



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

Université de Ghardaïa

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

Département des sciences agronomiques



MEMOIRE

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

Agronomiques

Spécialité : production végétale

Thème

Impact de l'application de biofertilisants sur le développement

D'une culture de safran dans la région de Ghardaïa

Réalisé par :

BEDOUİ TAKOUA

HADJ MOUSSA WAFÀ

Soutenu devant le jury composé de :

Nom et prénom	Grade	Qualité	Establishment
HOUICHITI Rachid	M.C.A	Président	Univ. Ghardaia
MOUSSAOUALI Bakir	M.C.A	Examineur	Univ. Ghardaia
BOUTMEDJET Ahmed	M.C.A	Encadrant	Univ. Ghardaia
BENMIHOUB Ahmed	D.R.	Co-encadrant	CREAD, Alger

Année universitaire : 2024/2025



Dédicace

Avant tout, merci à DIEU le tout puissant de ;avoir son soutien durant les périodes les plus difficiles

Je dédie ce modeste travail à ma chère mère, aucun dédicace ne serait exprimé mon respect mon amour éternelle et ma considération pour le sacrifice qui vous avez consenti pour mon instruction et mon être bien; A mon père qui m';a toujours poussé et motivé mes études.

Merci parents, pour tous les soutiens et l'amour que vous m'avez apporté depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

Chers frères, Zohir et Mohamed Fodil, mes sœur Wissam et Farah et ses filles Hayat et Hiba

Merci d'être toujours à mes côtés pour me soutenir

Merci à ma chère grand-mère Aicha, mon oncle Hadj Moussa Jaber et Hadj Moussa Mustafa,

Pour tout le soutien qu'il m'a apporté.

A toute la famille; Hadj Moussa et Lamine

A tous mes proche particulièrement, mon binôme Bedoui Takoua

Merci pour tous leurs conseils et accompagnements afin de faire de ce travail une réussite

Mes collègues de promo P.V (2024/2025)

Mes amies et tout personne qui me sont chers; Pour le soutien qu'ils m'ont apporté, Pour leur encouragement, patience et gentillesse

Je vous remercie infiniment

wafa

الاهداء.

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، والذي منّ عليّ بإتمام هذا العمل

(وَمَا تَوْفِيقِي إِلَّا بِاللَّهِ عَلَيْهِ تَوَكَّلْتُ وَإِلَيْهِ أُنِيبُ)

الى والديّ العزيزين ، دعواتكما وتضحياتكما كانت سندي ولمشعل الذي أضاء
دربي في أحلك اللحظات، ونجّاني ثمرة تعبكما قبل أن يكون جهدي. أسأل الله أن
يجزيكما عني خير الجزاء في الدنيا والآخرة

إلى جدي الطاهر وجدتي خديجة ووالدة امي عياشة لطالما كانت دعواتكم وسندكم
لحفيدتكم الاولى سراج أنار ليالي دراستها

إلى إخوتي رياض، عبد الرحمن، بسمة، صفاء، رفاق دربي وسند العمر هذا العمل
يحمل بصمتكم كما يحمل بصمتي

إلى أعمامي وزوجاتهم وعماتي (عائلة بدوي) وإخواني وزوجاتهم وخالاتي (عائلة
يحي الشريف) لطالما كانت محبتكم لي سنداً، وسؤالكم البسيط "كيف حالك؟" ذكّرني
بأنني لم أكن وحدي يوماً

إلى اساتذتي ومعلمي، لقد منحتموني أدوات التفكير، ولكن قبل كل شيء، غرستم في
الرغبة في التعلّم دائماً

إلى كل من مدّ لي يد العون ولو بكلمة طيبة أو دعوة صادقة لكم مني فائق الاحترام
والتقدير

لرفيقتي ومؤنستي في عملي هذا الحاج موسى وفاء

وأخيراً، إلى نفسي على تلك اللحظات التي ظننت فيها أنني سأستسلم ولكنني توقفت
قبل أن أستأنف مسيرتي. هذه العمل المتواضع بالنسبة لي ليست وجهة، بل معلماً

(وَمَا كَانَ لَنَا أَنْ نَأْتِيَكُمْ بِالْعِلْمِ إِلَّا بِإِذْنِ اللَّهِ)

takoua

Remerciements

En premier lieu Nous remercions Allah, le Tout - Puissant, de nous avoir donné le courage, la patience, et la santé nécessaires pour terminer ce travail.

Nous exprimons nos sincères remerciements aux membres du jury de soutenance, en particulier au Dr. HOUICHITI Rachid, qui a accepté de présider le jury.

Nous sommes également très reconnaissants envers le Dr. MOUSSAOUALI Bakir pour avoir accepté de juger ce travail et de nous accorder cet honneur..

Nous voudrions adresser toute notre gratitude à notre encadrant, Dr.BOUTMEDJET Ahmed, pour sa patience, sa disponibilité et pour ses conseils et ses remarques, qui ont contribué à alimenter notre réflexion, ainsi qu'à notre Co-encadrant, Dr BENMIHOUB, Directeur de recherches, CREAD, Alger

Nous tenons également à exprimer notre gratitude envers Dr. CHIKHI, enseignant au département de biologie, université de Ghardaïa pour ses précieux conseils et le temps qu'il a consacré et son aide dans le travail au laboratoire de pédologie

Notre gratitude envers Dr.SIBOUKEUR Abdellah; pour ces encouragements sa contribution ont été essentielles à la réussite de notre projet.

Nous exprimons notre profonde gratitude à Mr. GARBOUZ S et GARBOUZ A. ainsi qu'à Monsieur HANSALI B. de INSFP, Ghardaïa pour leur soutien inébranlable au début de notre recherche.

Que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin dans la réalisation de ce travail, rassurés qu'aucun d'eux n'est oublié.

I.Liste Des Tableaux

Numéro	Intitulé du tableau	Page
1	Tab.01 : Situation admirative de la wilaya de Ghardaïa (KRAIMAT,	11
2	Tab.02 : Les différents facteurs étudiés l'année passée.	15

II. Liste Des Figures

Numéro	Intitulé des figures	Page
1	Fleur de safran (Crocus sativus)	4
2	aspect général de Crocus sativus L. (Arvy, et al 2003)	5
3	Cycle de végétation du safran (Pierronnet, 2016)	7
4	Station géographique de Ghardaïa (Kraimat, 2019)	8
5	Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen	12
6	Climagramme d'Emberger	13
7	L'emplacement de la Parcelle expérimentale (Kechida, 2024)	14
8	Dispositif expérimental	16
9	Effets des amendements sur la longueur des feuilles	21
10	Evaluation de la quantité globale des fleurs cueillies	22
11	Effets des traitements sur le nombre de fleurs	23
12	Rendement en stigmates par traitement	23
13	Rendement comparé des anciens et nouveaux bulbes	24
14	Répartition du rendement entre bulbes	24
15	Taux de matière organique par traitement	25
16	Conductivité électrique du sol	26
17	pH du sol sous différents traitements	26
18	Teneur en calcaire total	27

III. Liste Des Abréviations Explicitées

1. pH - Potentiel Hydrogène
2. Q2 - Quotient pluviométrique (dans le climagramme d'Emberger)
3. CEC - Capacité d'Échange Cationique (mentionnée indirectement)
4. ISO - Organisation Internationale de Normalisation (ex. ISO 3632-1 pour le safran)
5. FAO - Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'. USD 6-
Département de l'Agriculture des États-Unis
6. ANRH - Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (Algérie)
8.INSFP - Institut National Spécialisé dans la Formation Professionnelle
7. CD1, CD2, CD3 : Compost à différentes doses (1, 2, 3).
8. F: Fumier
9. F+C: Fumier + Compost.
10. : Témoin (sans amendement)

IV. Sommaire

<i>Dédicace</i>	I
الاهداء	II
<i>Remerciements</i>	III
I. Liste Des Tableaux	IV
II. Liste Des Figures	IV
III. Liste Des Abréviations Explicitées	V
IV. Sommaire	VII
Introduction	1
<i>Chapitre I</i>	3
Généralité sur le safran	3
1.1. Étude botanique de <i>Crocus sativus</i> L.	3
1.2. Morphologie du Safran	3
1.3. Exigences du safran	5
<i>Chapitre II</i>	7
<i>Matériels et méthodes</i>	7
1. Présentation de la région d'étude	7
1.1. Situation géographique	7
1.2. Géologie régionale	8
1.3. Géomorphologie de la région	8
1.4. Hydrogéologie	9
1.5. Pédologie	9
1.6. Étude climatologique	10
1.7. Synthèse climatique de Ghardaïa	11
1.8. Facteur biotique	13
2. Présentation du site d'étude	13
2.1. Méthodes d'études	14
<i>Chapitre III</i>	19
Chapitre III: Résultats et discussion	20
III.1. Résultats	20
Nos résultats sont scindés en deux axes :	20
• Le premier sur le suivi de la culture du safran	20
• Le second sur les effets des différents traitements sur quelques paramètres du sol	20

III. 1.1. Résultats de suivi de safran.....	20
III.1.1.1. Effets des amendements sur le développement végétatif:	20
III.1.1.2. Evolution de la floraison	21
III.1.1.3. Evolution du nombre total de fleurs	21
III.1.1.4. Rendement en stigmates	22
III.1.2. Résultats de l'analyse de sol.....	24
III.1.2.1. Résultats de matière organique dans le sol.....	24
III.1.2.2. Résultats de conductivité électrique du sol	24
III.1.2.3. Résultats de pH du sol.....	25
III.1.2.4. Résultats du calcaire total du sol	26
III.1.3 Analyse statistique	26
Conclusion.....	32
<i>Référence bibliographiques.....</i>	<i>34</i>
Annexe	34

تأثير استخدام الأسمدة الحيوية على نمو محصول الزعفران في منطقة غرداية

ملخص

هذا البحث يدرس تأثير السماد العضوي (الروث) والكمبوست على إنتاجية الزعفران في البيئة الجافة بغرداية خلال موسمين (2023-2025). أظهرت النتائج أن الروث حقق أعلى إنتاجية للخيوط (569.9 ملغ) بينما سجل الكمبوست أعلى إزهار (167 زهرة، +18%). ومع ذلك، بقيت بعض تحديات التربة قائمة مثل ارتفاع (CD3) بجرعته العالية درجة الحموضة ونقص المادة العضوية (18.38%). تشير النتائج إلى ضرورة اتباع نهج متكامل يشمل تعديلات تربة حمضية وتحسين جدولة الزراعة لتحقيق أفضل النتائج في ظل الظروف الجافة

الكلمات المفتاحية: الزعفران، الأسمدة الحيوية العضوية، الروث، الكمبوست، التربة، غرداية

Impact de l'application de biofertilisants sur le développement d'une culture de safran dans la région de Ghardaïa

Résumé

Cette étude explore l'impact des biofertilisants organiques (fumier et compost) sur la culture du safran en zone aride à Ghardaïa. Sur deux années (2023-2025), différents traitements ont été comparés : trois doses de compost, du fumier seul, leur combinaison, et un témoin. Les résultats révèlent que le fumier donne le meilleur rendement en stigmates (569,9 mg) tandis que le compost à forte dose améliore la floraison (+18%). Bien que prometteurs, ces amendements n'ont pas totalement corrigé les limites du sol (pH élevé, faible teneur en matière organique). Une approche intégrée combinant amendements acidifiants, optimisation du calendrier cultural et suivi rigoureux du sol s'avère nécessaire pour maximiser les bénéfices de la fertilisation organique dans cette région aride.

Mots-clés : safran, biofertilisants organique, fumier, compost, sol, Ghardaïa

Impact of the application of biofertilizers on the development of saffron cultivation in the Ghardaïa region

Summary:

This two-year study (2023–2025) in Ghardaïa's arid climate evaluated organic biofertilizers (manure and compost) for saffron cultivation. Manure boosted vegetative growth and stigma yield (569.9 mg dry weight), while high-dose compost (CD3) enhanced flowering (+18%). Combined treatments showed balanced results but no synergy. Key soil challenges persisted: elevated pH and suboptimal organic matter (18.38%). Statistical analysis linked treatments to pH/limestone changes but not yield—likely due to field variability. Delayed planting and bulb-age imbalance reduced second-year productivity. Findings highlight the need for integrated organic strategies: acidifying amendments, optimized planting schedules, and rigorous soil monitoring to maximize saffron performance in arid zones.

Keywords: saffron, organic fertilization, arid agriculture, soil amendments, sustainable farming



Introduction

Introduction

Depuis les premiers temps de l'humanité, les humains ont cherché du réconfort dans les plantes, ce qui a conduit à la création de la phytothérapie. Ce savoir ancien, axé sur les propriétés médicales des plantes, a persisté à travers les siècles, depuis la préhistoire jusqu'à aujourd'hui. Parmi ces végétaux, le safran se distingue, reconnu à la fois pour sa rareté, sa valeur économique élevée et ses nombreuses qualités thérapeutiques. Les Peintures murales trouvées à Akrotiri en Grèce prouvent l'existence d'une culture depuis 1600 avant J-C. (David et *al.*, 2010 ; Delaveau, 2006) et montrent l'importance de cette culture dans la civilisation gréco-romaine, tant en médecine qu'en décoration.

Le safran (*Crocus sativus* L.) est l'épice la plus chère du monde (Melnike et *al.*, 2010). Plusieurs écrits témoignent de l'histoire très ancienne de la culture de safran en Algérie. Puis, la culture a disparu des paysages agraires pour des raisons peu analysées. Pendant l'occupation française, des essais ont été menés mais le projet de développement du safran a été abandonné à cause de la guerre de révolution

Après l'indépendance, la culture du safran a attendu jusqu'en 2010 pour être réintroduite, ceci dans quelques localités de l'Est. Depuis, elle connaît un développement spectaculaire. Dix ans après, le safran est planté dans tous les étages bioclimatiques du pays (humide, semi-humide semi-aride et aride) Depuis, il connaît un développement spectaculaire et sa culture est rapportée dans les régions côtières et les hauts-plateaux d'Algérie (Zobeidi et Benkhalifa, 2014 ; Tozanli, 2018, Belhadi et *al.*, 2024). Dans la wilaya de Ghardaïa (sud d'Algérie) son introduction est plus récente et remonte seulement à 2016 (Benmihoub et *al.*, 2022), exactement dans la commune de Berriane

Officiellement le safran est validé comme filière agricole par la décision du 11 mai 2020 (JORADP n°31), gagnant en reconnaissance et en importance, permettant ainsi la mise en place d'un accompagnement institutionnel sur les plans technique, réglementaire et financier (Benmihoub, 2020). Le safran y est actuellement cultivé dans 29 wilayas, couvrant une superficie totale d'environ 46 hectares. La production nationale atteint 61 715 grammes, soit près de 62 kg /ans (Mokrani, 2020). Toutefois, cette filière, bien qu'en plein essor, reste peu étudiée, notamment

dans les zones arides du territoire, où le potentiel de développement reste encore à explorer.

