

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de L'enseignement Supérieur et de La Recherche
Scientifique
جامعة عين تموشنت - بلحاج بوشعيب
Université Ain Témouchent– Belhadj Bouchaib

Faculté des Sciences et de Technologie
Département de l'agroalimentaire



Mémoire

Présenté en vue de l'obtention de diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la vie

Filière: Écologie et environnement

Spécialité : Écologie Végétale et environnement

Par:

Mlle. MAMMAR Kawtar

Mlle. MILOUDI Marwa ikram

Thème

Contribution à l'étude de l'impact de l'agriculture intensive :
Evaluation de l'effet des engrais et pesticides sur la qualité du sol et de l'eau
d'irrigation au niveau des exploitations agricoles

Soutenu le 27 Juin 2026

Devant le jury composé de :

Présidente : Mme ABDELAOUI Hadjira	« MAB »	U.B.B.A.T
Examineur : Mr. MERABTENE Mohamed	« MCB »	U.B.B.A.T
Encadrante : Mme Aïssat Amal	« MCB »	U.B.B.A.T
Co-Encadrant :	« MCA »	U.B.B.A.T

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿أَفَرَأَيْتُمْ مَا تَحْرُثُونَ (63) أَأَنْتُمْ تَزْرَعُونَهُ
أَمْ نَحْنُ الزَّارِعُونَ (64)﴾

Remerciements

Nous remercions en premier lieu **Dieu** le Tout-Puissant de nous avoir accordé la force, le courage et la volonté pour achever ce travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre encadrante **Madame Aïssat Amal**, pour son accompagnement, ses précieux conseils, sa disponibilité et son soutien tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nous adressons nos vifs remerciements à **Madame Abdelaoui Hadjira**, Maitre assistante à l'université de Belhadj Bouchaïb, Ain Témouchent, pour l'honneur qu'elle nous a fait de présider le jury de ce mémoire.

Nos sincères remerciements s'adressent également à **Monsieur Mrabtene Mohamed**, Maitre de conférence à l'université de Belhadj Bouchaïb, Ain Témouchent pour avoir accepté de joindre à ce jury comme examinateur.

Nous tenons également remercier à **Monsieur Belkadi Morad**, Ingénieure à l'ITMA, pour son assistance et ses encouragements lors du déroulement de ce travail.

Nous exprimons notre reconnaissance chaleureuse à **Madame Nom Nadjat**, Ingénieur au laboratoire de Génie Mécanique ainsi qu'à toute l'équipe du laboratoire de biologie pour leur aide et leur collaboration.

Nos remerciements vont aussi aux propriétaires des exploitations agricoles étudiées pour leur accueil, leur disponibilité et leur contribution à la réalisation de cette étude.

Enfin, nous remercions tous nos enseignants qui nous ont accompagnés tout au long de notre parcours académique.

Dédicace

Je dédie humblement ce travail avec respect et gratitude

À mes chers parents, source d'amour et d'affections, pour leur soutien, et leur patience infinie tout au long de ma vie. Que Dieu les protège et les bénisse.

À mes frères et mes sœurs, source de joie et de bonheur, pour leurs encouragements et leur présence précieuse à mes côtés.

À ma grande famille qui a toujours été une source d'encouragement et de prières.

À ma binôme Mammar Kawtar, pour sa collaboration, son sérieux et les efforts partagés durant la réalisation de ce mémoire

Enfin, j'exprime ma profonde gratitude et ma sincère reconnaissance à toute personnes qui m'ont soutenue, encouragée et accompagnée, de près ou de loin, tout au long de ce parcours et dans la réalisation de ce mémoire.

.

M^{lle} Miloudi Marwa Ikram

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

Aux deux personnes les plus chères à mon cœur, mes parents : **Ma mère**, Mme Mammar Kheira, et **mon père**, M. Mammar Nour Eddine, en témoignage de mon profond amour, de ma reconnaissance et de mon respect. Je leur souhaite une longue vie, une excellente santé et beaucoup de bonheur.

À mes frères, Mammar Younes et Mammar Mohamed, à qui je souhaite réussite, prospérité et succès dans leur avenir.

À mes enseignants, Mme Abdellaoui, M. Belkadi et Mme Belkebir, ainsi qu'à toutes les personnes qui m'ont encouragée et soutenue tout au long de mon parcours.

À notre encadrante, Mme Aïssat Amal, son dévouement et son expertise m'ont permis de mener à bien ce projet.

À mon binôme de mémoire de fin d'études, Miloudi Marwa Ikram, avec qui j'ai partagé cette expérience académique.

Enfin, À toutes personnes, de près ou de loin, ont contribué à mon apprentissage et à la réalisation de ce mémoire, je les exprime ma profonde gratitude.

.

M^{lle} MAMMAR Kawtar

Resumé

L'agriculture intensive en Algérie a connu un développement important afin de répondre à la demande croissante en produits agricoles et d'assurer la sécurité alimentaire. Cette intensification repose sur l'utilisation accrue des engrais chimiques, des pesticides et des techniques modernes d'irrigation pour améliorer les rendements. Cependant, l'usage excessif de ces intrants chimiques peut altérer les propriétés du sol, affecter sa fertilité et dégrader la qualité des eaux d'irrigation, compromettant ainsi la durabilité des ressources naturelles.

Dans ce contexte, cette étude vise à évaluer l'impact des pratiques agricoles intensives, notamment l'utilisation des engrais et des pesticides, sur la qualité physico-chimique du sol et des eaux d'irrigation dans quelques exploitations agricoles au niveau de la wilaya d'Aïn Témouchent.

Le travail repose d'abord sur une enquête de terrain, portée sur des données socio-agronomique menée en avril 2026 dans Quatres exploitations agricoles situées aux communes de Sidi Ben Adda et Chabat, complétée par des analyses physico-chimiques d'échantillons de sol et d'eau d'irrigation.

Les résultats montrent une prédominance de l'arboriculture dans deux exploitations, tandis que la troisième est consacrée au céréaliculture et au maraîchage, ou un recours majeur aux intrants chimiques est observé, à l'exception d'une exploitations où le fumier organique a été utilisé.

Les résultats des analyses pédologiques révèlent une variabilité importante des propriétés physiques et chimiques, avec des teneurs en matière organique allant de 5,66 % à 12,5 %, des valeurs de pH légèrement acides comprises entre 5,71 et 6,35, et une conductivité électrique variant de 0,210 à 7,370 mS/cm, traduisant des degrés de salinité contrastés. Les sols S3 et S4 se distinguent par une meilleure richesse organique et minérale, favorable à une activité biologique plus importante. Concernant les eaux d'irrigation, les analyses ont révélé une qualité variable, caractérisée par des niveaux de salinité hétérogènes, une présence variable de matières en suspension et un pH globalement basique.

Dans l'ensemble, cette étude met en évidence l'influence des pratiques agricoles intensives sur la qualité du sol et des eaux d'irrigation, soulignant la nécessité d'une gestion plus durable des intrants agricoles afin de préserver les ressources naturelles et la productivité des agroécosystèmes.

Abstract

Intensive agriculture in Algeria has experienced significant development to meet the growing demand for agricultural products and to ensure food security. This intensification relies on increased use of chemical fertilizers, pesticides, and modern irrigation techniques to improve yields. However, excessive use of these chemical inputs can alter soil properties, affect its fertility, and degrade the quality of irrigation waters, thereby compromising the sustainability of natural resources.

In this context, the present study aims to assess the impact of intensive agricultural practices, notably the use of fertilizers and pesticides, on the physico-chemical quality of soil and irrigation water in several farms within the Aïn Témouchent province.

The work is based first on a field survey of socio-agronomic data carried out in April 2026 on four farms located in the communes of Sidi Ben Adda and Chabat, complemented by physico-chemical analyses of soil and irrigation water samples.

The results show a predominance of tree crops in two farms, while the third is devoted to cereal cultivation and market gardening, where a heavy reliance on chemical inputs is observed, except for one farm where organic manure was used.

Pedological analyses reveal substantial variability in physical and chemical properties, with organic matter contents ranging from 5.66% to 12.5%, slightly acidic pH values between 5.71 and 6.35, and electrical conductivity varying from 0.210 to 7.370 mS/cm, indicating contrasting degrees of salinity. Soils S3 and S4 stand out for their higher organic and mineral richness, favorable to greater biological activity. Concerning irrigation waters, analyses revealed variable quality, characterized by heterogeneous salinity levels, variable amounts of suspended solids, and an overall mildly alkaline pH.

