les aides engrais et céréales représentent 54,9 %, tandis que 34,4 % des exploitants ne reçoivent aucune subvention . En Zab Gharbi, l'irrigation est la principale aide (35,3 %), suivie de céréales + irrigation (30,9 %)(figure 39).

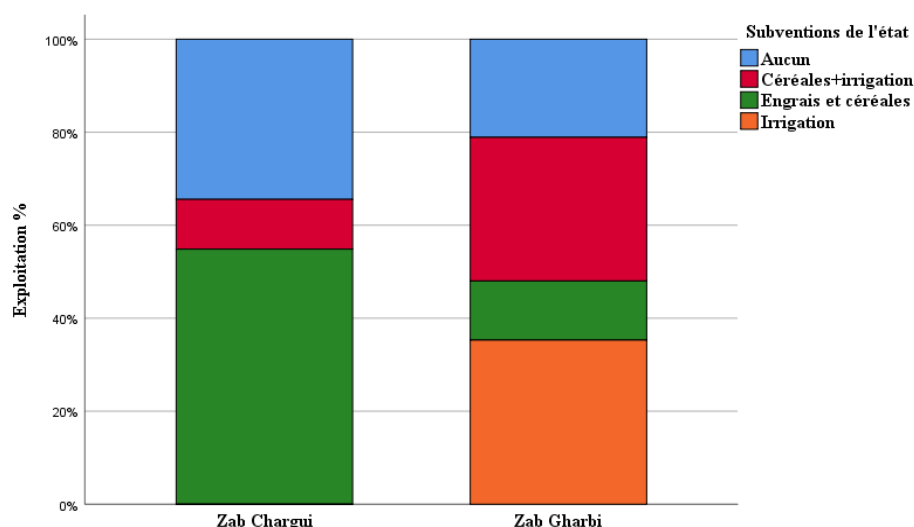


Figure 39: Accès des exploitants aux subventions de l'État

5.1.3.4. Valorisation économique

5. 1. 3. 4. 1. Destination et commercialisation des productions

En Zab Chargui, les revenus agricoles sont orientés vers les dépenses sociales (36,2 %), suivies des dépenses sociales + réinvestissement (34,0 %). En Zab Gharbi, le réinvestissement domine (35,8 %), suivi des dépenses sociales + réinvestissement (32,9 %) et des dépenses sociales (31,3 %) (figure 40).

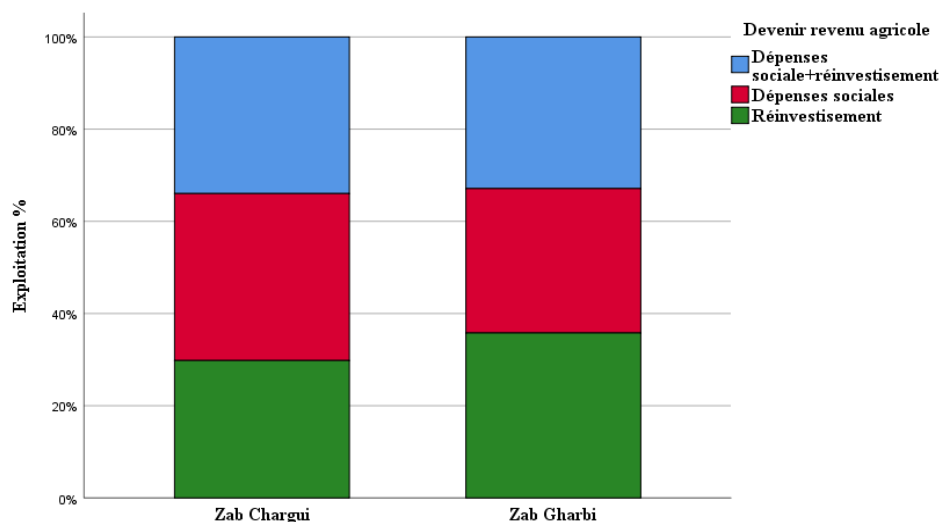


Figure 40 : Destination des revenus agricoles

En Zab Chargui, l'autoconsommation représente 56,3 % des productions, suivie de la vente (23,9 %) et de la vente + autoconsommation (19,9 %). En Zab Gharbi, la vente + autoconsommation domine (52,9 %), suivie de la vente (47,1 %), l'autoconsommation étant absente (figure 41).

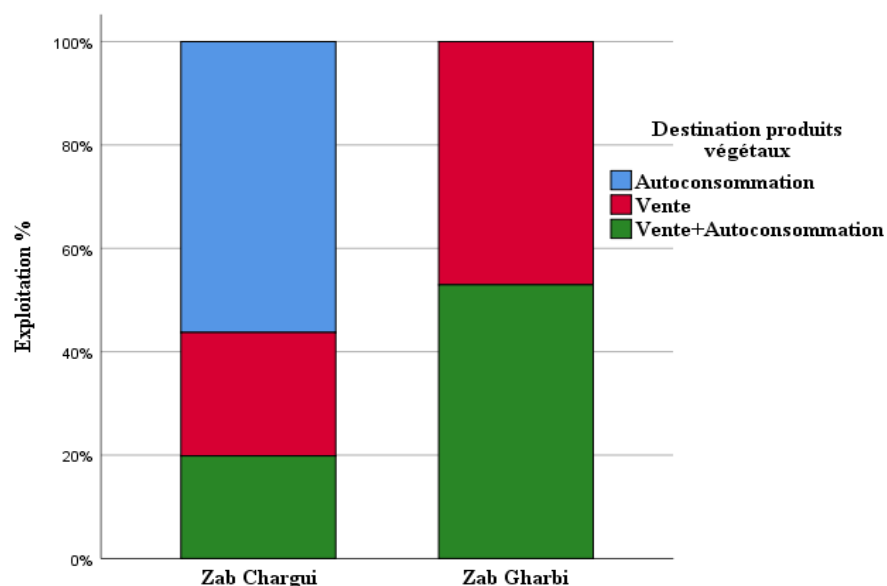


Figure 41: Destination des productions végétales

Les canaux de commercialisation des produits agricoles varient selon la zone étudiée, tout en mettant en évidence le rôle central des structures institutionnelles publiques, notamment l'Office algérien interprofessionnel des céréales (OAIC), dans l'écoulement des productions.

En Zab Chargui, la commercialisation repose principalement sur le marché de gros (35,2 %). En Zab Gharbi, les canaux dominants sont la vente + autoconsommation (52,9 %), le marché local (25,3 %), l'OEIC + marché de gros (21,1 %) (figure 42).

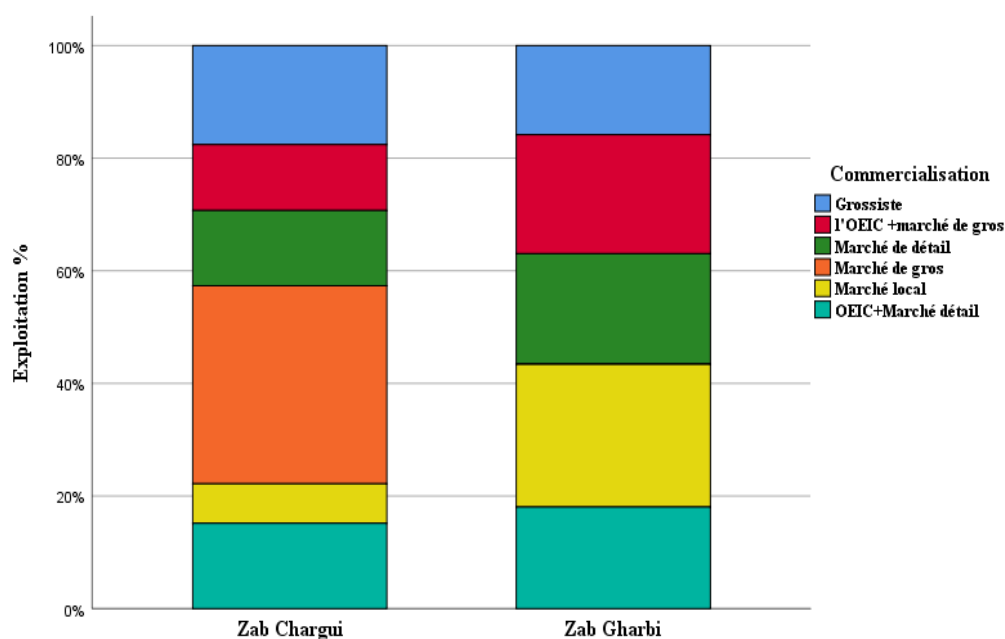


Figure 42 : Commercialisation des produits agricoles

5. 1. 4 Pratiques culturales et techniques des cultures fourragères

5.1.4.1. Orge (*Hordeum vulgare* L.)

5. 1. 4. 1. 1. Superficie et rendement

En Zab Chergui, la superficie moyenne consacrée à l'orge est de 2,65 ha par exploitation. La majorité des exploitations se concentre autour de 2 à 3 ha (figure 43), traduisant une relative homogénéité des surfaces, malgré quelques exploitations de très grande taille (jusqu'à 6,5 ha). En Zab Gharbi, la superficie moyenne est légèrement inférieure (2,40 ha) mais les surfaces présentent une plus grande hétérogénéité (de l'ordre de 1,5 à 2,9 ha), cette dispersion plus marquée traduit une plus grande hétérogénéité, révélant des stratégies foncières plus contrastées entre exploitations.

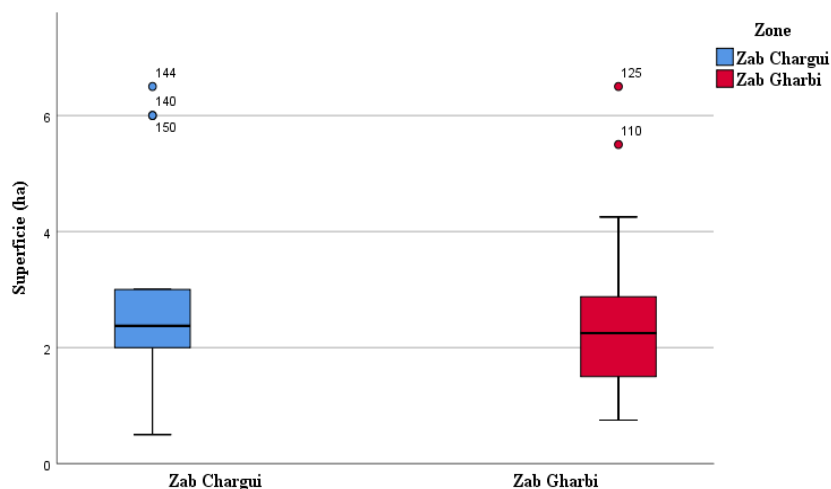


Figure 43 : Distribution de la superficie cultivée en orge

Les rendements moyens sont proches dans les deux zones, atteignant $30,1 \pm 7$ q/ha en Zab Chargui et $31,4 \pm 7$ q/ha en Zab Gharbi. Les valeurs observées varient entre 12 et 45 q/ha (figure 44), indiquant une productivité moyenne variable, traduisent une sensibilité des rendements aux conditions climatiques et aux pratiques culturales. Ces résultats confirment le rôle de l'orge comme culture fourragère stratégique mais dépendante des aléas agro-climatiques.

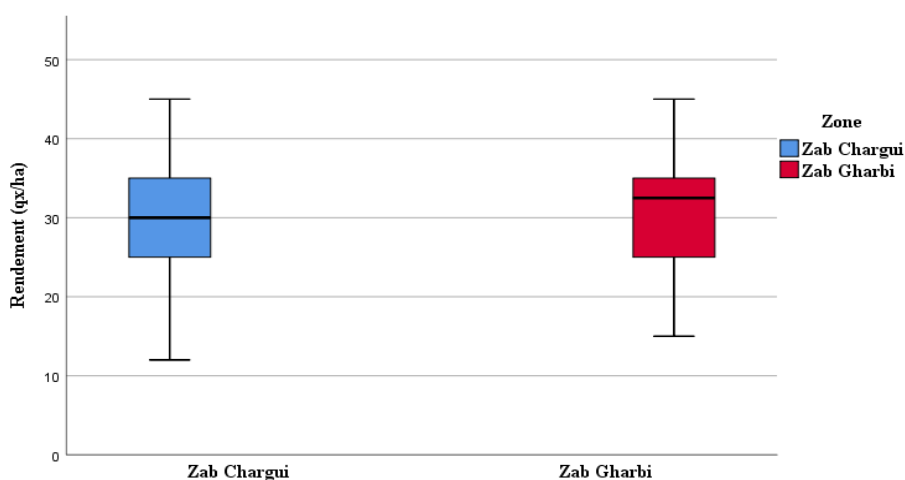


Figure 44: Distribution du rendement de l'orge

5. 1. 4. 1. 2. Semis

En Zab Chargui, les semences d'orge proviennent principalement de sources d'origine inconnue (49,9 %), suivies des semences locales (25,9 %) et des semences internes à l'exploitation (24,2 %). En Zab Gharbi, l'origine des semences est mieux maîtrisée, avec une prédominance des semences internes (41,7 %) et locales (40,1 %), tandis que l'origine inconnue devient marginale (18,2 %) (figure 45(a)).

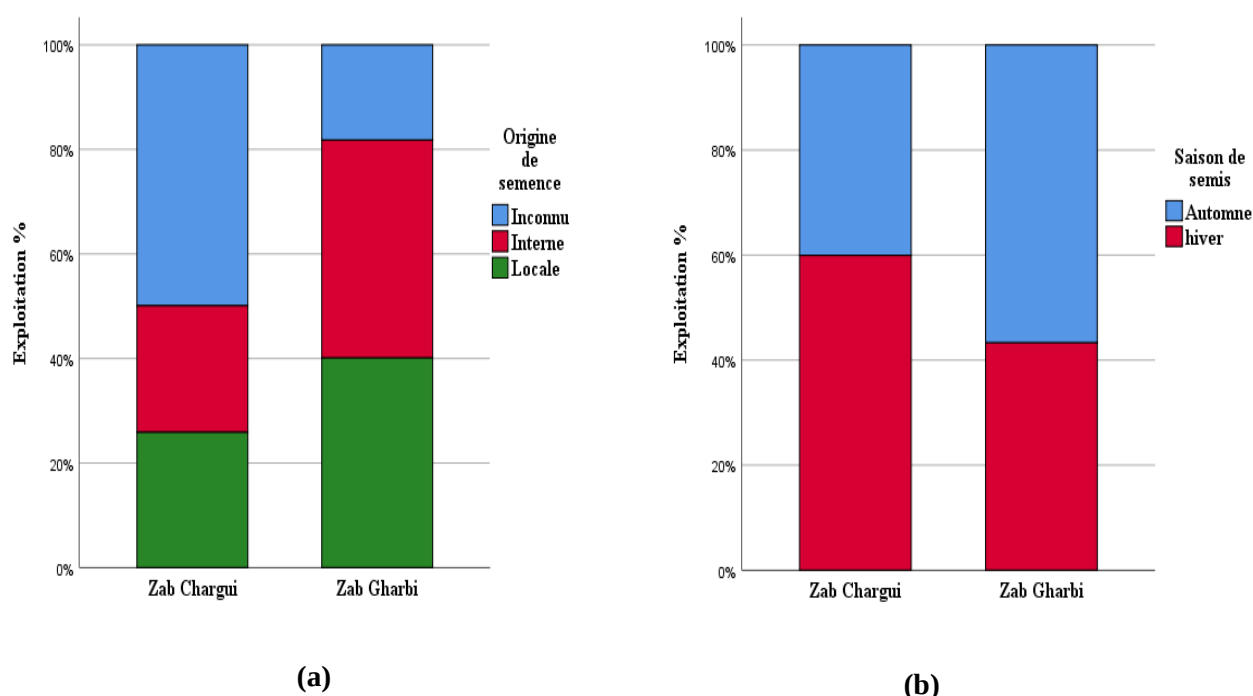


Figure 45 : Origine des semences utilisées (a) et saisons de semis de l'orge (b)

La période de semis varie entre les zones : l'hiver (de décembre à janvier) domine en Zab Chargui (59,9 %), alors que l'automne (de septembre à octobre) est privilégié en Zab Gharbi (56,7 %) (figure 45(b)), ce qui peut influencer le cycle végétatif. Le semis manuel à la volée reste majoritaire en Zab Chargui (56,0 %), tandis que l'utilisation du semoir est plus fréquente en Zab Gharbi (53,9 %) (figure 46). Cette évolution traduit une transition progressive vers des techniques plus mécanisées.

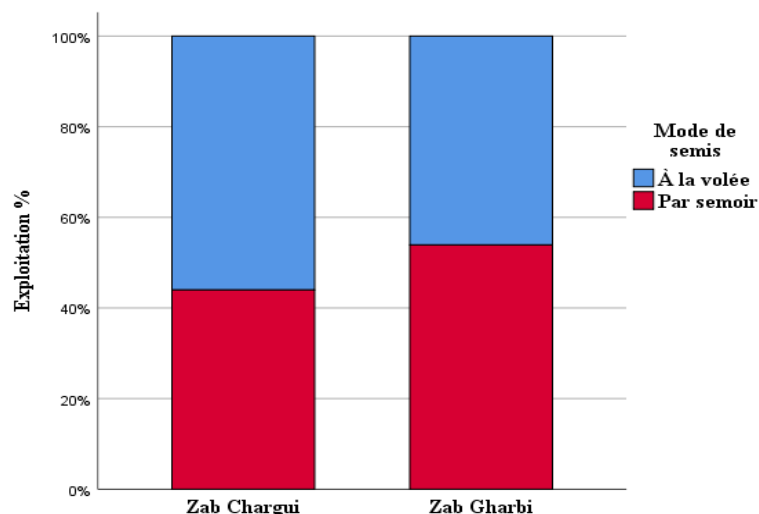
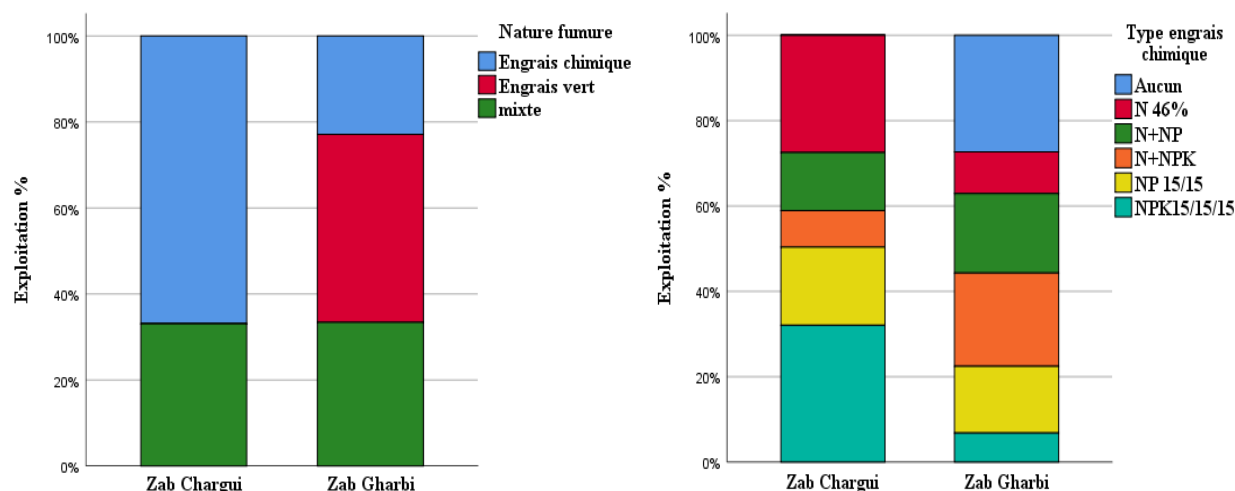


Figure 46 : Modes de semis de l'orge adoptés par les exploitants

5. 1. 4. 1. 3. Fertilisation et l'irrigation

La fertilisation de l'orge repose principalement sur les engrais chimiques, en particulier en Zab Chargui où 66,9 % des exploitations y ont recours. En Zab Gharbi, la fertilisation est plus diversifiée, avec une dominance des engrais organiques (43,7 %), suivis des formes mixtes (33,4 %) (figure 47(a)). Les deux zones recourent à la fois aux engrais azotés simples, notamment l'urée (46 % N), et aux engrais composés, tels que l'engrais binaire NP (15 % N – 15 % P₂O₅, azote sous forme nitrique et/ou ammoniacale) et l'engrais ternaire NPK (15 % N – 15 % P₂O₅ – 15 % K₂O, azote sous forme nitrique et/ou ammoniacale). Des apports combinés associant l'urée à l'un de ces engrais composés sont également observés, avec une diversification plus marquée dans le Zab Gharbi (figure 47b).



(a) (b)
Figure 47: Nature de la fertilisation (a) et Types d'engrais chimiques appliqués (b)

Les modes d'apport de la fertilisation chimique diffèrent entre les deux zones (figure 48(a)). En Zab Chargui, l'apport est majoritairement réalisé au semis (62,1 %), tandis que l'apport fractionné au semis et au tallage concerne 37,9 % des exploitations. En Zab Gharbi, près de la moitié des exploitations (48,7 %) ne réalisent aucune fertilisation chimique, l'apport au semis et au tallage représentant 31,2 % et l'apport au semis 20,1 %.

Concernant la fertilisation organique (figure 48(b)), son utilisation demeure limitée dans les deux zones. En Zab Chargui, 37,6 % des exploitations n'y ont pas recours, contre 30,5 % en Zab Gharbi. Lorsque la fumure organique est appliquée, elle l'est principalement après labour en Zab Chargui (41,6 %) et pendant le labour en Zab Gharbi (41,7 %). Globalement, ces résultats confirment la prédominance de la fertilisation minérale et une intégration encore limitée de la

fumure organique, caractéristiques des systèmes fourragers en milieu aride.

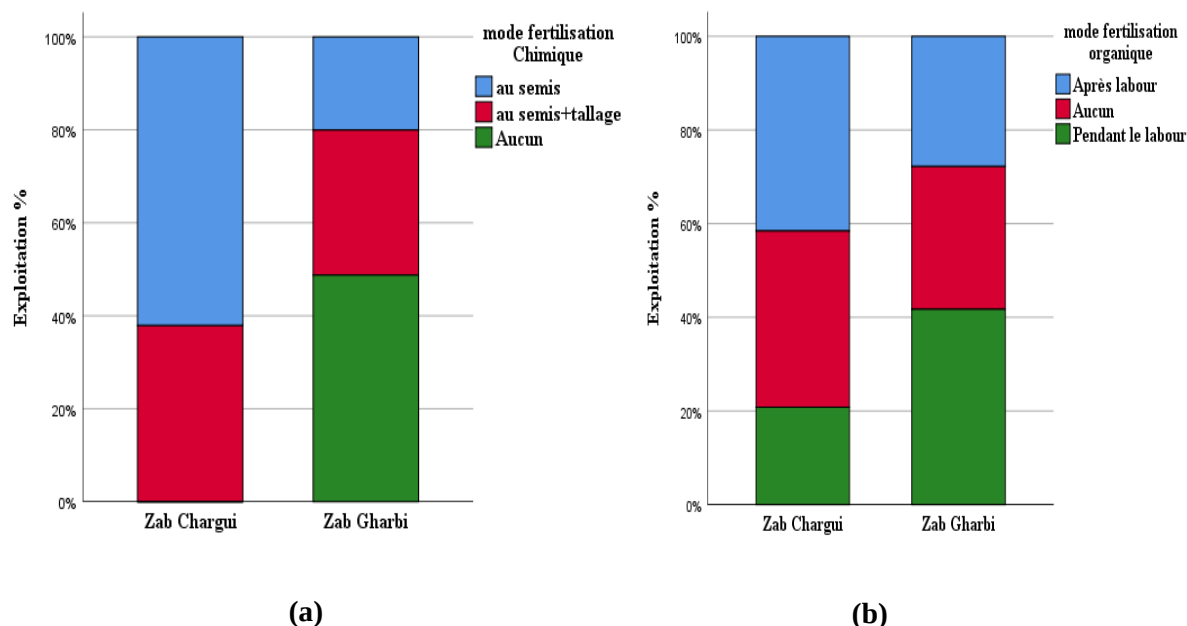
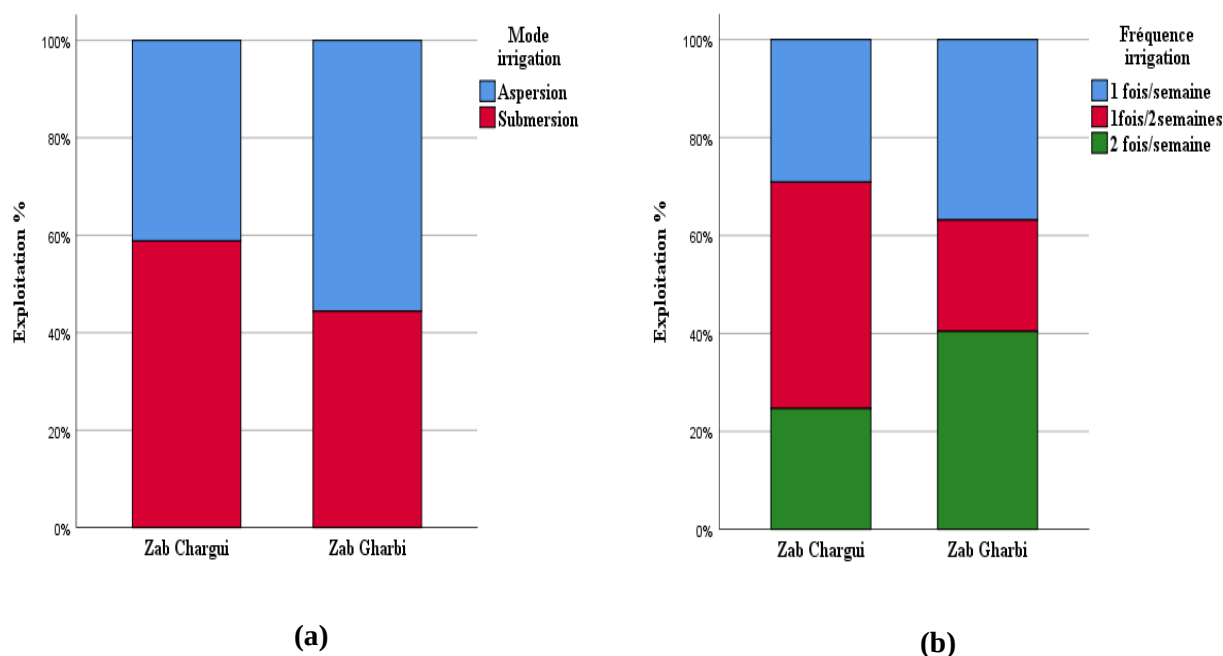


Figure 48: Modes d'application des engrais chimiques(a) et des engrais organiques (b) Irrigation et qualité de l'eau

L'irrigation de l'orge présente des différences notables entre les deux zones étudiées (figure 49(a)). En Zab Chargui, l'irrigation est assurée principalement par submersion (58,8 %), l'aspersion restant secondaire (41,2 %). À l'inverse, en Zab Gharbi, l'aspersion devient le mode dominant (55,6 %), la submersion ne concernant plus que 44,4 % des exploitations.

Concernant la fréquence d'irrigation (figure 49(b)), en Zab Chargui, l'irrigation une fois toutes les deux semaines est la plus courante (46,3 %), suivie de une fois par semaine (29,1 %). En Zab Gharbi, la fréquence deux fois par semaine domine (40,4 %), suivie de une fois par semaine (36,8 %).



(a) (b)
Figure 49: Modes d'irrigation (a) et fréquence d'irrigation (b)

La qualité de l'eau d'irrigation diffère entre les zones (figure 50). En Zab Chargui, une part importante des exploitants utilise une eau salée (51,1 %) ou peu salée (37,3 %), l'eau douce restant minoritaire (11,6 %). En Zab Gharbi, l'eau est de meilleure qualité, majoritairement douce (46,9 %) et peu salée (30,9 %), favorisant un développement végétatif plus régulier de la culture. Ces catégories, issues de la perception des agriculteurs, ne correspondent pas à des mesures analytiques directes et doivent être interprétées à titre indicatif en référence aux classes de salinité du U.S. Salinity Laboratory Staff (1954).

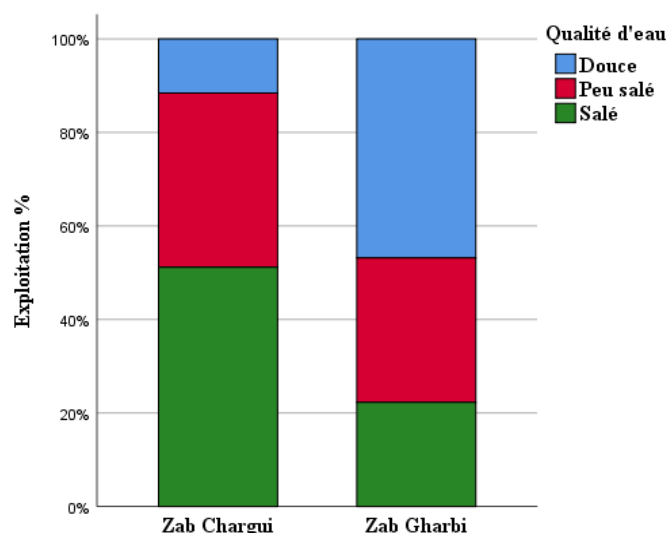


Figure 50 : Qualité de l'eau d'irrigation utilisée pour la culture de l'orge

5. 1. 4. 1. 4. Précédent cultural et phytoprotection

Les traitements phytosanitaires demeurent globalement peu pratiqués dans les deux zones étudiées (figure 51(a)). En Zab Gharbi, 81 % des exploitants déclarent ne réaliser aucun traitement, traduisant une faible pression phytosanitaire perçue ou un recours limité aux intrants chimiques. En revanche, en Zab Chargui, 38 % des exploitants effectuent des traitements phytosanitaires, contre 62 % qui n'y ont pas recours, indiquant une perception plus marquée des risques liés aux maladies et ravageurs dans cette zone.

Les précédents culturels diffèrent entre les deux zones (figure 51(b)). En Zab Chargui, jachère labourée constitue le précédent dominant (50,2%). En Zab Gharbi, la luzerne deviennent le principal précédent (34%), suivies du maraîchage (27,7 %), ce qui reflète une valorisation plus intensive des terres agricoles.

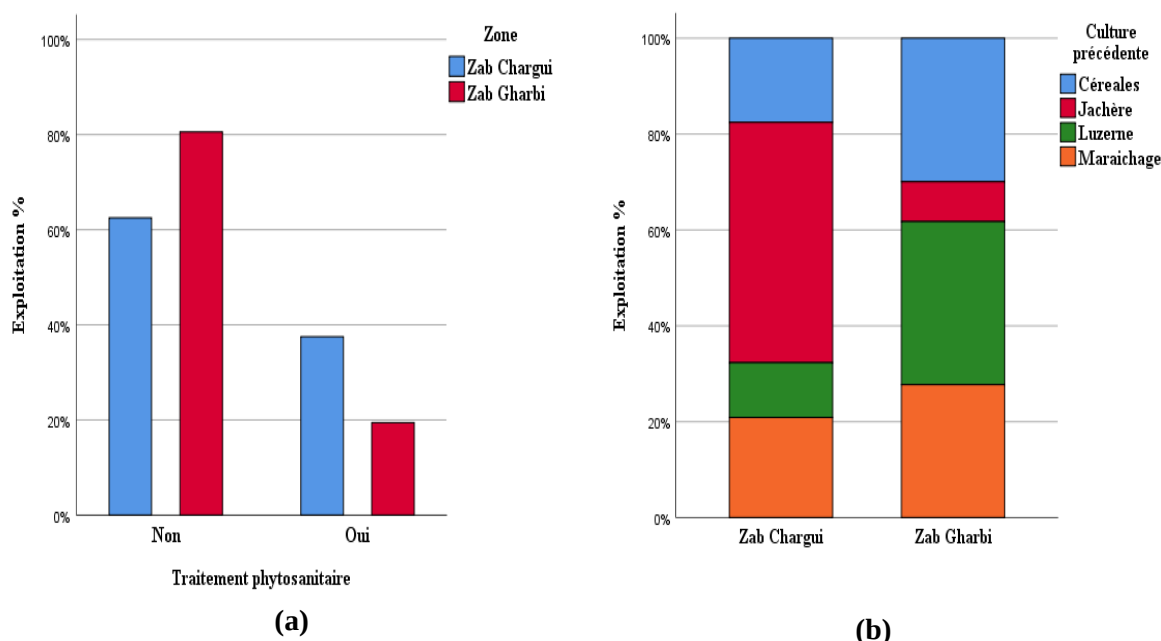
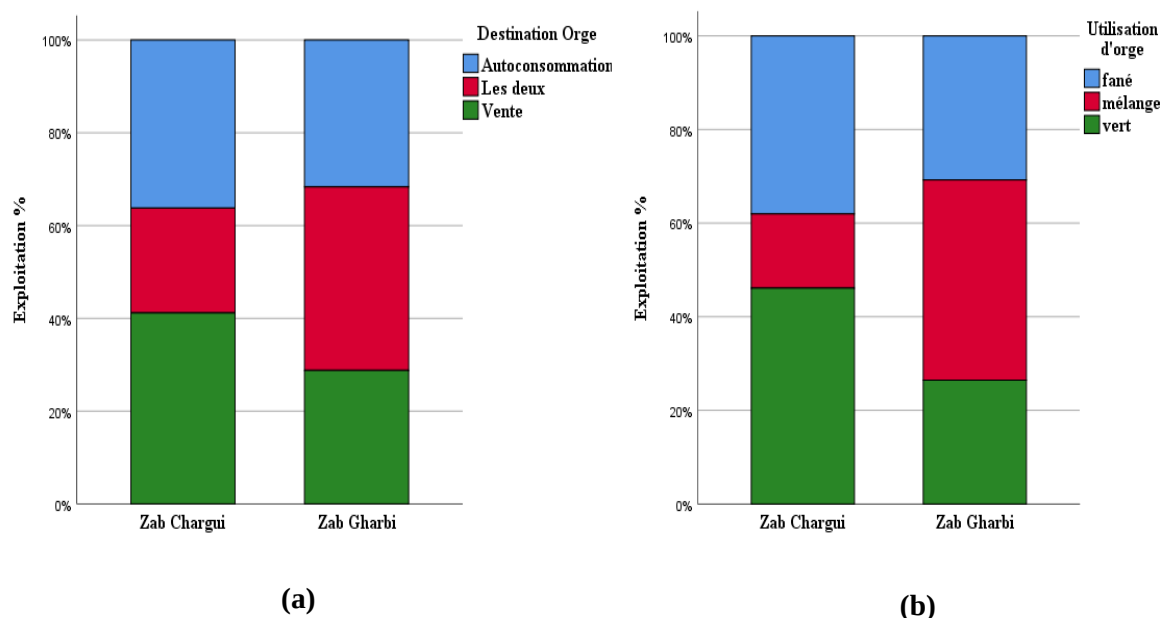


Figure 51 : Traitements phytosanitaires (a) et répartition des précédents cultureux (b)

5. 1. 4. 1. 5. Utilisation, destination et conservation

La destination de la production d'orge montre des différences entre les deux zones (figure 52(a)). En Zab Chargui, la production est principalement destinée à la vente (41,2 %), suivie de l'autoconsommation (36,2 %). En Zab Gharbi, la double destination est dominante (39,6 %), devant l'autoconsommation (31,7 %). Ces résultats confirment le rôle stratégique de l'orge à la fois comme fourrage de base pour le troupeau et comme source de revenu complémentaire.

L'utilisation du fourrage d'orge diffère également entre les zones (figure 52(b)). En Zab Chargui, l'orge est principalement utilisée à l'état vert (46,1 %), suivie de l'utilisation sous forme de foin fané (38,0 %) et, dans une moindre mesure, sous forme mixte (15,9 %). En Zab Gharbi, l'utilisation mixte est dominante (42,8 %), suivie du foin fané (30,8 %) et de l'utilisation à l'état vert (26,4 %), traduisant une gestion plus diversifiée des ressources fourragères.



(a) (b)
Figure 52 : Destination de la production(a) et modes d'utilisation (b)

La conservation des fourrages reste globalement limitée dans les deux zones (figure 53). En Zab Chargui, 58 % des exploitants ne conservent pas les fourrages, contre 42 % qui pratiquent une forme de conservation. En Zab Gharbi, l'absence de conservation est encore plus marquée (67 %), la conservation ne concernant que 33 % des exploitations. Lorsque la conservation est pratiquée, elle repose essentiellement sur le séchage traditionnel conduisant à la production de foin tandis que l'ensilage est très rarement adopté. Ces pratiques restent limitées, traduisant une forte dépendance saisonnière et révélant des marges d'amélioration dans la gestion des stocks fourragers.