A Ghardaïa, cette culture connaît une progression significative malgré des conditions climatiques extrêmes. La wilaya compte environ 12 hectares consacrés au safran, répartis entre 59 producteurs, bien que des obstacles persistent, notamment en ce qui concerne la commercialisation (Zaoui, 2020).

Notre recherche s'inscrit dans un projet visant à structurer une filière safranière durable entre 2023 et 2026. Après une première campagne d'expérimentation en 2023–2024 centrée sur l'utilisation d'amendements organiques (fumier, compost à différentes doses), l'étude actuelle (2024–2025) explore leurs effets cumulatifs, en tenant compte d'un facteur clé : la nature des bulbes (nouvellement plantés ou conservés en terre).

La question centrale est la suivante : dans quelle mesure le type, la dose et surtout le moment d'application des fertilisants organiques influencent-ils la croissance, le rendement et la qualité du safran en zone aride ? L'hypothèse principale postule qu'une fertilisation ciblée à des stades clés du développement végétatif permet d'optimiser la productivité, tout en valorisant les propriétés du sol. Une variation de réponse est également attendue selon l'état des bulbes.

Conduite au centre de formation professionnelle « Chérif Messaadia » de Ghardaïa, cette étude expérimentale s'est étalée sur deux campagnes agricoles consécutives et vise à générer des recommandations concrètes pour les agriculteurs locaux. Les résultats attendus devraient contribuer à renforcer un modèle agricole résilient, compétitif et durable, adapté aux contraintes sahariennes.

Le mémoire s'articule autour de quatre axes. Le premier propose une revue de littérature sur la biologie du *Crocus sativus* L., ses exigences culturales et son importance socio-économique. Le deuxième décrit la méthodologie expérimentale. Le troisième présente et analyse les résultats obtenus sur les deux campagnes. Le dernier axe est une discussion des résultats avec propositions de recommandations pratiques ainsi que des perspectives pour le développement intégré de la filière safran dans les zones arides Algérie.

Chapitre I

Généralités sur le safran

Chapitre I : Généralités sur le safran

1.1. Étude botanique de *Crocus sativus* L.

Le safran (*Crocus sativus* L.) appartient à la famille des Iridacées et au genre *Crocus*, qui inclut environ 80 espèces distribuées principalement en méditerranée et en Asie du sud-ouest ; Voici les informations demandées, reformulées selon les normes ISO et basées sur des sources académiques récentes :

Le safran (*Crocus sativus* L.) est une espèce exclusivement cultivée, sans présence connue à l'état sauvage (Fernández, 2024). Sa reproduction repose principalement sur la multiplication végétative via des cormes (structures souterraines de stockage et de propagation), ce qui limite fortement sa diversité génétique (Kumar et *al.*, 2023). En raison de son mode de reproduction clonal, le safran présente une uniformité morphologique marquée, observée dans diverses zones de culture à travers le monde (Cardone et *al.*, 2022).

Selon la classification botanique de Cronquist de 1981, qui est basée sur des critères anatomiques, morphologiques et chimiques dans le but de différencier les angiospermes,

- *Crocus sativus* L. appartient à
- Règne : végétal
- Embranchement : Spermatophyte
- Classe : Monocotylédones (Liliopsida)
- Ordre : Liliales
- Famille : Iridaceae
- Genre : *Crocus*
- Espèce : *Crocus sativus* L



Figure 1: Fleur de safran (*Crocus sativus*)

1.2. Morphologie du Safran

1.2.1. Partie souterraine

Le bulbe, désigné sous le nom de "corme", mesure entre 2 et 3 cm de diamètre et est enveloppé de tuniques brunes. Il présente un bourgeon terminal sur sa face supérieure, tandis que des racines adventives se développent sur sa face inférieure. Chaque automne, des bourgeons axillaires donnent naissance à une nouvelle corne (Arvy et Gallouin, 2003).

La plante de safran est constituée de deux oignons superposés : l'oignon inférieur est responsable de la production des racines et alimente l'oignon supérieur, qui produit les fleurs, les fruits et les feuilles. Le plateau, connu sous le nom de "mère", est sec et ridé, tandis que l'oignon supérieur renferme des pyramides rougeâtres d'où émergent les fleurs, les feuilles et les cayeux. Un petit bulbe, situé sous l'enveloppe, possède des caractéristiques similaires à celles de la plante mère (TEMSPERDU, 1794).

1.2.2. Partie aérienne

Les feuilles du *Crocus sativus* L sont linéaires et étroites, mesurant entre 2 et 3 mm de large, avec des bords ciliés et une bande blanche longitudinale. Elles apparaissent simultanément avec les fleurs ou peu après, et restent visibles jusqu'à leur jaunissement en avril (CROZET et al., 2012). Ces feuilles sont rétinerves, protégées par une gaine membraneuse, et conçues pour réduire l'évaporation grâce à des stomates enfermés. La fleur, de couleur violacée et hermaphrodite, émerge à l'automne, protégée par une spathe bivalve. Chaque corme peut donner naissance à une à trois fleurs (ARVY et GALLOUIN, 2003).

Le périanthe se compose de six tépales ovales, allant du bleu tendre au pourpre, et d'un tube allongé (TEMSPERDU, 1794). L'androcée est constitué de trois étamines produisant une poudre jaune vif, tandis que le gynécée est formé de trois carpelles et d'un style surmontant un ovaire, le tout mesurant entre 3 et 4 cm



Figure 2 : aspect général de *Crocus sativus* L. (Arvy, et al 2003)

1.3. Exigences du safran

1.3.1. Climat générale

Adapté aux climats méditerranéens à continentaux, le safran prospère entre 600 et 1200 m d'altitude, supportant des températures extrêmes allant de -15 °C en hiver à 40 °C en été, à condition qu'elles ne coïncident pas avec des stades sensibles de développement(Molina et *al.*, 2005 ; Fernández, 2004).

1.3.2. Exigences édaphiques et culturales

Requiert un sol profond (60–70 cm), bien drainé, riche en matière organique (1,5 à 2 %), de texture argilo-calcaire ou argilo-sableuse, et tolère jusqu'à 20 % de calcaire. Les sols très sablonneux ou trop calcaires sont à éviter, car ils nuisent à la floraison (Kumar et *al.*, 2009 ; Gresta et *al.*, 2008 ; FAO, 2018)

L'irrigation doit être modérée, notamment en fin d'été pour initier la floraison. Aucun apport en eau n'est requis durant la dormance estivale pour éviter les maladies fongiques comme *Fusarium oxysporum* (Akharaz et Aït Ankach, 2009).

La culture du safran est pérenne et peut durer jusqu'à six ans, mais une rotation de 3 à 5 ans est recommandée pour limiter la propagation de pathogènes et la compétition entre bulbes (Arvy et Gallouin, 2003). Avant la plantation, un labour profond (30 à 40 cm) est requis, suivi d'un apport de fumier bien décomposé (20-40 t/ha) au moins trois mois à l'avance, ainsi qu'un amendement minéral de 40 unités d'azote, 60 de phosphore et 80 de potassium (Kothari et *al.*, 2020).

Les bulbes, issus du renouvellement des safranières, sont plantés de juillet à la mi-août à une densité de 50 à 70 bulbes/m² et à 10-15 cm de profondeur. Deux méthodes sont utilisées : en lignes ou en billons surélevés, cette dernière favorisant le drainage (Akharaz & Aït Ankach, 2009). La floraison s'étale d'octobre à novembre, chaque bulbe produisant 1 à 3 fleurs la première année et jusqu'à 12 par la suite (Gresta et *al.*, 2008). La récolte, entièrement manuelle, se fait tôt le matin pendant 3 à 6 semaines (De Juan et *al.*, 2009).

L'émondage, séparation des stigmates doit avoir lieu dans les 24 heures, suivi d'un séchage délicat à l'abri de la lumière pour préserver les composés aromatiques (Crozet et *al.*, 2012 ; ISO 3632-1, 2011). Les stigmates séchés sont stockés dans un lieu sec et sombre, tandis que les bulbes sont conservés dans un hangar ventilé à l'abri de l'humidité pour éviter leur pourriture (Akharaz et Aït Ankach, 2009).

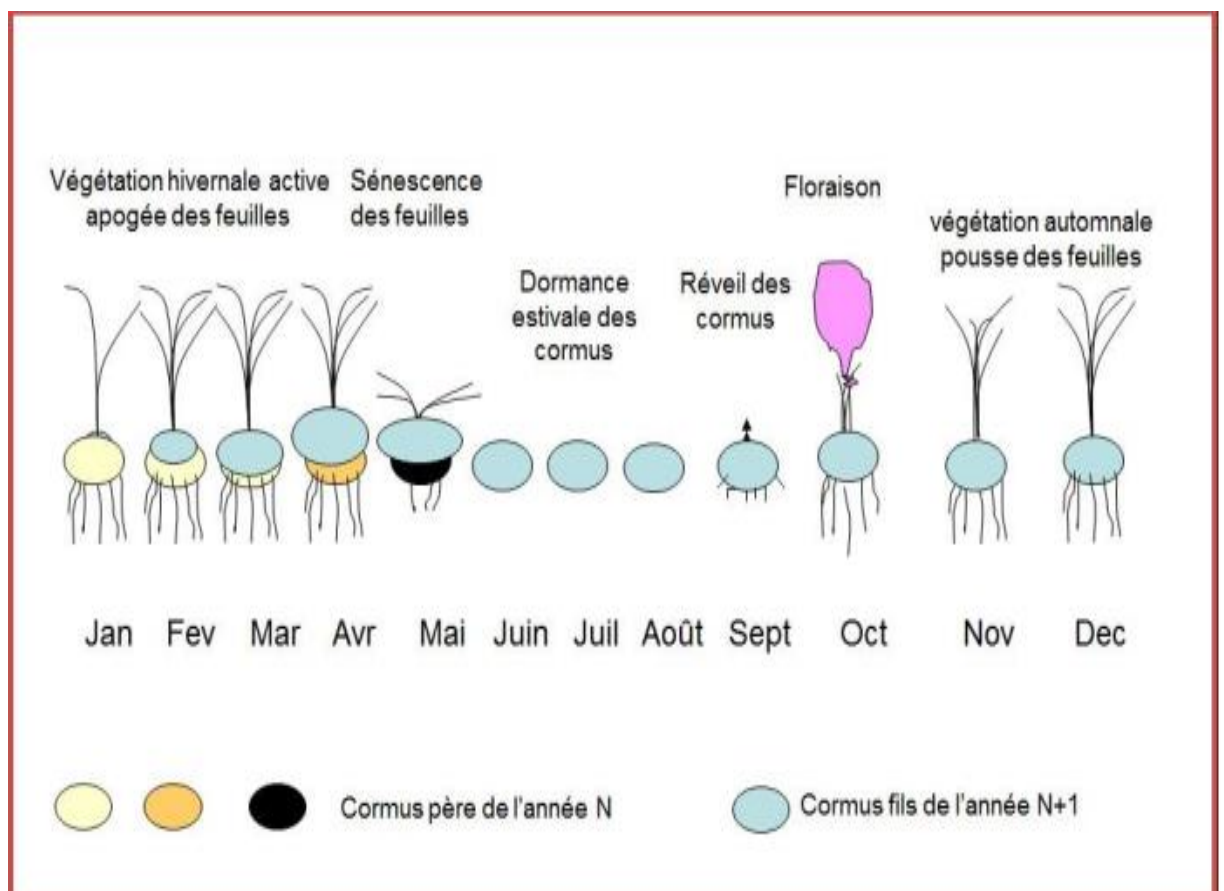


Figure 3 : Cycle de végétation de *Crocus sativus* (Pierronnet, 2016)

Chapitre II

Matériels et méthodes

Chapitre II : Matériels et méthodes

1.Présentation de la région d'étude

1.1. Situation géographique

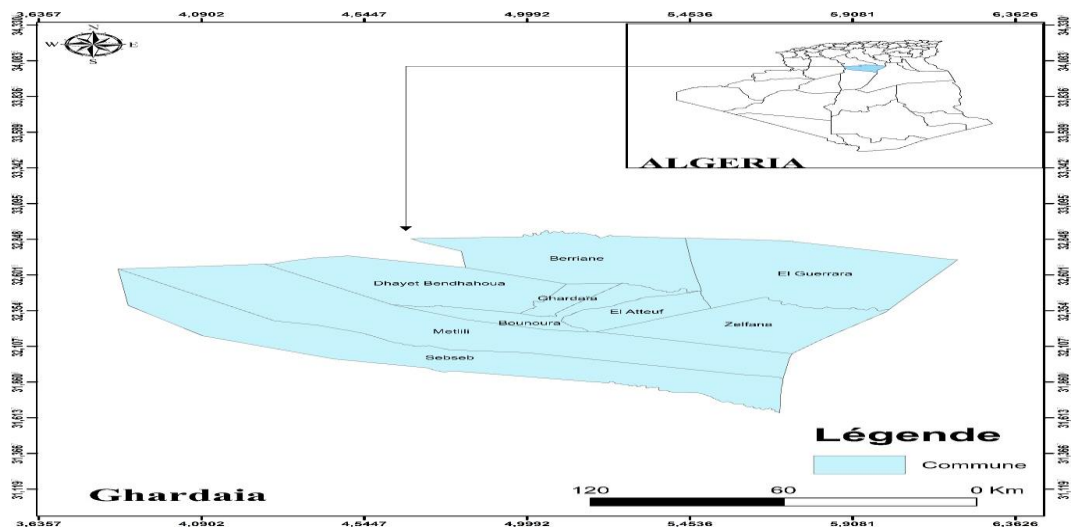
La wilaya de Ghardaïa est située au centre-nord du désert du Sahara en Algérie, à environ 600 km au sud d'Alger. Elle s'étend sur une superficie de 24711 km² et est composée de 9 communes regroupées en 7 daïra (BOUDFFEUR & SERIOU, 2023)

Ces coordonnées géographiques sont les suivant :(BOUDFFEUR. & SERIOU ,2023)

- Altitude 455 m
- Latitude 32° 16' Nord
- Longitude 003° 38' Est

Elle est limitée administrativement par : (Le journal officiel, 2022) et (BOUDFFEU, SERIOU, 2023)

- Au Nord par la wilaya de Laghouat
- A l'Est par la wilaya d'Ouargla
- Au Sud par la wilaya d'El-Menia
- A l'Ouest par la wilaya d'El-Bayadh



1.2. Géologie régionale

Région de Ghardaïa est localisée sur les bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Bas-Sahara. Elle appartient au deuxième bassin sub-saharien et présente des affleurements majoritairement datés du Crétacé supérieur (A.N.R.H., 2016), Guessoum & Boudeffeur, 2023). Ce socle géologique est constitué principalement de massifs calcaires turoniens dolomitiques formant un large plateau subhorizontal, connu sous le nom de « dorsale du M'Zab » (LEBOUABI, GABANI, 2022). En région saharienne, on distingue deux grandes zones : le Haut-Sahara (occidental) et le Bas-Sahara (oriental) (Guessoum & Boudeffeur, 2023)

La lithologie régionale de Ghardaïa se caractérise par une diversité de formations. À l'ouest et au sud-ouest, on retrouve des argiles verdâtres et bariolées attribuées au Cénomaniens ; au centre, des calcaires massifs blancs grisâtres du Turonien ; à l'est, des calcaires marneux et argiles gypseuses du Sénonien ; à l'est et au nord-est, des sables rougeâtres consolidés du Miopliocène ; enfin, des alluvions quaternaires recouvrent le fond des vallées des oueds (A.N.R.H., 2016), (Guessoum & Boudeffeur, 2023).