Overall, this study highlights the influence of intensive agricultural practices on soil and irrigation water quality, underscoring the need for more sustainable management of agricultural inputs to preserve natural resources and the productivity of agroecosystems.

الملخص

تطورت الزراعة المكثفة في الجزائر استجابةً لتزايد الطلب على المنتجات الزراعية وتعزيز الأمن الغذائي. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم تأثير الممارسات الزراعية المكثفة—وبخاصة استعمال الأسمدة والمبيدات—على الخواص الفيزيائية-الكيميائية للتربة ومياه الري في أربع مزارع بولاية عين تموشنت. أُجريت دراسة ميدانية للممارسات السوسيو-زراعية في أبريل 2026 بمناطق سيدي بن أضاف وشاباط، وأُكملت بتحليلات فيزيائية-كيميائية لعينات التربة ومياه الري.

أظهرت النتائج سيطرة الزراعات الشجرية في مزرعتين، في حين تُكرّس مزرعة لأغراض الحبوب والخضر مع اعتماد كبير على المُدخلات الكيميائية؛ أما المزرعة الرابعة فاستُخدم فيها السماد العضوي. كشفت التحليلات البيدولوجية تبايناً ملحوظاً في الخواص الفيزيائية والكيميائية؛ حيث تراوحت نسبة المادة العضوية بين 5.66% و12.5%، وكان الرقم الهيدروجيني طفيف الحموضة (5.71–6.35)، وتراوح التوصيل الكهربائي بين 0.210 و7.370 م/س/سم، ما يعكس درجات بغنى أعلى بالمادة العضوية والمعادن، مما يدعم نشاطاً بيولوجياً أكبر. أظهرت مياه S4 و S3 ملحية متباينة. تميزت الترتبان الري جودة متباينة، بملوحة متفاوتة، وكمية متغيرة من المواد العالقة، ودرجة حموضة إجمالية قلوية خفيفة.

تسلط هذه النتائج الضوء على تأثير الممارسات الزراعية المكثفة على جودة التربة ومياه الري، وتؤكد الحاجة إلى إدارة أكثر استدامة للمدخلات الزراعية للحفاظ على الموارد الطبيعية وإنتاجية الأنظمة الزراعية.

Liste des abréviations

Ex: Exploitation

Ca²⁺ : Calcium

PH : Potentiel de l'hydrogène

NaCl: Chlorure de sodium

MO: Matière Organique

CACO₃: Carbonate de calcium

T°: Température

R%: Refus cumulé (%)

Teau: Teneur en eau

EC: Conductivité électrique

TDC: Total Dissolved Solide

Res: Résistivité

Mv: millivolt

Ppt: parts per thousand

SST: la surface spécifique total.

Liste des figures

Figure 01 : impact de l'agriculture sur la biodiversité.....	7
Figure 02 : techniques d'agriculture traditionnelle.....	9
Figure 03 : expansion et modernisation de l'agriculture à l'échelle mondiale.....	10
Figure 04 : phénomène d'eutrophisation causée par les pesticides et les engrais.....	12
Figure 05 : Systèmes agricoles diversifiés	14
Figure 06 : Comparaison entre sol fertile et sol dégradé.....	18
Figure 07 : techniques d'irrigation A : Irrigation par aspersion ; B : Irrigation gravitaire ; C : Irrigation par pivot central ; D : Irrigation goutte à goutte	22
Figure 08 : localisation géographique des d'exploitations dans la région d'Aïn Témouchent	25
Figure 09 : Enquête auprès des agriculteurs.....	26
Figure10 : Prélèvement d'échantillons de sol sur le terrain.....	27
Figure 11 : Analyse de la teneur en eau d'un échantillon de sol	28
Figure 12 : séchage des échantillons de sol dans un four à moufle	28
Figure 13 : Appareils d'analyse de l'eau (cliché Miloudi et Mammar, Avril 2026)	29

Liste des tableaux

Tableau 01 : Fiche d'enquête socio-agronomique sur le terrain	26
Tableau 02 : Données socio-professionnelles des propriétaires des exploitations enquêtée.....	31
Tableau 03 : Données techniques relatives aux exploitations agricoles enquêtées.....	32
Tableau 04 : principales pratiques agricoles des exploitations étudiées.....	33
Tableau 05 : résultats des paramètres physiques et chimiques de sol.....	35
Tableau 06 : résultats des paramètres physiques et chimiques de l'eau	37

TABLE DES MATIÈRES

Dédicace.....	I
Remerciement.....	II
Résumé.....	II
Abstract.....	IV
ملخص.....	V
Liste des abréviations	IV
Liste des figures.....	V
Liste des tableaux.....	VI
Table des matières.....	Λ
Introduction générale	1

Partie bibliographique

Chapitre I : Agriculture intensive : concepts généraux	5
I.1. Aperçu général de l’agriculture intensive.....	6
I.2. Principes de l’agriculture intensive.....	6
I.2.1. Utilisation massive des intrants agricoles.....	7
I.2.2. Mécanisation des activités agricoles.....	7
I.2.3. Monoculture et spécialisation des productions.....	7
I.2.4. Irrigation intensive.....	8
I.2.5. Utilisation de variétés à haut rendement.....	8
I.3. Objectifs de l’agriculture intensive.....	8
I.4. Évolution historique de l’agriculture intensive.....	9
I.4.1. Origines de l’agriculture intensive.....	9
I.4.2. La Révolution verte.....	9
I.4.3. Expansion mondiale de l’agriculture intensive.....	10
I.5. Impacts environnementaux de l’agriculture intensive.....	11
I.5.1. Pollution et dégradation des sols.....	11
I.5.2. Pollution des ressources hydriques.....	11
I.5.3. Perte de biodiversité.....	12
I.5.4. Émissions de gaz à effet de serre.....	12
I.6. Alternatives durables à l’agriculture intensive.....	13
I.6.1. Agriculture biologique.....	13
I.6.2. Agroécologie.....	13

I.6.3. Intensification agricole durable.....	14
Chapitre II : Sols agricoles et ressources hydriques.....	15
II.1. Le sol : un système naturel complexe, organisé et fonctionnel.....	16
II.2. Propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol.....	17
II.3. Qualité et fertilité du sol.....	17
II.4. Ressources hydriques et irrigation.....	18
II.4.1. Importance de l'eau en agriculture.....	18
II.4.2. Impact de l'irrigation sur les ressources hydriques.....	19
II.4.3. Gestion durable des ressources hydriques.....	19
II.4.4. Qualité de l'eau d'irrigation.....	20
II.4.5. Techniques d'irrigation et impacts environnementaux.....	21
Partie expérimentale	
Chapitre III : Matériels et Méthodes.....	24
III.1. Présentation de la zone d'étude.....	25
III.2. Enquête socio-agronomique.....	26
III.3. Analyse physico-chimique du sol et de l'eau.....	27
III. 3.1. Matériels.....	27
III. 3. 2. Prélèvement du sol.....	27
III. 3. 2. Prélèvement de l'eau	27
III.3.2. Évaluation des paramètres physiques du sol.....	27
III.3.3. Évaluation des paramètres chimiques du sol.....	28
III.3.4. Évaluation des paramètres physico-chimiques de l'eau.....	29
Chapitre IV : Résultats et discussion.....	31
IV.1. Caractéristiques des exploitations enquêtées.....	34
IV.2. Paramètres physico-chimiques du sol.....	36
IV.3. Paramètres physico-chimiques de l'eau d'irrigation.....	38
Conclusion Générale.....	40
Références bibliographiques.....	42

Introduction générale

Le secteur agricole en Algérie représente un facteur stratégique majeur pour la sécurité alimentaire et le développement économique. Il a connu une évolution notable ces dernières années grâce à l'extension des surfaces agricoles et à l'adoption de techniques modernes visant l'amélioration de la production agricole. Compte tenu des efforts de l'État à soutenir l'activité agricole à travers le développement des ressources hydriques et l'encouragement de l'investissement agricole **(FAO, 2020)**.