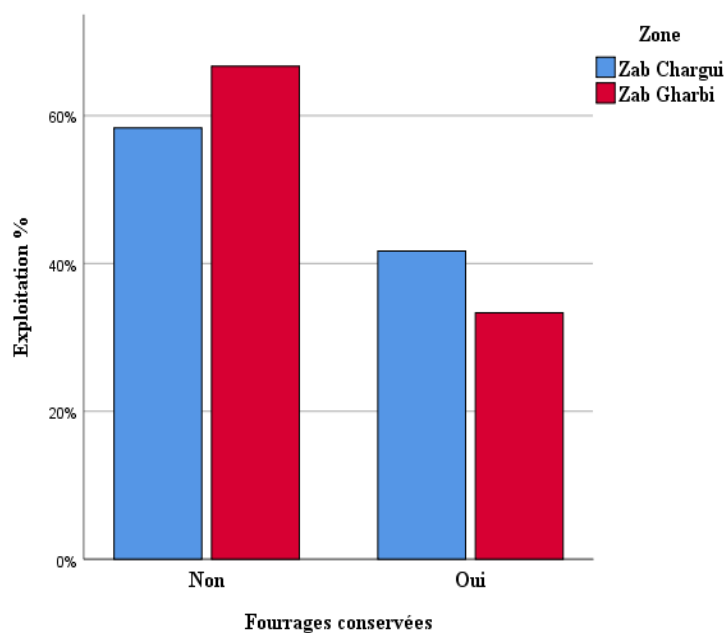


Figure 53 : Conservation des fourrages de la culture de l'orge

5. 1. 4. 1. 6. Travail du sol

Le travail du sol de l'orge diffère entre les deux zones étudiées. En Zab Chargui, l'absence de labour domine (49,5 %), tandis que les labours profonds (29,2 %) et moyens (21,3 %) restent secondaires, traduisant des pratiques plutôt extensives. À l'inverse, en Zab Gharbi, les labours moyens (40,1 %) et profonds (35,7 %) sont majoritaires, l'absence de labour ne concernant que 24,2 % des exploitations (figure 54(a)). Le labour est réalisé à l'aide de charrues à versoir ou à disques tractées par tracteur agricole, permettant le retournement du sol à des profondeurs variables selon l'intensité du travail (superficiel, moyen ou profond). Concernant la saison du labour, en Zab Chargui, le labour étant réalisé principalement en été (27,6 %) et en automne (18,8 %). En Zab Gharbi, les labours sont mieux répartis entre l'automne (41,4 %) et l'été (36,5 %)(figure 54(b)). Globalement, ces résultats indiquent un niveau d'intensification technique plus élevé en Zab Gharbi par rapport à Zab Chargui.

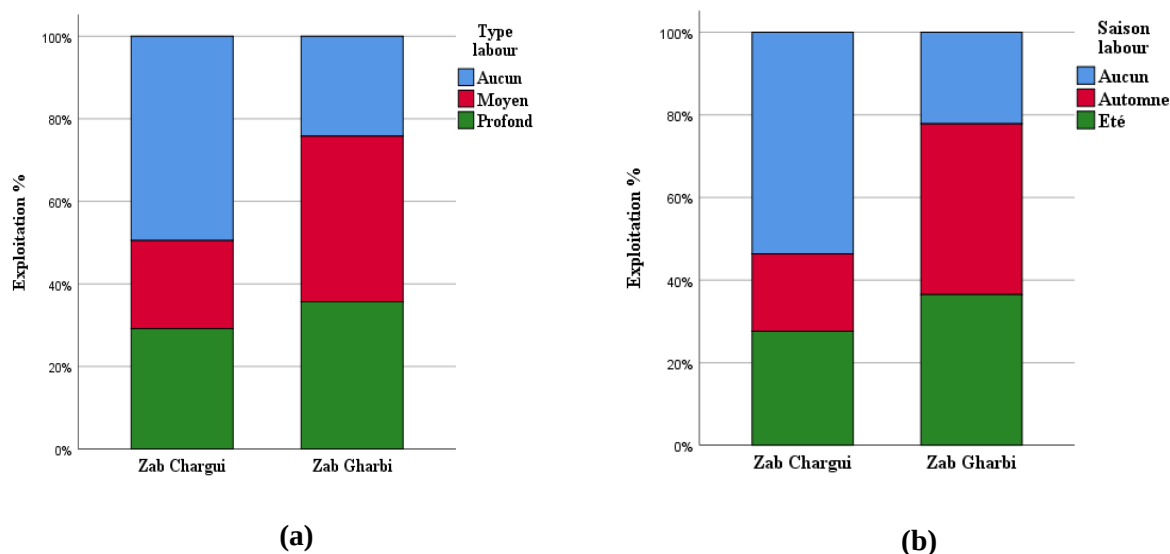


Figure 54: Répartition des types de labour pratiqués(a) et Saison du Superficie et rendement

5.1.4.2. Luzerne (*Medicago sativa* L.)

5. 1. 4. 2. 1. Superficie et rendement

Les superficies consacrées à la culture de la luzerne diffèrent entre les deux zones étudiées (figure 55(a)). En Zab Chargui, la superficie moyenne est de $1,73 \pm 1,6$ ha par exploitation, tandis qu'en Zab Gharbi, elle atteint $2,96 \pm 1,9$ ha, traduisant une place plus importante accordée à cette culture fourragère dans cette zone.

Les rendements de la luzerne sont globalement différents entre les deux zones étudiées (figure 55(b)). Le rendement moyen est estimé à $113,5 \pm 30$ q/ha en Zab Chargui et à $150,8 \pm 35$ q/ha en Zab Gharbi. Ces résultats confirment la forte potentialité fourragère de la luzerne, particulièrement marquée en Zab Gharbi, où des superficies plus importantes et une meilleure disponibilité en eau et en intrants semblent favoriser la productivité de la culture. Par ailleurs, le nombre de coupes annuelles varie entre 4 et 5 en Zab Chargui, contre 5 à 6 en Zab Gharbi, traduisant une intensification plus marquée de l'exploitation de la luzerne dans cette dernière zone.

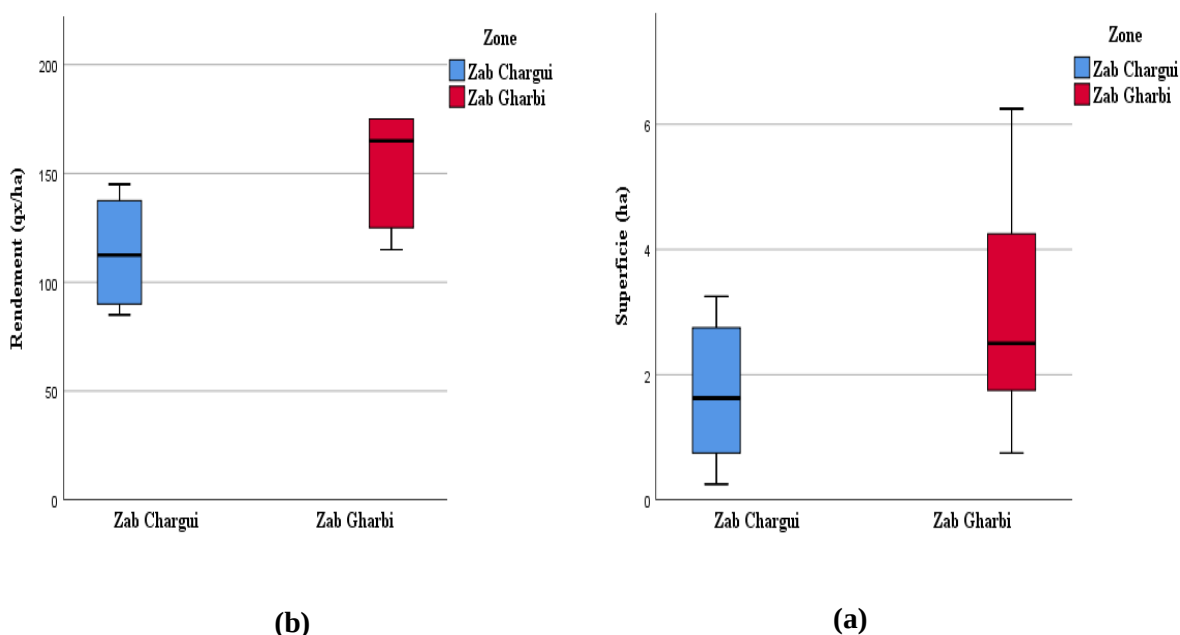


Figure 55: Distribution de la superficie cultivée (a) et distribution du rendement

5. 1. 4. 2. 2. Semis

Les origines des semences de luzerne diffèrent entre les deux zones (figure 56). En Zab Chargui, les semences proviennent majoritairement de sources internes (45 %) et locales (35 %). En Zab Gharbi, la situation est inversée, avec une domination des semences importées (64 %), devant les semences internes (24 %) et locales (12 %). Ce recours plus important aux semences importées en Zab Gharbi peut contribuer aux rendements plus élevés, grâce à l'utilisation de variétés améliorées.

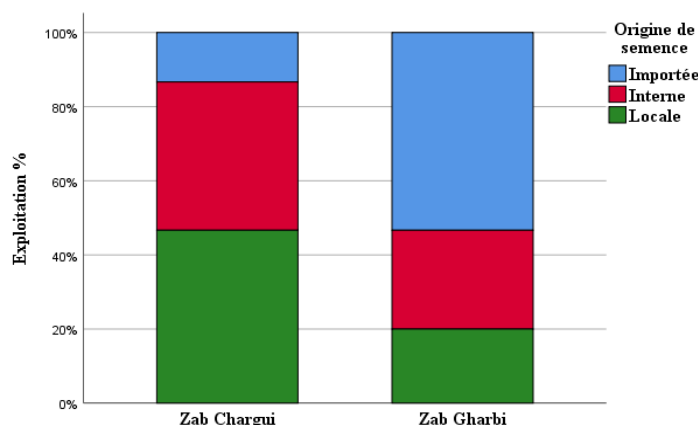
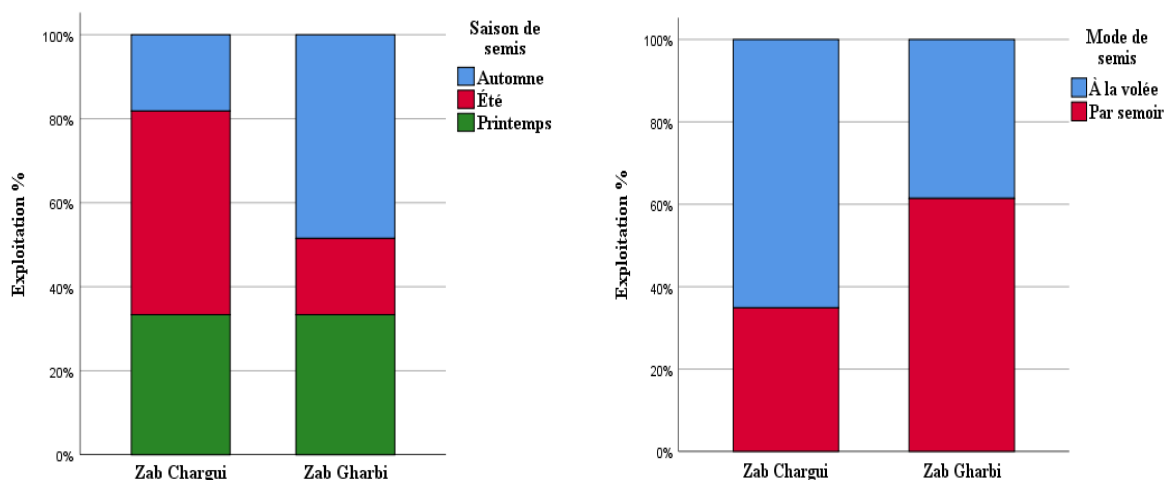


Figure 56: Origine des semences de luzerne utilisées

La saison de semis présente également des contrastes marqués entre les zones (figure 57(a)). En Zab Chargui, les semis sont répartis principalement en l'été (de juin à août) (47%). En Zab Gharbi, l'automne (de septembre à octobre) est clairement privilégié (64 %), une stratégie généralement plus favorable à une bonne installation de la culture.

Le mode de semis reflète des niveaux différents de mécanisation (figure 57(b)). En Zab Chargui, le semis est essentiellement réalisé à la volée (70 %), le recours au semoir restant limité (30 %). À l'inverse, en Zab Gharbi, le semis au semoir devient majoritaire (56 %), contre 44 % à la volée, traduisant une mécanisation plus avancée et un meilleur contrôle de la densité de peuplement.



(a) (b)
Figure 57: Répartition des saisons de semis de la luzerne(a) et modes de semis (b)

5. 1. 4. 2. 3. Fertilisation et l'irrigation

La nature de la fertilisation de la luzerne diffère entre les deux zones (figure 58(a)). En Zab Chargui, 40 % des exploitants utilisent uniquement des engrais chimiques. En Zab Gharbi, la combinaison engrais chimique + organique est dominante (40 %), suivie de la fumure organique seule (36 %), traduisant une intégration plus poussée de la matière organique dans la gestion de la fertilité.

Les types d'engrais minéraux utilisés (figure 58b) montrent une préférence marquée pour les engrais azotés simples, notamment l'urée (46 % N), et les engrais composés, tels que l'engrais binaire NP (15 % N – 15 % P₂O₅, azote sous forme nitrique et/ou ammoniacale) et l'engrais ternaire NPK (15 % N – 15 % P₂O₅ – 15 % K₂O, azote sous forme nitrique et/ou ammoniacale). Les combinaisons N + NP sont les plus fréquentes dans les deux zones, avec 55 % des exploitants en Zab Chargui et 36 % en Zab Gharbi, suivies des associations N + NPK, tandis que l'usage de l'urée seule est également observé, principalement en Zab Gharbi.

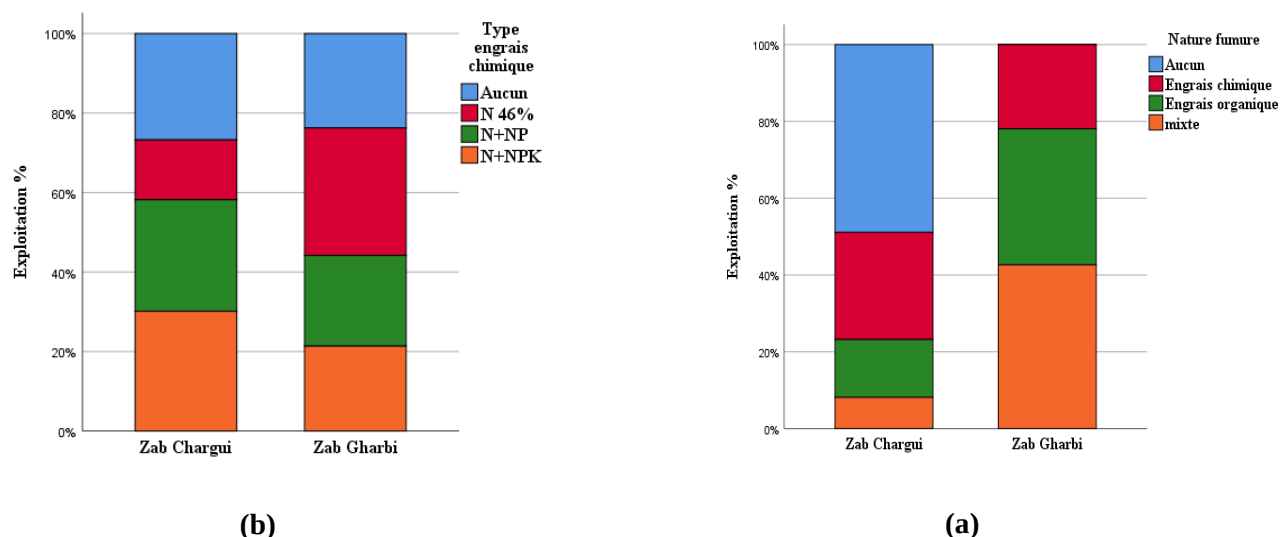


Figure 58: Nature de la fertilisation de la luzerne(a) et types d'engrais chimiques utilisés (b)

Le mode d'application de la fertilisation minérale (figure 59(a)) apparaît moins structuré en Zab Chargui, où les pratiques sont moins organisées, avec des apports principalement réalisés avant le semis. En Zab Gharbi, les pratiques sont plus organisées, avec des apports principalement réalisés au semis (32 %) et après semis (24 %).

Concernant la fertilisation organique, 70 % des exploitants de Zab Chargui n'y ont pas recours, tandis que les apports restants sont réalisés principalement après labour. À l'inverse, en Zab Gharbi, la majorité des exploitants applique la matière organique pendant le labour (48 %) ou après labour (28 %) (figure 59(b)). Cette pratique contribue à une meilleure durabilité de la culture et à l'amélioration progressive des propriétés du sol.

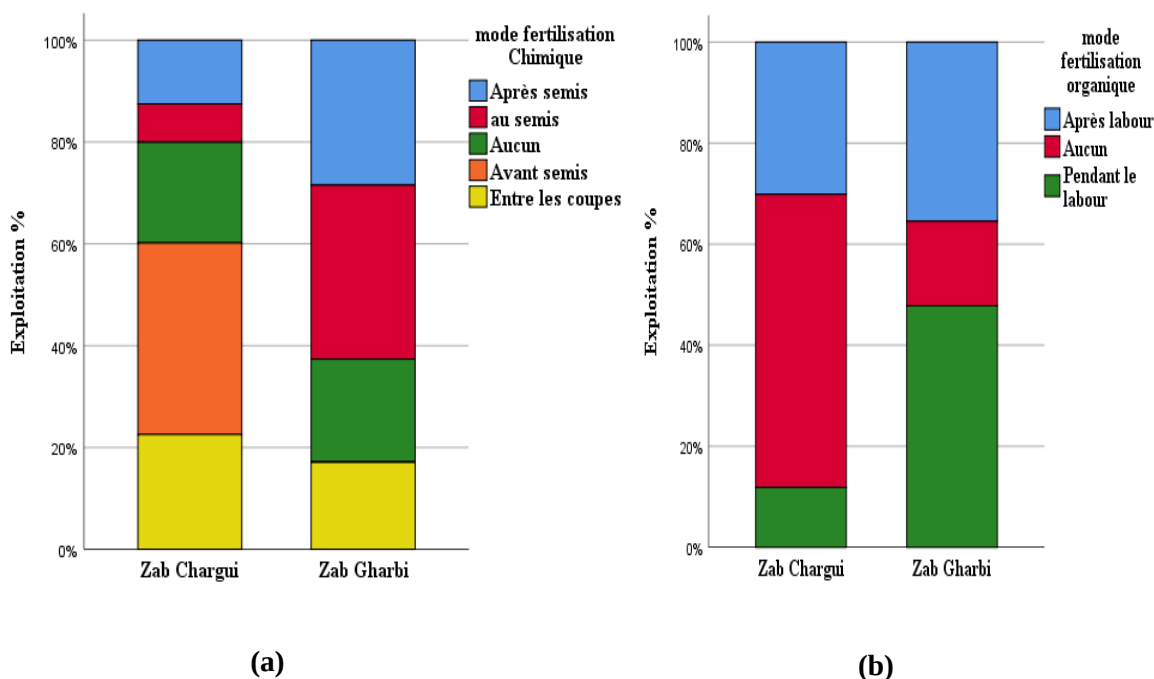


Figure 59: Modes d'application de la fertilisation minérale(a) et organique (b)

Les modes d'irrigation de la luzerne diffèrent entre les deux zones (figure 60(a)). En Zab Chargui, l'irrigation est assurée principalement par submersion (70 % des exploitants), l'aspersion restant minoritaire (30 %). À l'inverse, en Zab Gharbi, l'aspersion est largement dominante (76 %), contre 24 % pour la submersion, traduisant le recours à des techniques plus économes en eau et offrant une meilleure régularité des apports.

La fréquence d'irrigation de la luzerne présente des différences entre les deux zones étudiées (figure 60(b)). En Zab Chargui, la pratique dominante est l'irrigation une fois toutes les deux semaines, qui concerne 75 % des exploitants, tandis que 25 % irriguent une fois par semaine., traduisant une gestion relativement espacée des apports en eau.

En revanche, en Zab Gharbi, la fréquence d'irrigation est globalement plus élevée. Près de 50 % des exploitants irriguent deux fois par semaine, 36 % irriguent une fois par semaine, et seulement 14 % adoptent un rythme d'irrigation toutes les deux semaines. Cette fréquence plus soutenue reflète une intensification de la gestion hydrique, susceptible de contribuer aux rendements plus élevés observés pour la luzerne dans cette zone.

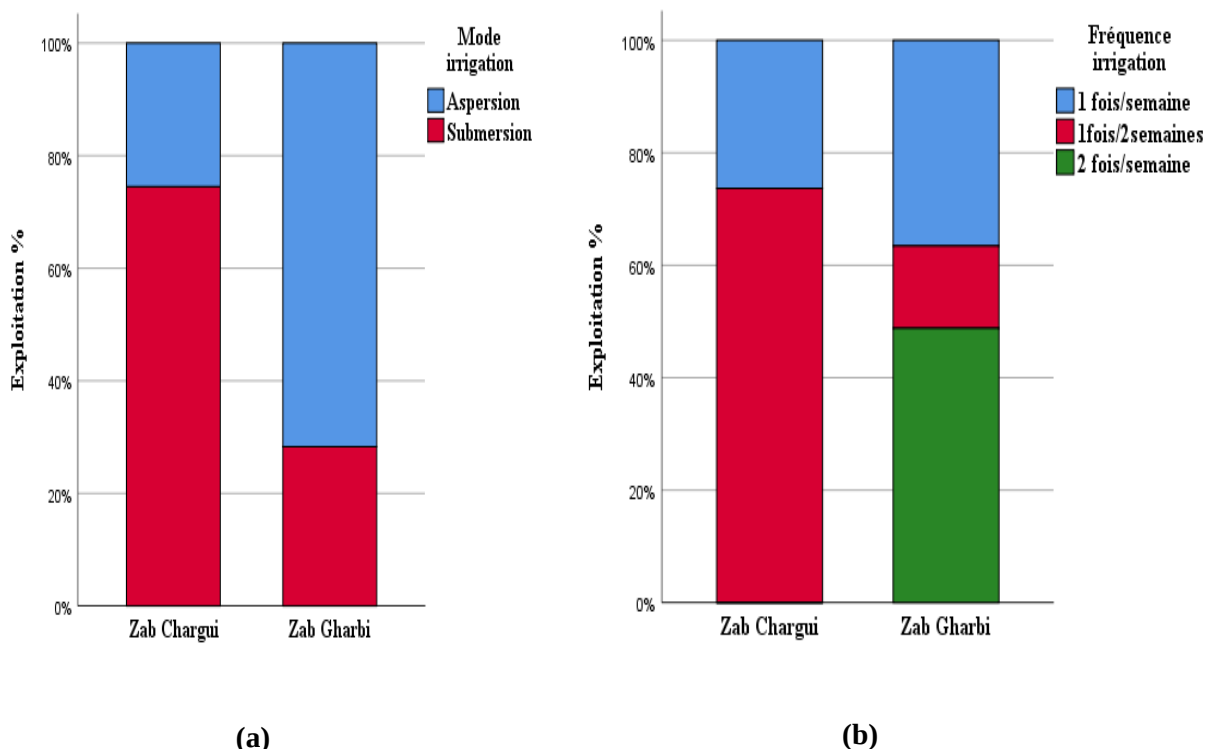


Figure 60: Modes d'irrigation (a) et fréquence d'irrigation (b) de la luzerne

La qualité de l'eau d'irrigation constitue un facteur différenciant entre les deux zones (figure 61). En Zab Chargui, l'eau est jugée peu salée par 40 % des exploitants, douce par 30 % et salée par 30 %, traduisant une contrainte saline non négligeable. En Zab Gharbi, la qualité est globalement meilleure, avec 56 % d'eau peu salée, 28 % d'eau douce et seulement 16 % d'eau salée, des conditions plus favorables à la pérennité et à la productivité de la luzerne. Ces catégories, issues de la perception des agriculteurs, ne correspondent pas à des mesures analytiques directes et doivent être interprétées à titre indicatif en référence aux classes de salinité du U.S. Salinity Laboratory Staff (1954).

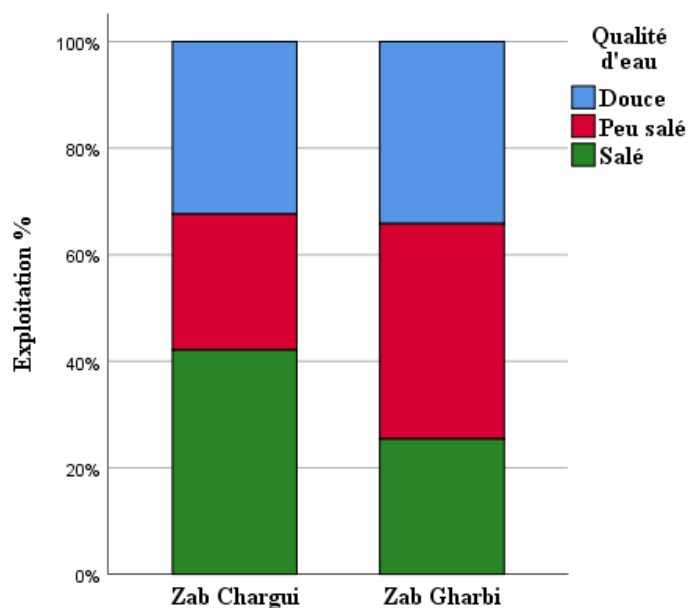


Figure 61 : Qualité de l'eau d'irrigation utilisée pour la culture de la luzerne

5. 1. 4. 2. 4. Précédent culturel et phytoprotection

En Zab Chargui, 60 % des exploitants déclarent traiter la luzerne contre les bioagresseurs, contre 40 % qui n'y ont pas recours. En Zab Gharbi, cette proportion est encore plus élevée, avec 68 % d'exploitants pratiquant des traitements phytosanitaires, tandis que 32 % n'en réalisent aucun (figure 62(a)).

Les précédents culturels de la luzerne diffèrent également entre les deux zones (figure 62(b)). En Zab Chargui, la luzerne succède principalement à l'orge (40,6 %), suivie de la jachère labourée (23,2 %), du maraîchage (22,1 %) et des céréales (14,1 %). En Zab Gharbi, les céréales constituent le précédent dominant (42,5 %), suivies du maraîchage (29,6 %) et de la jachère labourée (27,9 %). Cette insertion fréquente de la luzerne après céréales contribue à la diversification des rotations et à l'amélioration de la structure du sol, notamment grâce à son système racinaire profond et à sa capacité à enrichir le sol en azote.

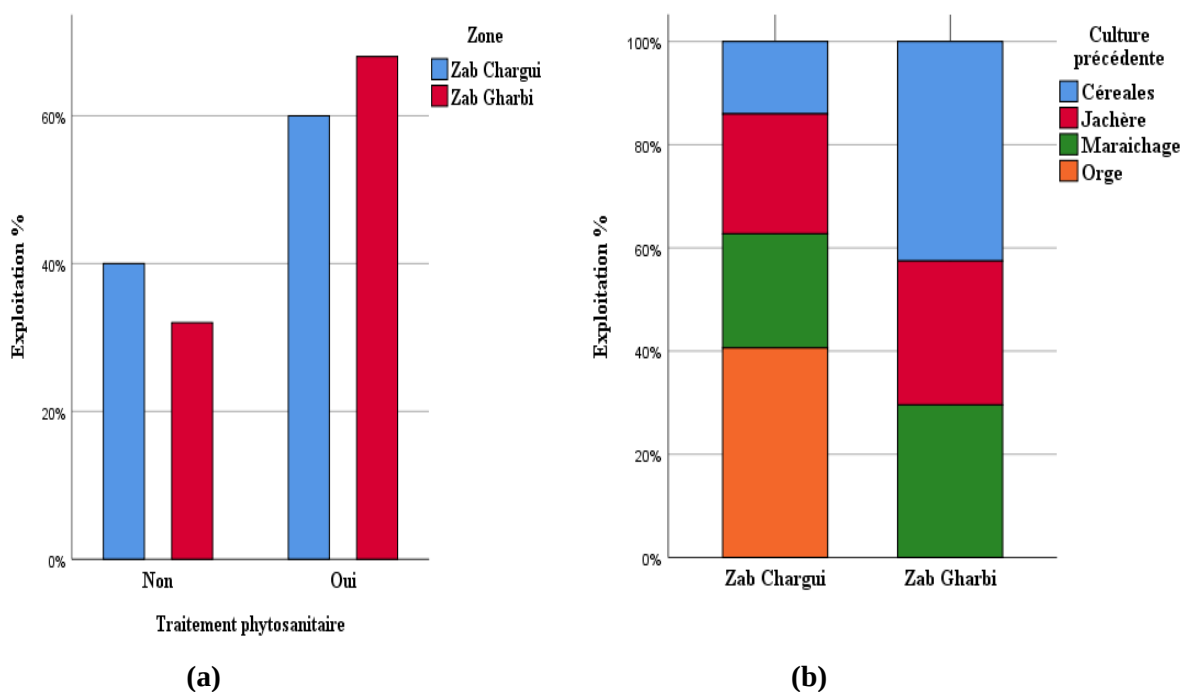


Figure 62: Traitements phytosanitaires (a) et Répartition des précédents cultureux (b)

5. 1. 4. 2. 5. Travail du sol

Le type de labour appliqué à la luzerne varie entre les deux zones (figure 63(a)). En Zab Chargui, l'absence de labour est la modalité dominante (39,8 %), suivie du labour profond (34,4 %) et du labour moyen (25,8 %). En Zab Gharbi, le labour moyen domine (39,7 %), suivi du labour profond (32,5 %), tandis que l'absence de labour concerne 27,9 % des exploitations. Cette structure reflète une préparation du sol plus régulière en Zab Gharbi. Le labour est réalisé à l'aide de charrues à versoir ou à disques tractées par tracteur agricole, permettant le retournement du sol à des profondeurs variables selon l'intensité du travail (superficiel, moyen ou profond).

La saison du labour présente également des différences entre les zones (figure 63(b)). En Zab Chargui, le labour est réalisé en été (30,1 %) et en automne (27,4 %). En Zab Gharbi, les labours sont mieux répartis entre l'été (36,1 %) et l'automne (38,3%). Cette organisation saisonnière contribue à une meilleure installation de la luzerne et participe aux rendements plus élevés observés dans cette zone.

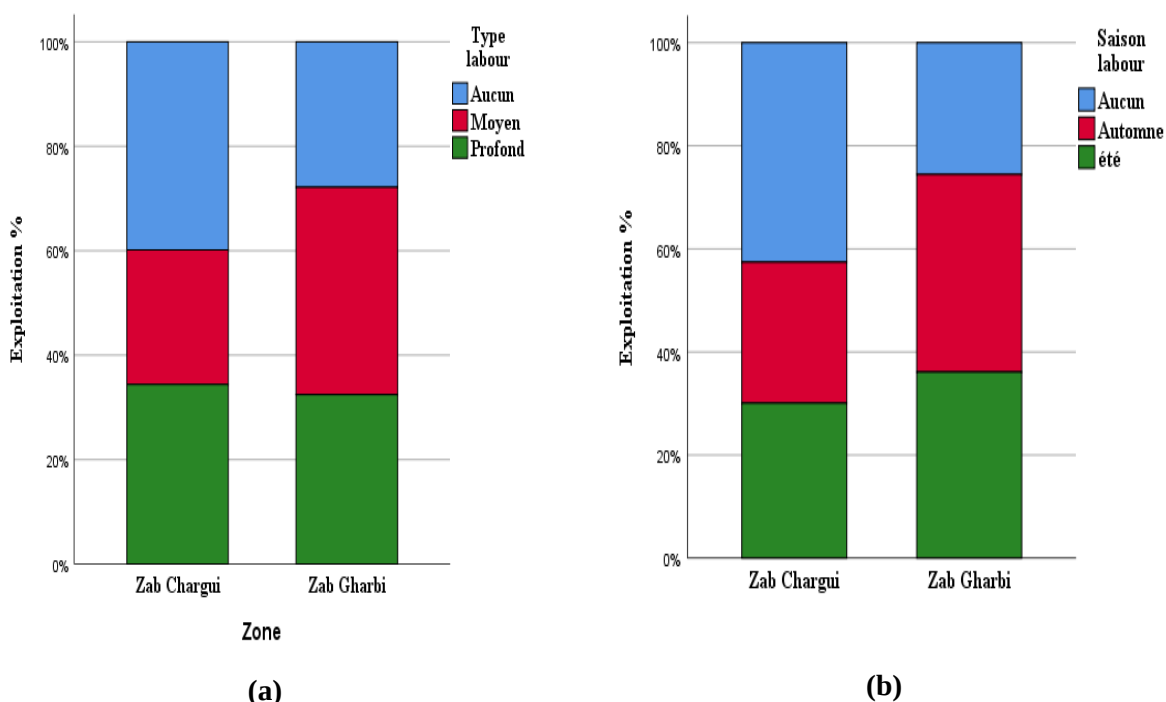


Figure 63: Répartition des types de labour pratiqués(a) et saison du labour(b)

5. 1. 4. 2. 6. Utilisation, destination et conservation

La destination de la production de luzerne diffère entre les deux zones (figure 64(a)). En Zab Chargui, la production est principalement orientée vers l'autoconsommation du troupeau (43,6 %), suivie de la vente (36,4 %) et de la double destination (vente + autoconsommation) (20,0 %). En Zab Gharbi, la double destination devient dominante (42,9 %), suivie de la vente (31,2 %) et de l'autoconsommation (26,0 %). Ces résultats confirment le rôle de la luzerne comme pilier de la sécurité fourragère et comme source de revenu complémentaire.

Les modes d'utilisation de la luzerne présentent également des différences entre les zones (figure 64(b)). En Zab Chargui, la luzerne est majoritairement utilisée à l'état vert (33,0 %), suivie de l'utilisation sous forme de foin fané (41,2 %) et de mélanges vert/fané (25,8 %). En Zab Gharbi, l'utilisation mixte est dominante (39,9 %), suivie de l'état vert (33,6 %) et du foin fané (26,6 %), traduisant une gestion plus flexible des ressources fourragères.

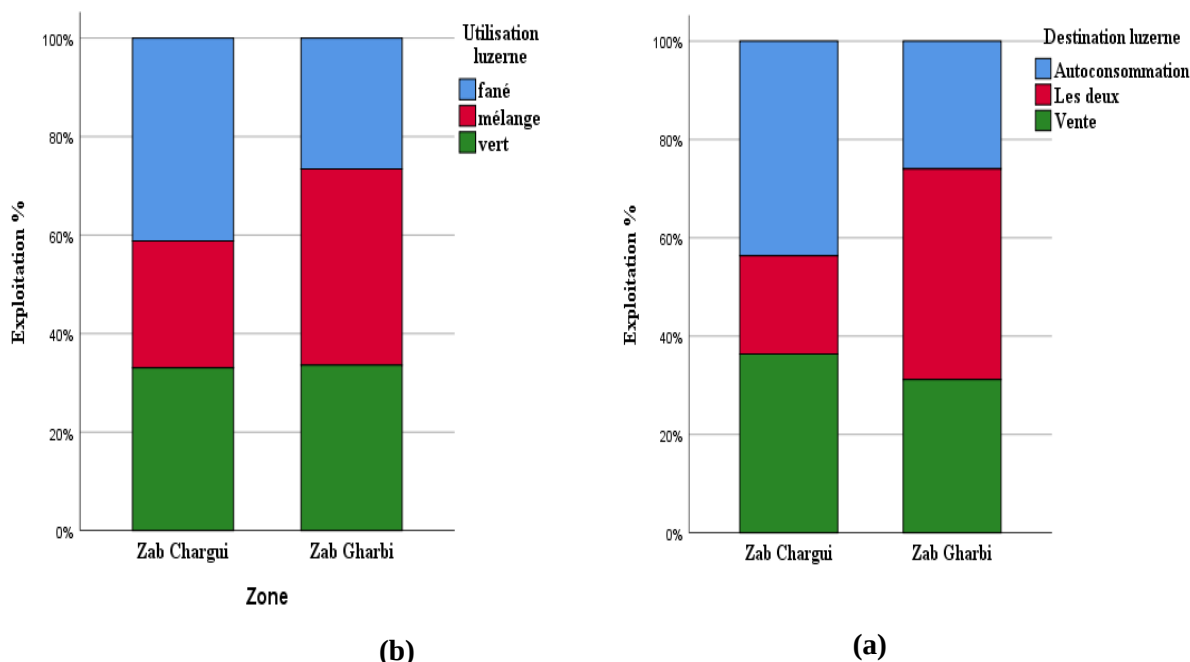


Figure 64 : Destination de la production (a) et modes d'utilisation (b)

La conservation des fourrages de luzerne demeure limitée dans les deux zones (figure 65). En Zab Chargui, 55 % des exploitants ne conservent pas les fourrages, contre 45 % qui pratiquent une forme de conservation. En Zab Gharbi, les proportions sont proches, avec 52 % de non-conservateurs et 48 % d'exploitants pratiquant la conservation. Lorsque la conservation est réalisée, elle repose exclusivement sur le séchage traditionnel conduisant à la production de foin tandis que l'ensilage est très rarement adopté. Ces pratiques restent limitées, ce qui réduit la sécurisation de l'alimentation animale en période de déficit fourrager.