1.3. Géomorphologie de la région

Région de Ghardaïa est marquée par trois grandes formations naturelles : la Chabka du M'Zab, les régions des Ergs, et celles des Dayas (D.P.A.T., 2005)

La Chabka est un plateau crétacé découpé par un réseau de petites vallées parallèles orientées vers l'est, aux berges constituées de calcaires dolomitiques reposant sur des marnes. Les vallées, telles que l'oued Metlili, l'oued Sebseb et l'oued N'Saa, mesurent jusqu'à 100 mètres de profondeur et plusieurs kilomètres de large (Zita, 2011 ; Ben Semaoune, 2007).

La région des Ergs, localisée à l'est de Ghardaïa, repose sur un substratum pliocène et se distingue par la présence de grandes dunes (20 % de la surface saharienne) formées de crêtes de 50 à 80 mètres de hauteur (Toutain, 1979).

La région est aussi marquée par des regs, sols caillouteux résultant de la déflation, et comprend les communes de Zelfana, Bounoura et El Ateuf (Zita, 2011).

Quant à la région des Dayas, elle occupe une petite partie de Ghardaïa, dans la commune de Guerrara, s'étendant entre le sud de l'Atlas saharien et le méridien de Laghouat (Coyne, 1989)

1.4. Hydrogéologie

Région de Ghardaïa La présence d'eau souterraine dans la région du M'Zab est rendue possible par une couche imperméable cimento-calcaire du Cénomaniens situé sous le calcaire toulonnais à Chebka (Moulias, 1927). Cette configuration géologique favorise le stockage de l'eau dans plusieurs types d'aquifères présents dans la région.

1.4.1. Nappe du Continental Intercalaire

Cet aquifère fossile couvre une superficie de 600 000 km², s'étendant du nord de l'Algérie au sud tunisien et au nord libyen. Il est localisé entre la Basse Terrasse et le sommet des collines d'Albuan. L'écoulement se fait d'ouest en est, et l'alimentation, bien que faible, provient des précipitations tombant au piémont de l'Atlas Saharien grâce à l'accident Sud Atlasique (A.N.R.H., 2007).

1.4.2. Nappe du Complexe

Terminal Composée de sables mio-pliocènes et de carbonates sénoniens, cette nappe est moins répandue et moins productive que celle du continental intercalaire. De plus, en raison de l'altitude élevée de la zone de Ghardaïa, celle-ci ne bénéficie pas de cet aquifère (Dubost, 2002)

1.4.3. Nappe Phréatique

Située en surface, cette nappe est accessible par des puits peu profonds (2 à 50 m). Son alimentation dépend des précipitations, et elle est exploitée notamment pour l'irrigation des cultures pérennes, comme les palmiers dattiers (Dubost, 2002 ; A.N.R.H., 2007)

1.4.4. Réseau Hydrographique

La région est traversée par de nombreux oueds, qui ont historiquement constitué une source d'eau essentielle pour les oasis (Ballais, 2010)

1.5. Pédologique

Le sol, élément fondamental des écosystèmes terrestres, influence la répartition des organismes vivants et leur activité, notamment à travers le pH (Ramade, 1984). Les sols sahariens, typiques de la région de Ghardaïa, ont une texture sablo-limoneuse et sont pauvres en phosphore, azote et oligo-éléments.

Ces sols se caractérisent aussi par un pH élevé et un taux de calcaire important, ce qui nuit à l'assimilation des nutriments essentiels par les plantes, en particulier le phosphore, le potassium et l'azote. Leur faible teneur en matière organique limite leur capacité d'échange cationique, inférieure à 5 méq/100g (Mihoub, 2008)

La région de Ghardaïa possède également un sol très pauvre en matière organique, mais riche en ressources géologiques comme la dolomie, le calcaire, l'argile, le sable et la pierre (A.N.R.H., 2021)

1.6. Étude climatologique

1.6.1. Données climatiques générales

Le climat de Ghardaïa est typiquement saharien, avec deux grandes saisons : une chaude et sèche d'avril à septembre, et une plus tempérée d'octobre à mars (A.N.R.H., 2011)

Selon Lagreb et al., (2021), les précipitations annuelles sont très faibles (environ 145 mm) et les températures varient fortement, allant jusqu'à 46 °C en été et descendant à environ 5 °C en hiver

L'humidité relative est faible (36,78 % en moyenne entre 2011 et 2020), contribuant à une atmosphère sèche et à une évaporation importante. La vitesse du vent est variable, avec une moyenne annuelle de 12,62 m/s, atteignant un maximum en avril (16,52 m/s) et un minimum en octobre avec 10,65 m/s.

1.6.2. Paramètres climatiques spécifiques

1.6.2.1. Température

La température moyenne annuelle est de 22,88 °C. Le mois le plus chaud est juillet (35,29 °C) et le plus froid est janvier (11,71 °C) (Tableau 01)

1.6.2.2. Précipitations

Les précipitations sont rares, irrégulières et majoritairement sous forme de pluie. Le maximum mensuel est atteint en septembre (5,33 mm) et le minimum en juillet (0,20 mm). Le cumul annuel moyen est de 39,24 mm (Mutin, 1977)

1.6.2.3. Humidité

L'humidité relative est très basse en juillet (17,49 %) et atteint son maximum en décembre (50,45 %)

1.6.2.4. Vent

Le vent joue un rôle écologique important en influençant l'évaporation, la dispersion des précipitations et les températures. La vitesse annuelle moyenne est de 13,44 m/s. Elle atteint 16,52 m/s en avril et descend à 10,65 m/s en octobre (White, 1986)

Tableau 01 : Données climatiques la région de Ghardaïa (2013 – 2022)

Mois	Température (C°)			H (%)	P (mm)	V.Vent (m/s)
	T moy	T M	T m			
Janvier	11,71	17,35	6,22	42,83	1,22	12,20
Février	13,55	19,18	7,97	36,49	3,53	15,45
Mars	16,93	22,62	10,94	32,41	4,04	16,40
Avril	21,82	27,91	15,16	28,03	3,96	16,52
Mai	26,82	32,94	19,98	23,96	3,89	15,63
Juin	32,04	38,21	24,86	19,43	0,71	14,81
Juillet	35,29	41,30	28,37	17,49	0,20	12,53
Aout	34,06	40,06	27,58	21,88	3,89	11,78
Septembre	29,98	35,96	23,92	29,87	5,33	11,72
Octobre	23,40	29,35	17,68	34,86	4,11	10,65
Novembre	16,53	22,00	11,23	41,67	4,88	11,94
Décembre	12,48	17,82	7,57	50,45	3,48	11,63
Moyenne mensuelle	22,88	28,73	16,79	31,61	3,27	13,44
Cumul annuel					39,24	

H : humidité relative, **T** : Température, **P** : Précipitation, **V.V** : vitesse de vent.

1.7. Synthèse climatique de Ghardaïa

1.7.1. Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen

Ce diagramme permet de distinguer les saisons sèches et humides. Un mois est dit sec si ses précipitations mensuelles (P) sont inférieures ou égales à deux fois sa température moyenne (T) : $P \leq 2T$. L'analyse sur la période 2013–2022 montre que la région connaît une sécheresse presque permanente, les précipitations restant constamment inférieures aux températures (Bagnouls et Gaussen, 1953).

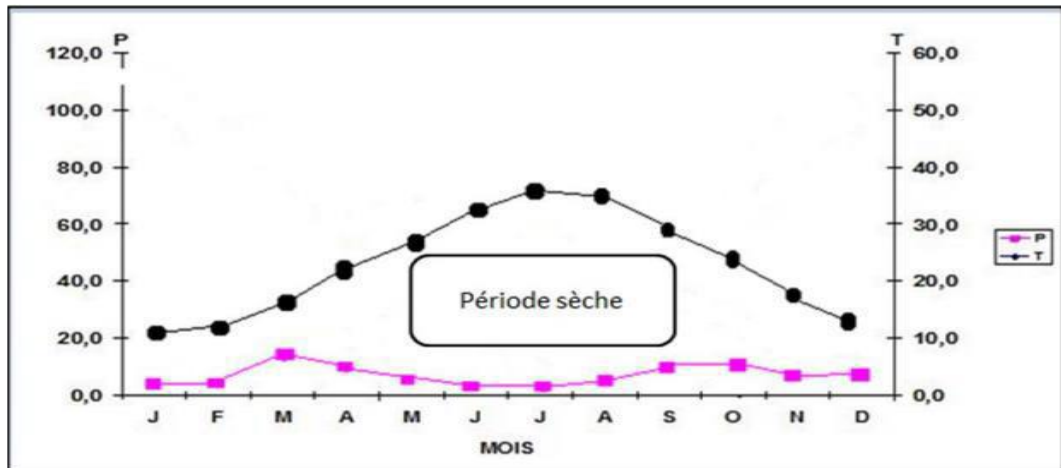


Figure 5: Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN.2013 /2022

1.7.2. Climagramme d'Emberger

Ce climagramme classe les climats méditerranéens en fonction du quotient pluviométrique Q2 :

$$Q2 = (3,43 \times P) / (M - m)$$

Avec :

- P : pluviométrie annuelle (mm)
- M : température maximale moyenne du mois le plus chaud (°C)
- m : température minimale moyenne du mois le plus froid (°C)

Pour Ghardaïa, le calcul donne $Q2 = 6,21$, indiquant un **étage bioclimatique saharien à hiver doux** (DAJOZ, 1996 ; STEWART, 1969).

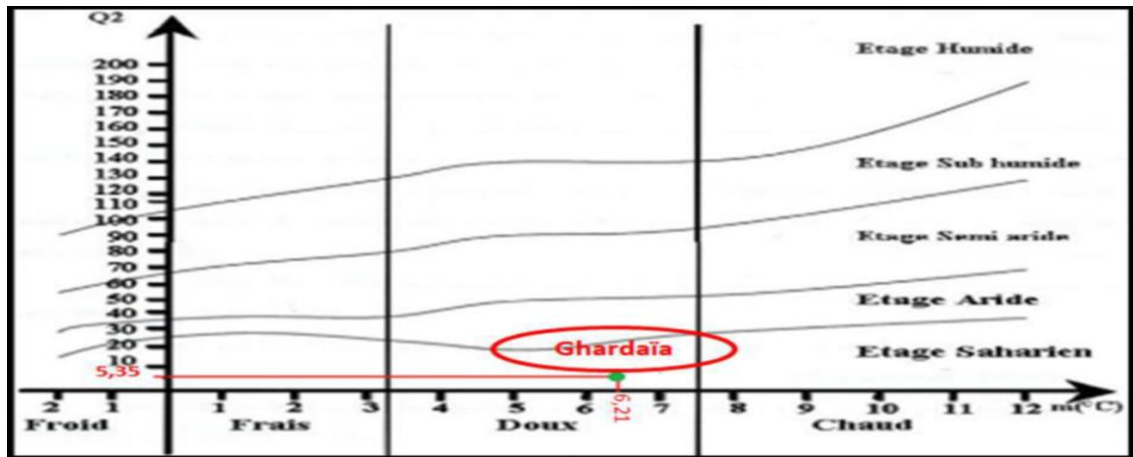


Figure 6: Climagramme d'Emberger

1.8. Facteur biotique

1.8.1. Flore de la région de Ghardaïa

Située entre les empires floraux Holarctis et Paléotropis, l'Algérie bénéficie d'une flore diversifiée (Aidoud, 1984).

À Ghardaïa, le couvert végétal comprend des espèces arborescentes, arbustives et herbacées, dominées par le palmier dattier *Phoenix dactylifera* (Tirichine, 2010). Sous ces palmiers sont cultivées diverses plantes fruitières, maraîchères, fourragères et condimentaires, créant un microclimat favorable à une faune variée (Quézel et Santa, 1926 ; Ozenda, 1983 ; Zergoun, 1994)

1.8.2. Faune de la région de Ghardaïa

Selon Ould el Hadj (2004), les animaux sahariens sont moins adaptés que les végétaux, mais leur mobilité leur permet de migrer vers des zones plus favorables, comme les oueds, oasis et points d'eau.