Avec l'augmentation de la demande en produits agricoles, le concept d'agriculture intensive s'est imposé. Celui-ci repose sur l'exploitation intensive des ressources naturelles afin d'augmenter le rendement des cultures et d'améliorer la production. Ce système agricole se caractérise par l'utilisation massive des engrais chimiques et des pesticides, ainsi que par l'adoption de techniques d'irrigation modernes, ce qui permet d'accroître la productivité agricole, mais peut également engendrer des impacts environnementaux sur les sols et les eaux **(FAO, 2021)**.

L'utilisation des engrais et des pesticides constitue l'une des pratiques agricoles essentielles visant à améliorer la croissance des plantes et à les protéger contre les ravageurs et les maladies. Les engrais permettent d'apporter au sol les éléments nutritifs essentiels tels que l'azote, le phosphore et le potassium, tandis que les pesticides contribuent à limiter la propagation des insectes, des maladies végétales et des mauvaises herbes. Ces intrants jouent également un rôle important dans l'amélioration du rendement agricole et de la qualité de certaines productions, contribuant ainsi à satisfaire la demande alimentaire croissante et à améliorer la rentabilité des exploitations agricoles. **(FAO, 2021)**

Cependant, malgré leurs avantages, l'usage excessif ou non raisonné de ces produits peut entraîner des impacts négatifs sur l'environnement agricole, notamment la dégradation des propriétés physico-chimiques des sols, l'augmentation de leur salinité, le déséquilibre biologique, ainsi que la pollution des eaux superficielles et souterraines due au transfert de composés chimiques. De plus, des résidus de pesticides peuvent s'accumuler dans les produits agricoles, représentant ainsi un risque potentiel pour la santé du consommateur et pour l'environnement.

La wilaya d'Aïn Témouchent constitue l'une des régions agricoles importantes de l'ouest algérien, grâce à la fertilité de ses sols et à la diversité de ses activités agricoles. Elle a connu une expansion notable de l'activité agricole depuis la période coloniale française, ce qui a contribué à une intensification de l'exploitation des terres et à l'utilisation accrue des intrants chimiques afin d'améliorer la production agricole. Cette évolution a rendu nécessaire

l'évaluation de l'impact des pratiques agricoles sur les propriétés des sols et la qualité des ressources naturelles.

La présente étude vise à évaluer l'impact des pratiques agricoles intensives, notamment l'utilisation des engrais et des pesticides, sur les caractéristiques physico-chimiques des sols et des eaux d'irrigation et la qualité des sols dans quelques exploitations agricoles de la wilaya d'Aïn Témouchent.

Ce mémoire est structuré comme suit :

Une partie bibliographique composée de deux chapitres, le premier chapitre porte sur les concepts généraux de l'agriculture intensive, le deuxième chapitre entame les sols agricoles et ressources hydriques,

Une autre partie expérimentale comportant deux autres chapitres consacrés respectivement à la présentation du matériels et méthodologies et à la discussion des résultats.

Le mémoire s'achève avec une conclusion générale et les principales conclusions et recommandations.

Partie bibliographique

Chapitre I : Agriculture intensive, concepts généraux

I. 1. Aperçu général de l'agriculture intensive

L'agriculture intensive est un des principaux modèles agricoles développés au XX^e siècle pour répondre à la croissance démographique et à l'augmentation des besoins alimentaires. Ce système a pour objectif d'obtenir les rendements agricoles les plus élevés en recourant largement aux moyens techniques et aux intrants agricoles.

L'agriculture intensive, selon la FAO (2011), est un mode de production qui vise à augmenter la productivité par unité de surface grâce à l'utilisation d'engrais minéraux, de produits phytosanitaires, de variétés améliorées et d'équipements agricoles modernes.

Ce modèle a fortement contribué à l'augmentation de la production alimentaire mondiale. Selon Jules Pretty (2008), l'agriculture intensive repose sur une forte dépendance à des intrants externes, à savoir les pesticides, les engrais chimiques, l'énergie et la mécanisation. Elle est souvent liée à la monoculture et à la simplification des systèmes agricoles.

Sa croissance s'est accélérée durant la seconde moitié du XX^e siècle avec la Révolution verte, caractérisée par l'introduction de variétés à haut rendement, le développement de l'irrigation et l'utilisation accrue des intrants chimiques, ce qui a permis une amélioration significative de la productivité agricole.

Cependant, malgré ses résultats productifs, l'agriculture intensive pose de sérieux problèmes environnementaux. L'utilisation intensive d'intrants chimiques, l'utilisation intensive des ressources en eau et la simplification des agroécosystèmes sont autant de facteurs qui contribuent à la dégradation des sols, à la pollution des eaux, à la perte de biodiversité et à l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre.

Devant ces limites, des approches alternatives telles que l'agriculture biologique, l'agroécologie et l'intensification agricole durable se sont développées afin de concilier productivité agricole et préservation des ressources naturelles (FAO, 2022).

I. 2. Principes de l'agriculture intensive

L'agriculture intensive constitue un système de production agricole visant l'augmentation maximale des rendements par unité de surface, en s'appuyant sur une forte intervention humaine et technologique dans les agroécosystèmes. Ce modèle repose sur plusieurs principes complémentaires qui ont profondément transformé les systèmes agricoles modernes. (FAO 2023).

I. 2. 1. Utilisation massive des intrants agricoles

L'un des fondements de l'agriculture intensive est l'usage important d'intrants tels que les engrais minéraux, les pesticides et les herbicides. Ces substances permettent d'augmenter la disponibilité des nutriments dans le sol, de limiter les pertes dues aux maladies et aux ravageurs, et d'assurer une croissance rapide des cultures. Cependant, plusieurs études ont montré que cette intensification peut modifier les équilibres biologiques du sol et réduire sa biodiversité fonctionnelle (Tilman *et al.*, 2002).

I. 2. 2. Mécanisation des activités agricoles

La mécanisation est un élément central dans l'évolution de l'agriculture intensive. L'introduction de machines agricoles modernes telles que les tracteurs et les moissonneuses-batteuses a permis d'améliorer considérablement l'efficacité des travaux agricoles et de réduire la pénibilité du travail humain. Toutefois, cette mécanisation intensive peut également entraîner une compaction des sols, affectant leur structure et leur activité biologique (Hamza & Anderson, 2005) (**fig. 01**).



Figure 01 : impact de l'agriculture sur la biodiversité (FAO, 2019)

I. 2. 3. Monoculture et spécialisation des productions

L'agriculture intensive favorise fréquemment la monoculture, c'est-à-dire la culture répétée d'une seule espèce sur de vastes surfaces. Cette spécialisation permet une gestion simplifiée des cultures et une optimisation des rendements à court terme. Néanmoins, elle augmente la vulnérabilité des agroécosystèmes aux maladies et réduit la diversité biologique des sols et des paysages agricoles (Foley *et al.*, 2005).

I. 2. 4. Irrigation intensive

L'irrigation constitue un pilier essentiel de l'agriculture intensive, particulièrement dans les zones arides et semi-arides. Elle permet de maintenir une production stable et élevée indépendamment des variations climatiques. Cependant, une utilisation excessive de l'eau peut provoquer une dégradation des sols, notamment par salinisation, et exercer une pression importante sur les ressources hydriques disponibles (Foley *et al.*, 2011).

I. 2. 5. Utilisation de variétés à haut rendement

Le recours aux variétés améliorées issues de programmes de sélection génétique permet d'obtenir une production plus importante, plus homogène et mieux adaptée aux exigences du marché.

D'après Tilman *et al.* (2002), ces caractéristiques ont contribué de manière significative à l'augmentation de la production agricole mondiale. Toutefois, elles sont également à l'origine de nombreuses pressions environnementales.

I. 3. Objectifs de l'agriculture intensive

L'agriculture intensive vise principalement à augmenter la production agricole afin de répondre aux besoins alimentaires d'une population mondiale en croissance continue, tout en améliorant l'efficacité de l'utilisation des ressources naturelles telles que les sols, l'eau et les intrants agricoles. Cette logique repose sur l'augmentation des rendements par unité de surface grâce à l'intensification des pratiques culturales et à l'adoption de technologies agricoles modernes.