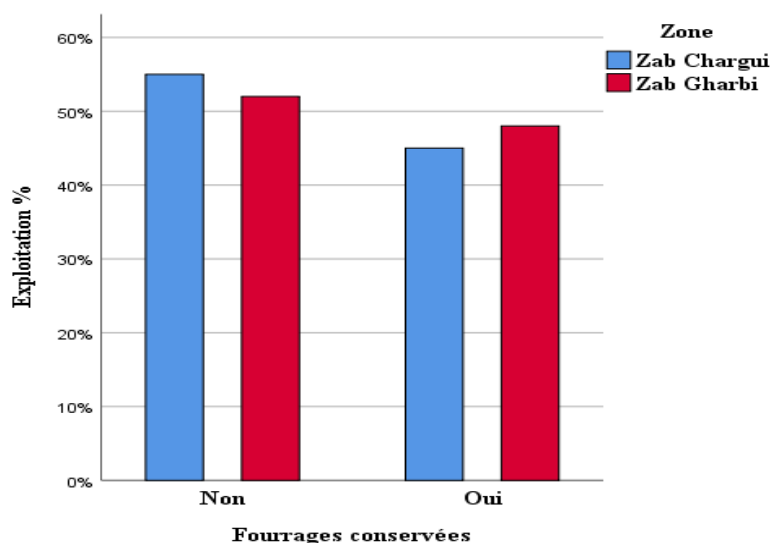


Figure 65: Conservation des fourrages de luzerne

5.1.4.3. Avoine (*Avena sativa* L.)

5. 1. 4. 3. 1. Superficie et rendement

Les superficies consacrées à l'avoine restent globalement modestes dans les deux zones étudiées (figure 66). En Zab Chergui, la superficie moyenne est de $1,10 \pm 0,5$ ha par exploitation, avec des valeurs comprises entre 0,5 et 2 ha ; ces surfaces s'écartent nettement de la moyenne, traduisant une forte hétérogénéité des parcelles. En Zab Gharbi, la superficie moyenne est légèrement supérieure ($1,49 \pm 0,5$ ha, avec des extrêmes de 0,5 à 2,5 ha) mais les surfaces restent plus proches de la moyenne, traduisant une relative homogénéité.

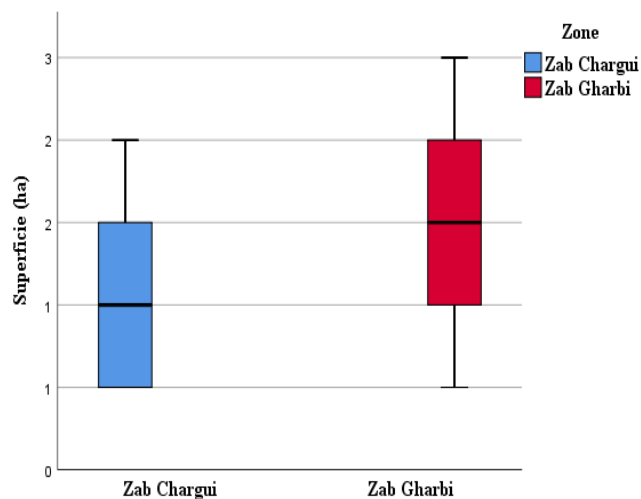


Figure 66 : Distribution de la superficie cultivée en avoine

Les rendements de l'avoine apparaissent relativement stables dans les deux zones étudiées (figure 67). Le rendement moyen est estimé à $27,22 \pm 4$ q/ha en Zab Chargui et à $32,5 \pm 4$ q/ha en Zab Gharbi, traduisant une performance légèrement supérieure dans cette dernière zone.

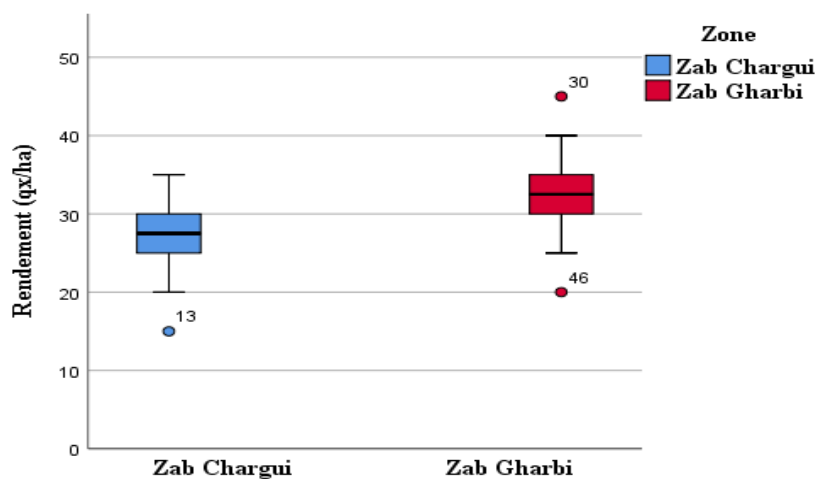


Figure 67: Distribution du rendement de l'avoine

5. 1. 4. 3. 2. Semis

Les origines des semences d'avoine diffèrent légèrement entre les deux zones étudiées (figure 68(a)). En Zab Chargui, les semences proviennent principalement de sources d'origine inconnue (61,4 %), suivies des semences internes à l'exploitation (21,9 %) et locales (16,6 %). En Zab Gharbi, les semences sont majoritairement locales (53,2 %) et internes (46,8 %), traduisant un circuit de reproduction et d'approvisionnement en semences bien maîtrisé, susceptible de favoriser une meilleure adaptation variétale aux conditions locales.

La saison de semis présente des contrastes marqués entre les deux zones (figure 68(b)). En Zab Chargui, l'hiver (de décembre à janvier) constitue la période de semis dominante (64,8 %), l'automne (de septembre à octobre) représentant 35,2 %. En revanche, en Zab Gharbi, l'automne est largement privilégié (58,5 %), l'hiver ne représentant que 41,5 %. Ce choix permet généralement une meilleure valorisation des pluies automnales, un allongement du cycle végétatif et, par conséquent, des rendements plus élevés.

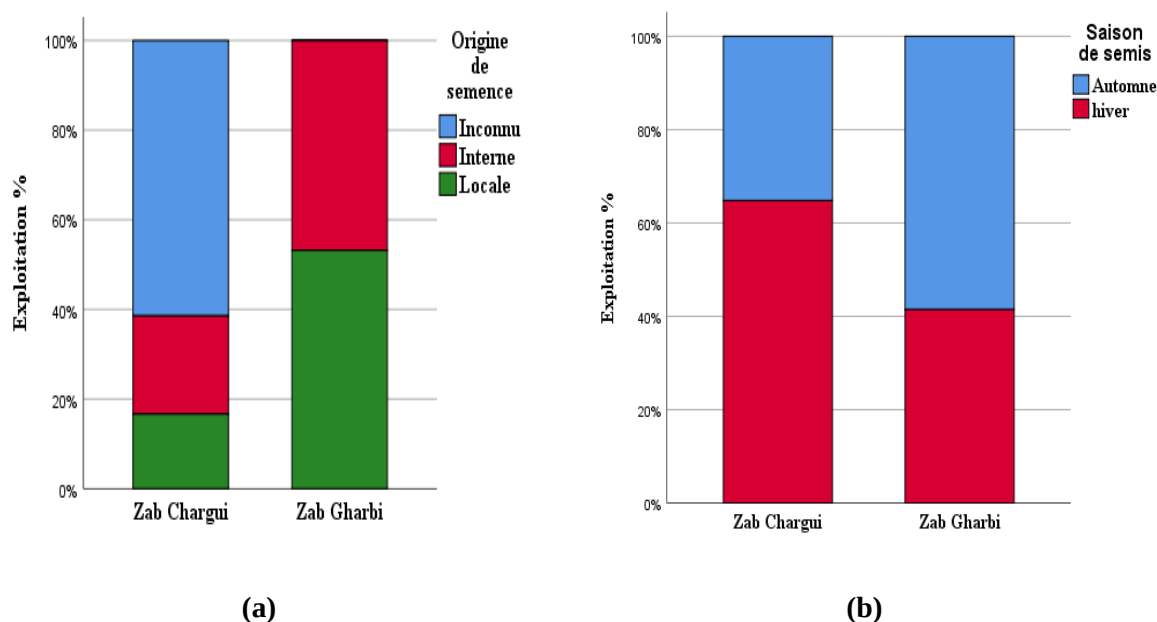


Figure 68: Origine des semences utilisées (a) et répartition des saisons de semis (b) de l'avoine

Le mode de semis reflète des niveaux de mécanisation différenciés (figure 69). En Zab Chargui, le semis est majoritairement réalisé à la volée (66,7 %), le recours au semoir restant limité (33,3 %). En Zab Gharbi, le semoir devient dominant (60,0 %), contre 40,0 % à la volée. Cette mécanisation plus avancée permet un meilleur contrôle de la densité de semis et une

implantation plus régulière de la culture, contribuant à la performance globale de l'avoine dans cette zone.

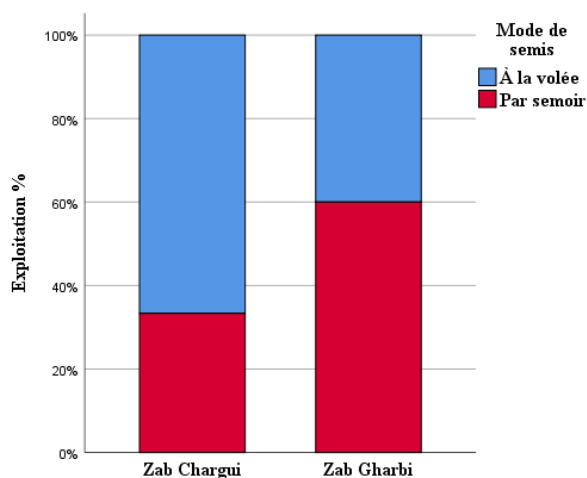


Figure 69 : Modes de semis de l'avoine adoptés par les exploitants

5. 1. 4. 3. 3. Fertilisation et l'irrigation

La nature de la fertilisation de l'avoine est dominée par le recours aux engrais chimiques dans les deux zones étudiées (figure 70(a)). En Zab Chargui, 58,8 % des exploitants utilisent des engrais chimiques, tandis que 41,2 % recourent à une fertilisation mixte. En Zab Gharbi, la fertilisation est plus diversifiée, avec une dominance de la fertilisation mixte (53,8 %) devant les engrais chimiques seuls (46,2 %).

Les types d'engrais minéraux employés diffèrent toutefois entre les zones (figure 70b). En Zab Chargui, l'urée (46 % N) représente 28,5 %, suivie de l'engrais ternaire NPK (15 % N – 15 % P₂O₅ – 15 % K₂O, azote sous forme nitrique et/ou ammoniacale) avec 25,7 %. En Zab Gharbi, les pratiques de fertilisation sont dominées par des associations d'urée (46 % N) avec des engrais binaires NP (15 % N – 15 % P₂O₅, azote sous forme nitrique et/ou ammoniacale) et des engrais ternaires NPK (15 % N – 15 % P₂O₅ – 15 % K₂O azote sous forme nitrique et/ou ammoniacale), chacune représentant 23,2 %.

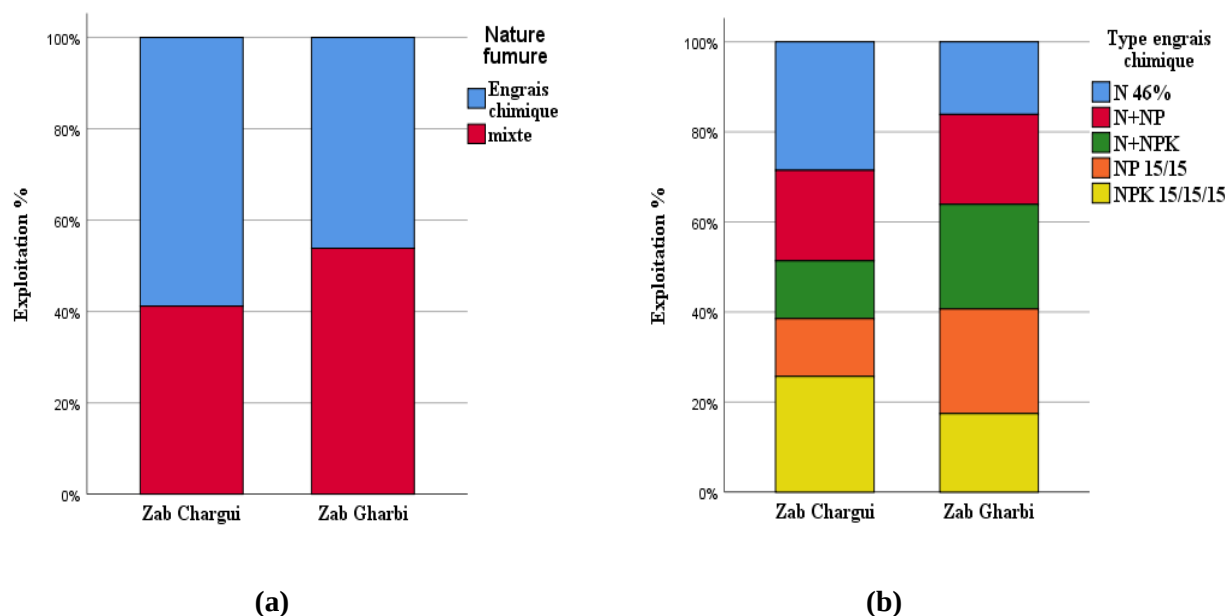
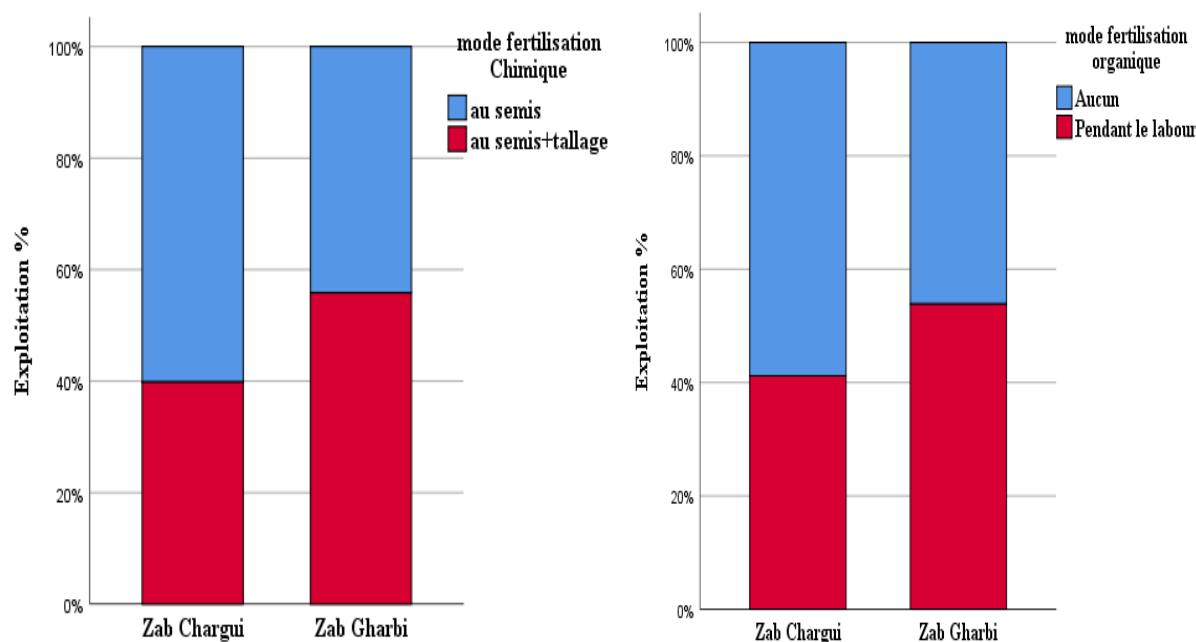


Figure 70: Nature de la fertilisation de l'avoine (a) et types d'engrais chimiques utilisés (b)

Le mode d'application de la fertilisation chimique est majoritairement fractionné au semis et au tallage dans les deux zones (figure 71(a)), avec une pratique plus marquée en Zab Gharbi (55,8 %) qu'en Zab Chargui (39,8 %). Les apports réalisés uniquement au semis restent plus fréquents en Zab Chargui (60,2 %) qu'en Zab Gharbi (44,2 %), suggérant une gestion moins étalée des apports azotés.

La fertilisation organique demeure globalement peu pratiquée (figure 71(b)). En Zab Chargui, 58,8 % des exploitants n'y ont pas recours, tandis que 41,2 % appliquent la fumure organique pendant le labour. En Zab Gharbi, la fumure organique est davantage intégrée, avec 53,8 % d'exploitants l'appliquant pendant le labour et 46,2 % n'y ayant pas recours. Cette pratique contribue ponctuellement à l'amélioration des propriétés physiques et biologiques du sol.

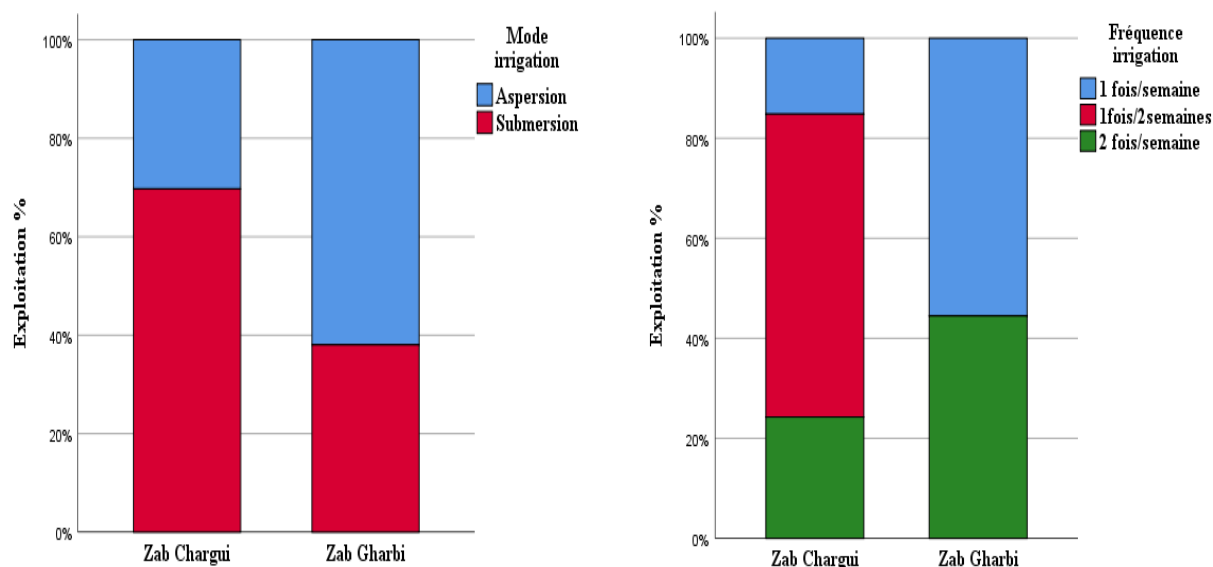


(a) (b)
Figure 71 : Modes d'application de la fertilisation chimique (a) et organique (b)

En Zab Chargui, l'avoine est irriguée principalement par submersion (69,7 %), l'aspersion représentant 30,3 % (figure 72(a)). En Zab Gharbi, la situation est inversée, avec 62 % des exploitants utilisant l'aspersion et 38 % la submersion, ce qui améliore l'efficacité de l'eau.

La fréquence d'irrigation diffère entre les deux zones (figure 72(b)). En Zab Chargui, l'irrigation une fois toutes les deux semaines domine (60,6 %). En Zab Gharbi, près de 48,8 % des exploitants irriguent deux fois par semaine, .

La qualité de l'eau d'irrigation diffère entre les deux zones (figure 73). En Zab Chargui, l'eau est salée (70 %) et peu salée (30 %). En Zab Gharbi, l'eau est douce (62 %) et peu salée (38 %). Cette situation traduit une meilleure qualité de l'eau en Zab Gharbi, favorable au développement des cultures fourragères. Ces catégories restent issues de la perception des agriculteurs et peuvent être rapprochées des classes de salinité de l'USSL (1954).



(a) (b)
Figure 72 : Modes d'irrigation (a) et fréquence d'irrigation (b)

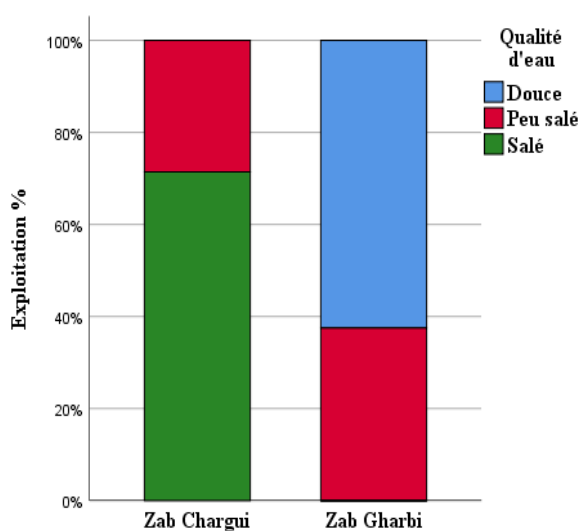


Figure 73 : Qualité de l'eau d'irrigation utilisée pour la culture de l'avoine

5. 1. 4. 3. 4. Précédent cultural et phytoprotection

Le recours aux traitements phytosanitaires pour la culture de l'avoine reste limité dans les deux zones étudiées (figure 74(a)). En Zab Chargui, 39 % des exploitants déclarent effectuer des traitements phytosanitaires, contre 61 % qui n'y ont pas recours. En Zab

Gharbi, la proportion d'exploitants traitant l'avoine est encore plus faible (33 %), tandis que 67 % ne réalisent aucun traitement, traduisant une pression phytosanitaire perçue comme modérée et un recours limité aux intrants chimiques.

Les précédents culturels de l'avoine présentent des différences marquées entre les deux zones (figure 74(b)). En Zab Chargui, l'avoine succède principalement à la luzerne (47,2 %), suivie de l'orge (40,6 %). En Zab Gharbi, les céréales constituent le précédent dominant (34,6 %), suivies de la jachère labourée, (38,8 %), reflète des stratégies de rotation différenciées, influençant la fertilité des sols et la gestion des bioagresseurs.

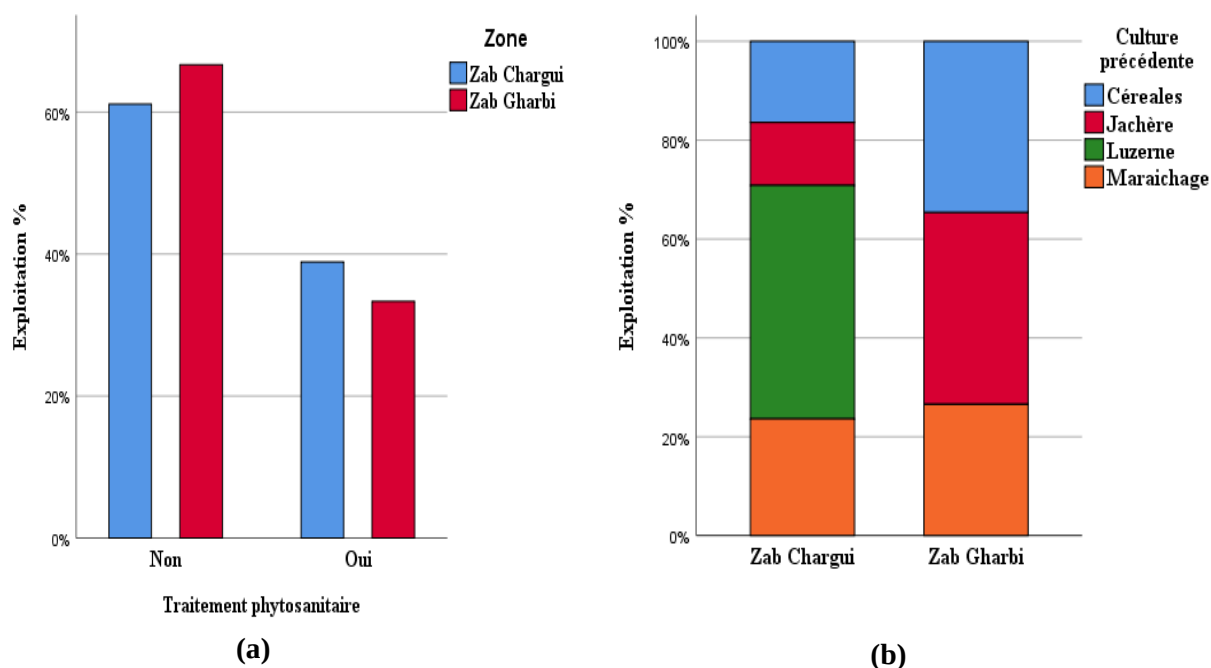


Figure 74 : Traitements phytosanitaires appliqués (a) et répartition des précédents culturels (b)

5. 1. 4. 3. 5. Travail du sol

Le type de labour appliqué à la culture de l'avoine varie entre les deux zones (figure 75(a)). En Zab Chargui, le labour moyen est dominant (62,6%). En Zab Gharbi, le labour profond est majoritaire (55,8 %), tandis que 44,2 % des exploitants ne pratiquent aucun labour. Cette configuration traduit des choix techniques contrastés en matière de préparation du sol. Le labour est réalisé à l'aide de charrues à versoir ou à disques tractées

par tracteur agricole permettant le retournement du sol à des profondeurs variables selon l'intensité du travail (superficiel, moyen ou profond).

La saison du labour présente également des différences entre les zones (figure 75(b)). En Zab Chargui, le labour est réalisé en été (35,3 %) et en automne (24,5 %). En Zab Gharbi, les labours sont davantage concentrés en automne (37,4 %) et en été (32,4 %). Cette organisation saisonnière contribue à une meilleure implantation de la culture et reflète un niveau d'intensification technique plus élevé en Zab Gharbi.

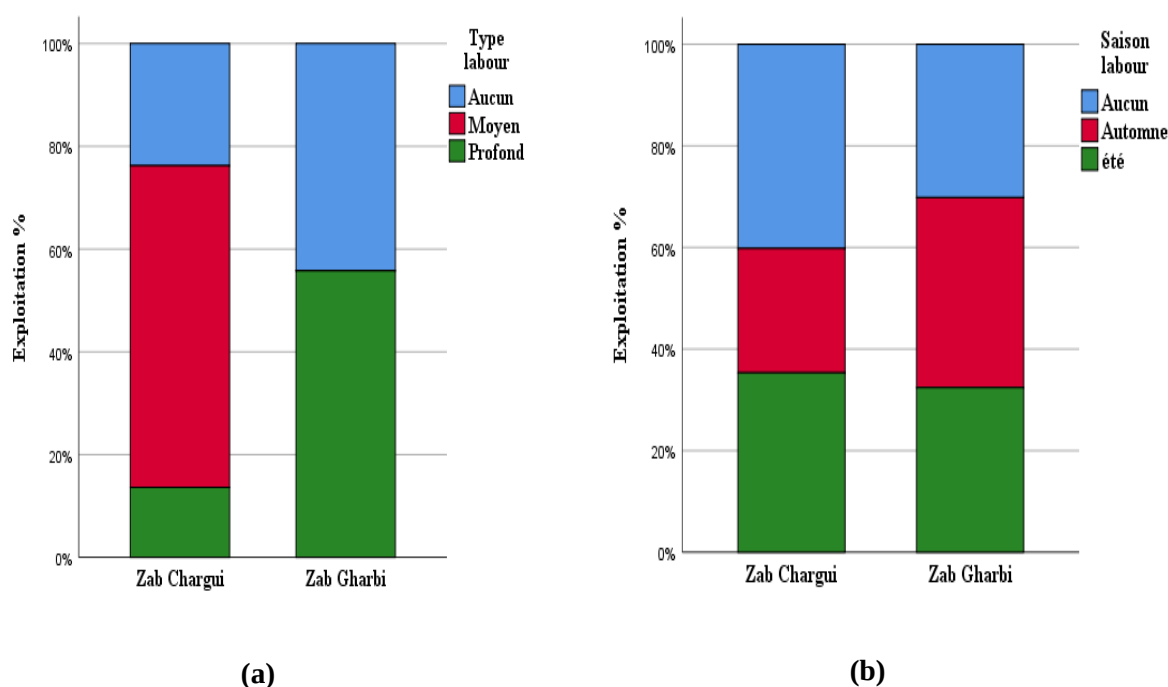


Figure 75 : Répartition des types de labour pratiqués (a) et saison du labour (b)

5. 1. 4. 3. 6. Utilisation, destination et conservation

La destination de la production d'avoine varie selon la zone (figure 76(a)). En Zab Chargui, la production est principalement destinée à la double destination (vente + autoconsommation) (60,6 %). En Zab Gharbi, la vente constitue la destination dominante (55,6 %), devant l'autoconsommation (44,4 %). Ces résultats montrent que l'avoine joue un rôle à la fois alimentaire et économique, avec une orientation plus marchande en Zab Gharbi.

Les modes d'utilisation du fourrage d'avoine diffèrent également entre les zones (figure 76(b)). En Zab Chargui, l'avoine est principalement utilisée sous forme de foin fané (42,5 %), suivie de l'utilisation à l'état vert (30,2 %). En Zab Gharbi, l'utilisation mixte est dominante (36,6 %), suivie de l'état vert (35,0 %) et du foin fané (28,4 %), traduisant une gestion plus flexible des ressources fourragères.

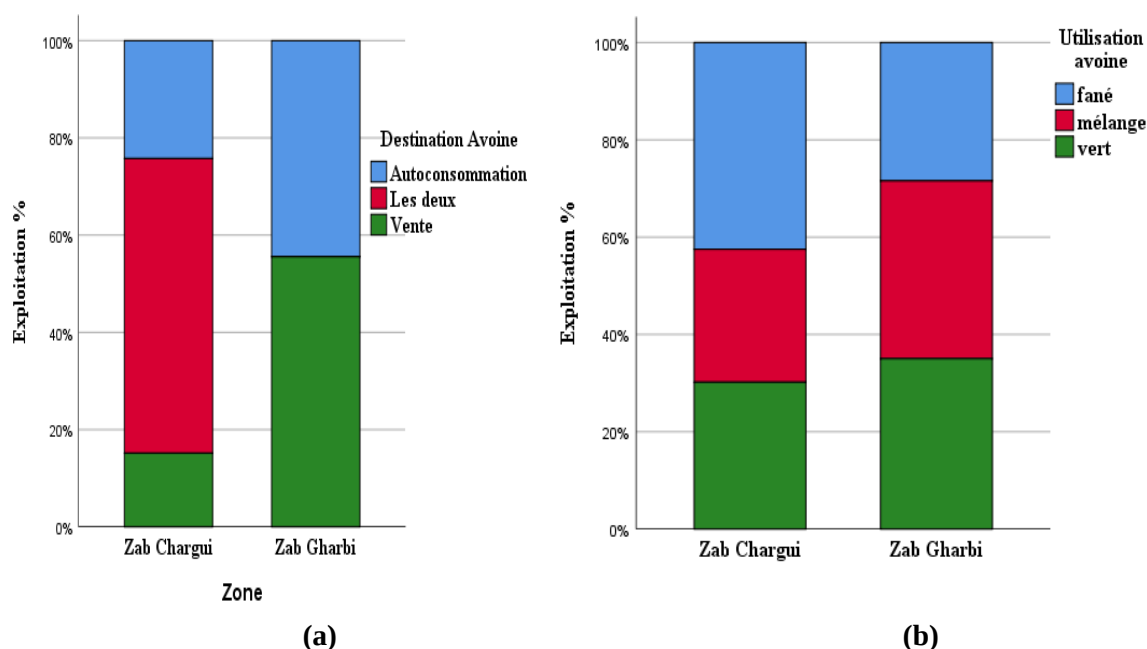


Figure 76 : Destination de la production (a) et modes d'utilisation (b)

La conservation des fourrages d'avoine demeure limitée dans les deux zones (figure 77). En Zab Chargui, 67 % des exploitants ne conservent pas les fourrages, contre 33 % qui pratiquent une forme de conservation. En Zab Gharbi, l'absence de conservation est encore plus marquée (75 %), la conservation ne concernant que 25 % des exploitations. Lorsque la conservation est pratiquée, elle repose essentiellement sur le séchage traditionnel conduisant à la production de foin tandis que l'ensilage est très rarement adopté. Ces pratiques restent

limitées, ce qui réduit la sécurisation de l'alimentation animale en période de déficit fourrager.

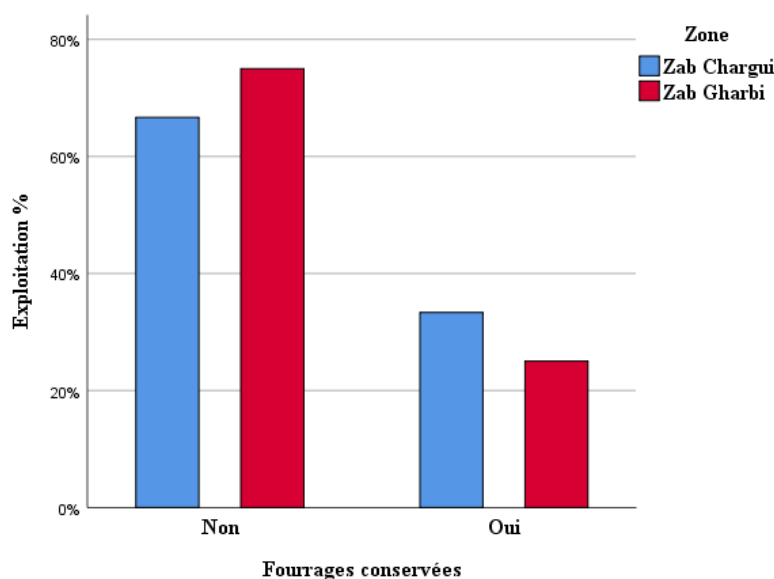


Figure 77: Conservation des fourrages issus de la culture de l'avoine

5.2 Analyse multivariée des systèmes fourragers

5. 2. 1 .Analyse des correspondances multiples (ACM)

Afin de caractériser les systèmes fourragers et d'explorer les relations entre les modalités des pratiques agricoles observées dans les zones de Zab Chargui et de Zab Gharbi, une Analyse des Correspondances Multiples (ACM) a été réalisée. Cette méthode d'analyse factorielle exploratoire permet d'étudier simultanément un ensemble de variables qualitatives et de mettre en évidence les structures sous-jacentes organisant la diversité des pratiques agricoles.

Les variables qualitatives actives retenues (tableau 21), issues du questionnaire d'enquête, ont été sélectionnées en fonction de leur pertinence agronomique et de leur variabilité au sein de l'échantillon, les modalités faiblement représentées ayant été regroupées ou éliminées. Ces variables participent directement à la construction des axes factoriels, dont l'interprétation repose sur l'analyse des valeurs propres et des contributions des modalités.

Le type de culture fourragère (orge, luzerne et avoine) a été introduit comme variable illustrative, projetée a posteriori afin d'appuyer l'interprétation des axes sans intervenir dans leur construction. Compte tenu de la répartition de l'inertie, seuls les axes F1 et F2 ont été retenus pour l'analyse, car ils

concentrent l'essentiel de l'information structurante relative aux pratiques agricoles et aux zones étudiées.

Tableau 21: Variables qualitatives et modalités retenues pour l'Analyse des Correspondances Multiples (ACM)

Type de variable	Variable	Code	Modalités
Variables actives	Origine de la semence	OS	Importée ; Locale ; Interne ; Inconnue
	Saison de semis	SS	Automne ; Hiver ; Printemps ; Été
	Mode de semis	MS	Par semoir ; À la volée
	Nature de la fumure	NF	Engrais chimique ; Engrais organique ; Engrais vert ; Mixte
	Mode de fertilisation chimique	MFC	Aucun ; Après semis ; Avant semis ; Entre les coupes ; Au semis ; Au semis + tallage
	Mode de fertilisation organique	MFO	Aucun ; Pendant le labour ; Après labour
	Mode d'irrigation	MI	Aspersion ; Submersion
	Subvention de l'État	SE	Aucun ; Irrigation ; Céréales + irrigation ; Engrais et céréales
	Structure cheptel	EA	Aucun ; Ovin ; Ovin + bovin ; Ovin + caprin
	Type de labour	TL	Aucun ; Moyen ; Profond
	Financement	FI	Autofinancement ; Crédit bancaire + autofinancement ; Subvention de l'État + autofinancement
Variable illustrative	Type de culture fourragère	TC	Avoine ; Luzerne ; Orge

L'Analyse des Correspondances Multiples réalisée dans le Zab Chargui met en évidence une structuration marquée des systèmes fourragers sur le plan factoriel F1–F2 (figure 78). Les axes F1 et F2 concentrent 70,26 % de l'inertie ajustée. L'axe F1 explique 43,62 % de l'inertie

ajustée et constitue la principale dimension de différenciation des pratiques, tandis que l'axe F2, avec 26,65 %, apporte une lecture complémentaire liée à l'organisation et au fonctionnement des systèmes fourragers.