La faune comprend des invertébrés (insectes, arachnides) et des vertébrés, avec notamment des mammifères comme le hérisson du désert et la petite gerbille, ainsi que de nombreuses espèces d'oiseaux (Daddi-Bouhoun, 1997 ; Kadi et Korichi, 1993)

2. Présentation du site d'étude

L'expérience c'est fait dans une parcelle expérimentale (figure 04) se trouvant au niveau de l'Institut National Spécialisé dans la Formation Professionnelle (INSFP-Ghardaïa). Elle est située exactement à 32°23'41,17" de longitude Nord et à 3°45'39,51" de latitude Est, et à 488 m du niveau de la mer.

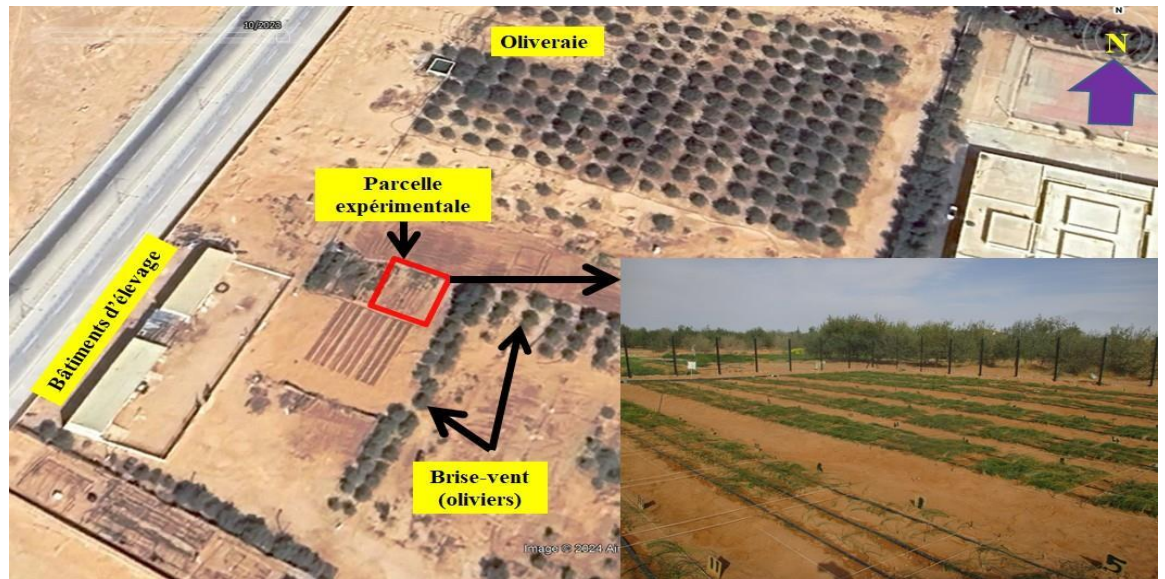


Figure 7 : L'emplacement de la parcelle expérimentale (KECHIDA, 2024)

2.1. Méthodes d'études

Cette étude vise à développer une technique de culture du safran adaptée aux conditions agronomiques et climatiques de la région de Ghardaïa. Plus précisément, il s'agit d'évaluer l'impact de la bio-fertilisation sur le rendement du safran.

Pour cela nous avons deux aspects dans notre travail :

a) Suivi du développement végétatif et de la floraison

Ceci à travers l'enregistrement des informations suivantes :

- Dates d'apparition des premières fleurs ;
- Dates de récolte ;
- Nombre de fleurs selon les traitements appliqués ;
- Longueur des plants selon les traitements ;
- Poids des stigmates et estimation du rendement en safran

b) Analyses pédologiques

Les analyses des sols ont été réalisées au laboratoire de pédologie de la Faculté des Sciences Naturelles, de la Vie et de la Terre à l'Université de Ghardaïa.

Les paramètres étudiés comprenaient :

1. Le pH (mesuré pour évaluer son évolution sous différents traitements) ;
2. La conductivité électrique (CE) (indicateur de la salinité du sol) ;
3. La teneur en matière organique ;
4. Le taux de calcaire total (exprimé en %).

2.2. Dispositif expérimental

Cette étude en cours depuis 2023. Après une première campagne d'expérimental en 2023–2024 centrée sur l'utilisation d'amendements organiques (fumier, compost), Notre étude (2024/2025) explore leurs effets cumulatifs, en tenant compte d'un facteur clé : la nature des bulbes (nouvellement plantés ou conservés en terre).

Pour nous faciliter le suivi au niveau de parcelle des différentes variables à mesurer, les blocs ont été numérotés de 1 à 108. Ainsi, à chacun des 108 numéros correspond un traitement

Plusieurs facteurs ont fait l'objet de l'essai il a été mis en place l'année passée (Type de bio-fertilisant: compost local et fumier d'ovins; type de bulbe (Nouveau /ancien). Trois différentes doses ont été testées pour les facteurs compost local, une dose pour le fumier d'ovins seul et enfin une dose de compost local additionnée avec une dose de fumier. L'alluvion utilisé habituellement par les safraniers de Ghardaïa comme support à leur safran est utilisé comme témoin (Tableau 02). Dans chacun des différents carrés ont été semés 77 bulbes de grand calibre.

Tableau 2 : Les différents facteurs étudiés l'année passée.

Type de traitement	Dose	Signification
Compost local	D1	2 Kg/m ²
	D2	4 Kg/m ²
	D3	6 Kg/m ²
Fumier d'ovins	/	4 Kg/m ²
Compost local + Fumier d'ovins	Mélange	2 + 2 Kg/m ²
Alluvion	Témoin (Substrat)	
Bulbe	Nouveau	//
	Ancien	//

La figure 05 illustre bien les 108 carrés des différents blocs expérimentaux, ainsi que les répétitions de traitements en fonction du type de bulbe

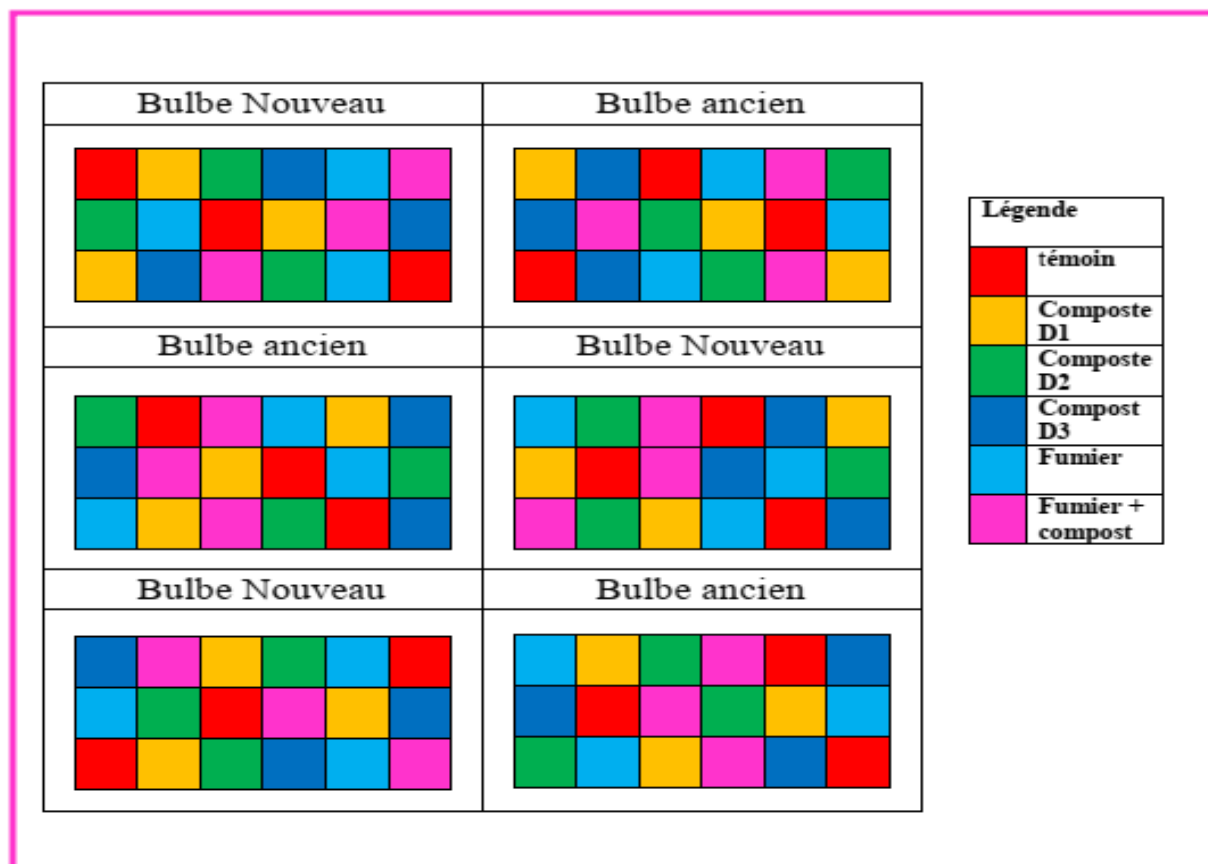


Figure 8: Dispositif expérimentale

2.3. Itinéraire technique

2.3.1. Préparation du terrain et plantation

Le terrain a été préparé pour la culture en éliminant les mauvaises herbes, puis nous avons retiré la paille utilisée pour recouvrir les bulbes de la saison en précédente.

La première irrigation (reprise) a été faite le 20/10/2024 (pour les anciens bulbes) et la plantation de nouveaux bulbes le 31/10/2024 dans les blocs qui avaient été récoltés l'année précédente (blocs des gros bulbes), ceci sur profondeur de 10 à 15 cm de profondeur.

Une opération de désherbage manuelle se faisait régulièrement

2.3.2. La floraison et la Cueillette

Nous avons cueillette s'est déroulée avec une prudence extrême chaque matin dès l'apparition de la première fleur du 02/12/2024 au 19/12/2024.

2.3.3. La Conservation

Le séchage, débute juste après l'émondage, une opération qui se fait sur du papiers absorbant dans une pièce sèche, sans lumière ni vent, elle dure 3 à 5 jours pour que les stigmates sèchent complètement.

Une fois que les tiges ont séché complètement et que leur couleur a changé en rouge foncé, et pour être sûr qu'elles soient complètement sèches ; juste après c'est la conservation des stigmates dans des bocaux en verre et bien fermés afin de préserver la qualité du safran.

2.4. Echantillonnage de sol :

Les échantillons de sol dans la parcelle sont prélevés aléatoirement à l'aide de la tarière sur une profondeur de 0 -15 cm pour les 18 prélèvements afin d'avoir 03 répétitions par traitements, les échantillons ont été transportés dans des sacs en plastique

2.5. Méthodes d'analyses pédologie (Annex)

2.5.1. Le dosage du carbone organique (Méthode Walkley et Black)

Le carbone organique constitue l'élément principal des matières organiques du sol, représentant en moyenne 58 % de leur masse totale, ce qui en fait un indicateur clé pour évaluer la teneur en matière organique (Brady et Weil, 2008). Les autres éléments majeurs entrant dans la composition des matières organiques sont l'oxygène (~40 %), l'hydrogène (~5 %), l'azote (~3–5 %) et le soufre (~1 %), selon les estimations chimiques classiques (Stevenson, 1994).

Dans les analyses de sol, la teneur en matière organique est généralement estimée à partir de la concentration en carbone organique, en appliquant un facteur de conversion, ce qui permet d'évaluer indirectement la quantité de matière organique présente (Brady et Weil, 2008).

2.5.2. Le calcaire total

Le calcaire est une roche sédimentaire organogène (Duchaufour, 2001), mais peut aussi être détritique ou chimique (Brunet et *al.*, 2005). Un sol calcaire contient suffisamment de carbonate de calcium (CaCO_3) pour provoquer une effervescence avec de l'acide chlorhydrique dilué (Baize, 2000), souvent en présence de carbonate de magnésium (FAO, 2006).

2.5.3. La conductivité électrique

La conductivité électrique d'une solution est un indicateur des concentrations de sels solubles (Rhoades et *al.*, 1990). Cette propriété électrochimique repose sur le fait que la conductance, inverse de la résistance électrique, augmente avec les concentrations de cations et d'anions, porteurs de charges électriques (USDA, 2004).

Pour extraire les sels solubles du sol, deux méthodes peuvent être employées : l'utilisation d'un extrait de pâte saturée (Richards, 1954) ou des extractions aqueuses avec des rapports pondéraux fixes entre le sol et l'eau (Mathieu et Pielain, 2009).

Les rapports d'extraction courants sont 1/1, 1/2, 1/5 et 1/10, le rapport 1/5 étant le plus fréquemment utilisé (Baize, 2000).

2.5.4. Le pH (potentiel d'hydrogène)

La réaction du sol est une caractéristique essentielle, car elle influence l'ensemble des processus d'évolution pédogénétique ainsi que la croissance des plantes (Duchaufour, 2001).

Le terme « réaction du sol » désigne la concentration en ions H^+ dans la solution du sol (Baize, 2000). Pour simplifier cette expression, on utilise le logarithme décimal de la concentration en ions H^+ , ce qui donne le pH : $pH = \log(1/[H^+])$ (Brady & Weil, 2008). Le pH peut varier de 0 à 14, et il est neutre ($pH = 7$) lorsque la concentration des ions H^+ est égale à celle des ions OH^- (Stevenson, 1994).

Il existe deux types d'acidité du sol : l'acidité actuelle et l'acidité d'échange (Mathieu et Pielain, 2009).

L'acidité actuelle, aussi appelée pH en eau, est due à la présence d'ions H^+ libres dans la solution du sol et se mesure à l'aide d'un pH-mètre dans une suspension sol-eau (rapport généralement de 1:1 à 1:5) (Baize, 2000).

Chapitre III

Résultats et discussion

Chapitre III: Résultats et discussion

III.1. Résultats

Nos résultats sont scindés en deux axes :

- Le premier sur le suivi de la culture du safran
- Le second sur les effets des différents traitements sur quelques paramètres du sol

III. 1.1. Résultats de suivi de safran

III.1.1.1. Effets des amendements sur le développement végétatif:

Nous remarquons à travers les résultats illustrés dans la figure 9, que le traitement au fumier (F) s'est distingué par la meilleure performance en matière de croissance végétative du safran, avec une longueur moyenne des feuilles atteignant 29 cm en 2024/2025. Ce résultat représente une amélioration de 16 % par rapport à l'année précédente (25 cm).