Par ailleurs, ce système de production cherche à améliorer la rentabilité économique des exploitations agricoles en maximisant la productivité et en réduisant les pertes liées aux stress biotiques et abiotiques. Il contribue également à renforcer la compétitivité des systèmes agricoles sur les marchés nationaux et internationaux, tout en répondant aux enjeux de sécurité alimentaire mondiale.

Cependant, l'intensification agricole peut ainsi améliorer les rendements mais aussi entraîner des compromis environnementaux importants, notamment sur la biodiversité et la qualité des sols (Foley *et al.*, 2011 ; Pretty *et al.*, 2011).

I. 4. Évolution historique de l'agriculture intensive

I. 4. 1. Origines de l'agriculture intensive

L'agriculture intensive s'est progressivement développée afin de répondre à la croissance rapide de la demande alimentaire mondiale. L'augmentation de la population, l'urbanisation et la réduction des surfaces agricoles disponibles ont encouragé les États à adopter des modèles de production capables de maximiser les rendements agricoles.

L'introduction des engrais chimiques, des pesticides, de la mécanisation et des systèmes d'irrigation modernes a profondément transformé les pratiques agricoles traditionnelles.

Selon Matson *et al.* (1997), ces innovations technologiques ont permis une amélioration importante de la productivité agricole dans plusieurs régions du monde. (Voir **Figure 02**)



Figure 02: techniques d'agriculture traditionnelle (FAO, 2019)

I. 4. 2. La Révolution verte

Le développement de l'agriculture intensive s'est particulièrement accéléré avec la Révolution verte au cours de la seconde moitié du XX^e siècle.

Cette période a été marquée par la diffusion de variétés végétales à haut rendement, associées à une utilisation importante des engrais chimiques, des pesticides et de l'irrigation.

D'après Pingali (2012), la Révolution verte a contribué à réduire les risques de famine dans plusieurs pays en développement grâce à une augmentation considérable de la production céréalière.

Cependant, cette intensification agricole s'est accompagnée d'effets environnementaux importants, notamment la dégradation des sols, la pollution des ressources hydriques et la diminution de la biodiversité.

I. 4. 3. Expansion mondiale de l'agriculture intensive

Au fil du temps, l'agriculture intensive s'est imposée comme le modèle dominant dans de nombreux systèmes agricoles modernes. Son expansion a été favorisée par les progrès scientifiques, les politiques de modernisation agricole et les besoins croissants du marché mondial (Foley *et al.*, 2011).

Toutefois, plusieurs chercheurs estiment aujourd'hui que la durabilité de ce système dépend de sa capacité à intégrer des pratiques agricoles plus respectueuses de l'environnement (Tscharntke *et al.*, 2005).

Malgré les gains de productivité obtenus grâce à l'intensification agricole, ce modèle a progressivement révélé plusieurs limites environnementales majeures, notamment en termes de dégradation des sols et de perte de biodiversité (Pretty *et al.*, 2011) (**fig. 03**).

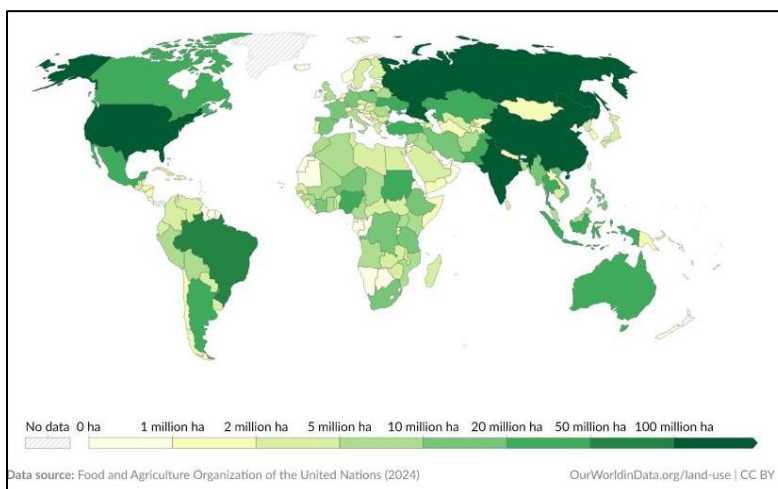


Figure 03 : Expansion et modernisation de l'agriculture à l'échelle mondiale (USGS)

I. 5. Impacts environnementaux de l'agriculture intensive

I. 5. 1. Pollution et dégradation des sols

Les pratiques agricoles intensives figurent parmi les principales causes de dégradation des sols cultivés.

Selon Keestra *et al.* (2016), l'utilisation excessive des engrais chimiques et des pesticides contribue à la diminution de la matière organique, à la dégradation de la structure du sol et à l'intensification des phénomènes d'érosion.

Par ailleurs, certaines pratiques agricoles inadaptées favorisent la compaction des sols et réduisent leur capacité de rétention en eau.

Zhang *et al.* (2015) indiquent également que l'usage intensif des engrais minéraux peut entraîner l'accumulation de nitrates et de métaux lourds dans les sols agricoles, augmentant ainsi les risques de contamination des eaux souterraines.

L'agriculture intensive peut également provoquer la salinisation et l'acidification des sols, particulièrement dans les régions soumises à une irrigation excessive.

Ces différentes formes de dégradation altèrent durablement la fertilité des sols et compromettent leur fonctionnement écologique.

I. 5. 2. Pollution des ressources hydriques

L'agriculture intensive exerce également une pression importante sur les ressources en eau (Foley *et al.*, 2011).

L'utilisation massive des engrais et des pesticides favorise le lessivage des substances chimiques vers les rivières, les lacs et les nappes phréatiques (Pretty *et al.*, 2011).

Cette contamination peut provoquer des phénomènes d'eutrophisation, caractérisés par une prolifération excessive des algues et une diminution de l'oxygène dans les milieux aquatiques (Bonny, 2011).

Par ailleurs, l'irrigation intensive contribue à la surexploitation des ressources hydriques, particulièrement dans les régions arides et semi-arides (Foley *et al.*, 2011) (**fig. 04**).



Figure 04 : phénomène d'eutrophisation causée par les pesticides et les engrais (FAO, 2023)

I. 5. 3. Perte de biodiversité

La simplification des agroécosystèmes liée à la monoculture entraîne une réduction importante de la biodiversité végétale et animale.

Selon Pretty (2008), la destruction des habitats naturels et l'usage intensif des pesticides affectent les populations d'insectes pollinisateurs, les microorganismes du sol et de nombreuses espèces sauvages. Cette diminution de la biodiversité fragilise les équilibres écologiques et réduit la résilience des systèmes agricoles face aux perturbations environnementales.

I. 5. 4. Émissions de gaz à effet de serre

L'agriculture intensive contribue également au changement climatique à travers les émissions de gaz à effet de serre (Foley *et al.*, 2011).

L'utilisation des engrais azotés favorise les émissions de protoxyde d'azote, tandis que la mécanisation agricole augmente la consommation d'énergies fossiles (Pretty *et al.*, 2011).

Les systèmes d'élevage intensif contribuent également aux émissions de méthane, notamment à travers la fermentation entérique et la gestion des déjections animales (Bonny, 2011).

En outre, certaines pratiques agricoles intensives participent à la déforestation et à la dégradation des écosystèmes naturels, accentuant ainsi les émissions de carbone dans l'atmosphère (Tscharncke *et al.*, 2005).

I. 6. Alternatives durables à l'agriculture intensive

I. 6.1. Agriculture biologique

Face aux impacts environnementaux de l'agriculture intensive, plusieurs alternatives durables ont été développées afin de préserver les ressources naturelles tout en assurant une production agricole suffisante.

Parmi ces alternatives, l'agriculture biologique occupe une place importante. Ce système de production repose sur la limitation des intrants chimiques de synthèse et sur la valorisation des processus biologiques naturels.

Selon Reganold et Wachter (2016), l'agriculture biologique contribue à l'amélioration de la biodiversité, à la conservation des ressources hydriques ainsi qu'au maintien de la fertilité des sols. Elle favorise également une réduction des impacts négatifs liés aux pesticides et aux engrais chimiques.

Toutefois, certains chercheurs soulignent que ce mode de production peut présenter des rendements plus faibles dans certaines conditions de culture.

I. 6. 2. Agroécologie

L'agroécologie constitue une autre approche durable visant à appliquer les principes de l'écologie aux systèmes agricoles.