Interprétation de l'axe F1

Axe F1 (côté positif)

Le côté positif de l'axe F1 est principalement structuré par la dominance de la luzerne (TC-Luzerne) comme culture fourragère, associée à une fertilisation organique (NF-Engrais organique) appliquée après le labour (MFO-Après labour), l'absence de fertilisation chimique (MFC-Aucun) étant compensée par ces apports organiques. Il se caractérise également par une irrigation par aspersion (MI-Aspersion), un travail du sol profond (TL-Profond) et le recours à des semences importées (OS-Importée). Ce profil technique est renforcé par un financement reposant sur les subventions de l'État liées aux engrais et aux céréales (FI-subvention de l'État + autofinancement ; SE-Engrais et céréales), par la présence d'un cheptel mixte ovin-bovin (EA-Ovin + Bovin) et par des semis réalisés au printemps (SS-Printemps). L'ensemble de ces modalités traduit des systèmes fourragers intensifiés, intégrant culture et élevage, et engagés dans une logique de modernisation technique.

Axe F1 (côté négatif)

Le côté négatif de l'axe F1 est structuré par la présence dominante des cultures annuelles, notamment l'orge et l'avoine (TC-Orge et TC-Avoine), associées à une fertilisation chimique (NF-Engrais chimique) concentrée au semis (MFC-au semis). Un travail du sol superficiel ou inexistant (TL-Aucun) et un semis majoritairement réalisé en hiver (SS-hiver) traduisent des pratiques culturales peu intensifiées. Le recours à un financement par crédit bancaire associé à l'autofinancement (FI-Crédit bancaire + autofinancement), l'absence de subvention (SE-Aucun), une origine incertaine des semences (OS-Inconnu) et la présence d'un cheptel réduit ou absent (EA-Aucun) renforcent ce profil extensif. L'ensemble de ces modalités caractérise des systèmes à faible niveau d'intensification technique, à orientation céréalière, fortement dépendants des conditions climatiques et de la disponibilité saisonnière des ressources.

Axe F2 (côté positif)

Le côté positif de l'axe F2 regroupe des modalités traduisant une intervention technique faible et concentrée sur la saison chaude, associée à la luzerne (TC-Luzerne) comme culture fourragère dominante. Il se caractérise par des semis d'été (SS-Été), l'absence de fertilisation (NF-Aucun) et de fertilisation chimique (MFC-Aucun), un semis réalisé à la volée (MS-À la volée), une irrigation espacée (FIR-1 fois/2 semaines) et le recours aux subventions de l'État (SE-Engrais et céréales). La présence d'un cheptel mixte ovin-bovin (EA-Ovin + Bovin) accompagne ce profil. L'ensemble de ces modalités traduit des systèmes reposant sur une gestion souple des intrants, avec une concentration des interventions sur la période estivale.

Axe F2 (côté négatif)

Le côté négatif de l'axe F2 est structuré par un itinéraire technique mécanisé et intensif, associé aux cultures annuelles, l'orge et l'avoine (TC-Orge et TC-Avoine). Il est dominé par un semis mécanisé au semoir (MS-Par semoir), une fertilisation chimique concentrée au semis et associée au tallage (MFC-au semis+tallage), une fumure organique appliquée pendant le labour (MFO-Pendant le labour) ou de type mixte (NF-mixte), et une irrigation par aspersion (MI-Aspersion). Il est également marqué par des semis d'automne (SS-Automne) et par des semences d'origine locale (OS-Locale). Ces modalités correspondent à des systèmes au calendrier d'intervention concentré sur l'automne, reposant sur une mécanisation et une fréquence d'irrigation plus élevées.

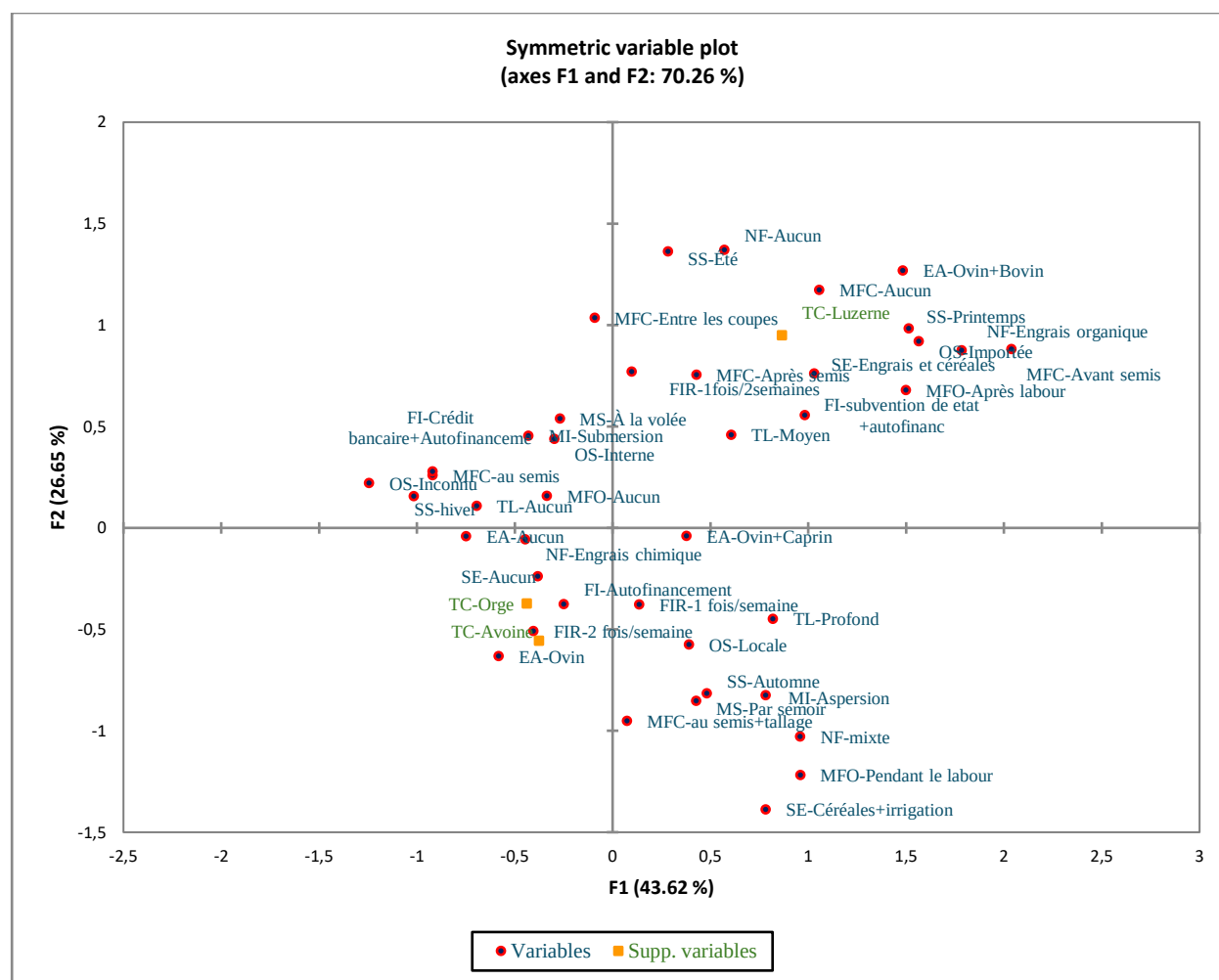


Figure 78 : Plan factoriel F1–F2 de l’ACM des systèmes fourragers du Zab Chargui

L’Analyse des Correspondances Multiples réalisée dans le Zab Gharbi met en évidence une structuration factorielle marquée des systèmes fourragers sur le plan factoriel F1–F2 (figure 79). Les deux premiers axes expliquent 71,07 % de l’inertie ajustée. L’axe F1 concentre 49,09 % de l’inertie ajustée et constitue la dimension principale de différenciation des pratiques, tandis que l’axe F2, avec 21,98 %, apporte une lecture complémentaire liée à l’organisation et au fonctionnement des systèmes fourragers dans cette zone.

Axe F1 (côté positif)

Le côté positif de l’axe F1 regroupe des modalités correspondant à des systèmes simples ou extensifs, à orientation céréalière, caractérisés par une gestion prudente des intrants. Il est associé aux cultures annuelles, l’orge et l’avoine (TC-Orge et TC-Avoine), à une fertilisation

chimique (NF-Engrais chimique), à un semis d'hiver (SS-hiver) et à une irrigation par submersion (MI-Submersion). Il se caractérise également par un semis réalisé à la volée (MS-À la volée), des semences d'origine interne (OS-Interne), un travail du sol superficiel ou inexistant (TL-Aucun), l'absence de fumure organique (MFO-Aucun) et une structure de cheptel réduite ou absente (EA-Aucun). Ces modalités traduisent des systèmes reposant sur des pratiques culturales peu intensifiées, privilégiant des stratégies extensives adaptées aux sols sableux, avec une limitation des investissements techniques afin de réduire les risques liés aux contraintes environnementales.

Axe F1 (côté négatif)

À l'inverse, le côté négatif de l'axe F1 est structuré par des modalités traduisant des systèmes intégrés et intensifiés, associant production fourragère et élevage. Il est principalement associé à la luzerne comme culture fourragère dominante (TC-Luzerne) et à un cheptel mixte ovin-bovin (EA-Ovin + Bovin), à une fertilisation mixte (NF-mixte) appliquée pendant le labour (MFO-Pendant le labour), ainsi qu'à une subvention de l'État destinée à l'irrigation (SE-Irrigation) et à une irrigation par aspersion (MI-Aspersion). Il se caractérise également par un semis mécanisé au semoir (MS-Par semoir), un travail du sol profond (TL-Profond), le recours à des semences importées (OS-Importée), des semences locales (OS-Locale), un semis d'automne (SS-Automne) et un financement combinant crédit bancaire et autofinancement (FI-Crédit bancaire + autofinancement). L'ensemble de ces modalités traduit des systèmes engagés dans une logique de sécurisation de la production fourragère, d'optimisation des rendements et de modernisation technique.

Axe F2 (côté positif)

Le côté positif de l'axe F2 regroupe des modalités traduisant un système fourrager diversifié, dominé par la luzerne (TC-Luzerne). Il est associé à une fumure organique appliquée après le labour (MFO-Après labour), à une fertilisation organique (NF-Engrais organique), à l'absence de fertilisation chimique (MFC-Aucun), ainsi qu'à une subvention de l'État destinée à l'irrigation (SE-Irrigation), à des semences importées (OS-Importée) et à un semis de printemps (SS-Printemps). Le recours à un financement combinant crédit bancaire et autofinancement (FI-Crédit bancaire + autofinancement), à un travail du sol moyen (TL-Moyen) et à un semis à la

volée (MS-À la volée) complète ce profil. L'ensemble de ces modalités correspond à des systèmes fourragers caractérisés par une gestion continue des ressources et une bonne articulation entre cultures et fertilisation organique.

Axe F2 (côté négatif)

Le côté négatif de l'axe F2 est structuré par des modalités associées à un système céréalier conventionnel, dominé par les cultures annuelles, l'orge et l'avoine (TC-Orge et TC-Avoine). Il est marqué par une fertilisation chimique concentrée au semis et associée au tallage (MFC-au semis+tallage), par des semences d'origine locale (OS-Locale) et par des semis d'automne (SS-Automne). Le semis mécanisé au semoir (MS-Par semoir), le recours exclusif à l'autofinancement (FI-Autofinancement), l'absence de subvention (SE-Aucun) et un cheptel ovin (EA-Ovin) renforcent ce profil. Ces modalités traduisent des systèmes au calendrier d'intervention concentré sur l'automne, reposant sur une gestion ponctuelle des intrants.

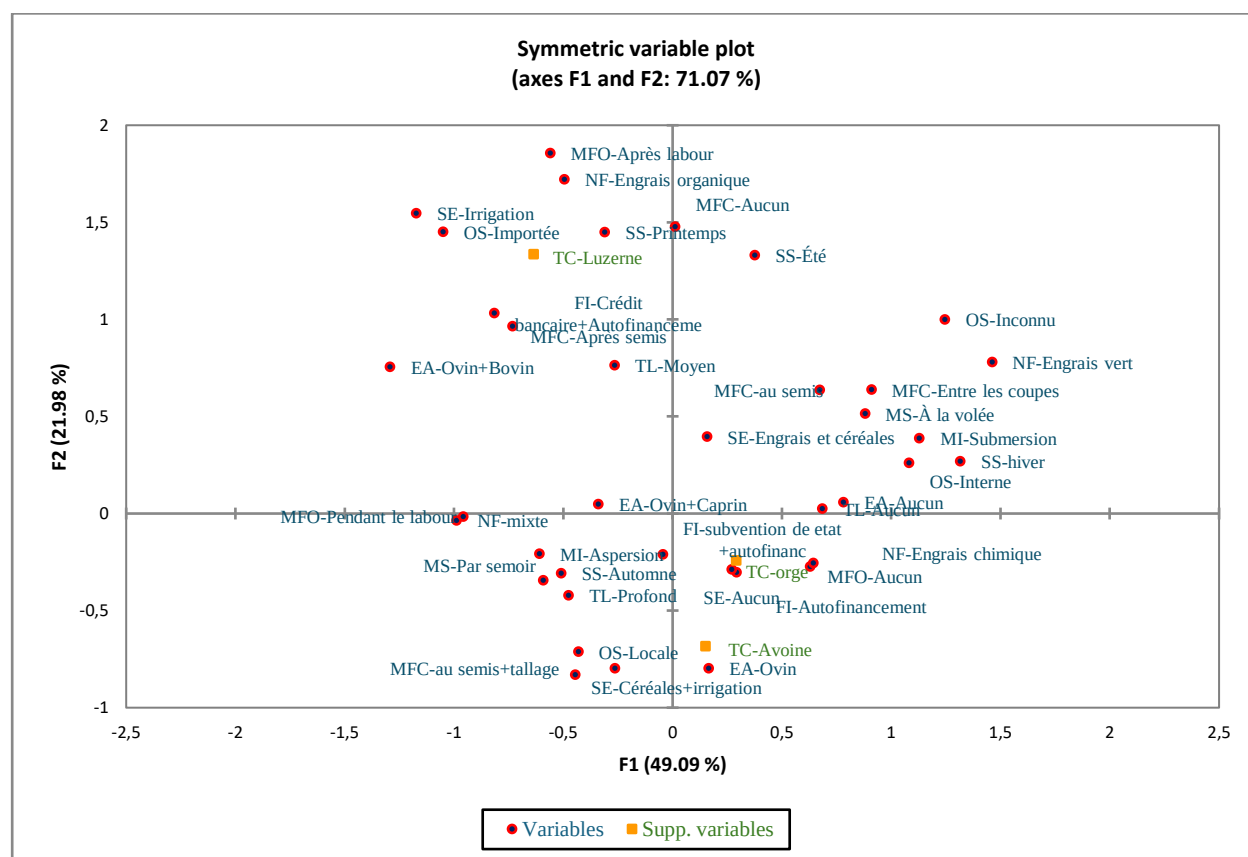


Figure 79 : Plan factoriel F1–F2 de l’ACM des systèmes fourragers du Zab Gharbi

5.3 Discussion des résultats de l'enquête

5.3.1 Profil des exploitants

Dans le Zab Chargui, les exploitants sont majoritairement caractérisés par un âge mûr et une expérience professionnelle élevée, ce qui leur confère une bonne connaissance empirique du milieu. Cette expérience constitue un facteur favorable pour faire face aux contraintes hydriques marquées, notamment la profondeur et la salinité de la nappe, mais elle s'accompagne d'une forte dépendance aux savoirs empiriques. Cette situation limite l'adoption de techniques modernes pour les principales cultures fourragères (orge, luzerne et avoine). La faible adhésion aux associations agricoles et la participation limitée aux manifestations techniques traduisent une faible dynamique collective, freinant la diffusion et l'appropriation des innovations culturelles.

À l'inverse, dans le Zab Gharbi, les exploitants présentent un niveau d'instruction légèrement plus élevé et une diversification plus marquée des formes de formation agricole, incluant des ateliers pratiques et des cours en ligne. Cette situation favorise une meilleure intégration institutionnelle, à travers une adhésion plus élevée à la chambre agricole, facilitant l'accès à l'information technique pour l'orge, la luzerne et l'avoine. Toutefois, la participation encore limitée aux associations agricoles demeure un obstacle à la mutualisation des expériences et à la diffusion collective des pratiques les plus performantes.

5.3.2 Structure et fonctionnement des exploitations

Dans le Zab Chargui, la prédominance de l'héritage foncier, combinée aux contraintes hydrogéologiques, impose des coûts de pompage élevés. Cette situation explique le recours majoritaire à l'irrigation par submersion pour l'orge, la luzerne et l'avoine, ainsi qu'un niveau de mécanisation relativement faible. La dépendance aux subventions ciblées (engrais et céréales) et l'orientation prioritaire des revenus agricoles vers les dépenses sociales traduisent des marges de manœuvre économiques limitées, réduisant les possibilités d'investissement dans la conservation des fourrages ou l'intégration de la fumure organique.

Dans le Zab Gharbi, l'achat foncier plus fréquent, associé à une nappe moins profonde et à une meilleure qualité de l'eau, favorise l'adoption de l'aspersion pour les trois cultures fourragères. Cette configuration facilite également une mécanisation plus avancée, illustrée par l'usage plus fréquent du semoir. Le recours accru au crédit bancaire et le réinvestissement d'une part importante des revenus

agricoles soutiennent une intensification modérée, particulièrement visible dans les rendements plus élevés de la luzerne et l'orientation mixte des productions (vente et autoconsommation).

5. 3. 3 .Pratiques culturales spécifiques

Pour l'orge dans le Zab Chargui, l'utilisation fréquente de semences d'origine inconnue, le semis à la volée et une fertilisation chimique concentrée au semis traduisent des pratiques extensives adaptées aux contraintes hydriques mais limitant le potentiel de rendement. L'absence récurrente de fumure organique et de conservation des fourrages accentue la dépendance saisonnière de l'alimentation des cheptels ovins et caprins dominants.

Dans le Zab Gharbi, l'orge bénéficie de semences internes ou locales mieux maîtrisées, d'un semis au semoir et d'une fertilisation plus diversifiée, combinant intrants chimiques et organiques. L'aspersion et une mode d'irrigation plus soutenue expliquent des rendements supérieurs, tandis que la double destination des productions renforce la sécurité économique des élevages ovins-bovins.

La luzerne dans le Zab Chargui est caractérisée par des superficies modestes, une irrigation par submersion dominante et un faible recours à la fumure organique, ce qui limite l'expression de son potentiel fourrager. Les rotations extensives, souvent dominées par la jachère, et l'absence fréquente de labour traduisent une gestion opportuniste, peu compatible avec les exigences hydriques et nutritionnelles de cette culture pérenne.

À l'inverse, dans le Zab Gharbi, les superficies et les rendements de la luzerne sont plus élevés. L'utilisation de semences importées, l'aspersion quasi généralisée, la fertilisation mixte et des rotations diversifiées expliquent la place centrale de cette culture dans la sécurité fourragère des cheptels mixtes.

Pour l'avoine, le Zab Chargui se caractérise par des pratiques extensives (semences d'origine inconnue, semis manuel, irrigation espacée), conférant à cette culture un rôle secondaire et complémentaire dans l'assolement. Dans le Zab Gharbi, l'avoine bénéficie d'une meilleure maîtrise des semences, d'un semoir plus fréquent et de l'aspersion, permettant des rendements modestes mais plus stables, tout en contribuant à l'équilibre des rotations culturales.

5.3.4 Typologie des systèmes fourragers

Dans le Zab Chargui, deux profils se distinguent : d'une part, des systèmes intensifiés encore rares, centrés sur la luzerne, l'aspersion occasionnelle et des cheptels mixtes ; d'autre part, des systèmes extensifs majoritaires, dominés par l'orge et l'avoine, la submersion, l'autofinancement et un faible niveau d'intrants. Cette dualité reflète les contraintes hydriques structurelles et limite la professionnalisation des pratiques culturales.

Dans le Zab Gharbi, les profils sont plus diversifiés et dominés par des systèmes modernisés, caractérisés par une luzerne centrale, l'aspersion, la fertilisation mixte et l'accès au crédit et aux subventions. Les systèmes extensifs subsistent, mais demeurent minoritaires, traduisant une transition plus avancée vers l'intensification des pratiques agricoles, soutenue par des conditions hydrogéologiques plus favorables.

5.3.5 Déterminants de la performance fourragère

La disponibilité et la qualité de l'eau apparaissent comme le principal facteur différenciateur entre les deux zones. Une nappe profonde et salée conduit à la submersion et à des rendements limités dans le Zab Chargui, tandis qu'une nappe plus accessible et une eau de meilleure qualité favorisent l'aspersion et une productivité accrue dans le Zab Gharbi, en particulier pour la luzerne et l'orge.

Le mode de financement structure également les trajectoires des exploitations : subventions ciblées mais réinvestissement limité dans le Zab Chargui, contre crédit bancaire et autofinancement soutenant la mécanisation et la fertilisation dans le Zab Gharbi. Enfin, une intégration renforcée cultures-élevage, associée à des cheptels plus importants et à une luzerne bien développée, contribue à la résilience des systèmes du Zab Gharbi, tandis que le Zab Chargui reste plus dépendant des cultures céréalières saisonnières.

5.4 . Relations sol-plante-fourrage

5.4.1 . Caractéristiques physico-chimiques des sols

5.4.1.1. Texture et propriétés physiques

L'analyse granulométrique révèle une différenciation texturale marquée entre les sols de Zab Chergui et de Zab Gharbi, traduisant une forte hétérogénéité pédologique aux Ziban.

Les sols de Zab Chergui présentent une texture globalement plus fine, dominée par le limon ($37,09 \pm 4,49$ %) et une teneur notable en argile ($13,21 \pm 3,04$ %), tandis que la fraction sableuse reste

modérée (Tableau 22). Cette organisation texturale est étroitement liée à la position du Zab Chergui dans les plaines alluviales quaternaires du bassin endoréique du Chott Melghir, où la faible pente et la faible énergie hydrodynamique favorisent la décantation et l'accumulation des particules fines transportées par les oueds aursiens (Sedrati, 2011 ; Masmoudi, 2012).

À l'inverse, les sols de Zab Gharbi se caractérisent par une texture plus grossière, dominée par le sable ($64,82 \pm 9,12$ %), associée à des teneurs plus faibles en limon et en argile (Tableau 21). Cette texture s'explique par la localisation du Zab Gharbi sur des glacis d'accumulation et piémonts issus des reliefs de l'Atlas saharien, dominés par des matériaux parentaux grossiers, ainsi que par l'influence conjointe des dépôts alluviaux proximaux, des processus éoliens et d'une pédogenèse peu évoluée en climat saharien aride (Benounas & Chaib, 2007 ; Sedrati, 2011 ; Brady & Weil, 2017).

Les différences observées entre Zab Chergui et Zab Gharbi pour l'ensemble des fractions granulométriques sont hautement significatives ($p < 0,001$), confirmant l'existence de deux ensembles pédologiques distincts au sein des Ziban (Tableau 21).

Selon la classification texturale de l'USDA , les sols de Zab Chergui se répartissent majoritairement dans les classes limon, tandis que ceux de Zab Gharbi appartiennent principalement aux classes limono-sableuses. Cette classification, fondée sur les proportions relatives de sable, limon et argile, permet une lecture fonctionnelle des sols en lien avec leur comportement hydrique et leur aptitude agronomique

Les sols à texture plus fine de Zab Chergui, riches en limon et en argile, présentent une capacité de rétention en eau plus élevée, une meilleure efficacité de l'irrigation et une rétention accrue des éléments fertilisants, notamment l'azote et le potassium, favorisant ainsi une productivité agricole plus stable en conditions arides (Wang *et al.*, 2022).

À l'inverse, les sols à dominante sableuse, caractérisés par un drainage rapide et une faible capacité de stockage de l'eau, sont plus exposés aux pertes par lixiviation, ce qui réduit l'efficacité d'utilisation des engrais et accroît la vulnérabilité des cultures au stress hydrique, en particulier sous climat aride ou semi-aride (Nabayi *et al.*, 2023).

Ainsi, la texture du sol apparaît comme un facteur déterminant de la variabilité pédologique et agronomique des sols des Ziban, jouant un rôle central dans la différenciation spatiale des potentialités agricoles entre Zab Chergui et Zab Gharbi.

Tableau 22. Granulométrie des sols des deux zones

Paramètre	Zab Chergui	Zab Gharbi	<i>p-value</i> (Mann–Whitney)
Argile (%)	13,21 ± 3,04	8,17 ± 3,08	< 0,001
Limon (%)	37,09 ± 4,49	27,01 ± 7,33	< 0,001
Sable (%)	49,70 ± 5,11	64,82 ± 9,12	< 0,001

5.4.1.2. Matière organique, carbone et azote

Les teneurs en matière organique (MO), en carbone organique (C) et en azote total (N) des sols cultivés varient de manière significative entre les deux sous-régions des Ziban (Tableau 23 ; Figure 80). Les sols cultivés de Zab Chergui présentent des valeurs moyennes plus élevées en matière organique ($1,537 \pm 0,337$ %) et en carbone organique ($0,885 \pm 0,192$ %) que ceux de Zab Gharbi, où les teneurs observées demeurent plus faibles ($1,078 \pm 0,477$ % pour la MO et $0,633 \pm 0,284$ % pour le carbone). L'azote total montre également des niveaux supérieurs en Zab Chergui ($0,087 \pm 0,027$ %) par rapport au Zab Gharbi ($0,060 \pm 0,013$) (Tableau 23).

Les teneurs plus élevées en MO, C et N observées dans les sols de Zab Chergui traduisent une capacité accrue de conservation de la matière organique malgré les contraintes du climat aride. Cette aptitude est étroitement liée à la texture plus fine, qui favorisent la protection de la matière organique par association avec les fractions limoneuses et argileuses, ces mécanismes contribuent à ralentir la minéralisation et à limiter les pertes par lixiviation, permettant le maintien de stocks organiques plus élevés dans les horizons de surface. Selon Voltr *et al.* (2021), la matière organique du sol joue un rôle déterminant dans l'amélioration de la structuration, de la rétention en eau et de la disponibilité des éléments nutritifs, en particulier dans les sols cultivés soumis à des contraintes environnementales marquées.

À l'inverse, les sols cultivés de Zab Gharbi, caractérisés par une texture plus sableuse, présentent une capacité limitée de stabilisation de la matière organique. Sous l'effet combiné des pratiques culturales, du drainage rapide et des températures élevées, la minéralisation de la matière organique y est plus active, ce qui restreint le stockage du carbone et de l'azote et accentue les pertes nutritives. Selon Campos *et al.* (2020), dans les sols sableux cultivés des régions arides et semi-arides, la faible capacité d'échange et la stabilisation insuffisante de la matière organique limitent durablement l'accumulation du carbone et de l'azote.

Tableau 23. Teneurs en azote total, carbone et matière organique des sols des deux zones

Paramètre	Zab Chergui	Zab Gharbi	p-value (Mann–Whitney)
Azote total (%)	0,087 ± 0,027	0,060 ± 0,013	< 0,001
Carbone organique (%)	0,885 ± 0,192	0,633 ± 0,284	< 0,001
Matière organique (%)	1,537 ± 0,337	1,078 ± 0,477	< 0,001

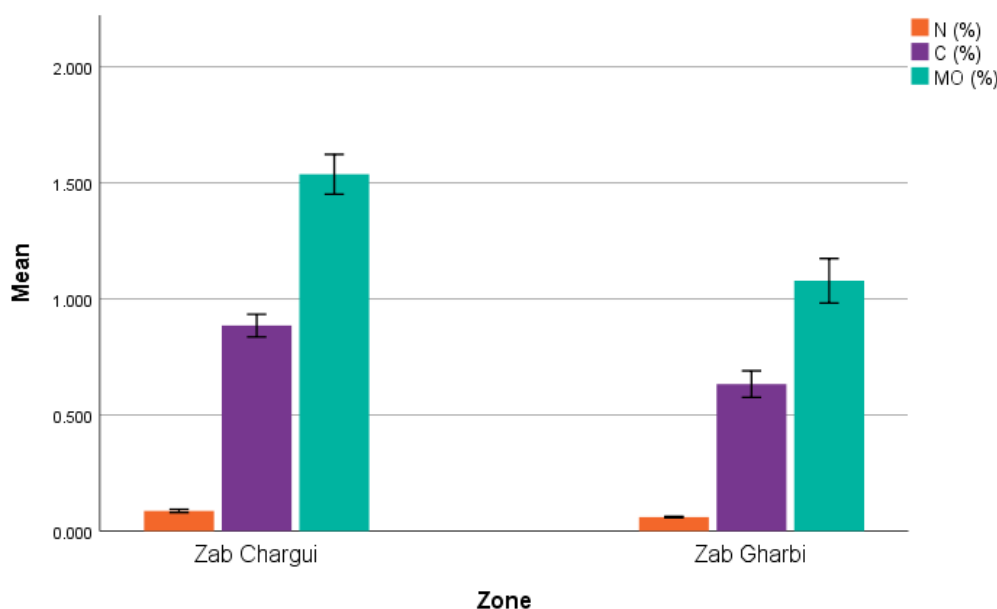


Figure 80 : Distribution de la matière organique, du carbone organique et de l'azote total des Ziban

5.4.1.3. Salinité et conductivité électrique

La conductivité électrique (CE) des sols cultivés met en évidence des contrastes entre les deux sous-régions (Tableau 24 ; Figure 81). Les sols de Zab Chergui présentent une valeur moyenne de $2,76 \pm 0,72$ dS/m, avec des maxima atteignant 4,62 dS/m. Selon Aubert (1986), une CE les sols de Zab Chergui dans une classe de salinité modérée à élevée .

À l'inverse, les sols de Zab Gharbi affichent une valeur moyenne de CE de $1,61 \pm 0,49$ dS/m. Selon la classification d'Aubert (1983), correspondent à des sols non salins à faiblement salins,.

Dans le Zab Chergui, la salinité des sols cultivés est principalement liée à l'irrigation par des eaux souterraines fortement minéralisées issues du Complexe Terminal et, localement, du Continental Intercalaire. Cette situation, combinée à un drainage limité, une évaporation intense et la proximité du Chott Melghir, favorise la remontée capillaire et l'accumulation des sels dans les horizons superficiels. La salinisation peut être renforcée par les pratiques agricoles, notamment les apports d'engrais minéraux et l'intensité et la mode de l'irrigation.

À l'inverse, dans le Zab Gharbi, l'irrigation repose principalement sur la nappe phréatique quaternaire et le Complexe Terminal, auxquels s'ajoute ponctuellement le Continental Intercalaire. Les eaux souterraines y sont globalement moins minéralisées, et la texture plus sableuse favorise la percolation de l'eau et le lessivage partiel des sels, limitant l'intensité de la salinisation, bien que processus de salinisation secondaire puissent apparaître sous l'effet de l'irrigation prolongée et de l'évaporation. (Sedrati, 2011 ; Masmoudi, 2012 ; Rechachi, 2017 ; Mancerc, 2019).

La salinité des sols cultivés, en particulier dans les systèmes irrigués, entraîne une réduction de la productivité végétale par l'augmentation du stress osmotique, la perturbation de l'équilibre ionique et la dégradation progressive de la fertilité du sol (Hailu & Mehari, 2021 ;Demo *et al.*, 2025).

Tableau 24. Conductivité électrique des sols Ziban

Paramètre	Zab Chergui	Zab Gharbi	p-value (Mann–Whitney)
CE (dS/m)	$2,76 \pm 0,72$	$1,61 \pm 0,49$	< 0,001

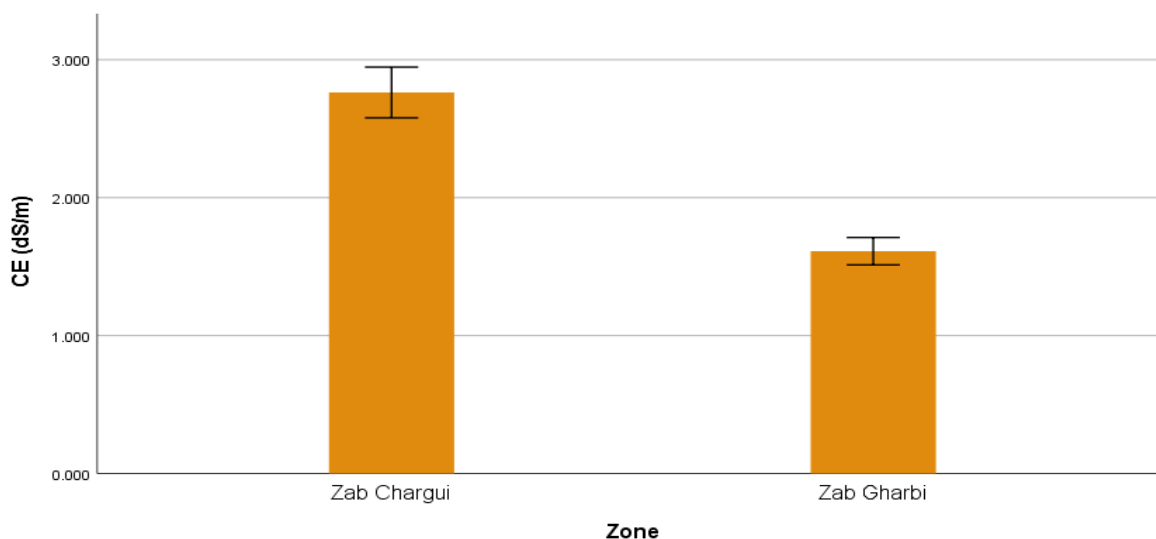


Figure 81 :Conductivité électrique des sols Ziban

5.4.1.4. .pH et calcaire total

Les sols de Zab Chergui se caractérisent par des teneurs moyennes élevées en CaCO_3 ($39,37 \pm 11,01$ %), correspondant à des sols fortement calcaires, tandis que ceux de Zab Gharbi présentent des valeurs plus modérées ($18,23 \pm 7,96$ %), correspondant à des sols moyennement calcaires selon (Aubert, 1986). Cette différenciation, associée à un niveau de signification élevé (Tableau 25), traduit des contextes pédogénétiques distincts.

L'accumulation du calcaire pédogénique en milieu aride résulte de l'interaction entre le climat, la texture du sol, la nature du matériau parental et les processus hydriques. La texture du sol contrôle la profondeur et l'intensité de cette accumulation, les sols plus grossiers favorisant le transfert vertical et la précipitation des carbonates en profondeur (Nenuji *et al.*, 2014), tandis que la nature carbonatée du matériau parental, le relief plat et un drainage limité renforcent l'accumulation du CaCO_3 dans les horizons superficiels, maintenant des conditions alcalines caractéristiques des sols calcaires des régions semi-arides (Jiménez-Ballesta *et al.*, 2023).

Le pH du sol montre une évolution cohérente avec le statut calcaire (Tableau 25). Selon la classification du Soil Survey Staff (2014), les sols du Zab Chergui ($7,32 \pm 0,33$) et du Zab Gharbi ($6,87 \pm 0,51$) appartiennent tous deux à la classe neutre. Cette situation

est globalement favorable à la majorité des cultures, les sols proches de la neutralité offrant généralement des conditions optimales de disponibilité des éléments nutritifs majeurs (N, P, K), ainsi qu'une activité biologique et une efficacité des processus microbiens plus équilibrées.

Dans les sols de Zab Chergui, les teneurs élevées en CaCO_3 et le pH alcalin limitent la disponibilité du phosphore et des micronutriments (Fe, Zn, Mn) par précipitation et blocage chimique, ce qui réduit l'efficacité des engrais minéraux et favorise les carences nutritionnelles (Brownrigg *et al.*, 2022; Bityutskii *et al.*, 2017;). À l'inverse, les sols de Zab Gharbi, moins calcaires et à pH plus neutre, présentent une meilleure disponibilité chimique des nutriments, mais leur fertilité reste contrainte par la texture sableuse, la faible CEC et la faible capacité de rétention en eau, typiques des sols à dominante sableuse des régions tropicales et subtropicales (Bassole *et al.*, 2023).