Le traitement CD2, correspondant à une dose moyenne de compost, a également montré de très bons résultats avec une longueur moyenne de 27 cm, soit une hausse de 23 % par rapport à l'année précédente 202/2024 (22 cm).

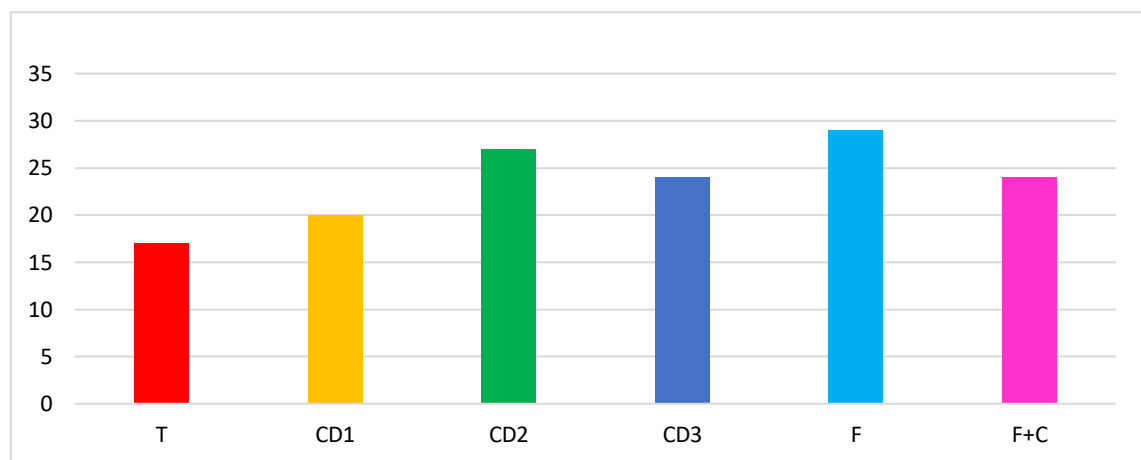


Figure 9 : Effets types d'amendement sur la longueur des feuilles

Les autres traitements ont produit des résultats intermédiaires. Le compost à faible dose (CD1) a permis une amélioration modeste, atteignant 20 cm, tandis que les traitements CD3 et F+C ont chacun atteint 24 cm. Bien qu'efficaces, ces derniers restent en dessous des performances observées pour CD2 et F. Le témoin non amendé (T), quant à lui, a affiché la plus faible croissance, avec seulement 17 cm de longueur foliaire, illustrant l'importance des apports organiques pour stimuler le développement végétatif du safran.

III.1.1.2. Evolution de la floraison

L'apparition des fleurs du safran été étalé sur une période de 18 jours, dont 17 fleurs sont apparues le 02 décembre 2024, tandis que les dernières fleurs ont été observées le 19 décembre. L'émergence des fleurs au sein l'ensemble des blocs de l'essai évolue en dents de scie, avec un pic (Figure 10) durant la journée du 10 décembre 2024

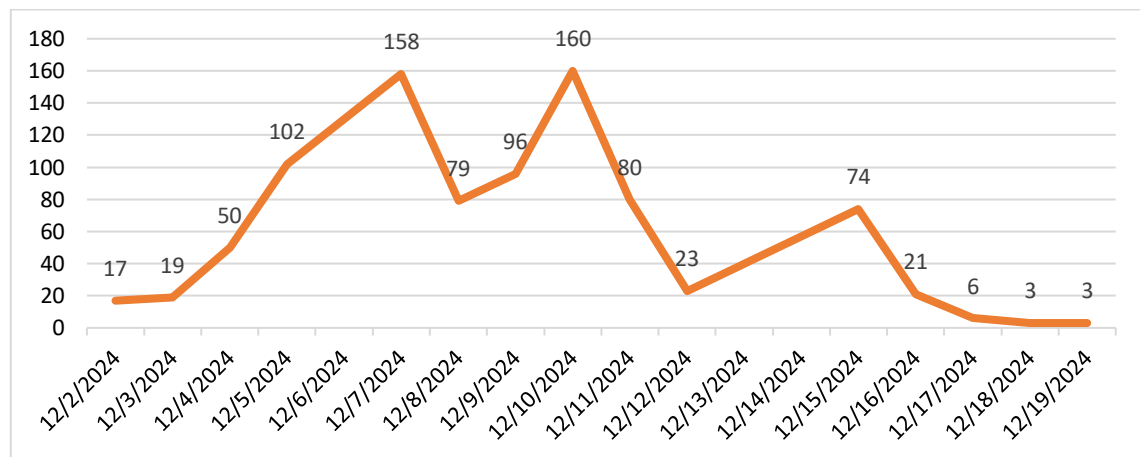


Figure 10 : Evaluation de la quantité globale des fleurs cueillies

III.1.1.3. Evolution du nombre total de fleurs

Concernant l'effet de l'application de différents bio-fertilisant organiques sur le rendement en nombre de fleurs. Et à travers la figure 11, Le traitement témoin a donné 159 fleurs, un résultat presque identique à celui obtenu avec le compost à faible dose (CD1), qui en a produit 158. Le traitement le plus performant est le compost à dose élevée (CD3), avec 167 fleurs, soit le nombre le plus élevé parmi tous les groupes.

En revanche, le compost à dose intermédiaire (CD2) a donné les plus faibles résultats, avec seulement 122 fleurs. Le traitement à base de bio-fertilisants seul (Fumier) a permis d'obtenir 138 fleurs, un chiffre inférieur au témoin, tandis que la combinaison biofertilisant + compost (F+C) a amélioré ce rendement à 154 fleurs, proche du témoin. Au total, l'ensemble des traitements a permis de produire 898 fleurs.

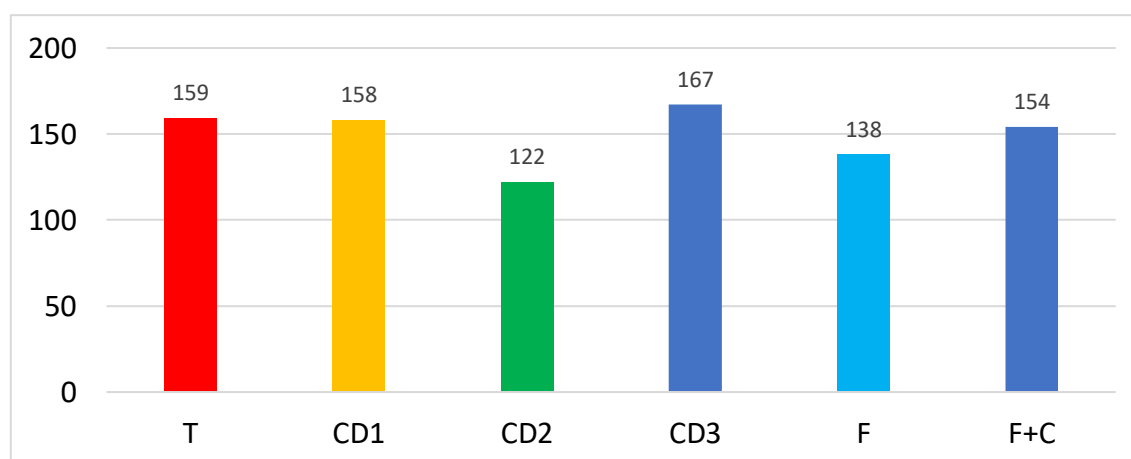


Figure 11 : Effets des traitements sur le nombre de fleurs

III.1.1.4. Rendement en stigmates

III.1.1.4.1. Rendement total en stigmates

Le Fumier a un impact positif significatif sur la productivité du safran, avec un poids moyen de 569,9 mg (Figure 12), supérieur au témoin (513,1 mg). L'association de fumier et compost (F+C) produit également de bons résultats (549,3 mg), bien au-dessus de tous les traitements compost seuls (C (D1, D2, D3)). Comparativement ; Les résultats des traitements uniquement à base de compost, ont montré notamment CD2 (433,7 mg) et CD3 (458,9 mg), montrent une baisse de rendement par rapport au témoin.

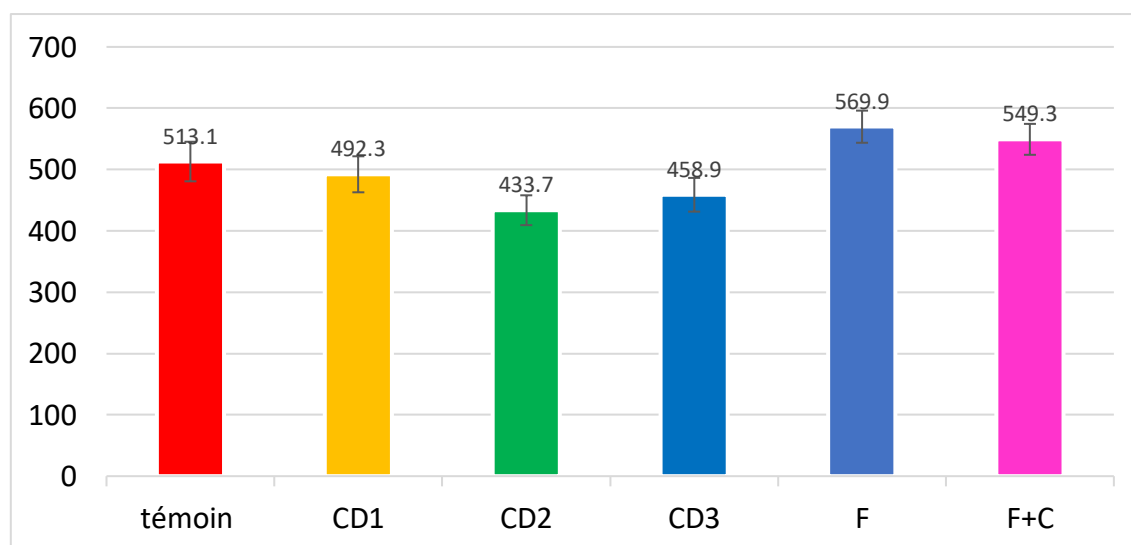


Figure 12 : Effets des traitements sur le rendement en stigmates (mg).

III.1.1.4.2. Rendement en stigmates des anciens bulbes et nouveaux bulbes

L'ensemble des bulbes semis a donné un poids total en stigmates de 3017.2g. Les anciens bulbes ont eu la très large part de 2403 mg, soit 80% du poids total (figure 13 et 14)

Les nouveaux bulbes quant à eux n'ont donné que 614.2 mg ce qui représente 20% du poids total obtenu.

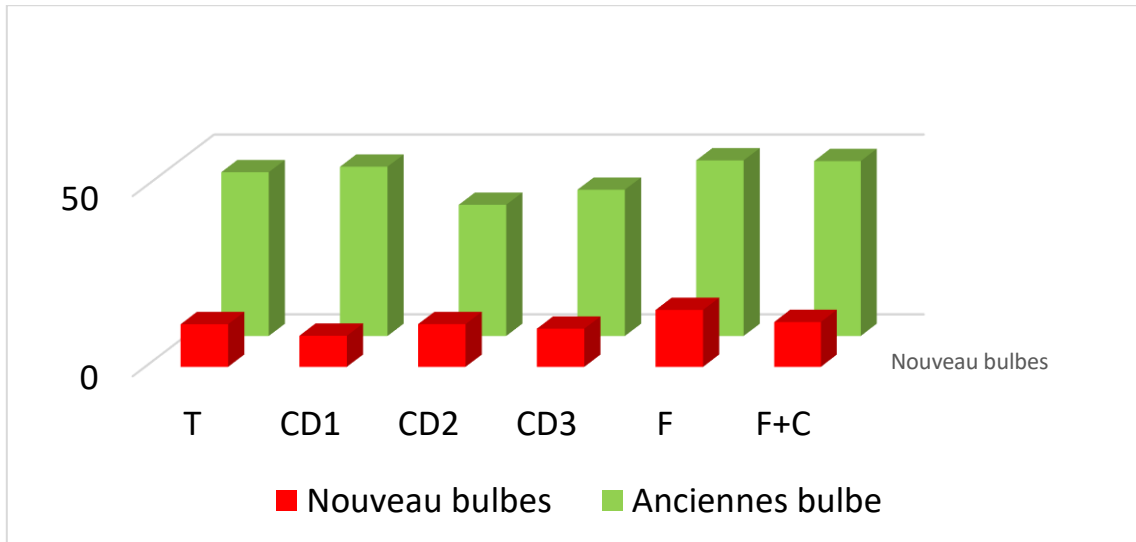


Figure 13: Effets des traitements sur le rendement des différents bulbes

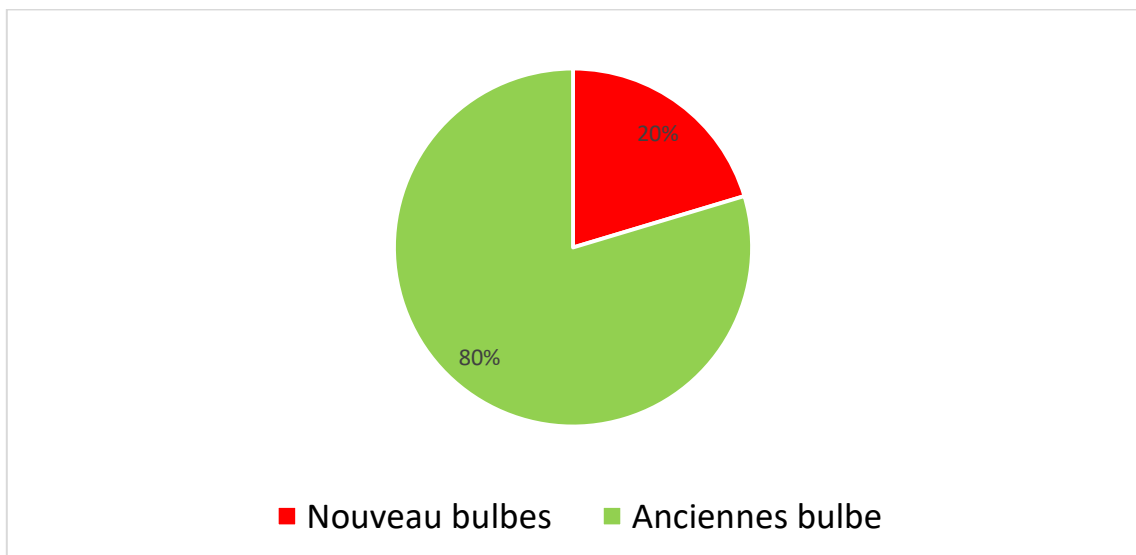


Figure 14: Répartition du rendement sur les différentes

III.1.2. Résultats de l'analyse de sol

III.1.2.1. Résultats de matière organique dans le sol

Les résultats obtenus (figure 16), montrent des variations notables dans le contenu en matière organique (MO) du sol selon les traitements appliqués. Le traitement F (fumier) a donné la valeur la plus élevée (18,38 %), suivi du témoin (T) à 18,07 %, ce qui montre une amélioration marginale de 0,31 %.