D'après Gomiero et al. (2011), cette approche repose sur la diversification des cultures, les rotations culturales, les associations végétales et la valorisation des interactions biologiques.

L'agroécologie permet ainsi de réduire la dépendance aux intrants externes tout en renforçant la résilience des systèmes agricoles face aux changements climatiques.

Elle valorise également les connaissances locales, les pratiques agricoles traditionnelles et les services écosystémiques (**fig. 05**).



Figure 05 : Agroécologie et systèmes agricoles diversifiés (FAO, 2021)

I. 6.3. Intensification agricole durable

Le concept d'intensification agricole durable vise à produire davantage tout en limitant les impacts environnementaux.

Cette approche, soutenue notamment par la FAO, repose sur une utilisation plus rationnelle des ressources naturelles, une meilleure gestion des sols et de l'eau ainsi que sur l'adoption de technologies agricoles plus respectueuses de l'environnement.

L'objectif principal consiste à maintenir des niveaux élevés de production agricole tout en assurant la durabilité écologique des systèmes de production.

L'intensification agricole durable favorise également le développement de pratiques telles que l'agriculture de précision, la gestion intégrée des ravageurs, les techniques de conservation des sols et l'optimisation de l'utilisation des ressources hydriques.

Cette approche apparaît aujourd'hui comme une stratégie importante pour répondre aux défis liés à la sécurité alimentaire mondiale tout en réduisant les pressions exercées sur les écosystèmes naturels.

Chapitre II : Sols agricoles et ressources hydriques

II. 1. Le sol : un système naturel complexe, organisé et fonctionnel

Le sol constitue l'une des ressources naturelles fondamentales des écosystèmes terrestres et des systèmes agricoles (Foley *et al.*, 2011). Il s'agit d'un milieu complexe, vivant et dynamique, résultant de l'altération de la roche mère et des interactions continues entre la lithosphère, l'atmosphère, l'hydrosphère et la biosphère (Tscharntke *et al.*, 2005). En tant que système ouvert, il assure des fonctions écologiques et productives essentielles, notamment le support des cultures, la régulation des cycles biogéochimiques, la circulation de l'eau et des gaz, ainsi que le maintien de la biodiversité (Bonny *et al.*, 2011).

Les interactions biologiques, assurées par les micro-organismes, participent à la décomposition de la matière organique et au recyclage des nutriments, contribuant ainsi à la dynamique de fertilité.

Les pratiques agricoles non durables, telles que l'utilisation excessive d'engrais chimiques, l'intensification du travail du sol ou l'érosion, entraînent une dégradation progressive de ces fonctions, réduisant la fertilité et compromettant la productivité agricole. Le changement climatique accentue ces contraintes en modifiant les régimes hydriques et thermiques des sols, augmentant ainsi leur vulnérabilité (FAO, 2020).

Les pratiques agricoles exercent une influence déterminante sur la structure du sol. Le labour intensif, la mécanisation lourde et les passages répétés d'engins entraînent la destruction des agrégats, la compaction du sol et la diminution de la porosité. À l'inverse, les apports de matière organique, les systèmes de culture de conservation et le maintien d'une couverture végétale favorisent la formation d'une structure stable et améliorent la résilience du sol face à l'érosion et aux stress environnementaux.

II. 2. Propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol

La qualité du sol repose sur l'interaction entre ses propriétés physiques, chimiques et biologiques, qui doivent être analysées de manière intégrée pour apprécier l'état fonctionnel d'un sol agricole (Karlen *et al.* 1997).

Les propriétés physiques incluent la texture, la densité apparente, la porosité, la stabilité structurale et la capacité de rétention en eau. Elles déterminent l'infiltration, l'aération, le drainage et le développement racinaire. Un sol compacté ou pauvre en pores fonctionnels limite l'accès des racines à l'eau et aux nutriments.

Les propriétés chimiques regroupent le pH, la conductivité électrique, la capacité d'échange cationique ainsi que la teneur en éléments nutritifs et en éléments potentiellement toxiques. Elles contrôlent la disponibilité des nutriments et la stabilité chimique du sol. Une fertilisation excessive peut déséquilibrer cette dynamique en provoquant des excès d'azote, de phosphore ou de sels solubles.

Les propriétés biologiques concernent la diversité et l'abondance des micro-organismes, l'activité enzymatique, la respiration du sol et les processus de décomposition de la matière organique. Elles traduisent le fonctionnement biologique du sol et sa capacité de recyclage des nutriments (minéralisation, la transformation de la matière organique et la protection des plantes contre certains stress).

Ces trois dimensions interagissent en permanence. Par exemple, un apport de matière organique peut simultanément améliorer la structure du sol, stimuler l'activité microbienne et augmenter la rétention en eau. (Six *et al.*, 2002).

II. 3. Qualité et fertilité du sol

La qualité du sol correspond à sa capacité à remplir ses fonctions écologiques et productives, tandis que la fertilité renvoie plus spécifiquement à son aptitude à fournir aux plantes l'eau et les nutriments nécessaires à leur développement. Ces deux notions sont complémentaires, mais elles ne doivent pas être confondues.

Un sol fertile n'est pas seulement un sol riche en éléments minéraux ; c'est aussi un sol bien structuré, biologiquement actif et capable de maintenir durablement des conditions favorables à la croissance des cultures. La fertilité dépend donc de l'ensemble des propriétés physiques, chimiques et biologiques mentionnées précédemment (Karlen *et*

al., 1997 ; Doran & Zeiss, 2000).

Dans les systèmes d'agriculture intensive, la fertilité du sol peut être compromise par plusieurs facteurs : exportation excessive des nutriments, tassement, diminution de la matière organique, salinisation, acidification, pollution chimique et déséquilibres biologiques. L'usage répété d'engrais minéraux et de pesticides, s'il n'est pas raisonné, peut accélérer la dégradation du sol et réduire sa capacité de production à long terme. La préservation de la fertilité nécessite ainsi une gestion durable fondée sur l'analyse du sol, la diversification des pratiques culturales et le recours raisonné aux intrants (FAO, 2015 ; Brady & Weil, 2017) (**fig. 06**).



Figure 06 : Comparaison entre sol fertile et sol dégradé (FAO 2022)

II. 4. Ressources hydriques et irrigation

II. 4.1. Importance de l'eau en agriculture

L'eau constitue une ressource indispensable à la production agricole. Elle intervient dans la germination des graines, la croissance végétative, la photosynthèse, le transport des nutriments et le maintien de la turgescence cellulaire. En agriculture, l'eau peut provenir des précipitations ou de l'irrigation (2015 ; Brady et Weil, 2017).

Dans les régions à climat aride ou semi-aride, ou dans les systèmes de production intensifs, l'irrigation devient un facteur décisif pour assurer la stabilité des rendements. Toutefois, cette dépendance à l'eau doit être compatible avec la préservation des ressources hydriques, qui sont elles-mêmes limitées et vulnérables à la surexploitation (Molden, 2007 ; FAO, 2017).

II. 4. 2. Impact de l'irrigation sur les ressources hydriques

L'irrigation exerce une pression importante sur les ressources en eau douce, en particulier lorsque les prélèvements dépassent les capacités naturelles de renouvellement. Selon la FAO (2021), une part importante de l'eau douce mondiale est utilisée pour l'agriculture, ce qui accentue les conflits d'usage avec la consommation domestique, industrie et préservation des écosystèmes.

Les systèmes d'irrigation inefficaces entraînent des pertes importantes par évaporation, ruissellement et infiltration profonde. Ces pertes réduisent l'efficacité de l'irrigation et augmentent la demande en eau. Elles favorisent également le transfert des nitrates, des phosphates et des résidus de pesticides vers les nappes souterraines et superficielles, contribuant ainsi à la pollution diffuse (Tilman *et al.*, 2002 ; FAO, 2017).

Dans les zones arides et semi-arides, le recours intensif aux nappes phréatiques entraîne une baisse du niveau piézométrique, voire une salinisation des ressources hydriques (Siebert *et al.*, 2010).

De plus, une irrigation excessive peut provoquer l'engorgement de certains sols, perturber leur fonctionnement et accentuer les risques de dégradation à moyen et long terme (Pereira *et al.*, 2002).