Tableau 25. Calcaire total et pH des sols des Ziban

Paramètre	Zab Chergui	Zab Gharbi	p-value (Mann–Whitney)
CaCO_3 (%)	39,37 ± 11,01	18,23 ± 7,96	< 0,001
pH du sol	7,32 ± 0,33	6,87 ± 0,51	< 0,001

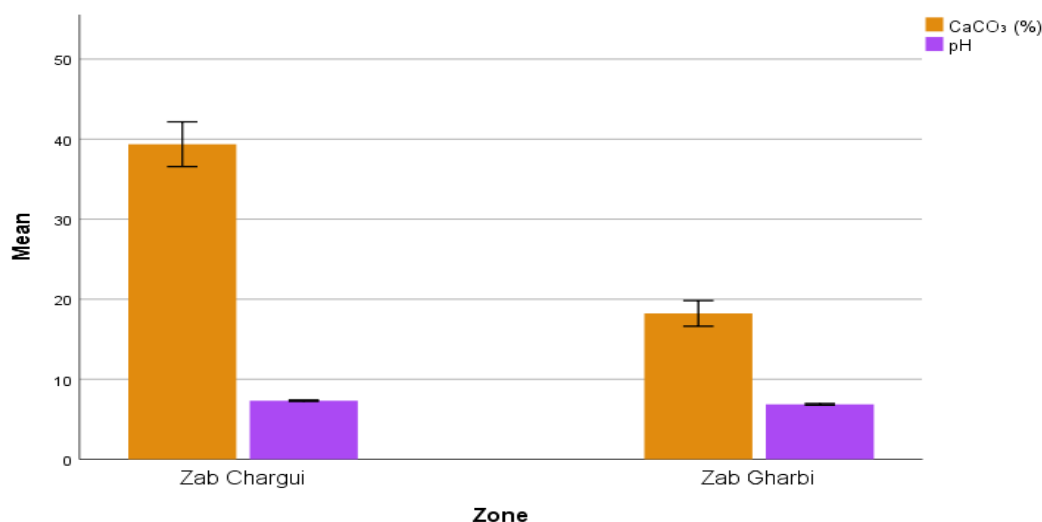


Figure 82 : Calcaire total et pH des sols des Ziban

5.4.1.5. Bilan ionique

les sols du Zab Chergui se caractérisent par des concentrations élevées en cations majeurs (Tableau 26), notamment le calcium ($\text{Ca}^{2+} = 6,53 \pm 3,05 \text{ meq/L}$), le magnésium ($\text{Mg}^{2+} = 4,99 \pm 1,67 \text{ meq/L}$) et le sodium ($\text{Na}^+ = 4,84 \pm 2,43 \text{ meq/L}$), associées à des teneurs importantes en anions, principalement les sulfates ($\text{SO}_4^{2-} = 24,25 \pm 3,73 \text{ meq/L}$) et les chlorures ($\text{Cl}^- = 6,17 \pm 2,31 \text{ meq/L}$). Cet enrichissement ionique traduit un milieu fortement minéralisé, caractéristique de sols soumis à une évaporation intense, à une remontée capillaire marquée et à une irrigation prolongée par des eaux souterraines salines. L'association dominante de Ca^{2+} et SO_4^{2-} traduit un faciès sulfaté calcique, généralement lié à la présence de gypse et à la dissolution du CaSO_4 dans les horizons du sol, processus fréquents en milieu aride à dynamique évaporitique. Les bicarbonates (HCO_3^-) présentent des teneurs modérées ($1,93 \pm 0,54 \text{ meq/L}$), tandis que les carbonates (CO_3^{2-}) restent faiblement représentés ($0,05 \pm 0,22 \text{ meq/L}$), traduisant une alcalinité dominée par les formes bicarbonatées.

À l'inverse, le bilan ionique des sols cultivés du Zab Gharbi révèle une minéralisation globalement plus modérée (Tableau 26). Ces sols présentent des concentrations plus faibles en cations, avec notamment des teneurs en Mg^{2+} ($3,74 \pm 2,25 \text{ meq/L}$), en SO_4^{2-} ($17,33 \pm 4,87 \text{ meq/L}$) et en Cl^- ($2,20 \pm 1,12 \text{ meq/L}$), correspondant à un faciès chloruré-sulfaté à dominance magnésienne. Cette composition traduit une minéralisation principalement contrôlée par la qualité des eaux d'irrigation et les apports lithologiques locaux, dans un contexte de sols à texture sableuse favorisant le drainage et limitant l'accumulation durable des sels dans les horizons superficiels. Les bicarbonates (HCO_3^-) affichent des teneurs comparables à celles du Zab Chergui ($2,11 \pm 0,97 \text{ meq/L}$), traduisant une alcalinité carbonatée régionale homogène, tandis que les carbonates (CO_3^{2-}) sont plus élevés ($0,29 \pm 0,50 \text{ meq/L}$), indiquant des conditions de pH plus favorables à leur présence et une expression plus marquée de l'alcalinité carbonatée.

les différences entre Zab Chergui et Zab Gharbi sont hautement significatives pour la majorité des ions analysés, notamment Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Cl^- et SO_4^{2-} (Tableau 26). En revanche, les bicarbonates (HCO_3^-) ne présentent pas de variation significative entre les deux zones, suggérant une alcalinité carbonatée relativement homogène à l'échelle

régionale, tandis que les carbonates (CO_3^{2-}) sont plus élevés en Zab Gharbi, en cohérence avec des conditions de pH plus proches de la neutralité à légèrement alcalines.

Dans le Zab Chergui, la combinaison $\text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + \text{Na}^+$ contribue à une salinité élevée, à une augmentation de la dureté de la solution du sol et à un risque potentiel de dégradation structurale en cas d'accumulation prolongée du sodium. En milieu salin, si le calcium favorise la floculation des argiles, l'excès de sodium peut induire des phénomènes de dispersion, affectant la porosité et la conductivité hydraulique du sol (Bello *et al.*, 2021). La dominance des sulfates et chlorures traduit par ailleurs une salinité active, caractéristique des environnements arides soumis à des processus évaporitiques intenses (Ismayilov *et al.*, 2021).

À l'inverse, dans le Zab Gharbi, bien que la salinité soit plus modérée, la texture sableuse dominante favorise une mobilité accrue des ions et un lessivage plus important, ce qui explique des teneurs plus faibles en éléments nutritifs et une capacité de rétention chimique limitée. Ce comportement est typique des sols sableux soumis à des pratiques agricoles intensives, où les pertes d'éléments par lixiviation constituent une contrainte majeure pour la fertilité à long terme (Huang & Hartemink, 2020).

La composition ionique apparaît comme un déterminant majeur de la productivité agricole en milieu aride : le Ca^{2+} contribue à la stabilité structurale, le Na^+ favorise la dispersion, les sulfates reflètent l'intensité des processus évaporitiques et les chlorures constituent un indicateur fiable de la salinité active des sols irrigués (Ismayilov *et al.*, 2021 ; Bello *et al.*, 2021).

Tableau 26. Bilan ionique des sols des Ziban

Zone	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	CO_3^{2-}
Zab Chergui (ZC)	6,53 ± 3,05	4,99 ± 1,67	0,41 ± 0,17	4,84 ± 2,43	6,17 ± 2,31	24,25 ± 3,73	1,93 ± 0,54	0,05 ± 0,22
Zab Gharbi (ZG)	2,62 ± 1,57	3,74 ± 2,25	0,33 ± 0,16	1,37 ± 1,62	2,20 ± 1,12	17,33 ± 4,87	2,11 ± 0,97	0,29 ± 0,50
p-value (Mann– Whitney)	< 0,001	< 0,001	0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,605	0,002

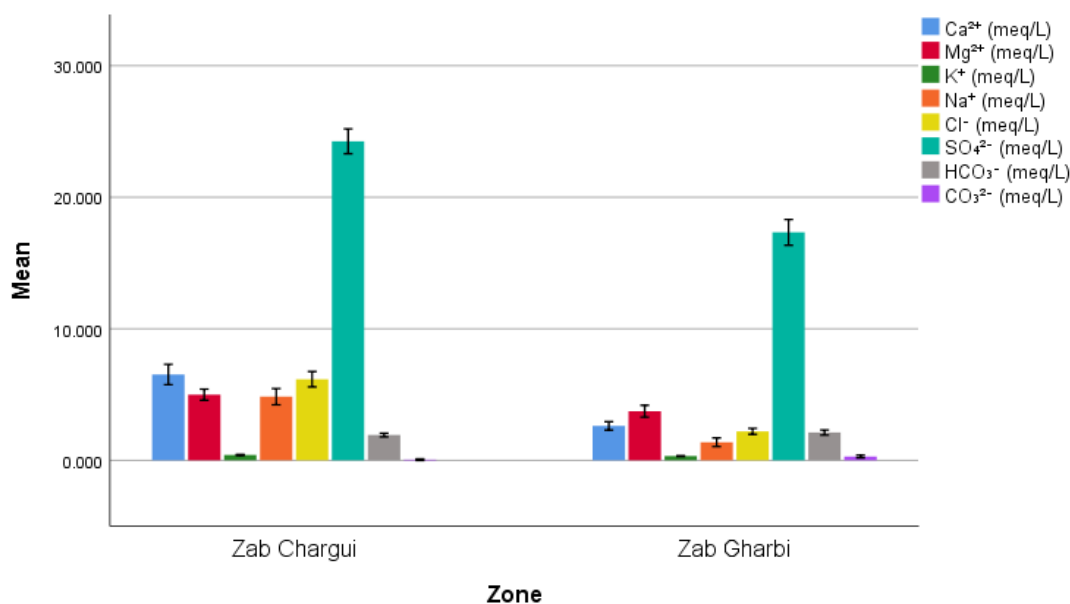


Figure 83 : Bilan ionique des sols des deux zones

5. 4. 2 Qualité des eaux d'irrigation

Le pH des eaux d'irrigation est légèrement alcalin dans les deux zones, avec une valeur moyenne plus élevée en Zab Chergui ($7,73 \pm 0,28$) qu'en Zab Gharbi ($7,59 \pm 0,26$). Les différences entre Zab Chergui et Zab Gharbi sont hautement significatives (Tableau 27).

La conductivité électrique (CE) des eaux d'irrigation révèle un contraste plus prononcé entre les deux sous-régions. Les eaux du Zab Chergui présentent des valeurs moyennes plus élevées ($3,41 \pm 0,77$ dS/m) que celles du Zab Gharbi ($2,49 \pm 0,95$ dS/m). Selon la classification USSS (1954), ces eaux appartiennent à la classe C4, correspondant à un risque de salinité très élevé. Cette différence est hautement significative ($p < 0,001$) (Tableau 27).

La salinité plus élevée des eaux d'irrigation en Zab Chergui constitue un facteur aggravant majeur de la salinisation des sols, en particulier dans un contexte climatique aride marqué par une évaporation intense et une faible lixiviation naturelle. L'utilisation prolongée de ces eaux favorise l'accumulation des sels solubles dans les horizons superficiels, en cohérence avec les valeurs élevées de CE du sol.

À l'inverse, les eaux d'irrigation du Zab Gharbi, bien que parfois salines, présentent globalement une meilleure qualité, limitant les risques de salinisation secondaire. Toutefois, la texture sableuse dominante des sols rend ces derniers sensibles au transfert rapide des sels, ce qui nécessite une gestion adaptée de l'irrigation afin d'éviter une dégradation progressive de la qualité chimique des sols.

Tableau 27. pH et conductivité électrique des eaux d'irrigation des Ziban

Paramètre	Zab Chergui	Zab Gharbi	p-value (Mann–Whitney)
pH de l'eau	7,73 ± 0,28	7,59 ± 0,26	0,008
EC de l'eau (dS/m)	3,41 ± 0,77	2,49 ± 0,95	< 0,001

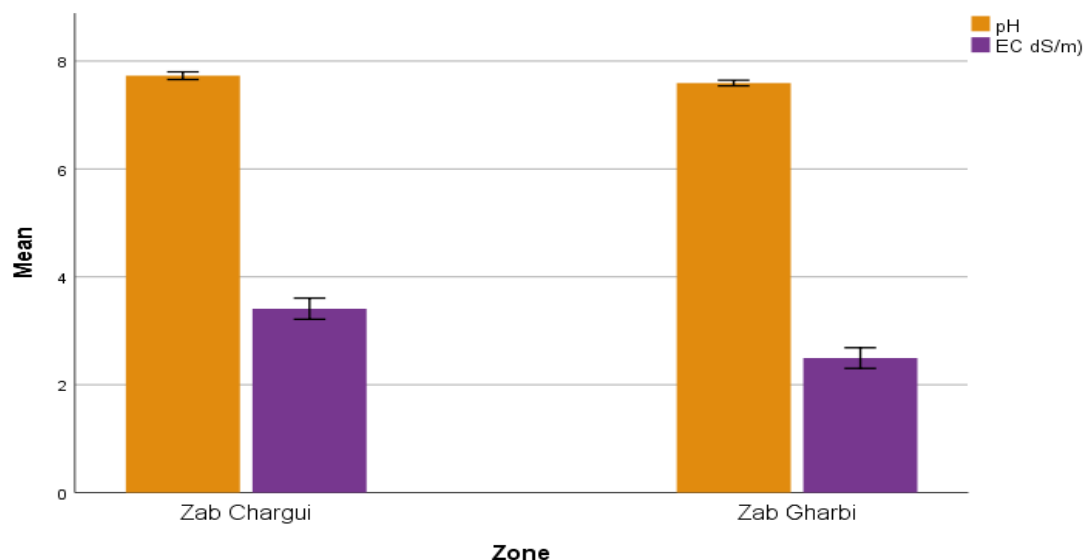


Figure 84 : pH et conductivité électrique des eaux d'irrigation des Ziban

5. 4. 3 Qualité et quantité des fourrages

La composition de la biomasse fourragère, exprimée par la matière sèche (MS), la matière organique (MO) et la matière minérale (MM), met en évidence des réponses différenciées selon l'espèce cultivée et la zone d'étude, traduisant l'influence combinée des conditions édaphiques, de la qualité de l'eau d'irrigation et du contexte salin des Ziban (Tableau 28).

Avoine (*Avena sativa* L.)

Pour l'avoine, les teneurs en matière sèche sont très proches entre les deux zones, avec $27,10 \pm 1,41$ % en Zab Chergui et $27,26 \pm 1,94$ % en Zab Gharbi (Tableau 28). De même, les valeurs de matière organique ($83,47 \pm 0,76$ % en Zab Chergui ; $83,73 \pm 1,93$ % en Zab Gharbi) et de matière minérale ($16,53 \pm 0,76$ % en Zab Chergui ; $16,28 \pm 1,93$ % en Zab Gharbi) ne présentent pas de différences significatives entre les zones. Cette stabilité de la composition fourragère indique que l'avoine maintient une qualité nutritionnelle homogène malgré les contrastes pédologiques et hydriques entre le Zab Chergui et le Zab Gharbi, traduisant une bonne plasticité physiologique et une tolérance aux niveaux de salinité modérée observés dans la région.

La stabilité de la composition fourragère de l'avoine observée entre le Zab Chergui et le Zab Gharbi concorde avec les travaux de Shah *et al.* (2020), qui montrent que l'avoine ne présente des altérations significatives de biomasse et de fonctionnement physiologique qu'à des niveaux de salinité plus élevés, tandis que sous des contraintes salines modérées, certains géotypes maintiennent une croissance et une composition relativement stables.

Luzerne (*Medicago sativa* L.)

Chez la luzerne, la matière sèche est légèrement plus élevée en Zab Chergui ($26,33 \pm 2,24$ %) qu'en Zab Gharbi ($25,68 \pm 2,88$ %), tandis que la matière organique est marginalement plus élevée en Zab Gharbi ($90,09 \pm 1,11$ %) comparativement au Zab Chergui ($89,89 \pm 0,89$ %). La matière minérale présente des valeurs légèrement supérieures en Zab Chergui ($10,12 \pm 0,89$ %) par rapport au Zab Gharbi ($9,91 \pm 1,11$ %), sans différence statistiquement significative (Tableau 28). Ces résultats montrent que la luzerne conserve une composition fourragère globalement stable entre les deux zones, confirmant sa tolérance aux contraintes de salinité et d'alcalinité. La légère augmentation de la matière minérale en Zab Chergui est cohérente avec la salinité plus élevée des sols et des eaux d'irrigation, favorisant une accumulation minérale modérée dans les tissus végétaux, sans altération notable de la qualité organique du fourrage.

La stabilité de la composition fourragère de la luzerne observée entre le Zab Chergui et le Zab Gharbi est en accord avec la méta-analyse de Bansal et Yin (2020), qui montre que la luzerne ne

présente pas de réduction significative de la matière sèche sous des niveaux de salinité faibles à modérés, tandis que des diminutions marquées apparaissent uniquement sous des salinités élevées.

Orge (*Hordeum vulgare* L.)

L'orge présente des différences marquées et hautement significatives entre les deux zones (Tableau 28). La matière sèche est significativement plus élevée en Zab Chergui ($34,08 \pm 4,25$ %) qu'en Zab Gharbi ($29,54 \pm 5,58$ %), tandis que la matière organique est plus élevée en Zab Gharbi ($87,90 \pm 1,80$ %) comparativement au Zab Chergui ($86,47 \pm 0,67$ %). À l'inverse, la matière minérale est significativement plus élevée en Zab Chergui ($13,53 \pm 0,67$ %) qu'en Zab Gharbi ($12,10 \pm 1,80$ %).

Cette distribution traduit une sensibilité élevée de l'orge aux conditions édaphiques et hydriques, en particulier au stress salin. En Zab Chergui, la salinité plus élevée des sols et des eaux d'irrigation favorise une réduction relative de la croissance et une concentration accrue des éléments minéraux dans les tissus végétaux, conduisant à une biomasse plus sèche et plus minéralisée. Ce mécanisme est en accord avec les travaux de Hassan *et al.*, qui ont montré que l'augmentation de la salinité du sol chez l'orge entraîne une diminution de la production de matière sèche effective, associée à une augmentation relative de l'accumulation minérale et du sodium dans les tissus, par effet de concentration lié au stress salin.

À l'inverse, les conditions plus favorables observées en Zab Gharbi, caractérisées par une salinité modérée et une meilleure disponibilité hydrique, permettent une synthèse plus importante de matière organique, améliorant la valeur nutritive du fourrage d'orge, ce qui confirme que cette culture est particulièrement sensible aux gradients de salinité en milieu aride.

Tableau 28. Composition de la biomasse fourragère selon la culture et la zone

Culture	Paramètre	Zab Chergui	Zab Gharbi	Mann–Whitney U (p-value)
Avoine	MS (%)	27,10 ± 1,41	27,26 ± 1,94	0,713
	MO (%)	83,47 ± 0,76	83,73 ± 1,93	0,804
	MM (%)	16,53 ± 0,76	16,28 ± 1,93	0,797
Luzerne	MS (%)	26,33 ± 2,24	25,68 ± 2,88	0,472
	MO (%)	89,89 ± 0,89	90,09 ± 1,11	0,361
	MM (%)	10,12 ± 0,89	9,91 ± 1,11	0,361
Orge	MS (%)	34,08 ± 4,25	29,54 ± 5,58	< 0,001
	MO (%)	86,47 ± 0,67	87,90 ± 1,80	< 0,001
	MM (%)	13,53 ± 0,67	12,10 ± 1,80	< 0,001

5. 4. 4 Effet du type de culture sur les propriétés du sol

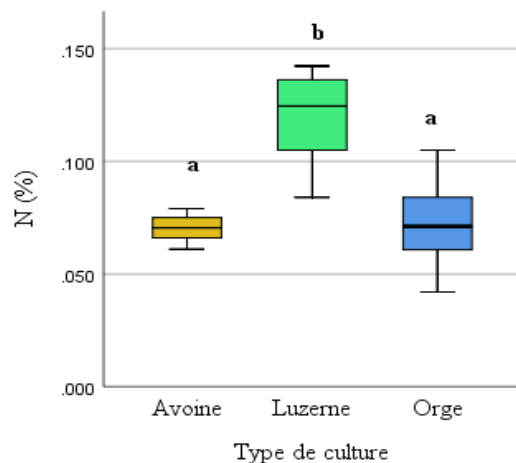
Les résultats du test de Kruskal–Wallis indiquent que le type de culture fourragère (avoine, luzerne et orge) exerce une influence significative sur plusieurs propriétés physico-chimiques du sol, avec des effets contrastés selon le contexte pédologique et hydrique des zones étudiées (Figure 85).

Dans le Zab Chergui, caractérisé par des sols salins et fortement calcaires, le type de culture influence de manière significative le statut organique du sol. Des différences marquées sont observées pour l'azote total, le carbone organique et la matière organique du sol ($p < 0,01$), comme l'illustrent les Figures 85(a) et 85 (b). Le test post hoc de comparaisons multiples (notation par lettres) précise la nature de ces écarts. Pour l'azote total, la luzerne se distingue significativement des deux céréales (groupe « b »), avec les teneurs les plus élevées, ce qui souligne le rôle de cette légumineuse pérenne dans l'enrichissement azoté du sol par fixation symbiotique (Chen *et al.*, 2022 ; Niu *et al.*, 2020). Pour la matière organique, en revanche, ce sont les parcelles d'avoine qui présentent les teneurs les plus élevées (groupe « b »), significativement supérieures à celles de la luzerne (groupe « a »), l'orge occupant une position intermédiaire (groupe « ab »).

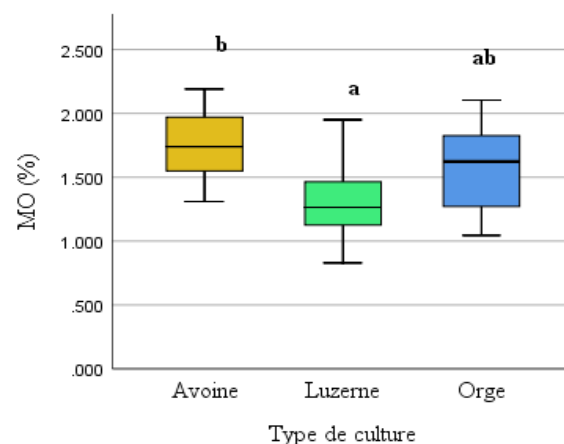
En revanche, la texture du sol (sable, limon et argile) ne montre pas de variation significative selon le type de culture ($p > 0,05$), confirmant que ces propriétés sont principalement contrôlées par le contexte pédogénétique régional, indépendamment des espèces cultivées.

Ces résultats sont cohérents avec des travaux montrant que la répartition spatiale du sable, du limon et de l'argile est d'abord contrôlée par les matériaux parentaux et les facteurs de pédogenèse à l'échelle du paysage, l'usage du sol et les types de cultures n'ayant qu'un effet secondaire sur la texture (Gebauer *et al.*, 2022; Jang *et al.*, 2022).

Les paramètres liés à la salinité et à la minéralisation du sol présentent en revanche des différences significatives entre cultures ($p < 0,05$). Les teneurs en sodium échangeable (Na^+) et la conductivité électrique (CE) varient significativement selon le type de culture (Figures 85 (c) et 85(d)). Le test post hoc montre que l'orge se distingue nettement (groupe « b ») par les teneurs en sodium (Na^+) et les valeurs de conductivité électrique (CE) les plus élevées, tandis que l'avoine et la luzerne (groupe « a ») occupent les situations les moins salines et ne diffèrent pas significativement entre elles. Ce résultat traduit la meilleure tolérance de l'orge aux sols salins, calcaires et gypseux (Nassima *et al.*, 2024), alors que l'avoine est préférentiellement implantée dans les situations les moins contraignantes.



(a)



(b)

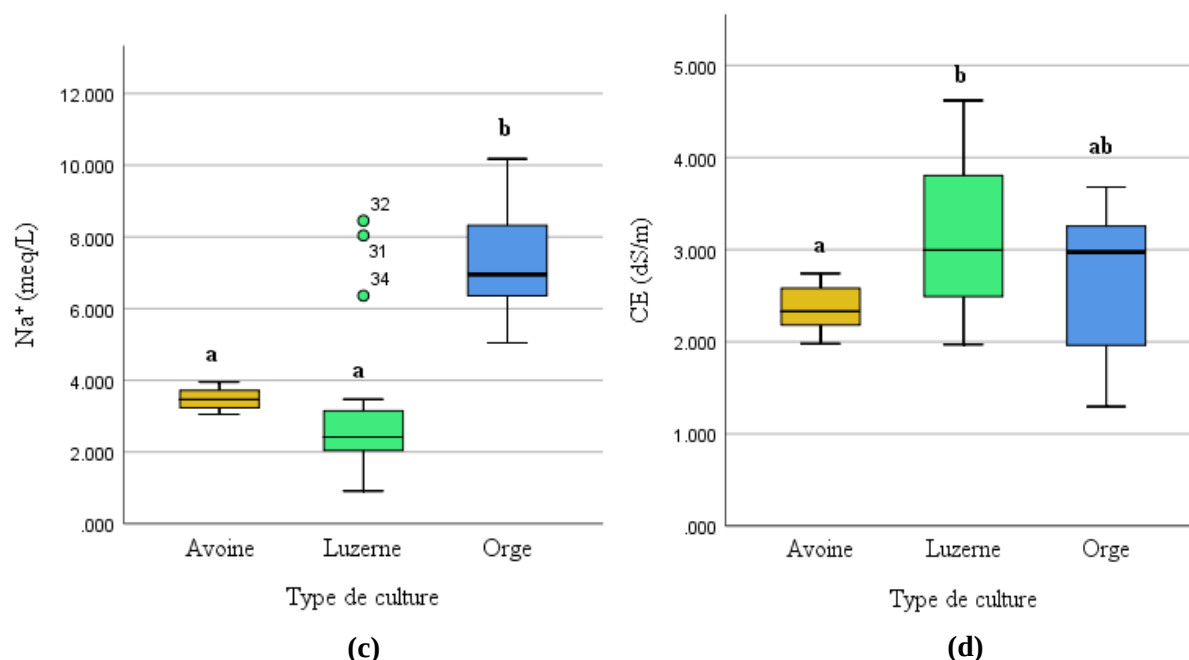


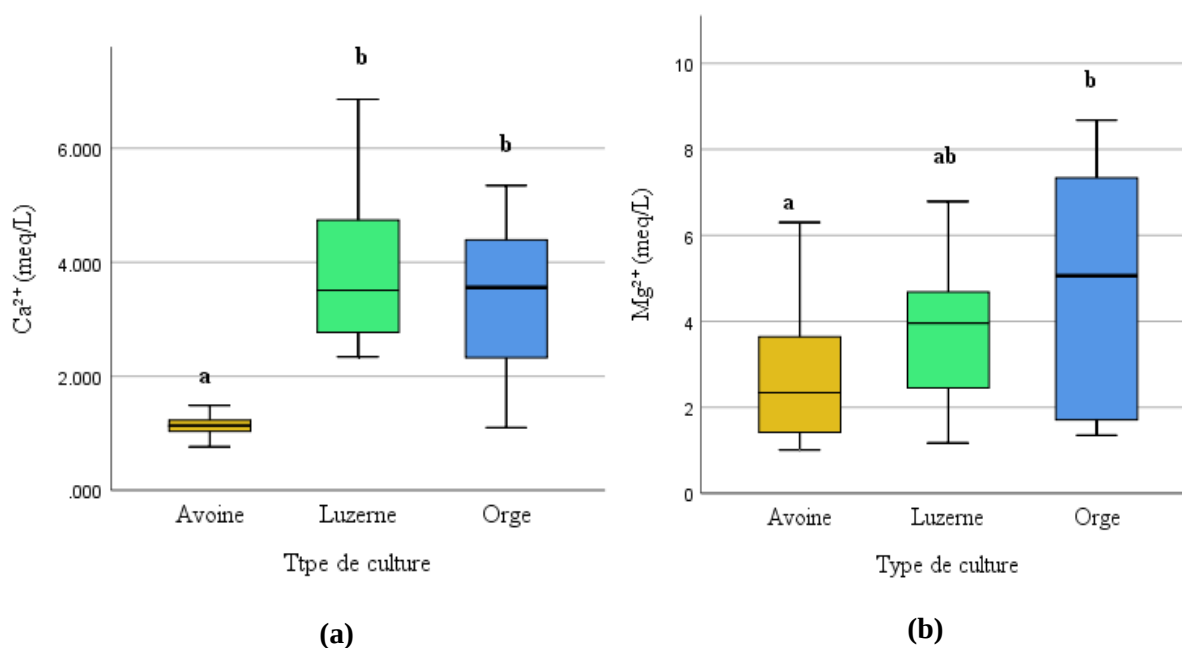
Figure 85 : Effet du type de culture fourragère sur certaines propriétés physico-chimiques du sol dans le Zab Chergui : (a) azote total du sol (N %), (b) matière organique du sol (MO %), (c) sodium échangeable (Na^+ , meq/L) et (d) conductivité électrique du sol (CE, dS/m).

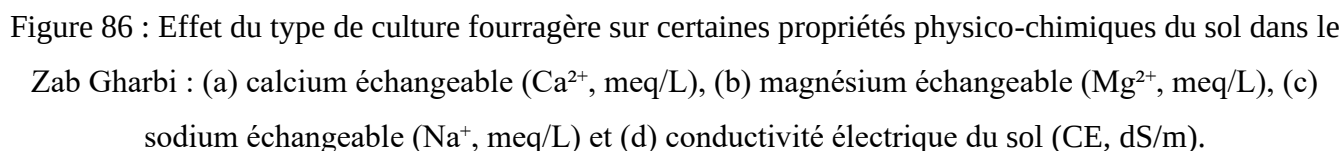
Dans le Zab Gharbi, où les sols sont globalement plus sableux, bien drainés et moins salins que dans le Zab Chergui, l'effet du type de culture sur les propriétés du sol s'exprime selon une dynamique différente (Figure 86). La fertilité organique du sol, exprimée par le carbone organique et la matière organique, ne varie pas significativement selon l'espèce cultivée ($p > 0,05$). Cette absence de différenciation suggère que, dans ce contexte pédologique, la dynamique de la matière organique est davantage contrôlée par la texture sableuse dominante, la faible capacité de rétention et les pratiques agricoles, plutôt que par le type de culture fourragère (Li *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2022).

En revanche, les propriétés chimiques liées à la minéralisation et à la salinité montrent des différences significatives entre cultures ($p < 0,01$). Les teneurs en calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}) et sodium (Na^+), ainsi que la conductivité électrique (CE), varient significativement selon le type de culture, comme l'illustrent les Figures 86 (a) à 86 (d).

Le test post hoc de comparaisons multiples (notation par lettres) précise ces écarts : pour Ca^{2+} , Na^+ et la CE, l'avoine se distingue significativement (groupe « a ») par les valeurs les plus faibles, tandis que la luzerne et l'orge (groupe « b ») affichent les niveaux les plus élevés sans différer entre elles. Pour le magnésium, l'orge présente les teneurs les plus fortes (groupe « b »), l'avoine les plus faibles (groupe « a »), la luzerne occupant une position intermédiaire (groupe « ab »). Globalement, les parcelles de luzerne et d'orge se caractérisent par des niveaux plus élevés de cations échangeables et de CE que celles d'avoine, traduisant une meilleure tolérance de ces deux cultures aux sols modérément salins et calcaires (Abile *et al.*, 2025 ; Nengi-Benwari *et al.*, 2023).

Ces résultats mettent en évidence une interaction étroite entre le type de culture, la qualité des eaux d'irrigation et la mobilité ionique dans les sols sableux du Zab Gharbi, en accord avec des études montrant que la qualité de l'eau et la texture conditionnent fortement la dynamique des ions et la salinité en contexte aride (Peker *et al.*, 2024). La forte perméabilité de ces sols favorise le lessivage et la redistribution des ions, accentuant les contrastes chimiques entre systèmes de culture, sans pour autant entraîner une accumulation excessive de sels dans les horizons de surface.





5.4.5.1. Analyse bivariée (corrélations)

Dans le Zab Chergui, les relations sol–plante reflètent un fonctionnement édaphique fortement contraint par la salinité, l’alcalinité carbonatée et la minéralisation, en lien avec la proximité du Chott Melghir, le drainage naturel limité et l’irrigation par des eaux souterraines minéralisées.

{ 155 }

corrélations confirment que les textures plus fines favorisent la rétention de l'azote et limitent son lessivage, ce qui rejoint les observations faites dans des oasis irriguées où les sols limoneux présentent une meilleure rétention en eau, une lixiviation réduite et des rendements plus élevés que les sols sableux (Wang *et al.*, 2022).

La salinité constitue le facteur structurant majeur du système. L'azote total du sol est négativement corrélé au sodium échangeable ($r = -0,40$) et aux bicarbonates ($r = -0,58$), traduisant l'effet combiné de la salinité et de l'alcalinité sur la disponibilité de l'azote. La conductivité électrique du sol est positivement corrélée aux chlorures ($r = 0,44$) et aux carbonates ($r = 0,46$), confirmant un contexte de salinité carbonatée et chlorurée lié aux processus d'évaporation et de remontée capillaire. Le gradient salinité–alcalinité qui structure le Zab Chergui, avec une baisse de l'azote total du sol lorsque Na^+ échangeable et HCO_3^- augmentent, est cohérent avec les méta-analyses montrant que la salinisation réduit les pools d'azote et limite la productivité végétale en milieux côtiers ou salés (Zhou *et al.*, 2017). De même, l'augmentation de la matière minérale des fourrages sous stress salin observée au Zab Chergui reflète les hausses de cendres et de fibres et la baisse de valeur alimentaire rapportées pour différents fourrages en sols salins-alcalins (Abebe & Tu, 2024; Guo *et al.*, 2025).

Les relations sol–plante confirment ces contraintes édaphiques. La matière sèche du fourrage (MS) est positivement corrélée au sodium ($r = 0,53$) et aux bicarbonates ($r = 0,59$), traduisant un effet de concentration de la biomasse sous stress osmotique, phénomène également rapporté sur des fourrages cultivés en sols salins où la biomasse sèche diminue mais la teneur en cendres et éléments minéraux augmente (Abebe & Tu, 2024). À l'inverse, la MS est négativement corrélée à l'azote du sol ($r = -0,36$), indiquant une limitation de la synthèse des composés organiques en conditions de déficit azoté, en accord avec les travaux montrant que des apports azotés modérés en milieu salin maintiennent la biomasse et la teneur en protéines des fourrages (Shao *et al.*, 2022).

La matière organique du fourrage (MO) est fortement et positivement corrélée à l'azote du sol ($r = 0,69$), confirmant le rôle central de la nutrition azotée dans la qualité organique de la biomasse végétale (Shao *et al.*, 2022). En opposition, la matière minérale du fourrage (MM) présente une corrélation négative de même intensité avec l'azote ($r = -0,69$), traduisant une accumulation relative des éléments minéraux lorsque la croissance organique est limitée par les contraintes salines et alcalines (Abebe & Tu, 2024).

Ainsi, dans le Zab Chergui, la qualité des fourrages est principalement contrôlée par un gradient salinité–alcalinité, où la fertilité azotée conditionne directement la synthèse organique, tandis que la charge ionique du sol favorise une minéralisation relative de la biomasse.

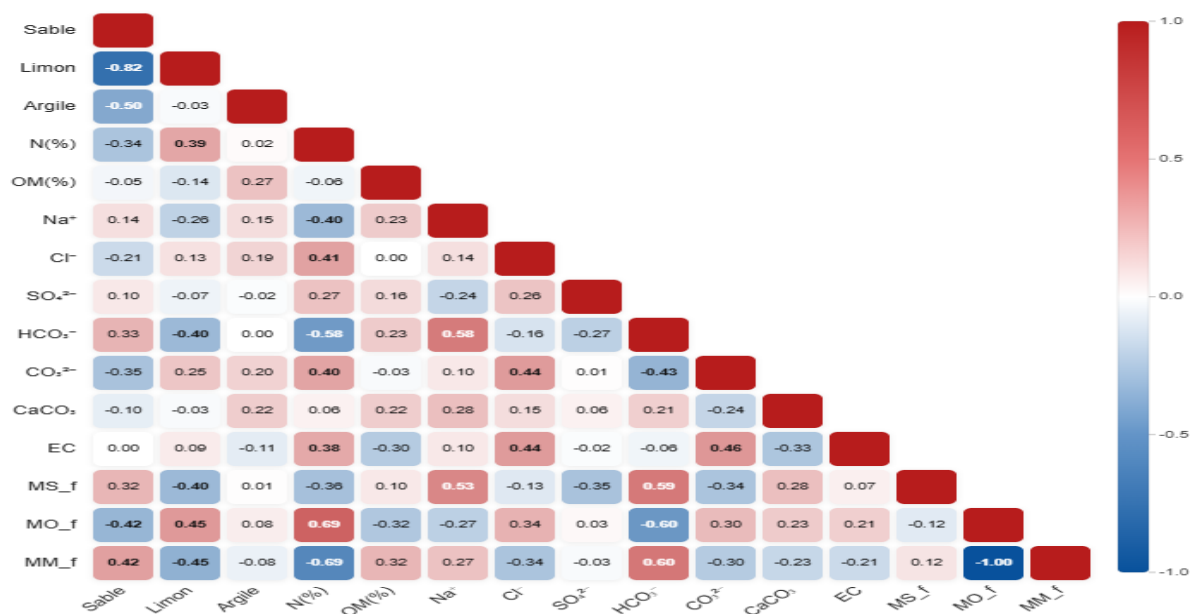


Figure 87 : Corrélations de Spearman entre propriétés du sol et qualité des fourrages dans le Zab Chergui.

Dans le Zab Gharbi, les relations sol–plante traduisent un fonctionnement édaphique distinct de celui du Zab Chergui, dominé par une texture sableuse, une forte perméabilité des sols et une minéralisation globalement modérée, caractéristiques des glacis et formations quaternaires de la zone (Figure 88).

Sur le plan textural, la fraction sableuse est très fortement et négativement corrélée au limon ($r = -0,95$) et à l'argile ($r = -0,62$), traduisant l'homogénéité des sols grossiers et la faible proportion de particules fines. comme observé dans d'autres plaines semi-arides où le sable est inversement associé au limon/argile et à la CEC (Ye *et al.*, 2024; Sanad *et al.*, 2024).

Contrairement au Zab Chergui, aucune corrélation significative n'est observée entre la texture et l'azote du sol, indiquant que la fertilité azotée est ici davantage contrôlée par les pratiques agricoles que par la capacité du sol à retenir les nutriments, en raison de la faible capacité de stockage des sols sableux.