D'autres traitements comme CD1 (18,24 %) et CD2 (18,13 %) montrent des valeurs proches du témoin, sans amélioration significative. En revanche, CD3, F, et F+C affichent les niveaux les plus bas à 17,46 %, suggérant une possible perte de MO ou un effet limité de ces traitements sur son accumulation.

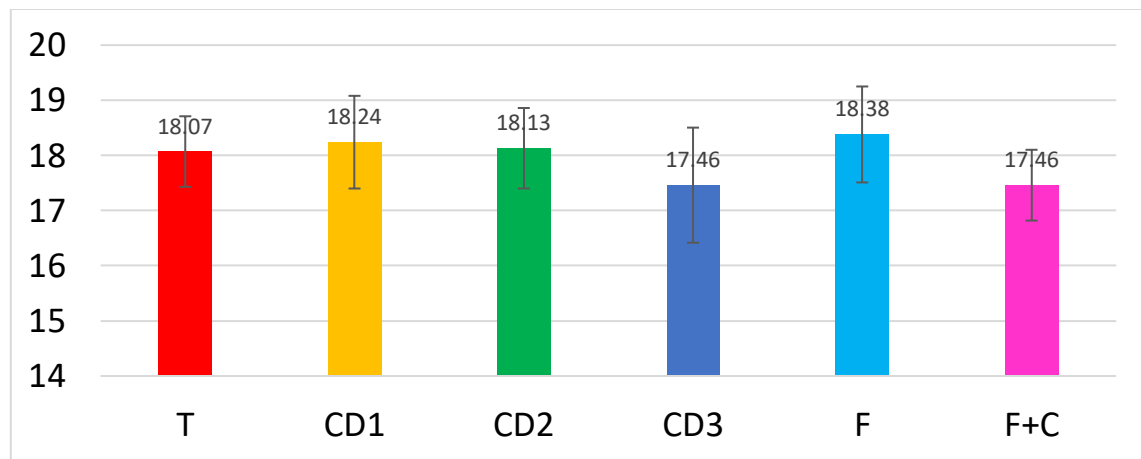


Figure 15: Teneur de matière organique sous différents traitements

III.1.2.2. Résultats de conductivité électrique du sol

Les résultats montrent des différences notables dans la conductivité électrique (CE) du sol en fonction des traitements appliqués. Le témoin (T) présente la C.E la plus élevée à 0,63 mS/cm, servant de référence.

Les traitements F (0,45 mS/cm) et F+C (0,51 mS/cm) ont permis de réduire efficacement la CE, tout comme CD2, qui affiche également la valeur la plus basse à 0,51 mS/cm.

Les traitements CD1 (0,60 mS/cm) et CD3 (0,61 mS/cm) ont montré des réductions modestes.

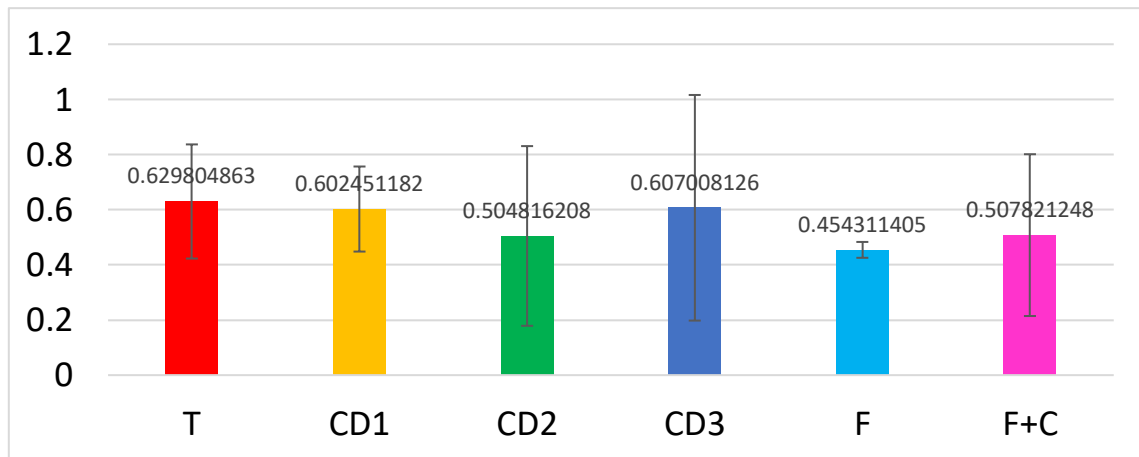


Figure 16: Effets des différents traitements sur la conductivité électrique

III.1.2.3. Résultats de pH du sol

Les résultats (figure 18), montrent que tous les traitements ont entraîné une augmentation du pH du sol par rapport au témoin (T = 8,14), avec des hausses allant jusqu'à 8,48 pour le traitement CD2, qui présente la valeur la plus élevée. Les traitements CD1 (8,25), CD3 (8,23), F (8,28) et F+C (8,30) affichent des valeurs également supérieures à celle du témoin, bien que les variations soient plus modérées.

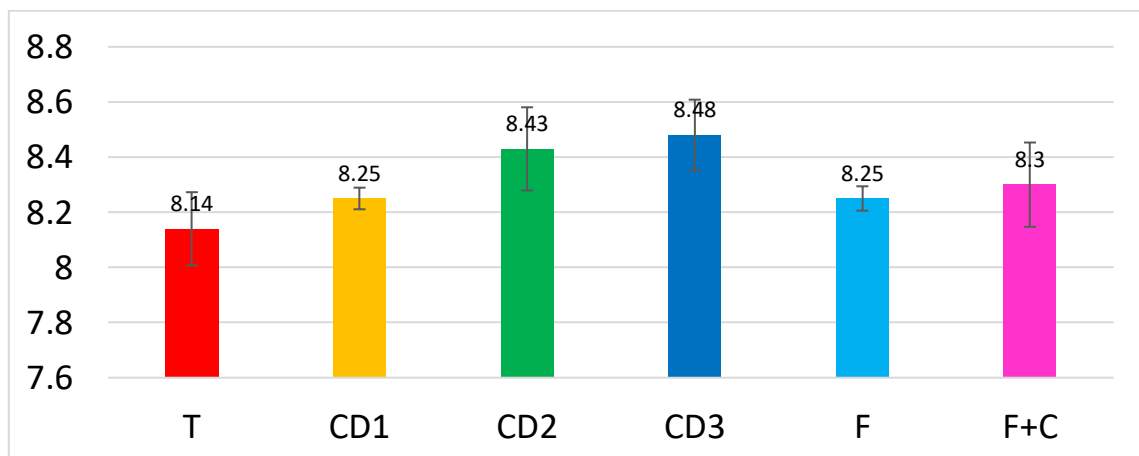


Figure 17: Effets des différents traitements sur le pH du sol

III.1.2.4. Résultats du calcaire total du sol

Les résultats montrent des différences notables dans la teneur en calcaire total (CaCO_3) du sol selon les traitements appliqués. Le témoin (T) affiche la concentration la plus élevée, avec 6,48 %, représentant la teneur naturelle du sol. Les traitements au compost, à savoir CD1 (5,47 %), CD2 (5,73 %), et CD3 (5,67 %), ont permis de réduire cette teneur de manière modérée. Le traitement F (fumier) s'est révélé le plus efficace, avec une réduction significative à 4,66 %, indiquant un potentiel acidifiant intéressant. En revanche, le traitement combiné F+C (6,08 %) présente une teneur proche du témoin, suggérant un effet neutralisant du compost qui compense l'acidité du fumier.

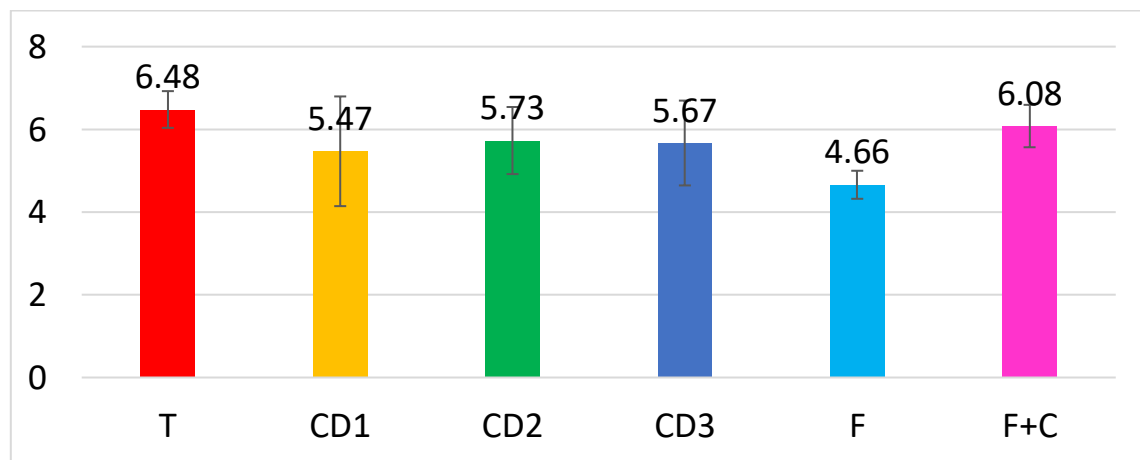


Figure18: Effets des différents traitements sur la taux calcaire total

III.1.3 Analyse statistique

Avant d'interpréter les effets des différents traitements, il fallait s'assurer que les données étaient statistiquement fiables. Nous avons utilisé le logiciel R pour calculer les données statistique.

Pour commencer, certaines variables comme le nombre de fleurs ou le poids des stigmates ne suivaient pas une distribution normale, ce qui a obligé à utiliser des tests non paramétriques, en particulier le test de Kruskal-Wallis. Résultat : aucune différence significative entre les traitements n'a pu être établie pour ces variables (valeurs de $p > 0,80$). Cela ne veut pas dire que les traitements sont inefficaces, mais plutôt que les différences observées pourraient être dues à une grande variabilité entre les parcelles ou à un nombre de répétitions trop faible.

En revanche, les analyses sur le pH et le taux de calcaire totale (CaCO_3) ont donné des résultats plus parlants. L'ANOVA a montré que les traitements influencent significativement le pH du sol ($p = 0,0003$), avec une différence marquée entre le traitement CD3 (compost à dose élevée) et le témoin ($p < 0,001$). Cela confirme que le compost a un réel impact sur l'alcalinité du sol. Pour le CaCO_3 , seul le traitement F (fumier) s'est distingué du témoin ($p = 0,012$), ce qui montre qu'il peut légèrement réduire le calcaire actif, sans pour autant suffire à faire baisser durablement le pH.

En résumé, même si toutes les variables n'ont pas révélé de différences statistiquement significatives, les données sur le pH et le calcaire confirment l'efficacité partielle mais réelle de certains amendements organiques.

III.2. Discussion

Concernant l'impact des traitements sur la croissance végétative en particulier la longueur des feuilles, le fumier a été le meilleur bio-fertilisant, résultat qui confirme l'efficacité constante du fumier, probablement en raison de sa richesse en azote facilement assimilable (Gresta et *al.*, 2009).

Cette amélioration pourrait s'expliquer par une meilleure minéralisation des nutriments durant l'année en cours, favorisée par des conditions pédoclimatiques plus propices à l'activité microbienne (Brady et Weil, 2008). Malgré ces résultats soulignent la supériorité du fumier, le compost à condition d'un bon dosage possède de sérieux potentiel. En 2024, le rendement en nombre de fleurs de safran a montré des variations notables selon les traitements appliqués.

Le compost à dose élevée (CD3) s'est révélé le plus performant avec 167 fleurs, confirmant son efficacité dans l'induction florale, en accord avec les travaux de Bemnihoub et *al.*, (2024). Cette performance représente une augmentation de 18 % par rapport à la campagne précédente 2023/2024 (142 fleurs), soulignant le rôle du compost riche en nutriments dans la stimulation de la floraison.

La combinaison fumier + compost (F+C) a également montré une amélioration significative, atteignant 154 fleurs, contre 130 fleurs en 2023, soit une progression également de 18 %, ce qui soutient l'idée que l'association de bio-fertilisants et de compost améliore la disponibilité des éléments nutritifs (FAO, 2006).

En revanche, le traitement fumier seul (F) a enregistré seulement 138 fleurs, un résultat inférieur à celui du témoin (159 fleurs), ce qui peut s'expliquer par une éventuelle baisse de la fertilité résiduelle du sol ou une réponse plus lente du fumier à court terme.

Le témoin a ainsi surpassé plusieurs traitements, notamment CD1 (158 fleurs) et CD2, qui a donné le résultat le plus faible avec seulement 122 fleurs. Ces résultats montrent que l'effet des bio-fertilisants sur la floraison dépend fortement de la nature, la dose et la synergie des apports organiques.

Pour l'analyse des sols dans les différents blocs expérimentaux. Le traitement F (fumier) a donné la valeur la plus élevée en matière organique. D'autres traitements n'offrent pas d'amélioration significative. Due à une possible perte de matière organique ou un effet limité de ces traitements sur son accumulation.