II.4.3. Gestion durable des ressources hydriques

Face à l'augmentation des besoins en eau et à la raréfaction progressive des ressources hydriques, la gestion durable de l'eau constitue un enjeu majeur pour l'agriculture moderne. Elle vise à satisfaire les besoins des cultures tout en préservant la disponibilité et la qualité des ressources en eau pour les générations futures. Cette approche repose sur une utilisation rationnelle, efficace et équitable de l'eau, en tenant compte des contraintes environnementales, économiques et sociales (Molden, 2007 ; FAO, 2021).

La gestion durable des ressources hydriques implique avant tout une planification rigoureuse des apports en eau selon les besoins réels des cultures. Ces besoins varient en fonction des conditions climatiques, des caractéristiques du sol, du stade phénologique des plantes et des objectifs de production. L'adaptation des doses et des fréquences d'irrigation permet d'optimiser l'utilisation de l'eau tout en limitant les pertes par évaporation, ruissellement et percolation profonde (Pereira *et al.*, 2002).

L'amélioration de l'efficience de l'irrigation représente également un levier essentiel pour réduire la pression exercée sur les ressources hydriques. L'adoption de techniques d'irrigation performantes, associée à une gestion raisonnée des apports, contribue à maintenir les rendements agricoles tout en réduisant les volumes d'eau prélevés dans les nappes souterraines et les eaux de surface (Howell, 2001).

Par ailleurs, une gestion durable de l'eau nécessite une approche intégrée prenant en considération les interactions entre le sol, l'eau, les pratiques culturales et les intrants agricoles. Une irrigation correctement maîtrisée permet non seulement d'améliorer l'efficience de l'utilisation de l'eau, mais également de limiter le lessivage des nutriments et le transfert des contaminants vers les ressources hydriques. Ainsi, la préservation de la qualité des sols et des eaux repose sur la combinaison de pratiques agronomiques adaptées, d'une gestion rationnelle des intrants et d'une utilisation efficiente des ressources hydriques (FAO, 2017).

Enfin, la sensibilisation des agriculteurs, le développement des outils d'aide à la décision et le recours aux technologies de suivi de l'humidité du sol constituent des éléments essentiels pour promouvoir une gestion durable de l'eau dans les systèmes agricoles modernes.

II.4.4. Qualité de l'eau d'irrigation

La qualité de l'eau d'irrigation constitue un facteur déterminant pour la durabilité des systèmes agricoles. Au-delà de la quantité d'eau disponible, ses caractéristiques physico-chimiques influencent directement les propriétés du sol, la nutrition des plantes et les performances agronomiques des cultures. Une eau d'irrigation de mauvaise qualité peut entraîner des modifications progressives du fonctionnement du sol et compromettre sa fertilité à long terme (Ayers et Westcot, 1985).

L'évaluation de la qualité de l'eau d'irrigation repose principalement sur plusieurs paramètres, notamment la salinité, la sodicité, le potentiel hydrogène (pH) et la composition ionique. La salinité, généralement exprimée par la conductivité électrique, reflète la concentration totale en sels dissous. Une eau excessivement salée favorise l'accumulation des sels dans la zone racinaire, réduisant ainsi la capacité des plantes à absorber l'eau et provoquant un stress osmotique susceptible d'affecter leur croissance

et leur rendement (Ayers et Westcot, 1985 ; FAO, 2021).

La sodicité constitue un autre critère majeur d'évaluation. Une concentration élevée en sodium échangeable peut provoquer la dispersion des particules argileuses, la destruction des agrégats et une diminution de la perméabilité du sol. Ces phénomènes entraînent une dégradation progressive de la structure du sol, limitent l'infiltration de l'eau et réduisent l'aération de la zone racinaire (Brady et Weil, 2017).

Le pH de l'eau d'irrigation influence également la disponibilité des éléments nutritifs et les réactions chimiques se produisant dans le sol. Des valeurs extrêmes peuvent perturber l'équilibre nutritionnel des cultures et modifier les propriétés chimiques du milieu. De plus, certains ions spécifiques tels que le chlorure, le sodium ou le bore peuvent devenir toxiques lorsqu'ils sont présents à des concentrations élevées.

Compte tenu de ces risques, le contrôle régulier de la qualité de l'eau d'irrigation apparaît indispensable pour prévenir les phénomènes de salinisation, de sodification et de dégradation des sols agricoles. L'analyse périodique des paramètres physico-chimiques permet d'adapter les pratiques de gestion et de garantir une utilisation durable des ressources hydriques.

II. 4.5. Techniques d'irrigation et impacts environnementaux

Le choix de la technique d'irrigation joue un rôle essentiel dans l'efficacité de l'utilisation de l'eau et dans la réduction des impacts environnementaux liés à l'activité agricole. Chaque méthode présente des avantages et des limites qui influencent à la fois la consommation d'eau, la productivité des cultures et la préservation des ressources naturelles (Pereira *et al.*, 2002).

L'irrigation gravitaire, également appelée irrigation de surface, demeure l'une des méthodes les plus anciennes et les plus largement utilisées dans certaines régions du monde. Son principe repose sur l'écoulement naturel de l'eau sous l'effet de la gravité. Bien que cette technique présente des coûts d'installation relativement faibles, elle est souvent associée à des pertes importantes d'eau par ruissellement, infiltration profonde et évaporation. Ces pertes peuvent favoriser le lessivage des éléments nutritifs et des produits phytosanitaires vers les eaux souterraines (Howell, 2001).

L'irrigation par aspersion consiste à distribuer l'eau sous forme de pluie artificielle à

l'aide d'un réseau de conduites et d'asperseurs. Cette méthode assure généralement une meilleure répartition de l'eau que les systèmes gravitaires. Toutefois, son efficacité peut être réduite dans les régions chaudes et ventées en raison des pertes par évaporation et dérive des gouttelettes. Une mauvaise gestion des apports peut également provoquer du ruissellement et accroître les risques d'érosion du sol.

L'irrigation localisée, notamment le système de goutte-à-goutte, représente actuellement l'une des techniques les plus efficaces en matière d'économie d'eau. En apportant l'eau directement au voisinage des racines, elle réduit considérablement les pertes par évaporation et limite le lessivage des nutriments. Cette technique permet d'améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau tout en optimisant la fertilisation lorsque celle-ci est associée à la fertigation (FAO, 2017).

Cependant, aucune technique d'irrigation ne peut être considérée comme universellement durable. Le choix du système doit tenir compte des caractéristiques du sol, des conditions climatiques, des besoins des cultures, de la disponibilité de l'eau et des contraintes économiques. Ainsi, la durabilité de l'irrigation dépend non seulement de la technologie utilisée, mais également de la qualité de sa gestion et de son adaptation aux conditions locales (**fig. 07**).



Figure 07 : Techniques d'irrigation A : Irrigation par aspersion ; B : Irrigation gravitaire ; C : Irrigation par pivot central ; D : Irrigation goutte à goutte

Partie Expérimentale

Chapitre III : Matériels et Méthodes

III. 1. Présentation de la zone d'étude

La wilaya d'Aïn Témouchent, située au nord-ouest de l'Algérie à environ 520 km d'Alger, et s'étend sur 2 376,89 km. Elle est caractérisée par un relief diversifié, constitué principalement de plaines, de collines et de faibles élévations montagneuses.

Sur le plan climatique, elle appartient à l'étage bioclimatique semi-aride moyen, marqué par des hivers doux et humides ainsi que des étés chauds et secs, avec des moyennes hivernales comprises entre 10 et 15 °C et estivales entre 25 et 35 °C.

La pluviométrie annuelle, relativement irrégulière, varie entre 300 et 500 mm, avec une longue sécheresse estivale et une saison humide concentrée en automne et en hiver.

Par ailleurs, les sols de la région sont majoritairement de nature argilo-calcaire à limono-argileuse, favorables aux cultures typiques du bassin méditerranéen notamment l'olivier, les vignobles et les céréales.

À vocation agricole, Aïn Témouchent possède une superficie agricole totale de 203 584 ha, dominée par les cultures annuelles et la jachère (91,82 %), suivies des vignobles (2,71%) et de l'arboriculture fruitière (5,45%), reposant principalement pour l'irrigation sur les eaux souterraines en raison de l'absence de grands barrages et de périmètres d'irrigation importants (DSA).