Les relations entre les éléments minéraux révèlent une minéralisation à dominante carbonatée. Le calcium est fortement et positivement corrélé au calcaire total ($r = 0,65$), tandis que le sodium présente des corrélations positives avec le calcaire ($r = 0,76$) et le magnésium ($r = 0,62$). Ces relations traduisent une dynamique ionique principalement liée à la dissolution des carbonates, en cohérence avec la nature calcaire des matériaux parentaux du Zab Gharbi (Hammad et al., 2024).

La conductivité électrique du sol est positivement corrélée au calcium ($r = 0,39$), indiquant que la salinité reste modérée et associée aux ions alcalino-terreux plutôt qu'à une accumulation excessive de sels très solubles (Ismayilov *et al.*, 2021). En parallèle, le chlorure est négativement corrélé au calcium ($r = -0,35$), suggérant une différenciation des faciès salins et une mobilité accrue des ions dans les sols sableux.

Les relations sol–plante montrent que la matière sèche du fourrage (MS) est positivement corrélée à la conductivité électrique du sol ($r = 0,35$), indiquant qu'une salinité modérée, dans un contexte de bon drainage, peut favoriser une concentration relative de la biomasse végétale sans induire de stress osmotique sévère, ce qui est cohérent avec les réponses de nombreux fourrages aux niveaux faibles à modérés de salinité (Abebe & Tu, 2024). En revanche, la MS est négativement corrélée au sodium ($r = -0,28$) et au chlorure ($r = -0,21$), traduisant un effet limitant de ces ions lorsque leur mobilité et leur accumulation deviennent plus importantes, comme décrit pour les cultures fourragères soumises à des stress salins élevés (Suyama *et al.*, 2007; Abebe & Tu, 2024).

La matière organique du fourrage (MO) est positivement corrélée au calcium ($r = 0,56$) et au calcaire total ($r = 0,43$), suggérant qu'un environnement calco-carbonaté modéré favorise la synthèse organique de la biomasse, ce qui rejoint le rôle stabilisateur du calcium sur la matière organique en milieux salins (Feng et al., 2023). À l'inverse, la MO présente une corrélation négative avec le chlorure ($r = -0,26$), indiquant une sensibilité de la qualité organique du fourrage à l'augmentation des sels très solubles.

Enfin, la matière minérale du fourrage (MM) est négativement corrélée au calcium ($r = -0,56$), au calcaire total ($r = -0,43$) et à la conductivité électrique ($r = -0,43$), traduisant un effet de dilution minérale lié à une meilleure croissance organique dans des conditions chimiques

plus favorables ,en accord avec les observations faites sur les fourrages en sols salins où l'amélioration de la croissance réduit la teneur relative en cendres (Abebe & Tu, 2024).Ainsi, dans le Zab Gharbi, la qualité des fourrages est principalement contrôlée par un équilibre entre texture sableuse, chimie carbonatée et salinité modérée, favorisant une production fourragère relativement stable, où la nutrition minérale et les pratiques agricoles jouent un rôle déterminant.

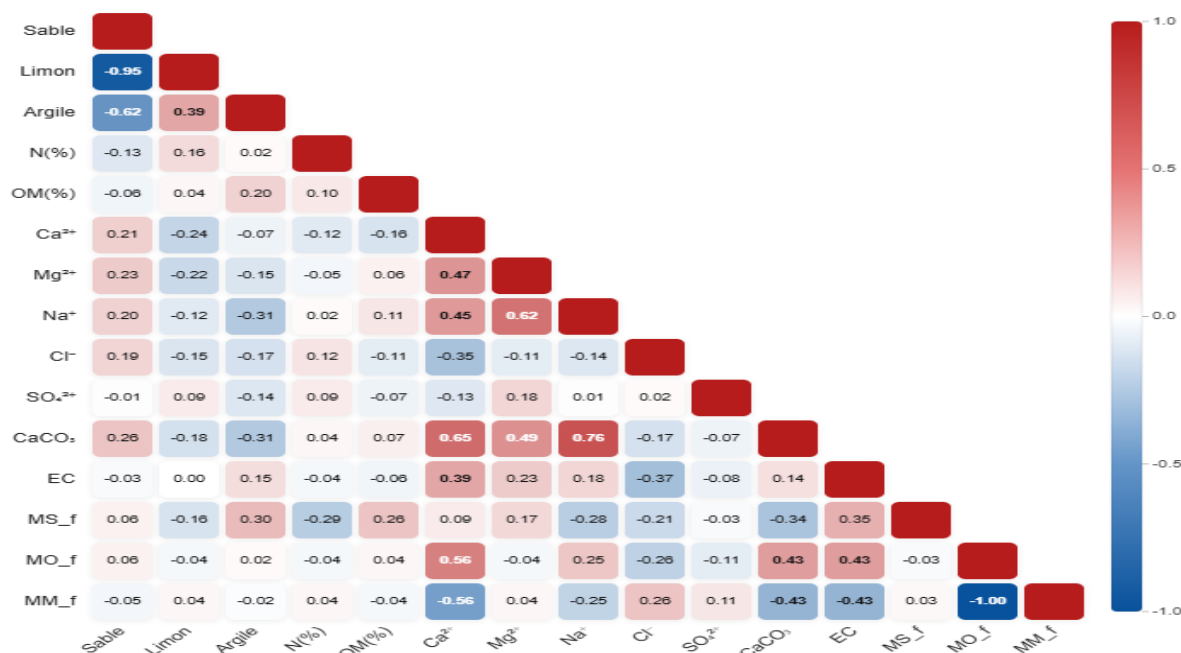


Figure 88 : Corrélations de Spearman entre propriétés du sol et qualité des fourrages dans le Zab Gharbi.

5.4.5.2. Analyse multivariée(Analyse en composantes principales (ACP))

Une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été réalisée sur des jeux de données standardisés pour les deux zones étudiées, le Zab Chergui et le Zab Gharbi, afin d'identifier les variables édaphiques communes qui structurent la qualité des sols et la qualité et la quantité des fourrages. Seuls les axes factoriels présentant des valeurs propres supérieures à 1 (axe 1 et axe 2) ont été retenus pour les deux zones.

Ces deux axes expliquent 67,60 % de la variance totale dans le Zab Chergui et 68,16 % dans le Zab Gharbi. Les cercles des corrélations issus de l'ACP (Figures 89 et 90)

illustrent la contribution directionnelle des variables aux axes factoriels, tandis que les charges factorielles correspondantes sont présentées dans les Tableaux 29 et 30.

Dans le Zab Chergui, le premier axe principal (axe 1) explique 45,95 % de la variance totale (Tableau 29). Cet axe correspond principalement à un gradient de fertilité azotée et de qualité organique des fourrages. Il est fortement et négativement chargé par l'azote total du sol (N) ($r = -0,85$) et la matière organique du fourrage (MO_f) ($r = -0,75$), et positivement associé à la fraction limoneuse du sol ($r = 0,54$). Cette configuration traduit des situations où les sols plus fins, mieux pourvus en azote, favorisent l'accumulation de composés organiques dans la biomasse végétale.

Ce gradient est cohérent avec les travaux menés en zones arides irriguées, qui montrent que la fertilité azotée constitue un facteur clé du maintien de la qualité nutritionnelle des fourrages, en particulier dans les systèmes dominés par les cultures pérennes comme la luzerne (Wood et al., 2018 ; Shao et al., 2022).

Le second axe principal (axe 2) explique 21,65 % de la variance totale, il est dominé par des charges positives élevées du sodium échangeable (Na^+) ($r = 0,77$), des bicarbonates (HCO_3^-) ($r = 0,70$), de la conductivité électrique (CE) ($r = 0,78$) et de la matière sèche du fourrage (MS_f) ($r = 0,85$). Cet axe représente un gradient de salinité–alcalinité, caractéristique des sols du Zab Chergui, fortement par l'irrigation avec des eaux souterraines minéralisées et par les processus d'évaporation intense.

L'association étroite entre Na^+ , HCO_3^- et MS_f traduit une réponse physiologique des plantes au stress salin. Dans ces conditions influencés, l'augmentation de la matière sèche ne reflète pas une hausse de la biomasse, mais plutôt une diminution de la teneur en eau des tissus, liée à un ajustement osmotique et à une baisse de la turgescence cellulaire. Ainsi, l'augmentation de la MS correspond davantage à un effet de déshydratation des tissus qu'à une amélioration de la qualité du fourrage. Des mécanismes similaires ont été rapportés pour les cultures fourragères en sols salins et alcalins des régions arides et semi-arides (Abebe & Tu, 2024 ; Guo et al., 2025).

Tableau 29. Valeurs propres et variance expliquée de l'ACP pour le Zab Chergui

Variables	PC1	PC2
Limon (%)	0,54	-0,34
Azote du sol (N %)	-0,85	-0,31
Sodium (Na ⁺)	-0,08	0,77
Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	-0,53	0,70
Conductivité électrique (CE)	0,69	0,44
Matière sèche du fourrage (MS %)	-0,14	0,85
Matière organique du fourrage (MO %)	0,84	-0,17
Valeur propre	3,22	1,52
Variance expliquée (%)	45,95	21,65
Variance cumulée (%)	45,95	67,60

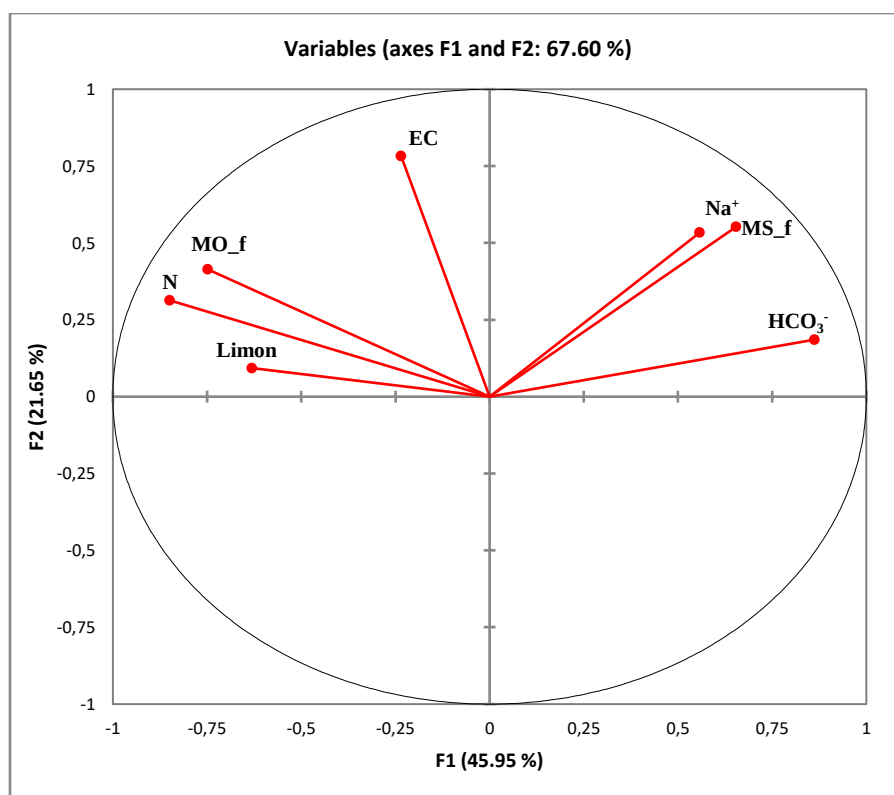


Figure 89 : Cercle des corrélations de l'ACP pour le Zab Chergui.

Dans le Zab Gharbi, le premier axe principal (axe1) explique 43,86 % de la variance totale (Tableau 30). Cet axe est fortement et positivement chargé par les cations alcalino-terreux, notamment le magnésium (Mg^{2+}) ($r = 0,82$), le calcium (Ca^{2+}) ($r = 0,76$), le calcaire total ($CaCO_3$) ($r = 0,70$) et, dans une moindre mesure, le sodium (Na^+) ($r = 0,69$). Il correspond à un gradient de minéralisation calco-carbonatée, typique des sols sableux bien drainés du Zab Gharbi.

Contrairement au Zab Chergui, la salinité dans cette zone reste globalement modérée et dominée par des formes calciques et magnésiennes, ce qui limite les effets négatifs de la sodicité et favorise une meilleure stabilité structurale des sols. Des résultats comparables ont été rapportés dans d'autres systèmes agricoles arides développés sur sols sableux à forte perméabilité (Rasmussen *et al.*, 2018 ; Feng *et al.*, 2023).

Le second axe principal (axe 2) explique 24,30 % de la variance total. Il est dominé par des charges positives élevées de la matière organique du fourrage (MO_f) ($r = 0,85$) et des

bicarbonates (HCO_3^-) ($r = 0,79$). Cet axe représente un gradient d'alcalinité carbonatée associé à la qualité organique de la biomasse végétale.

Cette association suggère qu'en Zab Gharbi, un environnement calco-carbonaté modéré, combiné à un bon drainage, favorise la synthèse de composés organiques dans les fourrages, sans induire de stress salin sévère. Cette situation contraste avec celle du Zab Chergui et confirme que la réponse des plantes à l'alcalinité dépend fortement du contexte pédologique et hydrique.

Tableau 30. Charges factorielles, valeurs propres et variance expliquée de l'ACP – Zab Gharbi

Variables	PC1	PC2
Calcium (Ca^{2+})	0,76	0,44
Magnésium (Mg^{2+})	0,82	-0,15
Sodium (Na^+)	0,69	-0,08
Calcaire total (CaCO_3)	0,70	0,44
Matière organique du fourrage (MO %)	0,25	0,85
Bicarbonates (HCO_3^-)	-0,19	0,79
Valeur propre	2,63	1,46
Variance expliquée (%)	43,86	24,30
Variance cumulée (%)	43,86	68,16

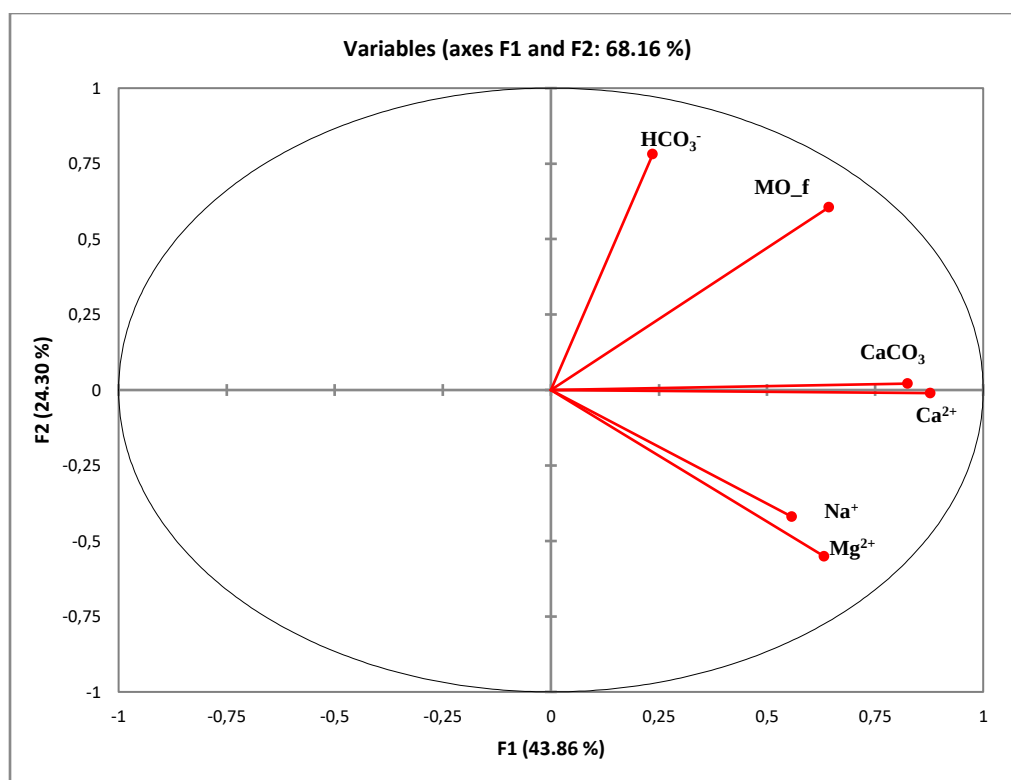


Figure 90 : Cercle des corrélations de l'ACP pour le Zab Gharbi.

5.4.5.3. Influence des propriétés du sol sur la qualité et quantité des fourrages

Afin de quantifier l'influence des propriétés du sol sur la qualité et quantité des fourrages en milieu aride, des modèles de régression linéaire multiple ont été établis pour les deux sous-régions étudiées, le Zab Chergui et le Zab Gharbi. Les variables dépendantes considérées sont la matière sèche (MS %), la matière organique (MO %) et la matière minérale (MM %) des fourrages, utilisées comme indicateurs synthétiques de la qualité fourragère.

Pour chaque zone, les modèles ont été construits sur la base des résultats des analyses de corrélation et des régressions partielles, afin d'identifier les facteurs édaphiques exerçant un effet propre et significatif sur chacun des paramètres fourragers. Seules les variables présentant des corrélations significatives, une contribution indépendante suffisante et une absence de multicolinéarité ($VIF < 2$) ont été retenues dans les modèles finaux.

a) Zab Chargui :

❖ La matière sèche (MS %) des fourrages

Afin de quantifier l'effet conjoint des principales variables édaphiques sur la matière sèche des fourrages dans le Zab Chergui, une analyse de régression linéaire multiple a été réalisée en considérant la matière sèche (MS %) comme variable dépendante et le sodium (Na^+) et le calcium (Ca^{2+}) comme variables explicatives.

Le modèle obtenu est globalement hautement significatif ($F = 25,51$; $p < 0,001$) et explique 46,4 % de la variabilité de la matière sèche ($R^2 = 0,464$). La valeur du R^2 ajusté (0,446) confirme la robustesse et la stabilité du modèle, indiquant une bonne capacité explicative dans le contexte édaphique contraignant du Zab Chergui.

L'analyse des coefficients montre que le sodium (Na^+) exerce un effet positif hautement significatif sur la matière sèche des fourrages ($B = 1,22$; $\beta = 0,63$; $p < 0,001$), indiquant qu'il constitue le facteur dominant du modèle. La régression partielle associée met en évidence une relation linéaire positive nette entre Na^+ et MS, avec un coefficient de détermination partiel $R^2 \approx 0,40$ (Figure 91 (a)).

À l'inverse, le calcium (Ca^{2+}) présente un effet négatif significatif sur la matière sèche ($B = -0,77$; $\beta = -0,50$; $p < 0,001$). La relation inverse observée dans la régression partielle est bien structurée, avec un R^2 partiel = 0,30, traduisant une contribution indépendante et substantielle du calcium à la diminution relative de la MS (Figure 91(b)).

L'effet positif du sodium sur la matière sèche peut être interprété comme un effet de concentration de la biomasse sous stress salin. En conditions arides, l'augmentation de la salinité sodique induit une réduction de la croissance hydrique et de la teneur en eau des tissus végétaux, ce qui se traduit par une augmentation relative de la matière sèche, phénomène décrit chez plusieurs fourrages halophytes où l'accumulation de Na^+ dans les tissus s'accompagne d'une réduction de la teneur en eau et d'une MS relativement plus élevée (Ashilenje *et al.*, 2022 ; Wang *et al.*, 2023 ; Abebe & Tu, 2024). À l'inverse, l'effet négatif du calcium reflète les contraintes associées aux sols calcaires et alcalins, où des teneurs élevées en Ca^{2+} peuvent perturber l'équilibre ionique et limiter la synthèse de biomasse organique. Naorem *et al.* (2023) soulignent que dans les sols arides calcaires et alcalins, la forte teneur en CaCO_3 et le pH élevé réduisent la disponibilité en micronutriments, ce qui freine la synthèse de biomasse organique et la productivité fourragère, malgré la présence de Ca^{2+} en grande quantité

Ces résultats confirment que, dans le Zab Chergui, la matière sèche des fourrages est contrôlée par un équilibre antagoniste entre salinité sodique et contrainte calcaire, illustrant la complexité des interactions sol–plante en milieu aride.

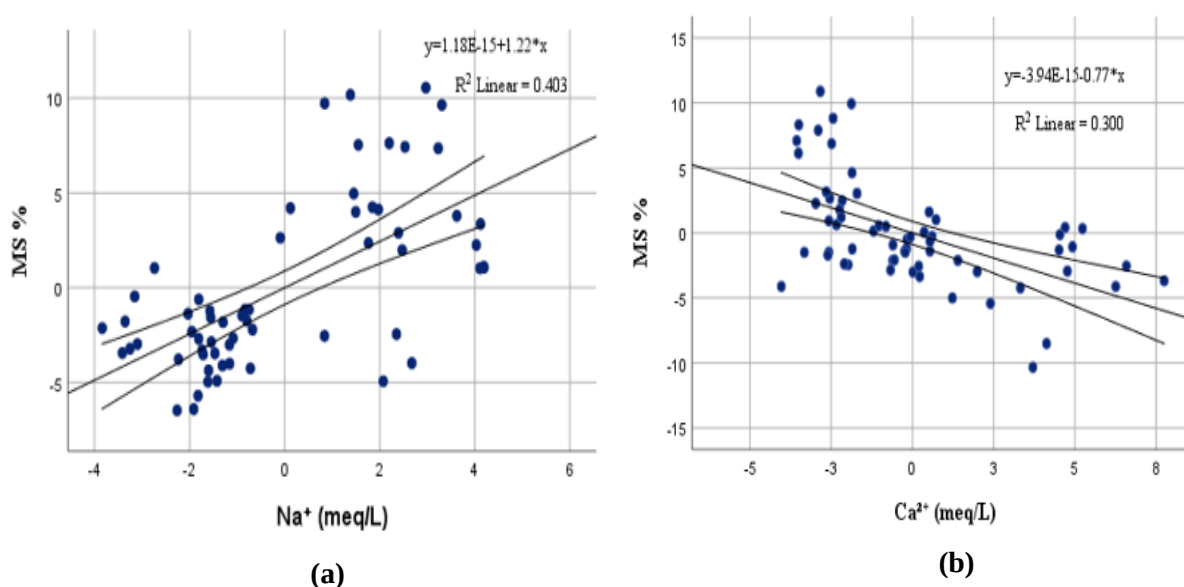


Figure 91 : Régressions partielles entre la matière sèche des fourrages (MS %) et (a) le sodium échangeable (Na⁺, meq/L) et (b) le calcium échangeable (Ca²⁺, meq/L) dans le Zab Chergui.

❖ la matière organique (MO %) des fourrages

Afin d'analyser l'influence des propriétés édaphiques sur la matière organique des fourrages (MO %) dans le Zab Chergui, une régression linéaire simple a été réalisée en considérant l'azote total du sol (N %) comme variable explicative principale.

Le modèle de régression est hautement significatif ($F = 72,90$; $p < 0,001$) et présente un coefficient de détermination élevé ($R^2 = 0,549$), indiquant que 54,9 % de la variabilité de la matière organique du fourrage est expliquée par la teneur en azote du sol. La proximité entre R^2 et R^2 ajusté (0,541) confirme la robustesse et la stabilité du modèle.

L'analyse des coefficients montre que l'azote du sol exerce un effet positif très significatif sur la matière organique du fourrage ($B = 72,81$; $\beta = 0,741$; $p < 0,001$). La valeur élevée du coefficient standardisé indique que l'azote constitue le facteur déterminant principal de la qualité organique de la biomasse fourragère dans ce contexte édaphique.

La régression linéaire met en évidence une relation positive entre la teneur en azote du sol et la matière organique du fourrage, traduite par une augmentation régulière de la MO % avec l'amélioration du statut azoté du sol (Figure 92). Cette relation confirme que les sols les mieux pourvus en azote favorisent directement l'accumulation de composés organiques dans les tissus végétaux, traduit le rôle central de l'azote dans la synthèse des composés organiques (protéines, acides aminés, chlorophylle) et dans le maintien de l'activité photosynthétique comme l'illustrent également les liens étroits observés entre azote de la matière organique du sol et teneur en protéines des cultures céréalières (Wood *et al.*, 2018). En conditions arides, où la fertilité azotée constitue un facteur limitant majeur, les sols enrichis en azote permettent aux cultures fourragères de maintenir une biomasse de meilleure qualité nutritionnelle, indépendamment des contraintes liées à la salinité.

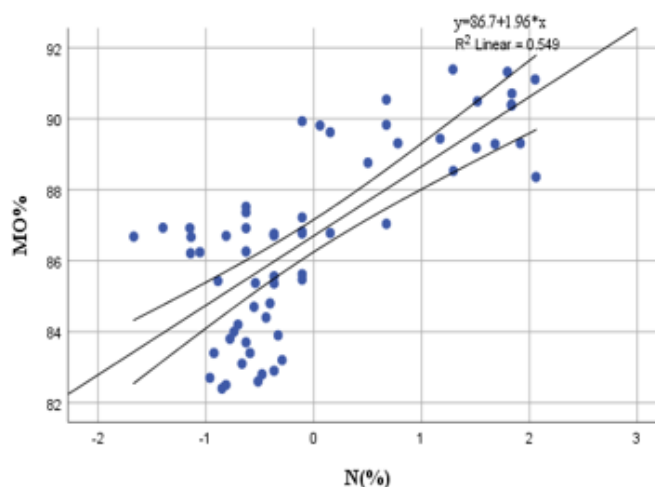


Figure 92 : Regression linéaire entre l'azote total du sol (N %) et la matière organique du fourrage (MO %)

❖ la matière minérale (MM %) des fourrages

Afin de quantifier l'influence des propriétés du sol sur la matière minérale (MM %) des fourrages, une analyse de régression linéaire a été réalisée en considérant l'azote total du sol (N %) comme variable explicative.

Le modèle de régression est hautement significatif ($F = 72,90$; $p < 0,001$) et présente un coefficient de détermination élevé ($R^2 = 0,549$), indiquant que 54,9 % de la variabilité de la matière minérale du fourrage est expliquée par l'azote du sol. La valeur du R^2 ajusté (0,541) confirme la stabilité du modèle.

Le coefficient de régression met en évidence un effet positif très significatif de l'azote du sol sur la matière minérale du fourrage ($\beta = +0,741$; $p < 0,001$; $R^2 = 0,549$). Le coefficient standardisé élevé indique qu'une augmentation de l'azote du sol s'accompagne d'une augmentation de la fraction minérale de la biomasse végétale (Figure 93), les parcelles les mieux pourvues en azote produisant des fourrages plus riches en éléments minéraux.

Cette relation positive traduit l'effet conjoint de la fertilité du sol : un sol bien pourvu en azote, généralement plus fertile et mieux pourvu en éléments nutritifs, favorise à la fois la croissance de la plante et son absorption minérale, d'où une teneur en matière minérale plus élevée du fourrage.

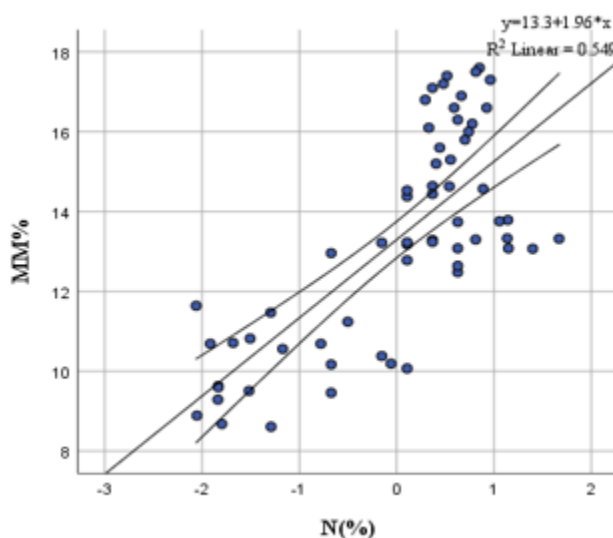


Figure 93 : Relation linéaire entre l'azote total du sol (N %) et la matière minérale du fourrage (MM %)

b) Zab Gharbi

❖ **Matière sèche des fourrages (MS %)**

Afin de quantifier l'influence conjointe des propriétés édaphiques sur la matière sèche des fourrages (MS %) dans la zone de Zab Gharbi, une analyse de régression linéaire multiple a été réalisée. Sur la base des corrélations significatives et des régressions partielles, l'azote total du sol (N %) et la conductivité électrique du sol (CE_sol) ont été retenus comme variables explicatives.

Le modèle de régression est hautement significatif ($F = 28,76$; $p < 0,001$) et présente un coefficient de détermination $R^2 = 0,380$, indiquant que 38 % de la variabilité de la matière sèche des fourrages est expliquée conjointement par l'azote du sol et la conductivité électrique. La valeur du R^2 ajusté (0,366) confirme la robustesse et la stabilité du modèle .

L'analyse des coefficients de régression met en évidence des effets opposés des deux variables explicatives. L'azote du sol (N %) exerce un effet négatif hautement significatif sur la matière sèche ($B = -148,03$; $\beta = -0,48$; $p < 0,001$). La régression partielle correspondante montre une relation linéaire inverse nette entre N et MS (Figure 94(b)), traduisant le fait qu'une meilleure disponibilité azotée favorise la croissance végétative et l'augmentation de la teneur en eau des tissus, ce qui se traduit par une diminution relative de la matière sèche, en accord avec le lien étroit observé entre biomasse produite et statut azoté des cultures fourragères (Silva *et al.*, 2024).

À l'inverse, la conductivité électrique du sol (CE_sol) présente un effet positif significatif sur la matière sèche des fourrages ($B = 3,59$; $\beta = 0,43$; $p < 0,001$). La régression partielle associée met en évidence une relation linéaire positive entre la CE du sol et la MS (Figure 94(a)), suggérant qu'une salinité modérée, dans des sols bien drainés, favorise une concentration relative de la biomasse et une augmentation apparente de la matière sèche, sans induire de stress osmotique sévère, ce qui rejoint des résultats montrant que la salinité explique une grande part de la variabilité de la biomasse fourragère en conditions arides (Bouras *et al.*, 2022; Cicore *et al.*, 2019).

Ces résultats indiquent que, dans le Zab Gharbi, la matière sèche des fourrages résulte d'un équilibre entre nutrition azotée et contrainte saline modérée. L'azote stimule la production de biomasse fraîche et la synthèse des composés organiques, réduisant la proportion de matière sèche, tandis que la salinité modérée du sol favorise une concentration relative de la biomasse végétale. Cette interaction explique la réponse spécifique des cultures fourragères dans les sols sableux du Zab Gharbi, où la mobilité de l'eau et des sels joue un rôle déterminant dans le fonctionnement sol-plante.

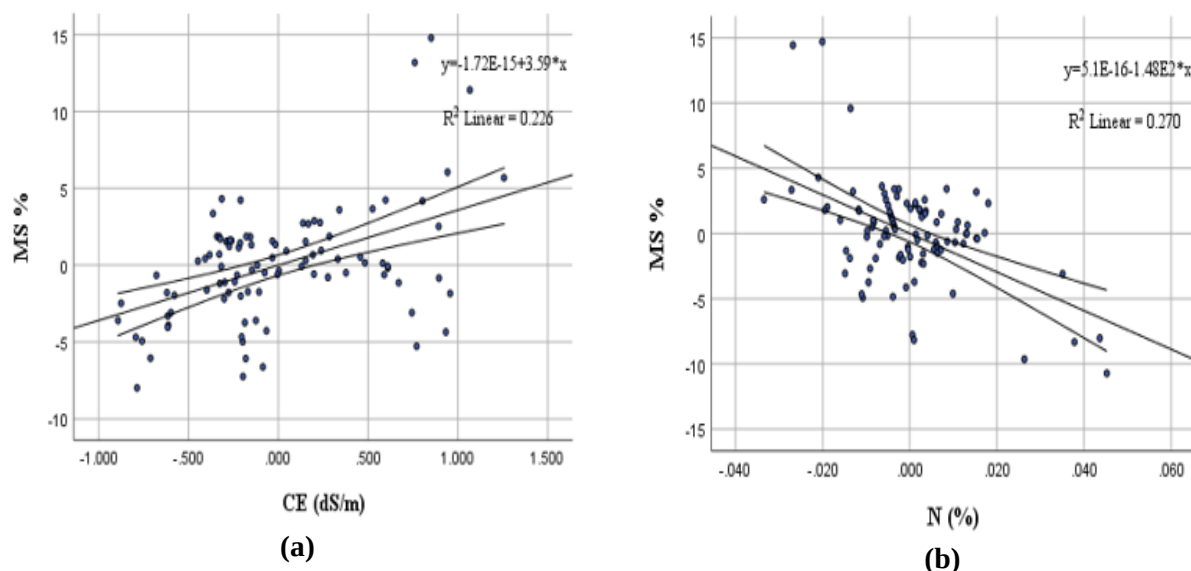


Figure 94 : Régressions partielles entre la matière sèche des fourrages (MS %) et (a) la conductivité électrique du sol (CE, dS/m) et (b) l'azote total du sol (N %) dans le Zab Gharbi.

❖ Matière organique des fourrages (MO %)

Dans la zone de Zab Gharbi, une analyse de régression linéaire multiple a été réalisée afin d'identifier les principaux facteurs édaphiques contrôlant la matière organique des fourrages (MO %) dans un contexte caractérisé par des sols sableux, bien drainés et une salinité globalement modérée. Sur la base des corrélations significatives et des régressions partielles, les bicarbonates (HCO_3^-) et le calcium échangeable (Ca^{2+}) ont été retenus comme variables explicatives de la MO.

Le modèle de régression est hautement significatif ($F = 39,92$; $p < 0,001$) et présente un coefficient de détermination $R^2 = 0,459$, indiquant que 45,9 % de la variabilité de la matière organique du fourrage est expliquée conjointement par les teneurs en HCO_3^- et Ca^{2+} du sol. La valeur du R^2 ajusté (0,448) confirme la robustesse du modèle.

L'analyse des coefficients de régression montre que les deux variables retenues exercent un effet positif et hautement significatif sur la matière organique du fourrage. Les bicarbonates (HCO_3^-) présentent un effet positif significatif ($B = 1,28$; $\beta = 0,40$; $p < 0,001$), indiquant que l'augmentation de l'alcalinité carbonatée du sol est associée à une amélioration de la fraction organique de la biomasse végétale, ce qui rejoint le rôle des systèmes HCO_3^- – Ca^{2+} dans la rétention

et la transformation du carbone organique en sols alcalins (Tavakkoli *et al.*, 2015; Song *et al.*, 2024). La régression partielle correspondante met en évidence une relation linéaire positive nette entre HCO_3^- et MO % (Figure 95(a)), traduisant une contribution indépendante des bicarbonates à la qualité organique du fourrage.

Le calcium (Ca^{2+}) exerce également un effet positif hautement significatif sur la matière organique ($B = 1,01$; $\beta = 0,51$; $p < 0,001$). Le coefficient standardisé plus élevé indique que le Ca^{2+} constitue le facteur explicatif dominant du modèle. La régression partielle associée montre une relation linéaire positive bien structurée entre Ca^{2+} et MO % (Figure 95(b)), soulignant le rôle du calcium dans la stabilisation des composés organiques et dans le maintien de conditions chimiques favorables à l'activité biologique et à la synthèse de biomasse organique. Ce résultat est cohérent avec de nombreux travaux montrant que le calcium échangeable est un prédicteur majeur de la teneur en matière organique et de la stabilisation du carbone via des ponts cationiques et les associations organo-minérales, en particulier dans les sols arides à pH élevé (Rasmussen *et al.*, 2018; Feng *et al.*, 2023; Rowley *et al.*, 2021; Shabtai *et al.*, 2023)

Ces résultats indiquent que, dans les sols sableux et modérément salins du Zab Gharbi, la matière organique du fourrage est favorisée par un environnement calco-carbonaté modéré, où le calcium et les bicarbonates contribuent à la régulation du pH, à l'amélioration de la disponibilité des nutriments et au maintien d'un fonctionnement biologique plus efficace du sol. Contrairement au Zab Chergui, où la salinité sodique constitue le facteur dominant de contrôle de la qualité fourragère, la qualité organique des fourrages du Zab Gharbi apparaît principalement liée à la chimie carbonatée du sol.

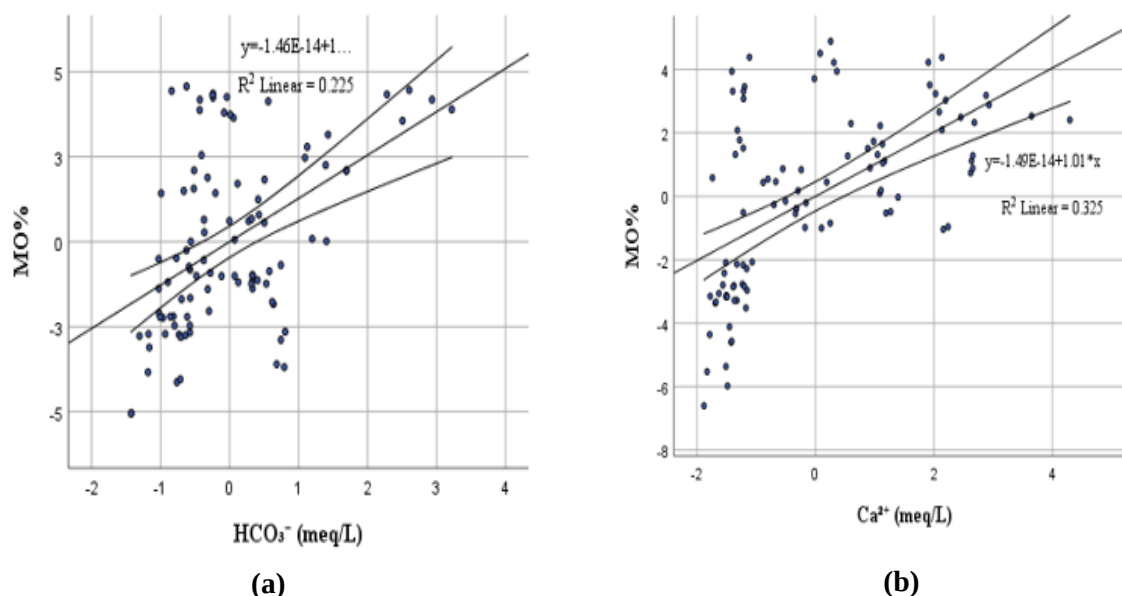


Figure 95 : Régressions partielles entre la matière organique des fourrages (MO %) et (a) les bicarbonates du sol (HCO_3^- , meq/L) et (b) le calcium échangeable (Ca^{2+} , meq/L) dans le Zab Gharbi.