Malgré cela le fumier est insuffisant pour atteindre les seuils recommandés pour la culture du safran. Où la teneur optimale en matière organique pour le safran est de 20–25 % selon Rahimi et al., (2017), tandis que Gresta et al., (2009) indiquent qu'une matière organique supérieure à 18 % est souhaitable pour les sols marginaux.

Aucun traitement n'a permis d'atteindre ces seuils dans cette étude de deux ans, probablement en raison de la lenteur de l'accumulation de la matière organique dans les sols arides (Brady et Weil, 2008) et de la forte activité microbienne favorisant la minéralisation rapide dans les parcelles fumées (Stevenson, 1994).

Bien que les différences ne soient pas statistiquement significatives, elles sont du point de vue agronomique pertinentes et suggèrent qu'une application prolongée de fumier (sur 3 à 5 ans) pourrait permettre d'atteindre les niveaux requis pour optimiser la culture du safran.

Concernant la conductivité électrique (CE). Le témoin (T) a présenté la C.E la plus élevée. Les traitements en particulier le fumier ont pu réduire la valeur de la conductivité électrique. Ces résultats indiquent que certains amendements, notamment à base de fumier et de compost, peuvent contribuer à diminuer la salinité du sol, élément essentiel pour maintenir un environnement racinaire sain pour la culture du safran.

L'efficacité des traitements F et F+C pourrait s'expliquer par la faible teneur en sels du fumier et la capacité d'échange cationique (CEC) du compost, qui favorisent une meilleure gestion de la salinité (Richards, 1954).

Tous les traitements ont maintenu la CE en dessous du seuil critique de 0,8 mS/cm, considéré comme sûr pour le safran selon Gresta et *al.*, (2009) et l'USDA (2004).

Par conséquent, bien que le pH alcalin demeure la principale contrainte des sols étudiés, la gestion de la salinité s'est avérée efficace grâce aux amendements organiques. Ces résultats confirment que les pratiques testées améliorent les conditions salines du sol et peuvent être intégrées dans une stratégie de gestion durable pour la culture du safran.

Pour le pH l'élévation enregistré du pH reflète une tendance à l'alcalinisation du sol suite à l'application d'amendements organiques ou combinés. Ces résultats indiquent un effet potentiellement négatif sur l'acidité basique du sol, notamment pour CD2, et soulignent l'influence des fertilisants sur la réaction du sol.

Un pH trop élevé, comme observé dans cette étude (8,1–8,5), dépasse la plage optimale recommandée pour la culture du safran 6,8 –7,8 proposé par (Rahimi et *al.*, 2017).

Une élévation qui peut causer plusieurs problèmes. Il limite l'absorption des micronutriments essentiels comme le fer et le zinc (Brady et Weil, 2008), réduit la disponibilité du phosphore à cause de la formation de phosphates de calcium insolubles (Hanna, 2019), et est probablement causé par un matériau parental calcaire riche en CaCO_3 (jusqu'à 6,48 % dans le témoin).

Ces résultats confirment les observations de Bemnihoub et *al.*, (2024) sur les contraintes des sols calcaires en zones arides. En conclusion, le pH du sol constitue une contrainte majeure à corriger par des amendements acidifiants (soufre, tourbe, etc.) pour améliorer la nutrition et la productivité du safran.

La diminution du calcaire total dans les sols amendés par le fumier est probablement due à la production d'acides organiques lors de la décomposition de la matière organique, favorisant la dissolution du calcaire.

Ce phénomène est appuyé par une activité microbienne accrue qui génère du CO_2 , formant de l'acide carbonique (H_2CO_3), contribuant ainsi au lessivage du calcium. Cependant, malgré cette réduction, le pH du sol reste élevé (8,1–8,5), ce qui montre que d'autres sources d'alcalinité (comme le Na_2CO_3) sont aussi en jeu.

Le traitement CD3, avec une teneur équilibrée en CaCO_3 (5,67 %), pourrait représenter un compromis optimal entre acidification et stabilité chimique. Il est donc recommandé d'utiliser le fumier pur (F) pour abaisser le calcaire dans les sols fortement alcalins, mais d'éviter F+C dans les sols déjà riches en CaCO_3 . Une surveillance annuelle du CaCO_3 est aussi conseillée pour suivre les effets à long terme des amendements organiques sur la fertilité des sols.

En plus des différentes contraintes en relation avec les types de substrats et du sol, plusieurs facteurs agronomiques ont contribué à la baisse de rendement lors de la seconde année. Le semis, effectué plus tard (31 octobre contre 9 octobre en 2023), a raccourci le cycle de croissance, tandis que des irrégularités d'irrigation ont compromis l'enracinement.

Cela a conduit à une floraison décalée (10 décembre au lieu du 21 novembre) et à une baisse du rendement en stigmates de 18 %, malgré les bonnes performances du fumier. Le déséquilibre entre bulbes anciens, désormais épuisés après deux cycles, et bulbes nouveaux, encore trop jeunes pour stocker suffisamment de réserves, a également joué : ces derniers n'ont produit que 614,2 mg contre 2403 mg pour les anciens.

Ces résultats confirment que cultiver du safran en milieu aride demande une gestion fine et continue. Il est essentiel d'utiliser le fumier pur en l'associant à des amendements acidifiants (soufre, tourbe), de semer plus tôt (début octobre), de maintenir des apports organiques réguliers pendant 3 à 5 ans, et de suivre de près les paramètres du sol (pH, calcaire, ions) pour ajuster les pratiques en temps réel. Cultiver le safran dans ces conditions, ce n'est pas juste fertiliser : c'est anticiper, équilibrer, et surtout, persévérer.



Conclusion

Conclusion

Cette recherche s'est attachée à évaluer l'impact des bio-fertilisants organiques fumiers et compost avec différents doses de ce dernier sur la culture du safran (*Crocus sativus* L.) dans les conditions arides de la région de Ghardaïa.

Ceci dans le but de répondre à une problématique bien identifiée : comment améliorer la productivité du safran dans des sols pauvres, alcalins et calcaires, tout en réduisant le recours aux engrais chimiques.

Les objectifs été de tester différents types et doses d'amendements organiques pour mesurer leurs effets sur la croissance, la floraison et le rendement en stigmates, mais aussi sur l'amélioration des propriétés du sol.

Les résultats les plus marquants montrent que le fumier a favorisé une croissance végétative significative (feuilles de 29 cm, +16 % par rapport à 2023/2024), alors que le compost à forte dose (CD3) a stimulé la floraison (167 fleurs, +18 %).

C'est néanmoins le fumier qui a permis le meilleur rendement en stigmates (569,9 mg), surtout grâce à l'apport des anciens bulbes, plus productifs que les nouveaux. Ces résultats confirment l'intérêt de la bio-fertilisation, mais montrent aussi ses limites dans des sols fortement alcalins, où la matière organique reste insuffisante (< 20 %) malgré les apports, et où le pH élevé (8,1 – 8,5) continue d'entraver l'absorption des nutriments.

Les objectifs de la recherche ont donc été partiellement atteints : si les bio-fertilisants se montrent prometteurs pour améliorer certains paramètres de la culture, ils ne suffisent pas à eux seuls à lever toutes les contraintes pédologiques.

Cela souligne la nécessité d'une approche intégrée incluant aussi des amendements acidifiants, un bon choix de bulbes, et un calendrier cultural adapté.

Les principales difficultés rencontrées ont concerné les conditions climatiques extrêmes, la variabilité des données en champ et le temps nécessaire pour observer des effets significatifs sur la fertilité du sol.

Ces obstacles n'ont toutefois pas empêché d'aboutir à des recommandations utiles pour les producteurs de safran dans les zones arides.

Pour améliorer la culture du safran dans la région de Ghardaïa, il est recommandé de :

Privilégier l'utilisation du fumier pour stimuler la croissance végétative et le rendement en stigmates, tout en employant du compost à haute dose (CD3) pour favoriser la floraison, en veillant à équilibrer ses effets sur le sol ;

L'introduction d'amendements acidifiants comme le soufre ou la tourbe permettrait de réduire le pH et d'améliorer la disponibilité des nutriments, notamment le phosphore, tandis qu'un suivi régulier du pH et du calcaire aiderait à ajuster les pratiques de fertilisation ;

Il conviendrait également d'avancer la date de plantation (début octobre) et d'optimiser l'irrigation et de gérer l'alternance des petits et gros bulbes pour maintenir une productivité durable ;

Un apport prolongé d'amendements organiques sur 3 à 5 ans, couplé à l'utilisation de couverts végétaux, renforcerait la matière organique du sol ;

Par ailleurs, des recherches à long terme sur les variétés adaptées aux conditions arides, ainsi que des collaborations avec des institutions locales et internationales, permettraient d'approfondir les connaissances ;

Des formations pour les agriculteurs et la diffusion de guides pratiques faciliteraient l'adoption de ces techniques, et faciliter le processus de l'obtention d'un label de qualité valoriseraient la commercialisation du safran.

Ces mesures combinées contribueraient à une production plus productive et durable dans cette zone aride.

Référence bibliographiques

1. Achakzai, A., et al. (2023). Production and properties of biochar from agricultural residues. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(12), 34567–34582. <https://doi.org/...>
2. Aidoud, A. (1984). *Flore et végétation des zones arides : Cas de l'Algérie*. Alger : OPU.
3. Akharaz, M., & Aït Ankach, M. (2009). Tradition et modernité dans la culture du safran au Maroc. *Revue Marocaine d'Agronomie*, 7(2), 45–58.
4. ANRH. (2007). Rapport technique. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, Ghardaïa.
5. ANRH. (2016). Rapport technique. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, Ghardaïa.
6. ANRH. (2021). Rapport technique. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, Ghardaïa.
7. Arvy, M.-P., & Gallouin, F. (2003). *Épices, aromates et condiments* (2e éd.). Paris : Belin.
8. Baize, D. (2000). *Guide des analyses en pédologie* (2e éd.). Versailles : Quae.
9. Ballais, J.-L. (2010). *Géomorphologie des régions sahariennes*. Aix-en-Provence : Presses Universitaires de Provence.
10. Benmihoub, A., Zaoui, M., & Belhadi, A. (2022). Introduction de la culture du safran dans la région de Ghardaïa. *Revue des sciences agronomiques*, 8(2), 115–123.
11. Benmihoub, A. (2020). Développement de la filière safran en Algérie. [Éditeur non précisé].
12. Bennoui, S., & Bitour, N. E. (2022). Cartographie de palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) par télédétection spatiale dans le système oasien Metlili (Wilaya de Ghardaïa). *Mémoire de Master, Université de Ghardaïa*.
13. Boudeffeur, N., & Seriou, L. (2023). Biologie de la reproduction du Bruant du Sahara « *Emberiza Sahari* » de la région de Sebseb (Wilaya de Ghardaïa). *Mémoire de Master, Université de Ghardaïa*.
14. Brady, N. C., & Weil, R. R. (2008). *The Nature and Properties of Soils* (14e éd.). Upper Saddle River : Pearson.
15. Brighton, C. A. (1977). Cytology of *Crocus sativus* and its allies. *Plant Systematics and Evolution*, 128(3), 137–157.
16. Brunet, R., et al. (2005). *Géographie universelle : Afrique du Nord*. Paris : Belin-Reclus.
17. Cardone, L., Castronuovo, D., Candido, V., & Perniola, M. (2022). *Crocus sativus* L. : A Comprehensive Review on Genetic Diversity, Cultivation and Biochemical Properties. *Plants*, 11(8), 1056. <https://doi.org/10.3390/plants11081056>
18. Crozet, Y., et al. (2012). *Le safran : Une culture d'exception*. Avignon : Éditions Cardère.
19. Dajoz, R. (1996). *Précis d'écologie*. Paris : Dunod.
20. De Juan, J. A., Moya, A., López-Córcoles, H., & Muñoz, R. M. (2009). Effects of the growing conditions on the yield and quality of saffron. *Acta Horticulturae*, 850, 189–192.
21. Delaveau, P. (2006). *Histoire des plantes médicinales*. Paris : Albin Michel.
22. Dubost, D. (2002). *L'eau dans le Sahara algérien*. Paris : CNRS Éditions.
23. Duchaufour, P. (2001). *Introduction à la science du sol* (6e éd.). Paris : Masson.
24. FAO. (2006). *Gestion des sols en zones arides*. Rome : FAO.

25. FAO. (2018). Ecocrop: *Crocus sativus* L. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/ecocrop>
26. Fernández, J.-A. (2004). Biology, biotechnology and biomedicine of saffron. *Recent Research Developments in Plant Science*, 2, 127–159.
27. Fernández, J.-A. (2024). Saffron : The Clonal Crop with Ancient Origins. *Horticultural Reviews*, 51, 143–178.
28. Ghanbari, A., et al. (2019). Effect of composted manure on saffron quality and yield. *Journal of Agricultural Science*, 157(3), 234–245.
29. Gresta, F., et al. (2008). Saffron, an alternative crop for sustainable agricultural systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 28(1), 95–112.
30. Gresta, F., et al. (2009). Saffron: The world's most expensive spice. *Journal of Food Science*, 74(5), R25–R32.
31. Gul, S., & Whalen, J. K. (2016). Biochar-based organic amendments improve crop yields. *Agricultural Sciences*, 7(8), 532–545.
32. Guessoum & Boudeffeur. (2023). Impact de l'intensification agricole sur les propriétés des sols dans la région de Ghardaïa : cas d'El Guerrera. Mémoire de Master, Université de Ghardaïa.
33. Hanna, A. (2019). Gestion des sols alcalins en agriculture. Montpellier : Cirad.
34. ISO 3632-1. (2011). Normes internationales pour le safran. Genève : ISO.
35. Kechida, B. A. (2024). Contribution à l'étude de l'impact des bio-agresseurs sur les rendements du safran (*Crocus sativus* L) dans la région de Ghardaïa. Mémoire de Master, Université de Ghardaïa.
36. Kothari, D., Thakur, R., & Kumar, R. (2020). Agricultural practices and postharvest processing of saffron: Current scenario and future challenges. *Industrial Crops and Products*, 155, 112799.
37. Kumar, R., Singh, V., Devi, K., Sharma, M., & Ahuja, P. S. (2023). Genetic Homogeneity in Saffron (*Crocus sativus* L.) : Implications for Conservation and Breeding. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 70(1), 1–15.
<https://doi.org/10.1007/s10722-022-01492-6>
38. Lebouabi, I., & Gabani, R. (2022). Contribution à l'étude floristique de la région de Ghardaïa (Cas de Noumerat). Mémoire de Master, Université de Ghardaïa.
39. Journal officiel de la République algérienne. (2022). N°31. Alger : JORADP.
40. Mathew, B. (1977). *Crocus sativus* and its allies. *Kew Bulletin*, 32(1), 79–85.
41. Mavi, K., et al. (2018). Biochar and organic amendments: Effects on crop yield. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 18(1), 123–135.
42. Mihoub, A. (2008). Fertilité des sols en zones arides. Alger : Éditions ANEP.
43. Molina, R. V., Valero, M., Navarro, Y., Guardiola, J. L., & García-Luis, A. (2005). Temperature effects on flower formation in saffron (*Crocus sativus* L.). *Scientia Horticulturae*, 103(3), 361–379.
44. Mutin, G. (1977). L'eau en Afrique du Nord. Lyon : Presses Universitaires de Lyon.
45. Organic Africa. (s.d.). Guide des amendements organiques. Dakar : Éditions ISRA.
46. Ould el Hadj. (2004). Le problème acridien au Sahara algérien. Thèse de doctorat, Inst. Natisagro, El-Harrach.
47. Ozenda, P. (1983). Flore du Sahara (2e éd.). Paris : CNRS Éditions.
48. Quézel, P., & Santa, S. (1926). Nouvelle flore de l'Algérie (Tome 1). Alger : Imprimerie Minerva.
49. Rahimi, H., et al. (2017). Optimisation de la culture du safran. *Revue des BioRessources*, 7(1), 12–25.
50. Rhoades, J. D., et al. (1990). Soil salinity assessment. *Methods of Soil Analysis*, 2, 417–435.