Dans cette étude, quatre exploitations agricoles situées dans les communes de Chabat El Ham et Sidi Ben Adda, ont été sélectionnées afin de collecter des données. Les données représentatives des pratiques agricoles ont été collectées au cours de la période s'étalant du 14 au 15 mai 2026 (fig. 08).

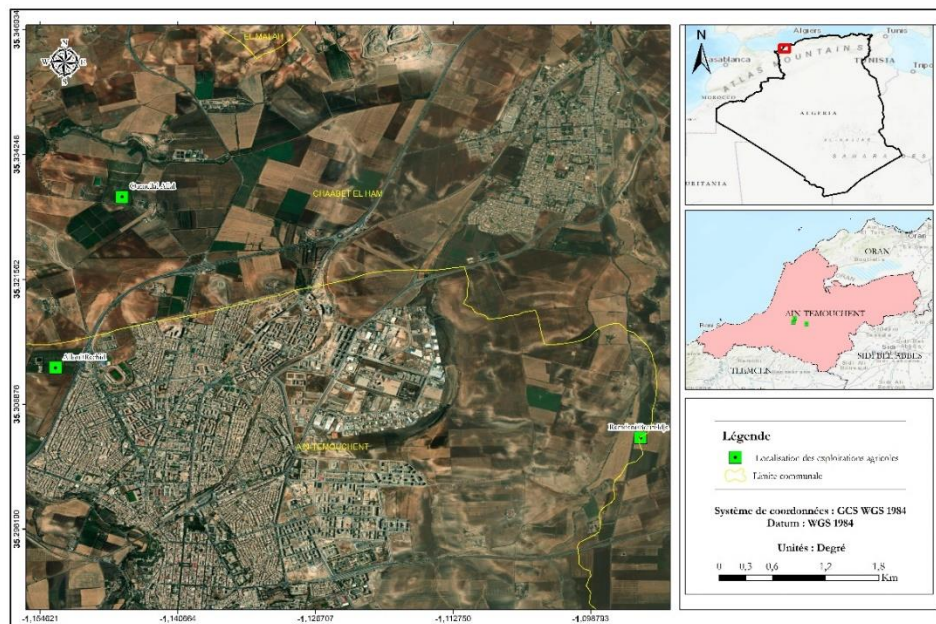


Figure 08 : localisation géographique des d'exploitations dans la région d'Aïn Témouchent (ArcGIS)



Figure 09 : Enquête auprès des agriculteurs (cliché Miloudi et Mammar, Avril 2026)

III. 2. Enquête socio-agronomique

Une enquête a été réalisé sur le terrain auprès des propriétaires des exploitations agricoles à l’aide d’un questionnaire structuré, visant à recueillir des informations relatives au profil des exploitants ainsi qu’aux caractéristiques de leurs exploitations et à leurs pratiques agricoles. Les différentes informations collectées sont présentées dans le tableau ci-dessous (**fig. 09**).

Tableau 01 : Fiche d'enquête socio-agronomique sur le terrain

Questions	Exploitations		
	EXP1	EXP2	EXP3
Date			
Commune			
Coordonnées géographiques			
Nom de propriétaire			
Age			
Niveau d'étude			
Type d'exploitation			
Superficie			
Type de culture			
Sources d'eau			
Profondeur de puit			
Présence de barrage			
Engrais utilisés			
Fréquences			
Doses			
Pesticides utilisés			
Fréquences			
Doses			
Élevage			
Nombre de têtes			
Problèmes phytosanitaires			

III. 3. Analyse physico- chimique de sol et eau

III. 3. 1. Matériels

Pour le prélèvement des échantillons de sol nous avons utilisé une pelle, une tarière des sachets en plastique propres, des étiquettes d'identification et des gants.

III. 3. 1. Prélèvement du sol

L'échantillonnage du sol a été effectué au niveau de l'exploitation agricole selon la méthode d'échantillonnage en diagonale afin d'obtenir un échantillon représentatif de l'ensemble de la parcelle étudiée. Les échantillons de sol ont été prélevé à une profondeur de 30cm à l'aide d'une pelle et tarière, puis conservés dans des sachets étiquetés et transportés au laboratoire pour la réalisation des analyses physico-chimiques(**fig10**).



Figure10 : Prélèvement d'échantillons de sol sur le terrain cliché Miloudi et Mammar, Avril 2026)

III. 3. 1. Prélèvement de l'eau

Des échantillons d'eau d'irrigation ont été prélevés directement à partir des puits, ensuite conservés dans des flacons stériles afin d'éviter toute contamination ou altération de ses caractéristiques et transportés vers le laboratoire pour la réalisation des analyses physico-chimiques nécessaires.

III. 3. 2. Evaluation des paramètres physiques de sol

Les paramètres analysés de sol sont les suivants :

➤ Teneur en eau du sol

La quantité d'eau contenue dans un échantillon de sol est déterminée par une perte de masse après séchage à l'étuve à 105°C jusqu'à un poids constant.

$$W (\%) = (mh - ms) / ms \cdot 100$$

➤ **Pourcentage de particules fines (%)**

La proportion des particules fines (argiles et limons) est déterminée par analyse granulométrique, généralement par sédimentation ou tamisage (**fig11**).

$$P F (\%) = (M_f / M_t) \times 100.$$



Figure 11 : Analyse de la teneur en eau d'un échantillon de sol (cliché Maamar et Miloudi, 2026)

III. 3. 3. Evaluation des paramètres chimiques de sol

Afin d'évaluer les propriétés chimiques du sol et sa fertilité, différents paramètres ont été déterminé.

➤ **Matière organique**

Le principe repose sur la calcination de la matière organique du sol et une double pesée avant et après chauffage (**fig. 14**) (méthode de Walkley-Black ou calcination).

$$\text{Formule : } mo = [(m1 - m2) / m1] \times 100$$



Figure 12 : séchage des échantillons de sol dans un four à moufle (cliché Miloudi et Mammar, 2026)

➤ **Teneur en carbonate de calcium (CaCO_3)**

Le principe repose sur la réaction des carbonates avec un acide (HCl) et la mesure du volume de CO_2 dégagé ou par calcimétrie. La teneur en carbonates est estimée. Par la formule suivante :
Teneur en carbonate de calcium (%) :

$$(\text{m CaCO}_3 \div 1) * 100$$

➤ **Analyse du pH et de la conductivité électrique du sol**

Consiste à mesurer le pH d'une suspension sol/eau à l'aide d'une électrode de verre, tandis que la conductivité électrique repose sur la mesure de la capacité d'une solution sol-eau à conduire le courant électrique.

III. 3. 4. Evaluation des paramètres physico-chimiques de l'eau

Plusieurs paramètres ont été déterminés à l'aide de l'appareil Eutech PCD, dont les électrodes ont été immergées dans une suspension sol-eau préparée (**Fig. 15**), permettant la lecture directe des valeurs de :

- Le Potentiel de l'hydrogène **pH**
- La conductivité électrique **EC**
- Les solides dissous totaux **TDS**
- Le Chlorure de sodium **NaCl**

Par ailleurs, la mesure de la turbidité a été réalisée à l'aide d'un turbidimètre.



Figure 13 : Appareil d'analyse de l'eau Eutech PCD (cliché Miloudi et Mammar, 2026)

Chapitre IV : Résultats et discussion

VI. 1. Caractéristiques des exploitations enquêtées :

Les caractéristiques générales des exploitations enquêtées sont présentées dans le tableau 03, regroupant ainsi les principales informations recueillies relatives aux propriétaires des exploitations agricoles.

Tableau 03 : Données socio-professionnelles des propriétaires des exploitations enquêtée

Information Exploitations	Propriétaire	Age	Niveau d'études	Type D'exploitation
Ex01	Aloul rachide	67	Primaire	Individuelle
Ex02	OUMELEL Allel	55	Primaire	Collective
Ex03	Ramdani boufelja	72	Illitré	Collective

- Les données montrent des agriculteurs sont majoritairement âgés, ce qui reflète un vieillissement du secteur agricole en Algérie, dû au manque d'attractivité économique et à la difficulté d'accès à la terre.
- Le niveau d'étude varie entre niveau primaire et illettré, Cas de de nombreux agriculteurs en Algérie appartenant à cette génération, née en période coloniale pet qui a de possibilités de scolarisation en milieu rural très limitées, notamment dans les villages et les zones agricoles éloignées.
- Les trois exploitations montrent un mode collectif dominant aux exploitations, contre une seule individuelle, cela peut être due aux liens de parenté et confiance, aux coûts de production élevés, et le manque de main-d'œuvre. D'un autre part, la coopération permet l'augmentation de la production et de réduire les pertes, l'extension de la superficie exploitée et faciliter l'obtention de crédits et de subventions.