❖ Matière minérale des fourrages (MM %)

Dans la zone de Zab Gharbi, une analyse de régression linéaire multiple a été réalisée afin d'identifier les principaux facteurs édaphiques contrôlant la matière minérale des fourrages (MM %) dans un contexte de sols sableux, bien drainés et soumis à une salinité globalement modérée. Sur la base des corrélations significatives et des régressions partielles, les bicarbonates du sol (HCO_3^-) et le calcium échangeable (Ca^{2+}) ont été retenus comme variables explicatives de la MM.

Le modèle de régression est hautement significatif ($F = 39,91$; $p < 0,001$) et présente un coefficient de détermination $R^2 = 0,459$, indiquant que 45,9 % de la variabilité de la matière minérale des fourrages est expliquée conjointement par les teneurs en HCO_3^- et Ca^{2+} du sol. La valeur du R^2 ajusté (0,448) confirme la robustesse du modèle et sa bonne capacité explicative dans les conditions pédologiques du Zab Gharbi.

L'analyse des coefficients de régression montre que les deux variables retenues exercent un effet négatif et hautement significatif sur la matière minérale du fourrage. Les bicarbonates (HCO_3^-) présentent un effet négatif significatif ($B = -1,28$; $\beta = -0,40$; $p < 0,001$), indiquant que l'augmentation de l'alcalinité carbonatée du sol est associée à une diminution de la fraction

minérale de la biomasse végétale. La régression partielle correspondante met en évidence une relation linéaire négative nette entre HCO_3^- et MM % (Figure 96(a)) traduisant une contribution indépendante des bicarbonates à la réduction de l'accumulation minérale dans les tissus végétaux (Bontpart et al., 2024).

Le calcium (Ca^{2+}) exerce également un effet négatif hautement significatif sur la matière minérale ($B = -1,01$; $\beta = -0,51$; $p < 0,001$). Le coefficient standardisé plus élevé indique que le Ca^{2+} constitue le facteur explicatif dominant du modèle. La régression partielle associée montre une relation inverse bien structurée entre Ca^{2+} et MM % (Figure 96(b)), soulignant le rôle du calcium dans la régulation des échanges ioniques et la limitation de l'accumulation excessive d'éléments minéraux dans la biomasse végétale (Peker *et al.*, 2024).

Ces résultats indiquent que, dans les sols sableux et modérément salins du Zab Gharbi, un environnement calco-carbonaté modéré contribue à limiter l'accumulation minérale excessive dans les fourrages. Le calcium et les bicarbonates participent à la régulation du pH, à l'équilibre ionique et à l'amélioration des conditions physiologiques de croissance, favorisant ainsi une biomasse relativement plus riche en composés organiques et moins chargée en éléments minéraux. Cette dynamique contraste avec celle observée dans le Zab Chergui, où la salinité sodique favorise au contraire une accumulation minérale accrue dans les tissus végétaux.

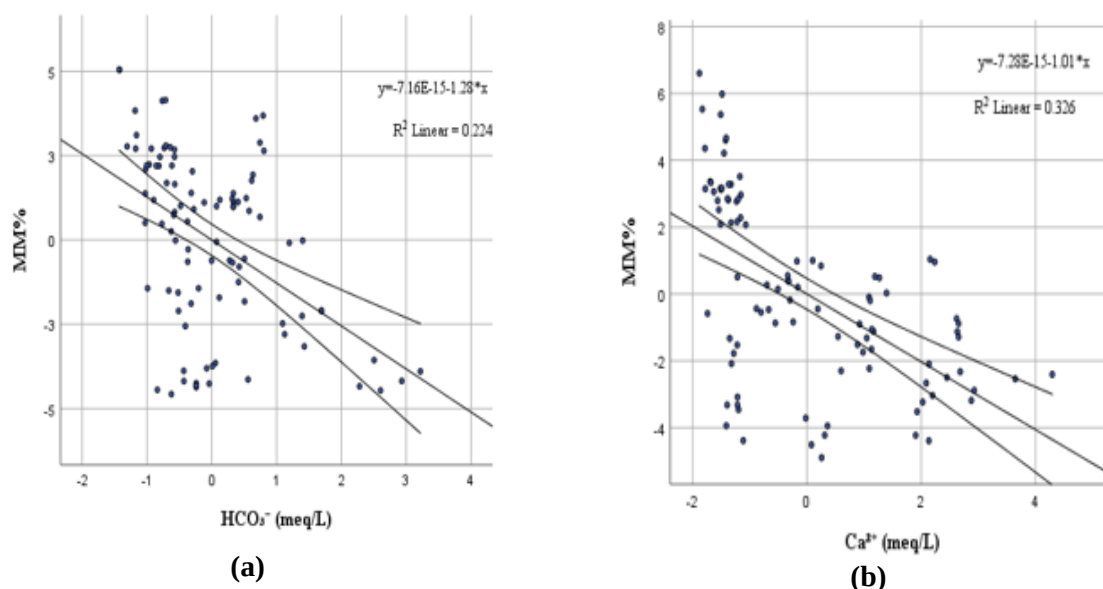


Figure 96 :Régressions partielles entre la matière minérale des fourrages (MM %) et (a) les bicarbonates du sol (HCO_3^- , meq/L) et (b) le calcium échangeable (Ca^{2+} , meq/L) dans le Zab Gharbi.

5.5 Discussion des résultats obtenus au laboratoire

Les résultats relatifs aux caractéristiques physico-chimiques des sols, à la qualité des eaux d'irrigation et aux relations sol–plante mettent en évidence des fonctionnements édaphiques profondément contrastés entre le Zab Chergui et le Zab Gharbi. Ces contrastes traduisent l'interaction étroite entre la nature des matériaux parentaux, les conditions hydrogéologiques, les pratiques d'irrigation et les réponses physiologiques des cultures fourragères en milieu aride.

5.5.1 Contrastes texturaux et implications hydropédologiques

La différenciation granulométrique observée entre les deux zones constitue un élément structurant de la variabilité pédologique des Ziban. Les sols du Zab Chergui, à texture plus fine dominée par le limon et l'argile, hérités des plaines alluviales quaternaires du bassin du Chott Melghir, présentent une capacité de rétention en eau et en éléments nutritifs plus élevée. Cette aptitude favorise une meilleure efficacité de l'irrigation et une plus grande stabilité de la fertilité, mais elle s'accompagne, en contexte aride, d'un risque accru d'accumulation des sels lorsque le drainage est insuffisant et que l'évaporation est intense.

À l'inverse, les sols sableux du Zab Gharbi, issus de glaciaires et de formations proximales de l'Atlas saharien, se caractérisent par une perméabilité élevée et une faible capacité de stockage de l'eau et des nutriments. Ces propriétés favorisent le lessivage des sels et limitent leur accumulation en surface, mais rendent les sols plus dépendants d'apports réguliers en eau et en éléments fertilisants. Cette opposition texturale explique en grande partie les différences observées dans les dynamiques de salinisation, de fertilité organique et de réponse des cultures fourragères entre les deux zones.

5. 5. 2 Matière organique et fertilité

Les teneurs plus élevées en matière organique, carbone et azote observées dans les sols du Zab Chergui illustrent le rôle protecteur des fractions fines dans la stabilisation de la matière organique, même sous climat aride. L'association organo-minérale avec le limon et l'argile ralentit la minéralisation et limite les pertes par lixiviation, permettant le maintien de stocks organiques relativement plus élevés que dans les sols sableux du Zab Gharbi.

Cependant, cette meilleure fertilité organique apparente est partiellement contrebalancée par les contraintes chimiques (salinité et alcalinité), qui limitent la disponibilité effective des nutriments pour les plantes. Dans le Zab Gharbi, la faible teneur en matière organique traduit la difficulté de stabilisation du carbone dans les sols sableux, où la minéralisation rapide et le drainage intense réduisent durablement les stocks organiques. Dans ce contexte, la fertilité azotée dépend davantage des pratiques agricoles et des apports externes que des propriétés fondamentales du sol.

Ces résultats confirment que, dans les milieux arides, la matière organique constitue un facteur clé de résilience des sols, mais que son efficacité agronomique reste fortement conditionnée par le contexte hydrique et chimique.

5. 5. 3 .Salinité, calcaire et contraintes chimiques des sols

La salinité apparaît comme l'un des facteurs structurant majeurs des sols des Ziban, avec une expression plus marquée dans le Zab Chergui. L'utilisation d'eaux souterraines fortement minéralisées, combinée à une évaporation intense, à un drainage limité et à la proximité du Chott Melghir, favorise la remontée capillaire et l'accumulation des sels dans les horizons superficiels. Cette salinisation secondaire est renforcée par les pratiques d'irrigation et les apports d'engrais minéraux, accentuant le stress osmotique pour les cultures.

Dans le Zab Gharbi, la salinité reste globalement plus modérée grâce à une meilleure qualité des eaux d'irrigation et à la texture sableuse des sols, qui facilite le lessivage partiel des sels. Toutefois, cette situation n'exclut pas des risques de salinisation à moyen terme, notamment sous irrigation intensive et en l'absence de gestion adaptée.

Par ailleurs, les teneurs élevées en CaCO_3 et le pH alcalin observés dans le Zab Chergui induisent des contraintes nutritionnelles spécifiques, en particulier une faible disponibilité du phosphore et des micronutriments. Dans le Zab Gharbi, un calcaire plus modéré et un pH proche de la neutralité améliorent la disponibilité chimique des nutriments, mais cette amélioration reste limitée par la faible capacité d'échange cationique des sols sableux.

5. 5. 4 Bilan ionique et dynamiques de minéralisation

L'analyse du bilan ionique met en évidence deux **faciès chimiques contrastés**. Dans le Zab Chergui, la dominance du couple Ca^{2+} – SO_4^{2-} associée à des teneurs élevées en Na^+ et Cl^- traduit un milieu fortement minéralisé, influencé par les processus évaporitiques et la dissolution des formations gypseuses. Cette combinaison favorise à la fois la floculation des argiles par le calcium et un risque de dispersion structurelle lié à l'excès de sodium, affectant la porosité et la conductivité hydraulique du sol.

Dans le Zab Gharbi, le faciès chloruré-sulfaté à dominance magnésienne reflète une minéralisation plus modérée, principalement contrôlée par la qualité de l'eau et les apports lithologiques. La forte perméabilité des sols sableux favorise la mobilité des ions et limite leur accumulation durable, mais accroît le risque de pertes nutritives par lixiviation.

5. 5. 5 Relations sol–plante

Les relations sol–plante mettent en évidence des réponses physiologiques contrastées des cultures fourragères aux contraintes édaphiques. Dans le Zab Chergui, la qualité des fourrages est largement contrôlée par un gradient salinité–alcalinité, où l'augmentation du sodium et des bicarbonates est associée à une augmentation relative de la matière sèche et de la matière minérale, traduisant un effet de concentration sous stress osmotique. En parallèle, la fertilité azotée du sol apparaît comme le facteur déterminant de la matière organique des fourrages, confirmant le rôle central de l'azote dans la synthèse des composés organiques en conditions arides.

Dans le Zab Gharbi, les relations sol–plante reflètent un fonctionnement plus équilibré, dominé par la chimie calco-carbonatée et une salinité modérée. Les fourrages y présentent une composition plus stable, avec une meilleure expression de la matière organique lorsque les conditions calciques et bicarbonatées sont favorables. Cette situation traduit une tolérance plus élevée des cultures aux contraintes chimiques modérées, en particulier pour la luzerne et l’orge.

5. 5. 6 Implications pour la gestion durable des sols et des systèmes fourragers

Dans l’ensemble, les résultats montrent que la productivité et la qualité des fourrages dans les Ziban sont étroitement liées au fonctionnement pédologique, lui-même conditionné par la texture, la salinité, le calcaire et la qualité des eaux d’irrigation. Le Zab Chergui se caractérise par des sols à potentiel de rétention élevé mais fortement contraints par la salinité et l’alcalinité, nécessitant des stratégies de gestion axées sur l’amélioration du drainage, la maîtrise de la salinisation et l’optimisation de la fertilité azotée. Le Zab Gharbi, quant à lui, présente un potentiel productif plus favorable, mais reste vulnérable aux pertes nutritives et à une dégradation progressive sous intensification mal maîtrisée.

Ces résultats soulignent que la durabilité des systèmes fourragers en milieu aride repose sur une gestion différenciée des sols, adaptée aux spécificités pédologiques et hydriques de chaque zone, intégrant à la fois des pratiques d’irrigation raisonnée, de fertilisation équilibrée et de préservation du fonctionnement sol–plante.

Conclusion

Conclusion générale

La présente recherche s'inscrit dans le contexte particulier des régions sahariennes arides, caractérisées par des contraintes pédoclimatiques et hydrogéologiques structurelles, où la durabilité des sols constitue un enjeu central pour la pérennité des systèmes agricoles et agro-pastoraux. Dans ces milieux fragiles, l'agriculture ne peut être dissociée des conditions écologiques qui la sous-tendent : disponibilité limitée des ressources en eau, sols chimiquement et physiquement contraignants, forte variabilité climatique et pression anthropique croissante. Ces contraintes font des agro-écosystèmes sahariens des systèmes sensibles, dans lesquels toute modification des pratiques agricoles peut entraîner des déséquilibres durables, affectant à la fois la productivité, la qualité des ressources produites et la stabilité environnementale.

Les résultats de cette étude montrent que les systèmes fourragers des Ziban s'inscrivent pleinement dans cette logique d'équilibre instable, où la relation sol-plantes fourragères apparaît comme un déterminant fondamental du fonctionnement, de la productivité et de la durabilité des systèmes agricoles. L'analyse intégrée met en évidence que la performance des cultures fourragères ne peut être comprise indépendamment des propriétés des sols, de la qualité des eaux d'irrigation et des stratégies d'adaptation mises en œuvre par les agriculteurs. Cette interaction complexe confère aux systèmes fourragers un caractère fortement territorialisé, qui exclut toute approche uniforme de la durabilité agricole en milieu saharien.

L'étude comparative du Zab Chergui et du Zab Gharbi révèle ainsi l'existence de trajectoires agronomiques distinctes au sein d'un même ensemble agro-écologique. Ces trajectoires traduisent des modes de fonctionnement différenciés, directement liés aux caractéristiques pédologiques et hydriques propres à chaque zone. Elles soulignent la nécessité d'abandonner une vision homogène des systèmes agricoles sahariens au profit d'une lecture spatialisée et contextualisée de la durabilité, fondée sur la reconnaissance de la diversité des sols et des ressources en eau.

Dans le Zab Chergui, les sols à texture fine issus des formations alluviales quaternaires présentent des potentialités agronomiques réelles, notamment une capacité

élevée de rétention en eau et en éléments nutritifs, en particulier l'azote et le carbone organique. Toutefois, ces potentialités sont largement contrebalancées par des contraintes chimiques majeures, parmi lesquelles la salinité, l'alcalinité et les fortes teneurs en calcaire occupent une place prépondérante. L'utilisation prolongée d'eaux d'irrigation fortement minéralisées, associée à une évaporation intense et à un drainage naturel limité, favorise des processus de salinisation secondaire et l'accumulation progressive des sels dans les horizons superficiels du sol. Dans ce contexte, la relation sol–plante est dominée par un gradient salinité–alcalinité qui conditionne directement la croissance des cultures fourragères, la composition de la biomasse produite et la qualité nutritionnelle des fourrages.

Les cultures fourragères implantées dans ces conditions manifestent des réponses physiologiques caractéristiques d'une adaptation au stress osmotique, se traduisant notamment par une augmentation relative de la matière sèche et de la fraction minérale de la biomasse. En revanche, la production de matière organique végétale demeure fortement dépendante de la disponibilité en azote du sol, dont l'efficacité est elle-même étroitement conditionnée par le niveau de salinité. Ces résultats montrent que, dans les sols salins et calcaires du Zab Chergui, la fertilité azotée constitue un levier central de la qualité fourragère, mais que son potentiel reste largement sous-exploité en l'absence d'une maîtrise simultanée de la salinité et de la gestion de l'eau. Ainsi, malgré des stocks de matière organique du sol relativement plus élevés que dans les sols sableux, la durabilité des systèmes fourragers demeure fragile lorsque les pratiques d'irrigation et de fertilisation ne sont pas adaptées aux contraintes édaphiques locales.

À l'inverse, le Zab Gharbi se caractérise par des sols sableux, bien drainés et globalement moins affectés par la salinité, offrant des conditions plus favorables à l'intensification des cultures fourragères, en particulier de la luzerne. Dans cette zone, la salinité reste modérée et principalement associée à des formes calciques et magnésiennes, ce qui limite les effets négatifs de la sodicité et favorise une meilleure stabilité structurale des sols. Toutefois, la faible capacité de rétention des sols sableux induit une forte dépendance aux apports réguliers en eau et en nutriments, et expose les systèmes à des

risques accrus de pertes par lixiviation. La durabilité des systèmes fourragers du Zab Gharbi repose ainsi sur un équilibre délicat entre intensification productive et préservation de la fertilité à long terme.

Les relations sol–plante observées dans le Zab Gharbi traduisent un fonctionnement globalement plus équilibré que dans le Zab Chergui. Dans ce contexte, la qualité des fourrages est davantage contrôlée par la chimie calco-carbonatée et par une salinité modérée que par un stress salin sévère. Les conditions calciques et bicarbonatées apparaissent favorables aux processus de synthèse organique végétale, contribuant à une amélioration de la qualité de la biomasse fourragère. Néanmoins, cette situation demeure vulnérable à une intensification non maîtrisée, susceptible d’entraîner un appauvrissement progressif des sols en matière organique et une dégradation de leur fertilité à moyen et long termes, soulignant la nécessité d’une gestion raisonnée des apports hydriques et fertilisants.

L’analyse comparée des espèces fourragères étudiées met en évidence des réponses différenciées aux contraintes édaphiques et hydriques. L’avoine se distingue par une relative stabilité de sa composition, traduisant une bonne plasticité physiologique et une tolérance aux niveaux de salinité modérée. Elle apparaît ainsi comme une culture capable de s’adapter à des conditions variables, offrant une certaine sécurité fourragère dans les contextes les moins contraignants. La luzerne se révèle être une culture structurante des systèmes fourragers sahariens, capable de renforcer la fertilité azotée des sols, d’améliorer leur structure et de sécuriser la production fourragère, en particulier lorsque la gestion de l’irrigation et de la fertilisation est maîtrisée. À l’inverse, l’orge se montre plus sensible aux gradients de salinité et reflète de manière directe les contraintes chimiques du sol, ce qui en fait un indicateur pertinent de la dégradation édaphique en milieu aride.

Au regard de la question centrale de la durabilité des sols, les résultats montrent que les pratiques agricoles observées dans les Ziban ne conduisent pas systématiquement à une dégradation irréversible des sols. Toutefois, elles génèrent des risques différenciés selon les zones : un risque de salinisation et de déséquilibres ioniques dans le Zab Chergui, et un risque de pertes nutritives et d’appauvrissement organique dans le Zab Gharbi. La

durabilité des systèmes fourragers repose ainsi sur la capacité des exploitants à adapter leurs pratiques aux spécificités pédologiques et hydriques locales, en intégrant des stratégies de gestion raisonnée de l'eau, de fertilisation équilibrée et de valorisation des cultures pérennes.

Cette étude apporte plusieurs contributions scientifiques majeures. Elle met en évidence le rôle central de la relation sol-plantes fourragères dans le fonctionnement des systèmes agricoles sahariens, en montrant que la qualité des sols et des eaux conditionne directement la productivité, la qualité et la durabilité des cultures. Elle souligne également l'intérêt d'une approche territorialisée de la durabilité agricole, fondée sur la différenciation des contextes pédologiques et hydriques, et met en lumière la complémentarité des cultures fourragères comme leviers d'adaptation aux contraintes du milieu. Enfin, elle contribue à une meilleure compréhension des mécanismes de vulnérabilité et de résilience des agro-écosystèmes sahariens face aux pressions environnementales croissantes.

Si cette recherche met en évidence des tendances robustes, elle souligne également la complexité des systèmes étudiés et la nécessité de poursuivre les investigations à des échelles temporelles plus longues. Les dynamiques de salinisation, d'appauvrissement organique et d'évolution de la fertilité des sols s'inscrivent dans des processus lents, dont l'analyse gagnerait à être approfondie par des suivis à long terme et par l'intégration de paramètres biologiques, notamment liés à l'activité microbienne des sols et de la rhizosphère. Ces limites ne remettent pas en cause les résultats obtenus, mais soulignent la nécessité d'une lecture systémique et évolutive de la durabilité agricole en milieu saharien.

Au-delà de l'analyse scientifique, les résultats de cette étude invitent à une réflexion plus large sur les conditions de durabilité des systèmes agricoles sahariens et sur les leviers d'action mobilisables à différentes échelles. À l'échelle des exploitations, la gestion raisonnée de l'eau et de la matière organique apparaît comme un déterminant essentiel de la durabilité des systèmes fourragers. À l'échelle territoriale, l'accompagnement technique et la planification agricole doivent intégrer la diversité des

sols et des ressources hydriques, en évitant les approches uniformes au profit de stratégies différenciées adaptées aux spécificités du Zab Chergui et du Zab Gharbi.

À l'échelle des politiques publiques, cette recherche souligne l'importance d'orienter les dispositifs de soutien vers des pratiques favorables à la conservation des sols et à l'efficacité de l'utilisation de l'eau, et de renforcer les dispositifs de suivi pédologique et hydrique afin d'anticiper les processus de dégradation. La durabilité des systèmes agricoles sahariens ne peut être atteinte sans une articulation étroite entre recherche scientifique, accompagnement technique et politiques territoriales cohérentes.

Enfin, dans un contexte marqué par le changement climatique, l'augmentation attendue de l'aridité et la pression croissante sur les ressources en eau, les cultures fourragères apparaissent comme un levier stratégique pour renforcer la résilience des systèmes agricoles sahariens. L'intégration raisonnée de ces cultures, en particulier des légumineuses, permet de concilier production agricole, conservation des sols et adaptation aux contraintes environnementales. La durabilité agricole dans les Ziban, comme dans d'autres régions sahariennes, doit ainsi être envisagée non comme un objectif statique, mais comme un processus dynamique d'adaptation continue, fondé sur la connaissance fine des milieux, l'innovation technique raisonnée et l'accompagnement durable des acteurs locaux. C'est à cette condition que les systèmes agricoles sahariens pourront répondre durablement aux défis de la sécurité alimentaire, du changement climatique et de la gestion des ressources naturelles.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Abdelhafid, Y. 2012. Genèse et caractéristiques des sols de la plaine d'El-Outaya, Rapport du projet sur les phases salines, CRSTRA de Biskra, 74 pp.
- Abdelguerfi, A., Laouar, M. & M'Hammedi Bouzina, M. 2008. Les productions fourragères et pastorales en Algérie: Situation et Possibilités d'Amélioration, Revue Semestrielle 'Agriculture & développement' (INVA, Alger) 6: 14-25
- Abile, H., Fituma, K. & Mammo, S. 2025. Impact of land use types on selected soil physicochemical parameters in the case of Liben Jawi district, Ethiopia, Scientific Reports 15: 1-13
- Abebe, H. & Tu, Y. 2024. Impact of Salt and Alkali Stress on Forage Biomass Yield, Nutritive Value, and Animal Growth Performance: A Comprehensive Review, Grasses 3: 355-368, <https://doi.org/10.3390/grasses3040025>
- Acton, D.F. & Gregorich, L.J. 1995. The Health of Our Soils: Toward Sustainable Agriculture in Canada, Agriculture Agri-Food Canada, CDR Unit, Ottawa, 138 pp.
- Association Française de Normalisation (AFNOR), 1982. Produits agricoles et alimentaires. Détermination de la cellulose brute, NF V 03-040
- Aidaoui, S. 1994. Ressource en eau et aménagement hydro-agricole dans la région de Biskra" Ziban, [Algérie], Thèse de doctorat, Université Nancy 2 , 353 p.
- Allia, Z. 2018. Le Système Aquifère Mio-pliocène du Bassin de Chott Melrhir – Zab Chergui : Caractérisation, Géométrie et Hydrochimie, Thèse de Doctorat en Sciences de l'Hydraulique, Université Mohamed Khider Biskra, Algérie, 164 p.
- Ates, S., Cicek, H., Bell, L.W., Norman, H.C., Mayberry, D.E., Kassam, S., Hannaway, D.B. & Louhaichi, M. 2018. Sustainable development of smallholder crop–livestock farming in developing countries, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 142: 012076, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/142/1/012076>
- Aubert, G. 1982. Les sols sodiques en Afrique du Nord, Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM), fond documentaire N°: 82/76/01402, Côte B. 185 pp.
- Aubert, G. 1983. Observation sur les caractéristiques, la dénomination et la classification des sols salés ou salsodiques, Cahiers de l'ORSTOM, série pédologie 20(1): 73-78
- Bakroune, N., Sellami, M., Bakroune, H. & Ababsa, M. 2020. Diversity and seasonal occurrence of aphids and their natural enemies in a cereal ecosystem in Biskra region (Southeast of Algeria),

PONTE International Scientific Researches Journal 76(4): 14-28,
<https://doi.org/10.21506/j.ponte.2020.4.14>

Ball, D., Collins, M., Lacefield, G. et al. 2001. Understanding Forage Quality, Park Ridge, IL: American Farm Bureau Federation Publication. 1-01

Bansal, S. & Yin, X. 2020. Effects of salinity, growth condition, and soil type on shoot dry matter of Alfalfa (*Medicago sativa*) – a meta-analysis, Communications in Soil Science and Plant Analysis, <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1854296>

Bassole, Z., Yango, J.P., Taladidia, E. & Nikiema, D. 2023. Caractérisation des sols ferrugineux tropicaux lessivés et des sols bruns eutrophes tropicaux pour l'utilisation agricole dans le bas-fond de Goundi-Djore (Burkina Faso), International Journal of Biological and Chemical Sciences 32(3): 167-186

Batello, C., Brinkman, R., Manjetje, L., Martinez, A. & Suttie, J. 2008. Plant Genetic Resources of Forage Crops, Pasture and Rangelands, FAO, Rome, ISBN 978-92-5-106033-2, 63 pp.

Batool, M., Cihacek, L.J. & Alghamdi, R.S. 2024. Soil Inorganic Carbon Formation and the Sequestration of Secondary Carbonates in Global Carbon Pools: A Review, Soil Systems 8: 15, <https://doi.org/10.3390/soilsystems8010015>

Bello, S.K., Alayafi, A.H., Al-Solaimani, S.G. & Abo-Elyousr, K.A.M. 2021. Mitigating soil salinity stress with gypsum and bio-organic amendments: a review, Agronomy 11(9): 1735, <https://doi.org/10.3390/agronomy11091735>

Benaouda, L., Assami, T., Meridja, W., Halitim, S. & Halitim, A. 2008. Changement de la qualité des sols irrigués de la plaine d'El-Outaya (Biskra), In: Colloq Int sur l'aridoculture-Optimisation des productions agricoles et développement durable, C.R.S.T.R.A., Algérie, 129-144

Benounas, Y. & Chaib, A. 2007. Importance des Fabaceae fourragères dans les oasis du Ziban, Mémoire d'ingénieur d'État en agronomie saharienne, Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie, 73pp.

Bityutskii, N., Yakkonen, K., Petrova, A. & Nadporozhskaya, M. 2017. Xylem sap mineral analyses as a rapid method for estimation plant-availability of Fe, Zn and Mn in carbonate soils: a case study in cucumber, Journal of Soil Science and Plant Nutrition 17(2): 279-290

Bontpart, T., Weiss, A., Vile, D., Gérard, F., Lacombe, B., Reichheld, J.-P. & Mari, S. 2024. Growing on calcareous soils and facing climate change, Trends in Plant Science 29(12): 1319-1330, <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2024.03.013>

Bouammar, B. 2000. Les changements dans l'environnement économique depuis 1994 et leurs effets sur la rentabilité économique et financière des néo-exploitations agricoles oasiennes et sur

leur devenir : cas des exploitations céréalières et phoenicicoles de la région de Ouargla, Mémoire de magister, INA, Alger, 124 pp.

Bouammar, B. 2010. Le développement agricole dans les régions sahariennes : étude de cas de la région de Ouargla et de la région de Biskra (2006–2008), Thèse de Doctorat en sciences économiques, Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie, 277 pp.

Bouammar, B., Cheloufi, H. & Aouidane, L. 2008. La dynamique agricole dans la zone d'El Ghrous (Biskra) : entre le boom maraîcher et la lente généralisation des systèmes de production phoenicicoles, Publication en cours, 9 pp.

Boudibi, S. 2021. Modeling the Impact of Irrigation Water Quality on Soil Salinization in an Arid Region, Case of Biskra, Thesis (Doctorat), Department of Agronomic Sciences, University of Biskra, Biskra, Algeria, 148 pp., <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12406.93768>

Boumadda, A. 2019. Dynamique et durabilité des systèmes agricoles oasiens dans le Sahara septentrional algérien : cas du pays de Ouargla et du Souf, Thèse de Doctorat en sciences agronomiques, Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie, 271 pp.

Bouras, H., Choukr-Allah, R., Mosseddaq, F., Bouaziz, A., Devkota, K.P., Mouttaqi, A.E., Bouazzama, B. & Hirich, A. 2022. Does Phosphorus Fertilization Increase Biomass Production and Salinity Tolerance of Blue Panicum (*Panicum antidotale* Retz.) in the Salt-Affected Soils of Arid Regions?, *Agronomy* 12(4): 791, <https://doi.org/10.3390/agronomy12040791>

Bouziane, M.T. & Labadi, A. 2009. Les eaux profondes de la Région de Biskra (Algérie), *European Journal of Scientific Research* 25(4): 526-537

Brady, N.C. & Weil, R.R. 2017. The nature and properties of soil, 15th ed., Macmillan Publishing Company, U.S.A., 1071 pp.

Brownrigg, S., McLaughlin, M.J., McBeath, T. & Vadakattu, G. 2022. Effect of acidifying amendments on P availability in calcareous soils, *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 124(2): 247-262, <https://doi.org/10.1007/s10705-022-10241-1>

Bukhat, S., Manzoor, H., Athar, H.-u.-R., Zafar, Z.U., Azeem, F. & Rasul, S. 2019. Salicylic acid induced photosynthetic adaptability of *Raphanus sativus* to salt stress is associated with antioxidant capacity, *Journal of Plant Growth Regulation* 38: 809-821, <https://doi.org/10.1007/s00344-019-10024-2>

Campos, A., Suárez, G. & Laborde, J. 2020. Analyzing vegetation cover-induced organic matter mineralization dynamics in sandy soils from tropical dry coastal ecosystems, *Catena* 185: 104264, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104264>

Cesar, J., Ehouinsou, M. & Gouro, A. 2004. Production fourragère en zone tropicale et conseils aux éleveurs : Conseils et formation en appui à la production laitière, PROCORDEL, 48 pp.

- Chebbah, M. 2007. Lithostratigraphie, Sédimentologie et modèles de Bassins des dépôts néogènes de la région de Biskra, de part et d'autre de l'accident Sud Atlasique (Ziban, Algérie), Thèse de doctorat d'état, 417 pp.
- Chen, J., Laerke, P.E. & Jørgensen, U. 2022. Land conversion from annual to perennial crops: A win-win strategy for biomass yield and soil organic carbon and total nitrogen sequestration, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 330: 107896, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.107896>
- Dadamoussa, M.L. 2017. Impact de la mise en valeur agricole sur le développement rural dans les régions sahariennes. Cas de Ouargla, El-Oued et Gardaia, Thèse de doctorat, Université Kasdi Merbah Ouargla, 270 pp.
- Doran, J.W. & Parkin, T.B. 1994. Defining and Assessing Soil Quality, In: *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*, John Wiley & Sons, Ltd, pp. 1-21, <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub35.c1>
- Direction des Services Agricoles (DSA), 2021. Rapport de l'activité agricole de la direction de service agricole de la wilaya de Biskra et d'Ouled Djellal, 4 pp.
- Dubost, D. 1991. Ecology, Planning and Agricultural Development of Algerian Oases, University PhD thesis, 3 volumes, 544 pp.
- Ehrenfeld, J.G. 2013. Plant–Soil Interactions, In *Encyclopedia of Biodiversity*, Third Edition, Volume 6, 408-428 pp.
- FAO, 1990. La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 1990, Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), Rome, Italie, 223 pp.
- FAO, 1994. La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 1994, Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), Rome, Italie, 290 pp.
- FAO, 1996. La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 1996, Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), Rome, Italie, 320 pp.
- FAO, 2015. Status of the World's Soil Resources (Main Report), Rome, Italie : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), 599 pp.
- FAO, 2020. Standard operative procedure for soil calcium carbonate equivalent: Titrimetric method, Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), Rome, 11 pp.
- Feng, J., Song, Y. & Zhu, B. 2023. Ecosystem-dependent responses of soil carbon storage to phosphorus enrichment, *New Phytologist* 238(6): 2363-2374, <https://doi.org/10.1111/nph.18907>

- Franzluebbers, A.J. 2013. Ecosystem services from forages, In: Bittman, S., Hunt, D. (Eds.), *Cool Forages – Advanced Management of Temperate Forages*, Agassiz, BC, Canada: Pacific Field Corn Association, 2-6 pp.
- Fuglie, K., Peters, M. & Burkart, S. 2021. The extent and economic significance of cultivated forage crops in developing countries, *Frontiers in Sustainable Food Systems* 5: 712136, <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.712136>
- Gao, G., Qiu, C., Liu, M., Liu, M., Li, X., Zhang, C., Wu, M. & Li, Z. 2025. Natural fallow alleviates carbon and nitrogen limitation of microorganisms and plants in paddy fields, *Functional Ecology*, <https://doi.org/10.1111/1365-2435.70097>
- Gebauer, A., Sakhaee, A., Don, A., Poggio, M. & Ließ, M. 2022. Topsoil texture regionalization for agricultural soils in Germany—An iterative approach to advance model interpretation, *Frontiers in Soil Science* 1: 770326, <https://doi.org/10.3389/fsoil.2021.770326>
- Gee, G. & Or, D. 2002. Particle-size analysis, In *Methods of Soil Analysis. Part 4: Physical Methods*, Madison, WI, USA, 255-293 pp.
- Halitim, A. 1988. *Les sols des régions arides d'Algérie*, Ed. Office des Publications Universitaires (OPU), Alger , 384 pp.
- Holz, M., Zarebanadkouki, M., Benard, P., Hoffmann, M. & Dubbert, M. 2024. Root and rhizosphere traits for enhanced water and nutrients uptake efficiency in dynamic environments, *Frontiers in Plant Science* 15: 1383373, <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1383373>
- Houmani, M. 1999. Situation alimentaire du bétail en Algérie, *Recherche Agronomique, INRAA* 4: 35-45
- Huang, J. & Hartemink, A.E. 2020. Soil and environmental issues in sandy soils, *Earth-Science Reviews* 208: 103295, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103295>
- Centre International pour la Recherche Agricole (ICRA), 1994., *Recherche agricole orientée vers le développement*, Cours ICRA, 288 pp.
- Ismayilov, A.I., Mamedov, A.I., Fujimaki, H., Tsunekawa, A. & Levy, G.J. 2021. Soil salinity type effects on the relationship between the electrical conductivity and salt content for 1:5 soil-to-water extract, *Sustainability* 13: 3395, <https://doi.org/10.3390/su13063395>
- Issolah, R. 2018. Diversité et valorisation des ressources fourragères en Algérie : cas des genres *Trifolium* L. et *Hedysarum* L. (Fabaceae), Communication présentée au Congrès national sur les ressources phylogénétiques en Algérie, INRAA, Alger, 87-104 pp.
- Issolah, R. & Abdelguerfi, A. 1999. Variability within 31 spontaneous populations of *Trifolium scabrum* L., nature of relations with factors of the site of origin, IX Meeting of the FAO-

CIHEAM Sub-Network on mediterranean pastures and fodder crops, Badajoz, Spain from 26 to 29 November 1997, Cahiers options méditerranéennes 39: 123-127

Issolah, R., Beloued, A. & Yahiaoui, S. 2011. Preliminary Inventory of the species associated to *Sulla coronaria* (L.) Medik. (Fabaceae) in northeastern Algeria, Pakistan Journal of Weed Science Research 17(1): 83-101

Issolah, R. et al. 2016. Analysis of the behaviour and the chemical composition within some algerian populations of *Trifolium subterraneum* L., Journal of Biological Sciences 16(4): 148-154

Institut Technique de Développement de l'Agronomie Saharienne (ITDAS), 2016. Monographie de la wilaya de Biskra 2016, Direction de la programmation et du suivi budgétaire, Biskra, Algérie, 10 pp.