51. Stevenson, F. J. (1994). Humus chemistry: Genesis, composition, reactions (2e éd.). New York : Wiley.
52. Toutain, G. (1979). Éléments d'agronomie saharienne, de la recherche au développement. Paris : I.N.R.A.
53. USDA. (2004). Soil survey manual. Washington : USDA.
54. White, F. (1986). La végétation de l'Afrique. Paris : UNESCO.
55. Zaoui, S. (2020). Développement rural à Ghardaïa. Ghardaïa : Éditions Université de Ghardaïa.

Annexe

Annexe 01 : Figures



Figure 1: Principales nations productrices de safran (Palomares, 1988)



Figure 2: Composte utilisé (produit local de Ghardaïa



مخبر الجنوب لتحاليل الجودة والمطابقة

Laboratoire d'Analyse de la Qualité et de la Conformité "LAB-SUD"

Autorisation du ministère du commerce N° 001/2013 du 28 janvier 2013

BULLETIN D'ANALYSE PHYSICOCHIMIQUE

N° d'enregistrement au laboratoire : 1247/20

Client :

Nom : SALEM Hammou

Adresse : Bounoura-GHARDAIA

Echantillon :

Nature : Amendement organique solide

Date de production : /

Prélevé par : Le client

Date de réception : 27/10/2020

DETERMINATIONS	RESULTATS sur brut	RESULTATS sur sec	NORMES	METHODE
pH à 20°C de l'extrait aqueux	/	/	6,5 - 8,5	Potentiométrie
Conductivité à 25° de l'extrait aqueux (1:2 échantillon : eau)	/	/	2-5	Conductimétrie
Matières sèche	83,46 %	/	≥ 30% sur brut	Gravimétrie
Humidité	16,54 %	/	/	Gravimétrie
Matières minérales	41,61 %	49,86 %	/	Gravimétrie
Matières organiques	41,85 %	50,14 %	≥ 20% sur brut	Gravimétrie
Carbone organique estimé		25,07	/	Calcul
Azote Total	1,02 %	1,22 %	< 3% sur brut	KJELDAHL
Carbone organique/Azote (C/N)	/	20,55	> 8	Calcul
Phosphore (P ₂ O ₅)	0,012 %	0,014 %	< 3% sur brut	Spectrophotométrie
Potassium (K ₂ O)	1,132 %	1,357 %	< 3% sur brut	Spectrophotométrie
NPK (%N + %P ₂ O ₅ + %K ₂ O)	2,16 %	/	< 7% sur brut	Calcul
Fer (Fe)	/ mg/kg	/	/	Spectrophotométrie
Cuivre (Cu)	/ mg/kg	/	/	Spectrophotométrie
Zinc (Zn)	/ mg/kg	/	/	Spectrophotométrie

Guerrara le : 31/10/2020

Le Directeur

Kacem BENAUMEUR



N.B. Les résultats ne se rapportent qu'au produit soumis à l'analyse.

Boulevard Emir A-Elkader (INORAR) GUERRARA - GHARDAIA

Tél./Fax : 029 26 13 34 Mob.: 0662 04 00 56/0554 55 91 27 E-mail: labsud.cq@gmail.com

Figure 3: Bulletin d'analyses du compost utilisé



Figure 4: quelques photos des étapes de l'étude



Figure 5: Prélèvements des échantillons du sol (tarière pédologique))

Annexe 02 : Analyses du sol

Pour la réalisation des analyses du pH, conductivité électrique et du calcaire, matière organique total dans les échantillons de sol, différents matériels et réactifs ont été mobilisés en laboratoire.

Les analyses ont nécessité l'utilisation des équipements suivants :

- balance de précision (0,1 mg)
- calcimètre de Bernard pour la détermination du calcaire.
- pH-mètre avec ses électrodes pour la mesure du pH.
- agitateur magnétique accompagné de barreaux aimantés.
- béciers de 50 mL (un pour chaque échantillon).
- éprouvette graduée de 5 mL.
- tube à essai de 10 mL.
- une pissette souple de 250 mL.
- flacons en verre, verres de montre et spatules pour la manipulation des échantillons et des réactifs.

1) Le dosage du carbone organique (Méthode Walkley et Black)

Réactifs

- Le bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) 1N : peser 49.04g de $K_2Cr_2O_7$, ajouter de l'eau distillée dans une fiole de 1l jusqu'à le trait de jauge.
- Acide sulfurique concentré (H_2SO_4).
- Acide orthophosphorique ou Acide phosphorique (H_3PO_4) concentré.
- Sulfate de fer d'ammonium [$(NH_4)_2SO_4.FeSO_4.6H_2O$] 0.5 M: dissoudre 196g de Sulfate de fer d'ammonium dans une quantité d'eau distillée, ajouter 5ml H_2SO_4 , ajouter l'eau distillée jusqu'à un litre (trait de jauge de la fiole d'1L).
- Diphénylamine (indicateur coloré) $(C_6H_5)_2NH$: dissoudre 1g de diphénylamine dans 100ml d'acide sulfurique concentré

Procédure :

1. Peser 1 g de sol dans un bécher de 500 ml.
2. Ajouter 10 ml de bichromate de potassium à 1N.
3. Incorporer 20 ml d'acide sulfurique concentré.
4. Laisser reposer pendant 30 minutes.
5. Ajouter 200 ml d'eau distillée.
6. Ajouter 10 ml d'acide orthophosphorique concentré.
7. Incorporer 10 à 15 gouttes de l'indicateur coloré diphénylamine.
8. Titrer avec du sulfate de fer d'ammonium jusqu'à l'apparition d'une couleur verte.
9. Préparer un témoin en suivant la même méthode, mais sans ajouter de sol.

Calcul

$$C\% = (n' - n) \times 1 \times 0.3$$

$$p \ 0.77$$

$$C\% = 1.334 \times (n' - n) \times 3 \times M$$

n' : volume de témoin (volume de titrage) n : volume de l'échantillon

p : pois de sol

M : molarité de sulfate de fer d'ammonium = 0.5

$$\text{La matière organique } MO\% = C\% \times 1.72$$

2)Le calcaire total

La méthode proposé par MATHIEU et PIELTHAIN (2003) est de :

Principe :

Le carbonate de calcium présent dans l'échantillon de sol est décomposé par l'acide chlorhydrique, ce qui permet de mesurer le volume de dioxyde de carbone libéré dans des conditions de pression et de température constantes (pression atmosphérique et température ambiante) selon la réaction suivante : $\text{CaCO}_3 + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$

Le volume de dioxyde de carbone produit lors de cette réaction est mesuré à l'aide d'un calcimètre. Une procédure similaire est réalisée sur une quantité connue de carbonate de calcium pur. En comparant les volumes obtenus, il est possible de

déterminer la quantité de carbonate de calcium présente dans l'échantillon de sol à analyser.

Réactif

- HCl 50% (ex : 50 ml HCl concentré + 50 ml d'eau distillée)
- CaCO₃ pur

Mode opératoire

- Peser 1 g de sol (ou 0,5 g pour les sols très calcaires).
- Placer l'échantillon dans l'erlenmeyer du calcimètre.
- Préparer une solution d'acide chlorhydrique (HCl) à 50 %.
- Remplir un tube avec cette solution d'HCl.
- Introduire délicatement le tube contenant l'HCl dans l'erlenmeyer.
- Fermer l'erlenmeyer.
- Verser le contenu du tube d'HCl dans l'erlenmeyer.
- Abaisser l'ampoule du calcimètre jusqu'à ce que le niveau de l'eau dans l'ampoule soit à la même hauteur que celui de l'eau dans la colonne.
- Lire le volume V de gaz carbonique dégagé.
- Faire les même étapes, mais avec le CaCO₃ pur (0.3 g) à la place du sol et lire le volume
- V' de gaz carbonique dégagé (essaie témoin).

Mesure

Le pourcentage de calcaire est alors calculé d'après la relation suivante (MATHIEU et PIELTHAIN, 2003) :

$$x (\%) = 30 V_4 / V_3 P$$

Avec ;

x: pourcentage de carbonate de calcium

P : prise d'essai en gramme

V₃ : volume de CO₃ en ml dégagé par le carbonate de calcium contenu dans la prise

de terre PV₄ : volume de CO₃ en ml dégagé par 0,3g de carbonate de calcium

3) La conductivité électrique

Objectif :

Mesure de la conductivité électrique du sol*

Principe :

La conductivité est mesurée sur une solution d'extraction aqueuse, qui dépend de la concentration en électrolytes.

Mode opératoire

1. Peser 20 g de sol.
2. Ajouter 100 ml d'eau distillée dans un bécher de 100 ml
3. Agiter pendant 2h à l'aide d'un agitateur magnétique.
4. Laisser reposer pendant 30minutes
5. Mesurer la conductivité électrique à l'aide d'un conductivimètre.

Le pH (potentiel d'hydrogène)

La réaction du sol est une caractéristique essentielle, car elle influence l'ensemble des processus d'évolution pédogénétique ainsi que la croissance des plantes (Duchaufour, 2001). Le terme « réaction du sol » désigne la concentration en ions H^+ dans la solution du sol (Baize, 2000). Pour simplifier cette expression, on utilise le logarithme décimal de la concentration en ions H^+ , ce qui donne le pH : $pH = \log(1/[H^+])$ (Brady & Weil, 2008). Le pH peut varier de 0 à 14, et il est neutre ($pH = 7$) lorsque la concentration des ions H^+ est égale à celle des ions OH^- (Stevenson, 1994).

Il existe deux types d'acidité du sol : l'acidité actuelle et l'acidité d'échange (Mathieu & Pielain, 2009). L'acidité actuelle, aussi appelée pH en eau, est due à la présence d'ions H^+ libres dans la solution du sol et se mesure à l'aide d'un pH-mètre dans une suspension sol-eau (rapport généralement de 1:1 à 1:5) (Baize, 2000).

Tableau : Résultat des analyses effectuées dans le laboratoire :

tretement	R	Ec	ph	MO%	CaCo3
T1	R1	0.49091366	8.23	18.964	6.89189189
T1	R2	0.36055142	8.32	18.6192	6.89189189
T2	R1	0.86438387	7.95	17.9296	6.08108108
T2	R2	0.88317482	8.04	17.24	6.89189189
T3	R1	0.59544979	8.17	17.5848	6.08108108
T3	R2	0.58435562	8.17	18.102	6.08108108
CD1(1)	R1	0.75516145	8.22	18.964	6.89189189
CD1(1)	R2	0.81459173	8.2	17.7572	6.08108108
CD1(2)	R1	0.48056582	8.28	17.24	6.89189189
CD1(2)	R2	0.41845586	8.3	17.7572	4.86486486
CD1(3)	R1	0.58138405	8.27	19.4812	4.05405405
CD1(3)	R2	0.56454819	8.28	18.2744	4.05405405
CD2(1)	R1	1.00392295	8.23	18.2744	6.08108108
CD2(1)	R2	0.88614181	8.26	18.102	4.86486486
CD2(2)	R1	0.28131486	8.44	18.102	6.89189189
CD2(2)	R2	0.26724912	8.57	18.6192	6.08108108
CD2(3)	R1	0.39853053	8.56	17.5848	5.27027027
CD2(3)	R2	0.35295079	8.52	18.102	4.86486486
CD3(1)	R1	0.34360339	8.5	16.378	6.08108108
CD3(1)	R2	0.30300413	8.53	16.0332	6.89189189
CD3(2)	R1	1.20144889	8.28	17.9296	6.08108108
CD3(2)	R2	1.06079146	8.38	18.2744	6.08108108
CD3(3)	R1	0.37977506	8.58	18.6192	4.05405405
CD3(3)	R2	0.35342583	8.62	17.5848	4.86486486
F1	R1	0.50265801	8.19	17.5848	4.86486486
F1	R2	0.45215732	8.23	18.102	4.86486486
F2	R1	0.50988319	8.3	19.826	4.05405405
F2	R2	0.47003025	8.3	18.964	4.86486486
F3	R1	0.43771384	8.23	17.5848	4.86486486
F3	R2	0.45830879	8.27	18.2744	4.45945946
F+C1	R1	0.23488692	8.33	18.102	6.08108108
F+C1	R2	0.84863316	8.14	17.9296	5.27027027
F+C2	R1	0.87090392	8.13	17.0676	6.89189189
F+C2	R2	0.19025841	8.48	16.378	6.08108108
F+C3	R1	0.46982192	8.28	17.7572	6.08108108
F+C3	R2	0.43242316	8.47	17.5848	6.08108108