Jensen, E.S. & Hauggaard-Nielsen, H. 2003. How can increased use of biological N₂ fixation in agriculture benefit the environment?, Plant Soil 252: 177-186

Jiménez-Ballesta, R., Bravo, S., Pérez-de-los-Reyes, C., Amorós, J.A. & García-Navarro, F. 2023. Carbonate morphological features of vineyard soils in a semiarid Mediterranean environment, European Journal of Soil Science 74(6): e13435, <https://doi.org/10.1111/ejss.13435>

Jouve, P. 1986. Un modèle d'aménagement hydro-agricole à l'épreuve du temps et de l'évolution des systèmes de production des grands périmètres irrigués, Communication présentée au séminaire « Aménagements hydro-agricoles et systèmes de production », DSA, CIRAD, Montpellier, France, 185-198 pp.

Kadi, S.A. & Djellal, F. 2009. Autonomie alimentaire des exploitations laitières dans la région de Tizi-Ouzou, Algérie, Livestock Research for Rural Development 21(12): Article 227.

Karlen, D.L. et al. 1997. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (A Guest Editorial), Soil Science Society of America Journal 61: 4-10, <https://doi.org/10.2136/sssaj1997.03615995006100010001x>

Karlen, D.L., Lemunyon, J.L. & Singer, J.W. 2007. Forages for conservation and improved soil quality, In: Barnes, R.F., Nelson, C.J., Moor, K.J., Collins, M. (Eds.), Forages – The Science of Grassland Agriculture, sixth ed., vol. II, Ames, IA: Blackwell Publishing, 149-166 pp.

Khadraoui, A. 1994. Contribution des études agropédologiques et hydrodynamiques des sols aux projets d'aménagements hydro agricoles : cas du périmètre d'El-Outaya Biskra, Actes du séminaire national sur l'hydraulique, université de Biskra, 223-233 pp.

Khadraoui, A. 1998. Utilisation des ressources en eau souterraines au Sahara septentrional et leur impact sur l'environnement, Actes du séminaire sur l'hydraulique, université de Biskra, 193-201 pp.

- Khechai, S. 2001. Contribution à l'étude du comportement hydro physiques des soles des périmètres de ITDAS, plaine de l'Outaya, Mémoire de Magister, Université de Batna, Algérie, 223 pp.
- Klein, H.D., Rippstein, G., Huguenin, J., Toutain, B., Guerin, H. & Louppe, D. 2014. Les cultures fourragères, Éditions Quæ, CTA, Presses agronomiques de Gembloux, 262 pp.
- Koudahe, K., Allen, S.C. & Djaman, K. 2022. Critical review of the impact of cover crops on soil properties, *International Soil and Water Conservation Research* 10(4): 499-514, <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2022.03.002>
- Lal, R. 1993. Tillage effects on soil degradation, soil resilience, soil quality and sustainability, *Soil Tillage Research* 27: 1-7
- Lal, R. 1997. Degradation and resilience of soils, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London (B)* 352: 997-1010
- Lal, R. 2009. Soil degradation as a reason for inadequate human nutrition, *Food Security* 1(1): 45-57, <https://doi.org/10.1007/s12571-009-0009-z>
- Larousse Agricole, 1984. "Patrimoine" in *Grand Dictionnaire Encyclopédique Larousse*, Librairie Larousse, Paris, 7889 pp.
- Le Moigne, J.-L. 1980. L'analyse de système malgré tout, *La Pensée* 120: 63-78
- Li, H., Chang, L., Wei, Y. & Li, Y. 2023. Interacting effects of land use type, soil attributes, and environmental factors on aggregate stability, *Land* 12: 1286, <https://doi.org/10.3390/land12071286>
- Lu, Y. & Fricke, W. 2024. Salt stress—Regulation of root water uptake in a whole-plant and diurnal context, *International Journal of Molecular Sciences* 25(8): 8070, <https://doi.org/10.3390/ijms25088070>
- Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (MADR), 2019. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural ,88 pp.
- Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (MADR), 2021. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural ,86 pp.
- Mancer, H. 2019. Contribution à l'étude de la minéralisation de la matière organique en conditions salines sahariennes : cas des Ziban (Algérie), Thèse de Doctorat en Sciences agronomiques, Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie, 104 pp.
- Masmoudi, A. 2012. Problèmes de la salinité liés à l'irrigation dans la région Saharienne : Cas des Oasis des Ziban, Thèse de Doctorat, Université de Biskra, 139 pp.

- Mausel, P.W. 1971. Soil quality in illinois—an example of a soils geography resource analysis, *Professional Geographer* 23: 127-136, <https://doi.org/10.1111/j.0033-0124.1971.00127>
- McBratney, A.B., Field, D.J. & Koch, A. 2014. The dimensions of soil security, *Geoderma* 213: 203-213
- McBratney, A.B. & Hartemink, A.E. 2024. Define soil, *Soil Security* 14: 100135, <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2024.100135>
- Mertens, D.L. 2010. NDF and DMI – Has anything changed?, In: *Proceedings, Cornell Nutrition Conference, Ithaca, NY: Cornell University*, <http://www.ansci.cornell.edu/cnconf/2010proceedings/CNC2010.18.Mertens.pdf> (consulté le 17.05.25).
- Mohkam-Singh, M. & Nunes, M.R. 2025. A 30-Year overview of soil fertility, soil quality, and soil health research in Florida, *Ecological Indicators* 176: 113660, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.113660>
- Morgan, J.B. & Connolly, E.L. 2013. Plant-Soil Interactions: Nutrient Uptake, *Nature Education Knowledge* 4(8): 2
- Nabayi, A., Boon, C., Teh, S. & Tan, A.K.Z. 2023. Nutrient Leaching Losses from Continuous Application of Washed Rice Water on Three Contrasting Soil Textures, *Pertanika Journal of Science & Technology* 31(4): 1937-1955
- Nahal, I. 1998. *Principes d'agriculture durable*, Ed. ESTEM, Paris, 121 pp.
- Naorem, A. et al. 2023. Soil constraints in an arid environment – Challenges, prospects, and implications, *Agronomy* 13: 220, <https://doi.org/10.3390/agronomy13010220>
- Nenuji, V., Harrison, B.J. & Hendrickx, J.M.H. 2014. The Effect of Soil Texture on the Precipitation of Pedogenic Carbonate in Semi-Arid Soils, *New Mexico Geological Society Annual Spring Meeting, Socorro, NM, USA*, 46 pp.
- Notenbaert, A.O. et al. 2021. Tapping into the environmental co-benefits of improved tropical forages for an agroecological transformation of livestock production systems, *Frontiers in Sustainable Food Systems* 5: 742842, <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.742842>
- Office Nationale Météorologie (ONM) Biskra, 2024. Les données climatiques de la région de Biskra (2014-2024), 1 pp.
- Office National de la Météorologie (ONM) Biskra, 2018. les données météorologiques de la wilaya de Biskra pour la période 2014-2024 ,2 pp.

- Office National de Recherche Géologique et Minière (ORGM), 1998. Livret des substances utiles non métalliques de l'Algérie wilaya de Biskra 07, Edition du service géologique de l'Algérie, Boumerdès, 34 pp.
- Ozenda, P. 1991. Flore du Sahara, Ed. Centre national de la recherche scientifique (CNRS), Paris, 625 pp.
- PDGDRS, 1999. Etude du plan directeur général de développement des régions sahariennes. indicateurs de développement. tome 1 : vision d'ensemble du sahara, 22 pp.
- Peker, A.E., Öztürk, H.S. & Mamedov, A.I. 2024. The effect of sodic water type on the chemical properties of calcareous soil in semi-arid irrigated land, Soil Systems 8: 10, <https://doi.org/10.3390/soilsystems8010010>
- Putnam, D.H. et al. 2001. Alfalfa, Wildlife and the Environment – The Importance and Benefits of Alfalfa in the 21st Century, Novato, CA: California Alfalfa & Forage Association, Available at: http://alfalfa.ucdavis.edu/-files/pdf/Alf_Wild_Env_BrochureFINAL.pdf (consulté le 12.07.25)
- Raimbault, G. 1994. Comptabilité générale et analyse financière: Outils de gestion, Ed. Chihabeyrolles, 177 pp.
- Rasmussen, C. et al. 2018. Beyond clay: towards an improved set of variables for predicting soil organic matter content, Biogeochemistry 137(3): 297-306, <https://doi.org/10.1007/s10533-018-0424-3>
- Rechachi, M.Z. 2017. Impact de la qualité des eaux d'irrigation sur la salinisation des sols en régions arides et semi arides: cas de la region du Ziban, Université Mohamed Khider-Biskra, 380 pp.
- Reid, R.L. 1994. Milestones in forage research, In: Fahey Jr., G.C. (Ed.), Forage Quality, Evaluation, and Utilization, Madison, WI: American Society of Agronomy, 1-58 pp.
- Reynolds, J.F. et al. 2007. Global desertification: Building a science for dryland development, Science 316(5826): 847-851
- Safriel, U. et al. 2005. Dryland systems, in Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends, Volume 1, 625-664 pp.
- Schneider, A. & Huyghe, C. 2015. Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables, éd. Quae, Versailles, 473 pp.
- Sedrati, N. 2011. Origines et caractéristiques physico-chimiques des eaux de la Wilaya de Biskra-Sud Est Algérien, Thèse de doctorat, Université d'Annaba, Algérie, 252 pp.

- Senoussi, A. & Behir, T. 2010. Étude des disponibilités des aliments de bétail dans les régions sahariennes : cas de la région du Souf, *Revue du Chercheur* 8: 65-74.
- Shelden, M.C. & Munns, R. 2023. Crop root system plasticity for improved yields in saline soils, *Frontiers in Plant Science* 14: 1120583, <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1120583>
- Shrivastava, P. & Kumar, R. 2015. Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation, *Saudi Journal of Biological Sciences* 22: 123-131, <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.12.001>
- Silva, L., Barbosa, S., Lidon, F.C., Santos-Silva, J. & Conceição, L.A. 2024. Measuring the Influence of Key Management Decisions on the Nitrogen Nutritional Status of Annual Ryegrass-Based Forage Crops, *Agronomy* 14(8): 1817, <https://doi.org/10.3390/agronomy14081817>
- Song, X.-D. et al. 2022. Significant loss of soil inorganic carbon at the continental scale, *National Science Review* 9(2): nwab120, <https://doi.org/10.1093/nsr/nwab120>
- Suyama, H., Benes, S.E., Robinson, P.H., Getachew, G., Grattan, S.R. & Grieve, C.M. 2007. Biomass yield and nutritional quality of forage species under long-term irrigation with saline-sodic drainage water: field evaluation, *Animal Feed Science and Technology* 135(3-4): 329-345, <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.08.010>
- Tavakkoli, E., Rengasamy, P., Smith, E. & McDonald, G.K. 2015. The effect of cation-anion interactions on soil pH and solubility of organic carbon, *European Journal of Soil Science* 66(6): 1054-1062, <https://doi.org/10.1111/ejss.12294>
- Toutain, G. 1979. *Eléments d'agronomie saharienne. De la recherche au développement*, Edition INRA, Paris, 276 pp.
- United States Salinity Laboratory Staff, 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*, USDA Agriculture Handbook No. 60, United States Department of Agriculture, Washington DC, 166 pp.
- Voltr, V., Menšík, L., Hlisnikovský, L., Hruška, M., Pokorný, E. & Pospíšilová, L. 2021. The Soil Organic Matter in Connection with Soil Properties and Soil Inputs, *Agronomy* 11: 779, <https://doi.org/10.3390/agronomy11040779>
- Wang, C., Luo, D., Zhang, X., Huang, R., Cao, Y., Liu, G., Zhang, Y. & Wang, H. 2022. Biochar-based slow-release of fertilizers for sustainable agriculture: a mini review, *Environmental Science and Ecotechnology* 10: 100167, <https://doi.org/10.1016/j.esec.2022.100167>
- Wang, K., Li, J., Zhou, Z. & Zhang, X.J. 2023. Editorial: Soil degradation and restoration in arid and semi-arid regions, *Frontiers in Environmental Science* 11: 1307500, <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1307500>

- Wang, Z., Zhao, M., Yan, Z., Yang, Y., Niklas, K.J., Donko Mipam, T., He, X., Hu, H. & Wright, S.J. 2022. Global patterns and predictors of soil microbial biomass carbon, nitrogen, and phosphorus in terrestrial ecosystems, *Catena* 211: 106037, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106037>
- Wedin, D.A. & Russelle, M.P. 2007. Nutrient cycling in forage production systems, In: Bares, R.F., Nelson, C.J., Moor, K.J., Collins, M. (Eds.), *Forages – The Science of Grassland Agriculture*, sixth ed., vol. II, Ames, IA: Blackwell Publishing, 137-148 pp.
- Wood, S.A., Tirfessa, D. & Baudron, F. 2018. Soil organic matter underlies crop nutritional quality and productivity in smallholder agriculture, *Agriculture, Ecosystems & Environment* 266: 100-108, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.07.025>
- Ye, J., Li, J., Di, Y., Wei, X., Ren, Y., Cheng, Y., Tian, L., Li, Z., Chen, L. & Lu, Z. 2026. Effect of tillage practices on soil erodibility in wind-water erosion crisscross region, *Catena* 262: 109662, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2025.109662>
- Yirdaw, E., Tigabu, M. & Monge, A. 2017. Rehabilitation of degraded dryland ecosystems – review, *Silva Fennica* 51(1B): 1673, 32 pp., <https://doi.org/10.14214/sf.1673>
- Zenkhrri, S. 2017. L'agriculture saharienne : du système oasien traditionnel à l'établissement d'une conception d'économie de marché et de développement durable, Thèse de Doctorat en Sciences agronomiques, Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, Algérie, 231 pp.
- Zhang, X., Zhang, F., Yuan, Z.-Q. & Li, F.-M. 2024. Alfalfa-livestock system promotes the accumulation of soil organic carbon in a semi-arid marginal land, *Agriculture, Ecosystems & Environment* 375: 109200, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109200>
- Zhou, M., Butterbach-Bahl, K., Vereecken, H. & Brüggemann, N. 2017. A meta-analysis of soil salinization effects on nitrogen pools, cycles and fluxes in coastal ecosystems, *Global Change Biology* 23(3): 1338-1352, <https://doi.org/10.1111/gcb.13430>
- Zirmi-Zembri, N. & Kadi, S.A. 2016. Valeur nutritive des principales ressources fourragères utilisées en Algérie. 1- Les fourrages naturels herbacés, *Livestock Research for Rural Development* 28(8): Article 145.

Annexes

Annexe I : Matériels et méthodes

1.GUIDE D'ENQUETE

Date Cliquez ou appuyez ici pour entrer une date.	N° de l'exploitation: / ____ /	Localité :	Nom d'enquêteur :
---	--------------------------------	------------	-------------------

I. Identification de l'exploitant التعريف بالمستثمر

1. Nom et prénom d'exploitant : لقب واسم المستثمر
2. Sexe الجنس : Féminin ☐ Masculin ☐
3. Résidence الإقامة :
4. Origine de l'exploitant أصل المستثمر :
5. Êtes-vous أنت : ☐ Propriétaire مالك ☐ Associé شريك [Nbre Associés عدد شركاء]
☐ Locataire مستأجر ☐ Autres غير ذلك ; préciser حدد :
6. Age السن : Moins de 25ans ☐ 30-39ans ☐ 40 -49 ans ☐ 50 -59 ans ☐ 60 ans et plus
7. Etat matrimonial d'exploitant الحالة الاجتماعية : Célibataire ☐ Marié(e) ☐ Veuf(ve) ☐ Divorcé(e) ☐
8. Position hiérarchique dans la famille الرتبة في العائلة : ☐ Aîné البكر ☐ Cadet الصغير ☐ Autre غير ذلك
9. Niveau d'instruction المستوى التعليمي : Primaire ☐ Moyen ☐ Secondaire ☐ Supérieur ☐ Non scolarisé ☐
10. Activité النشاط : Agriculteur ☐ Eleveur ☐ Agro-éleveur ☐
11. Avez-vous une autre activité ؟ هل لديك نشاط آخر ؟ ☐ Oui نعم ☐ Non لا
 -Si Oui préciser حدد نوع النشاط :
- Cette activité est-elle هل هذا النشاط : ☐ Principale رئيسي ☐ Secondaire ثانوي
12. Avez-vous une formation agricole هل لديك تكوين فلاحى ? Oui ☐ Non ☐
 -Si oui, laquelle ?

II. Identification de l'exploitation التعريف بالمستثمرة

13. Date de création de l'exploitation تاريخ إنشاء المستثمرة :
14. Statut juridique الإطار القانوني :

15. Mode d'acquisition طريقة الاكتساب :
☐ Achat شراء ☐ Héritage ميراث ☐ Cession de la famille تنازل من العائلة ☐ Attribution par l'État منح من الدولة ☐ Échange تبادل ☐ Autre غير ذلك. Préciser حدد:
 16. Superficie totale (SAT) المساحة الكاملة :
17. Superficie effectivement exploitée (SAU) المساحة المستغلة :
18. Distance du lieu d'habitat المسافة من البيت :
19. Y a-t-il une piste d'accès à l'exploitation ؟ هل يوجد مسلك للوصول للمستثمرة ؟ ☐ Oui نعم ☐ Non لا
 -Si Oui, quel est son état ؟ إذا كان نعم ما هي حالته ؟ ☐ Praticable قابل للاستعمال ☐ Défectueuse متدهور

20. L'exploitation est-elle d'un seul bloc ? هل المستثمرة كتلة واحدة ؟ ☐ Oui نعم ☐ Non لا

-Si Non indiquer le nombre de blocs حدد عدد الكتل :

21. La culture est un : ☐ Culture en sec (Bour) زراعة غير مسقية ☐ En irriguée زراعة مسقية

-Si irriguée بنر فردي ☐ Puits collectif بنر جماعي ☐ Puits individuel إذا كانت مسقية :

- Nappe exploitée الطبقة المستغلة : ☐ Phréatique ☐ Complexe terminal ☐ Continental Intercalaire. Autres (a préciser):

- Profondeur de puits/forage :

- exploitations de la nappe : par pompage artésienne

- Si l'eau est chaude, est ce que vous pratiquez son refroidissement ?

- Coût :التكلفة :

- État du réseau d'irrigation حالة شبكة السقي : ☐ Bon état جيدة ☐ Moyen état حالة متوسطة
☐ Défectueux متدهورة

- Principales contraintes liées à l'irrigation : أهم العوائق المتعلقة بالسقي

22. Êtes-vous employeurs de main-d'œuvre ? هل تشغلون يدا عاملة ؟ ☐ Oui نعم ☐ Non لا

-Si Oui de quel type ? : بآية طريقة ؟

☐ Familiale عائلية. Nbre : عدد :

☐ Salariés permanents أجير دائم. Nbre : عدد :

☐ Salariés saisonniers أجير موسمي. Nbre : عدد :

☐ Salariés étrangers أجير أجنبي. Nbre : عدد : Motif :السبب :

☐ Entraide sociale تكافل اجتماعي (Pour quelles tâches?) : (لآية أعمال ؟) :

23. Principales activités nécessitant le recours à la main-d'œuvre أهم النشاطات التي تتطلب الاستعانة باليد العاملة :

III-Les cultures pratiquées :

24. Spéculation principal de l'exploitation: التوجه الرئيسي للمستثمرة

palmier dattier ☐ culture maraichère ☐ Culture fourrager ☐ autres cultures ☐

25. Quelles sont les cultures que vous pratiquez? المحاصيل الزراعية المزروعة في المستثمرة

Arboricultures ☐ Cultures maraichères ☐ Cultures Industrielle ☐ Cultures Condimentaire ☐ Cultures Médicinales ☐ Cultures Fourragères et Céréales ☐

26. Pratiquez vous la culture de fourrages pour l'alimentation du bétail ? Oui ☐ Non ☐

a- Si oui ,quelles espèces ?.....

Espèce fourragères	Superficie(ha)	Production annuelle(Qx)

-Quel est le système de culture fourragère ? Monoculture ☐ les cultures associées ☐ la culture dérobée ☐ Système traditionnel

-Intérêts de la culture fourragère :

b- Si non, pourquoi ?.....

IV. Conduite de la culture fourragère

27. Quelles sont les principales pratiques culturales que vous pratiquez sur vos parcelles de cultures fourragères ?

Les cultures	a-Mise en place de cultures semis			
	Origine de semences 1=Locale 2=Importation	Saison de semis 1=Automne 1=Hiver 3=Printemps 4=été	Dose de semis 1=<100kg/ha 2 >100kg/ha	Mode de semis 1= A la volée 2= Par ligne 3=Par semoir

Les cultures	b-Fertilisation et traitement phytosanitaire			L'amendement
	Nature de fumure 1=Organique 2=Engrais 3=Mixte	Traitement phytosanitaire 1=Oui 2=Non	Engrais 1=N P K 2=Urée 3=Autre(préciser)	1=Oui 2=Non
	c-Système d'irrigation			
			Fréquence d'irrigation	

Les cultures	Mode d'irrigation 1=Submersion 2=Aspersion 3=Goutte à goutte 4= Autres	Qualité d'eau d'irrigation 1=Peu salée 2=Salée 3=Douce	En été	En hiver	En printemps	En automne

d-Pratique culturale	Période	Profondeur	Mode	Outil		Inputs		
				Type	Propriété	Type	Dose	Prix
Fertilisation de fond								
Autres fertilisation								
Labour								
Autres travaux du sol								
Apports organiques								
Autres amendements (sable, argile, gypse...)								
Désherbage								
Fertilisation azotée								
Récolte du foin								
Récolte du grain								
Botellage de la paille								

28. Critère de coupes :Longueur ☐ Avant floraison ☐ Après floraison ☐

29. Intervalle entre deux coupes :

30. Nombre de coupes par an :

31. Faite vous la conservation de fourrage ? Oui☐ Non☐

- a- Si oui, par quoi ?.....
 -Quelles sont les espèces conservées ?.....
 -Lieux de stockage :.....
 -Destination des fourrages conservées ?.....
- b- Si non, pourquoi ?.....
32. Quels sont les principaux produits végétaux que vous produisez et leurs différentes utilisations et destinations?

V-Elevage تربية الحيوانات :

33. Association agriculture / élevage جمع بين الفلاحة و تربية الحيوانات
- ☐ Bovin أبقار Nombre العدد
- ☐ Ovin أغنام Nombre العدد
- ☐ Caprin ماعز Nombre العدد
- ☐ Avicole دواجن Nombre العدد
- ☐ Autre غير ذلك Préciser حدد :
34. Élevage extensif est-il entrepris ? هل تقومون بتربية الحيوانات على نطاق واسع ؟
 -Quelles espèces ? أية أنواع ؟
- A qui sont confiés les animaux? من يتكفل بالحيوانات ؟

VI-Aspet socio-économique

Environnement de l'exploitation محيط المستثمرة

35. Êtes-vous adhérent à la chambre d'agriculture ? هل أنت منخرط في الغرفة الفلاحية ؟ ☐ Oui نعم ☐ Non لا
36. Êtes-vous adhérent à une association agricole ? هل أنت منخرط في جمعية فلاحية ؟ ☐ Oui نعم ☐ Non لا
37. Recevez-vous la visite de vulgarisateurs ? هل يزوركم مرشدون فلاحيون ؟ ☐ Oui نعم ☐ Non لا
 Si oui quelle est la fréquence des visites? وتيرة الزيارات fois par مرات في
38. Participez-vous aux manifestations et activités du secteur ? هل تشاركون في التظاهرات الفلاحية ؟
 :
39. ☐ Oui نعم ☐ Non لا
40. Relations avec les agriculteurs العلاقة مع الفلاحين:
☐ Entraide physique تعاون بدني ☐ Entraide financière تعاون مالي ☐ location matériel كراء عتاد
☐ commerce تجارة ☐ aucune relation لا علاقة ☐ Autres غير ذلك préciser حدد :
41. Relations avec les organismes technico-administratifs العلاقة مع المؤسسات التقنية و الإدارية
☐ Assistance et conseils techniques مساعدة تقنية

- ☐ Adhésion aux programmes de soutien الانخراط في برامج الدعم ☐ aucune relation لا
☐ Autres غير ذلك علاقة

Préciser حدد:.....

42. Relations avec le secteur économique :

- ☐ Postulation de crédit طلب قرض ☐ Souscription d'assurance إكتتاب تأمين
☐ Assurance sociale تأمين اجتماعي

-Equipements التجهيز

43. ☐ Forage بئر ☐ Tracteur جرار ☐ Matériel tracté عتاد مجرور Préciser حدد :

.....
☐ Matériel roulant عربات. Préciser حدد :

 ...

- ☐ Pivots مرش محوري Nbre عدد : ☐ Serres بيوت بلاستيكية Nbre عدد :
☐ Bâtiments بنايات Utilisation الإستعمال :

.....

44. Moyen de déplacement وسيلة التنقل ☐ à pied راجل ☐ Vélo دراجة هوائية ☐ Moto دراجة
☐ Véhicule سيارة ☐ Autre غير ذلك نارية

-Financement التمويل

45. ☐ Autofinancement تمويل ذاتي ☐ Crédit bancaire قرض بنكي ☐ Crédit Informel قرض غير رسمي
☐ Subvention de l'État دعم الدولة رسمي

46. Dans quel cadre إطار ☐ Forage بئر ☐ Irrigation سقي ☐ Céréales حبوب ☐ Arboreticulture أشجار مثمرة ☐ Énergie الطاقة ☐ Autres غير ذلك.

Préciser حدد:.....

47. Devenir du revenu agricole ? مصير مداخيل الفلاحة :

- ☐ Réinvestissement إعادة الاستثمار ☐ Réinvestissement extra-agricole إعادة الاستثمار خارج
 مصاريف اجتماعية ☐ Dépenses sociales ; الإثنيين معا ☐ Mixte ; الفلاحة

-Commercialisation التجارة

48. Vendez-vous vos productions? هل تبيعون منتوجكم ؟ ☐ Oui نعم ☐ Non لا

Si Oui Comment? كيف :

- ☐ Marché de gros سوق الجملة ☐ Marché de détail سوق التجزئة ☐ Grossiste تجار الجملة

49. Quelles sont vos productions? ماذا تنتجون ؟ :

.....

- Pourcentage d'autoconsommation نسبة الاستهلاك الذاتي :

2.Données statistiques des cultures fourragère en Algérie

Tableau :Évolution des superficies des cultures fourragères (ha) en Algérie (MADR,2021)

Espèce	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015	2015/2016	2016/2017	2017/2018	2018/2019	Moyenne
Prairies naturelles	24750	24820	24335	26626	25777	25468	31915	47556	49578	59056	33988
Jachères fauchées	199412	217034	250510	183447	254990	212306	210615	178697	208999	214525	213054
Fourrages naturels	224162	241854	274845	210073	280767	237775	242530	226254	258578	273581	247042
Vescs – Avoines	63178	37506	50227	50040	47503	78977	47472	66777	58794	54664	55514
Luzernes	2425	1970	2934	3766	6271	3517	4204	4506	9305	8879	4778
Céréales reconverties	241324	120741	186748	243603	435687	368052	551086	457339	137212	144299	288609
Divers	241305	247316	250680	241775	280508	200105	218341	227628	251431	242475	240156
Fourrages artificiels secs (2)	548232	407533	490589	539184	769969	650651	821102	756249	456742	450317	589057
Orge, Avoine, Seigle en vert	91446	104290	115276	112571	99161	100976	144319	125468	125576	197997	121708
Autres	29812	32349	35848	42234	46851	45751	42994	41851	37116	38342	39315
Fourrages artificiels verts (3)	121258	136639	151124	154805	146012	146726	187313	167320	162692	236339	161023
Fourrages (1+2+3)	893652	786026	916558	904062	1196748	1035152	1250945	1149823	878012	960237	997121

Tableau :Évolution des productions des cultures fourragères (qx) en Algérie (MADR,2021)

Espèce	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	Moyenne
Prairies naturelles	672230	768375	748535	787763	790223	790047	1134779	1037873	1623160	1846262	1019925
Jachères fauchées	4787470	4813210	6549885	5724024	6352977	6257743	6785411	4652423	6895577	7124735	5994346
Fourrages naturels (1)	5459700	5581585	7298420	6511787	7143200	7047791	7920190	5690296	8518737	8970997	7014270
Vescès – Avoines	1748674	1413650	2089310	2023644	1870786	2576616	1873589	2214299	2378720	2602895	2079218
Luzernes	196191	218810	285867	238982	507719	389456	705931	562936	1763874	2158847	702861
Céréales reconverties	1351160	1393325	546115	1085053	6880641	5567411	7989792	2897924	1158049	2132743	3100221
Divers	9589105	7739395	9819108	9900866	8600581	8368344	8254175	8521414	12353481	11084935	9423140
Fourrages artificiels secs (2)	12885130	10765180	12740400	13248545	17859727	16901827	18823487	14196573	17654123	17979420	15305441
Orge, Avoine, Seigle en vert	8052077	9380646	10955515	11293784	10702091	10858361	12960883	11822208	14252989	16609557	11688811
Autres	4964053	5549394	5868335	6399364	6984247	7938938	8271846	8936682	8366798	9048938	7232859
Fourrages artificiels verts (3)	13016130	14930040	16823850	17693148	17686338	18797300	21232729	20758890	22619787	25658495	18921671
Total Fourrages (1+2+3)	31360960	31276805	36862670	37453480	42689265	42746917	47976405	40645759	48792647	52608912	41241382

Tableau :Évolution des rendements des cultures fourragères (qx/ha) en Algérie (MADR,2021)

Espèce	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	Moyenne
Prairies naturelles	27,2	31,0	30,8	29,6	30,7	31,0	35,6	21,8	32,7	31,3	30,0
Jachères fauchées	24,0	22,2	26,1	31,2	24,9	29,5	32,2	26,0	33,0	33,2	28,1
Fourrages naturels (1)	24,4	23,1	26,6	31,0	25,4	29,6	32,7	25,2	32,9	32,8	28,4
Vescies – Avoines	27,7	37,7	41,6	40,4	39,4	32,6	39,5	33,2	40,5	47,6	37,5
Luzernes	80,9	111,1	97,4	63,5	81,0	110,7	167,9	124,9	189,6	243,2	147,1
Céréales reconverties	5,6	11,5	2,9	4,5	15,8	15,1	14,5	6,3	8,4	14,8	10,7
Divers	39,7	31,3	39,2	41,0	30,7	41,8	37,8	37,4	49,1	45,7	39,2
Fourrages artificiels secs (2)	23,5	26,4	26,0	24,6	23,2	26,0	22,9	18,8	38,7	39,9	26,0
Orge, Avoine, Seigle en vert	88,1	89,9	95,0	100,3	107,9	107,5	89,8	94,2	113,5	83,9	96,0
Autres	166,5	171,5	163,7	151,5	149,1	173,5	192,4	213,5	225,4	236,0	184,0
Fourrages artificiels verts (3)	107,3	109,3	111,3	114,3	121,1	128,1	113,4	124,1	139,0	108,6	117,5
Total Fourrages (1+2+3)	35,1	39,8	40,2	41,4	35,7	41,3	38,4	35,3	55,6	54,8	41,4

Tableau : Matrice des corrélations de Spearman entre propriétés du sol et qualité des fourrages dans le Zab Chergui.

Variables	Sable(%)	Limon(%)	Argile(%)	N(%)	OM(%)	Na ⁺ (meq/l)	Cl ⁻ (meq/l)	SO ₄ ²⁺ (meq/l)	HCO ₃ ⁻ (meq/l)	CO ₃ ²⁻ (meq/l)	CaCO ₃ (%)	EC(ds/m)	MS_f(%)	MO_f
Limon (%)	-0.82													
Argile (%)	-0.50	-0.03												
N (%)	-0.34	0.39	0.02											
OM (%)	-0.05	-0.14	0.27	-0.06										
Na ⁺	0.14	-0.26	0.15	-0.40	0.23									
Cl ⁻	-0.21	0.13	0.19	0.41	0.00	0.14								
SO ₄ ²⁺	0.10	-0.07	-0.02	0.27	0.16	-0.24	0.26							
HCO ₃ ⁻	0.33	-0.40	0.00	-0.58	0.23	0.58	-0.16	-0.27						
CO ₃ ²⁻	-0.35	0.25	0.20	0.40	-0.03	0.10	0.44	0.01	-0.43					
CaCO ₃ (%)	-0.10	-0.03	0.22	0.06	0.22	0.28	0.15	0.06	0.21	-0.24				
EC (ds/m)	0.00	0.09	-0.11	0.38	-0.30	0.10	0.44	-0.02	-0.06	0.46	-0.33			
MS_f (%)	0.32	-0.40	0.01	-0.36	0.10	0.53	-0.13	-0.35	0.59	-0.34	0.28	0.07		
MO_f (%)	-0.42	0.45	0.08	0.69	-0.32	-0.27	0.34	0.03	-0.60	0.30	0.23	0.21	-0.12	
MM_f (%)	0.42	-0.45	-0.08	-0.69	0.32	0.27	-0.34	-0.03	0.60	-0.30	-0.23	-0.21	0.12	-1.00

Tableau : Matrice des corrélations de Spearman entre propriétés du sol et qualité des fourrages dans le Zab Gharbi.

Variables	Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	N (%)	OM (%)	Ca ²⁺ (meq/l)	Mg ²⁺ (meq/l)	Na ⁺ (meq/l)	Cl ⁻ (meq/l)	SO ₄ ²⁺ (meq/l)	CaCO ₃ (%)	EC (ds/m)	MS_f (%)	MO_f (%)
Limon (%)	-0.95													
Argile (%)	-0.62	0.39												
N (%)	-0.13	0.16	0.02											
OM (%)	-0.06	0.04	0.20	0.10										
Ca ²⁺ (meq/l)	0.21	-0.24	-0.07	-0.12	-0.16									
Mg ²⁺ (meq/l)	0.23	-0.22	-0.15	-0.05	0.06	0.47								
Na ⁺ (meq/l)	0.20	-0.12	-0.31	0.02	0.11	0.45	0.62							
Cl ⁻ (meq/l)	0.19	-0.15	-0.17	0.12	-0.11	-0.35	-0.11	-0.14						
SO ₄ ²⁺ (meq/l)	-0.01	0.09	-0.14	0.09	-0.07	-0.13	0.18	0.01	0.02					
CaCO ₃ (%)	0.26	-0.18	-0.31	0.04	0.07	0.65	0.49	0.76	-0.17	-0.07				
EC (ds/m)	-0.03	0.00	0.15	-0.04	-0.06	0.39	0.23	0.18	-0.37	-0.08	0.14			
MS_f (%)	0.06	-0.16	0.30	-0.29	0.26	0.09	0.17	-0.28	-0.21	-0.03	-0.34	0.35		
MO_f (%)	0.06	-0.04	0.02	-0.04	0.04	0.56	-0.04	0.25	-0.26	-0.11	0.43	0.43	-0.03	
MM_f (%)	-0.05	0.04	-0.02	0.04	-0.04	-0.56	0.04	-0.25	0.26	0.11	-0.43	-0.43	0.03	-1.00

3. Analyses laboratoires



Photo 1 : Granulométrie



Photo 2: pH du sol



Photo 3 : CE du sol



Photo 4 : Calcaire totale du sol

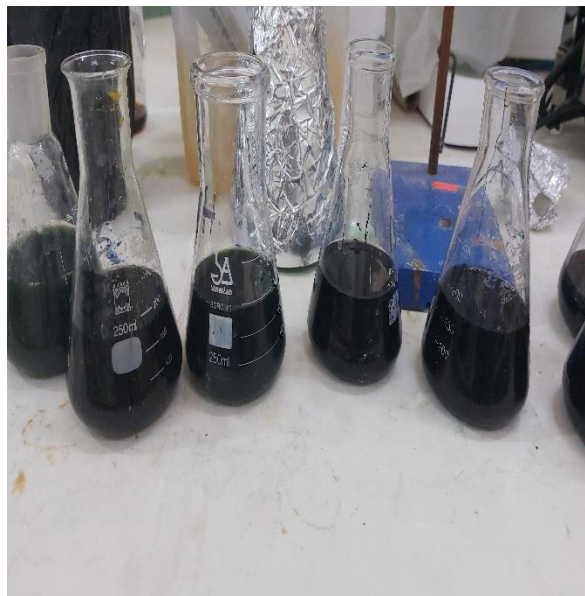


Photo 5 : Matière Organique du sol



Photo 6: Azote total du sol (N)



Photo 7 : Gypse du sol



Photo 8 : Extrait du sol (1/5)



Photo 9 : Dosage Na^+ et K^+



Photo 10: Détermination matière sèche végétale



Photo 11 : Luzerne cultivé (Zab gharbi)



Photo 12 : Orge cultivé (Zab chargui)



Photo 13 : Avoine cultivé (Zab gharbi)



Photo 14 : Elevage (Zab Gharbi)