Le tableau suivant présente les principales caractéristiques techniques des exploitations agricoles enquêtées.

Tableau 04 : Données techniques relatives aux exploitations agricoles enquêtées

Information Exploitations	Superficie (ha)	Type de culture	Élevage	Sources d'eau	Profondeur de puit (m)	Barrage	Type d'irrigation
Ex01	60	Arbres fruitiers Pêche	Absence	Fourrage	100	Présence	Goût à goût
Ex02	24	Arbres fruitiers Grenade	Absence	Fourrage	152	Présence	Goût à goût
Ex03	92	Blé Melon	Volailles 200 têtes	Fourrage	50	Absence	Goût à goût Aspersion

- Les superficies des exploitations étudiées varient entre 24 et 92 ha, révélant une différence notable dans la taille des exploitations. Cette hétérogénéité en termes de superficie peut influencer les systèmes de culture adoptés, les besoins en eau ainsi que les pratiques de gestion agricole. En général, les grandes exploitations disposent souvent d'un potentiel de production plus élevé, mais nécessitent une gestion plus rigoureuse des ressources (Benniou & Van Damme, 2013).
- Le tableau 04 met en évidence une diversité des systèmes de production dans les exploitations étudiées. **Les exploitations 1 et 2** sont dominées par des cultures arboricoles, notamment le pêcher et le grenadier, tandis que l'exploitation 3 est caractérisée par des cultures céréalières, en particulier le blé, associées au maraîchage, notamment le melon. Cette orientation traduit la préférence des agriculteurs pour l'arboriculture se considère comme plus stables sur le plan de la rentabilité économique et adaptées aux conditions climatiques locales (Beelagi *et al.*, 2023).
- L'enquête révèle que l'élevage est absent dans les exploitations **1 et 2**, tandis que **3** se distingue par un élevage avicole de 200 têtes, reflétant une diversification des activités agricoles, et pouvant contribuer à l'amélioration des revenus de l'exploitation ainsi qu'à une meilleure valorisation des ressources disponibles.
- La présence de puits (fourrage) dans les exploitations montre que l'eau souterraine constitue une source importante pour l'irrigation. Cela traduit une certaine autonomie hydrique, surtout dans les zones où les autres sources d'eau sont limitées.

- La profondeur des puits varie selon les exploitations, ce qui indique un accès plus ou moins facile à la ressource en eau souterraine. Plus le puits est profond, plus l'exploitation permet un pompage important pour l'irrigation, et probablement moins vulnérable à la contamination de surface mais dont le renouvellement est lent, voire quasi nul dans certaines formations géologiques (Allaoua *et al.*, 2024).
- Par ailleurs, deux exploitations sur trois disposent de bassins destinés au stockage de l'eau et à sa décantation avant son utilisation pour l'irrigation. Ces barrages peuvent également servir à la préparation de solutions fertilisantes dans le cadre de la fertigation, afin de favoriser une distribution plus homogène des apports sur les cultures.
- Le tableau montre ainsi une préférence pour le goutte-à-goutte dans les trois exploitations, ce qui traduit une utilisation plus rationnelle de l'eau. **L'exploitation 3** utilise ainsi l'aspersion, un mode adapté à d'autres types de cultures comme les céréales (Abdelhaq *et al.*, 2017).

Le tableau suivant présente les principales pratiques de fertilisation et de protection phytosanitaire des exploitations agricoles enquêtées.

Tableau 05 : principales pratiques agricoles des exploitations étudiées

Information Exploitations	Engrais	Fréquences	Pesticides	Fréquences	Problèmes Phytopathologiques
Ex01	Borozinc (Bore - Zinc)	Printemps	Tebumight Commando Pyricol 480EC Sercadis-Plus	Traitement préventif et curatif 1 fois/mois	Araignée rouge Pucerons Papillon des fruits Oïdium
Ex02	KSC3 Bono 32 (Azote nitrique, ammoniacal et uréique)	Du début de la croissance	Deltaméthrine	Traitement préventif et curatif 1 fois/mois	Pucerons Mouche des fruits Araignée rouge (Bouchouika)
Ex03	NPK Sulfate Fumier	Automne- Printemps Avent semis	Vermitec	Tous les 20 jours	Vers gris Oïdium Fusariose

- Les résultats de l'enquête révèlent une hétérogénéité des pratiques de fertilisation entre les trois exploitations, reflétant des niveaux de technicité et des objectifs agronomiques distincts. **L'exploitation 1** applique apports ciblés en micronutriments au printemps (Bore et Zinc), orientée vers la correction de carences spécifiques coïncidant avec la reprise végétative et la forte demande physiologique de la culture (Marschner, 1995 ; Alloway, 2008). Tandis que **l'exploitation 2** utilise

un engrais azoté complexe intervient dès le début de la croissance, assurant un apport azoté précoce favorable à la phase végétative pour stimuler la croissance (Soltner, 2005).

L'exploitation 3 se distingue par l'adoption d'une fertilisation mixte de NPK sulfaté associé à un épandage de fumier en automne, qui semble être l'approche la plus complète sur le plan agronomique, dans la mesure où elle améliore simultanément la structure du sol, son activité biologique et sa fertilité à long terme (Doran & Zeiss, 2000).

➤ L'enquête a montré également que **l'exploitation 1** utilise la gamme de pesticides la plus variée, associant quatre matières actives aux modes d'action différents : un acaricide-insecticide (Tebumight), un insecticide à large spectre (Commando), ainsi que deux fongicides, l'un de type anilinopyrimidine inhibant la biosynthèse de la méthionine (Pyralis 480EC) et l'autre de type SDHI (Sercadis-Plus).

Ces traitements sont appliqués de manière mensuelle, à la fois à titre préventif et curatif, favorisant l'apparition de résistances croisées et augmentant le risque d'interactions phytotoxiques (Frac, 2023 ; Irac, 2022). Tandis que, **L'exploitation 2** repose sur un usage exclusif de la deltaméthrine, administrée au même rythme mensuel, reconnue pour ses risques de résistance et son impact négatif sur les auxiliaires et les pollinisateurs (Decourtye & Devillers, 2010). **L'exploitation 3** recourt à l'abamectine (Vermitec), appliquée tous les vingt jours, s'inscrivant davantage dans une logique de protection ciblée, mais elle peut entraîner un risque d'accumulation de résidus et de contamination diffuse de l'environnement (Pimentel, 2005 ; Carvalho, 2006).

VI. 2. Les paramètres physico-chimiques du sol :

Les résultats des analyses physico-chimiques des sols des exploitations agricoles étudiées (S1, S2, S3) sont présentés sur le tableau 14 ci-dessous.

Tableau 14 : résultats des paramètres physiques et chimiques de sol

Paramètre EXP	Physique			Chimique		
	Teneur en eau%	Particules fines%	CACO3 %	MO %	CE ds/cm	PH
S1	5.16%	36%	3.73%	4.38%	2.95	8.34
S2	6.05%	14.18%	6.70%	3.66%	1,68	7.81
S3	2.34%	30.36%	7.81%	4.15%	2.79	7.95

➤ Selon les données de tableau, les trois sols montrent une faible à modérée teneur en eau qui varie entre 2.34% et 6.05%, typique de sols des zones semi-aride à arides marquée par des précipitations irrégulières et une évapotranspiration élevée (FAO, 2006).

Par ailleurs, ces faibles teneurs en eau reflètent la sensibilité de ces sols au stress hydrique, mettant en évidence l'importance d'une gestion raisonnée de l'irrigation pour assurer la durabilité des activités agricoles dans ces exploitations (Belloula & Mezeghrane, 2019).

➤ L'analyse granulométrique révèle des textures contrastées entre les trois sols. Grâce à la fraction fine importante, le S1 (36% de fines) présente une texture argilo-limoneuse et le S3 (30,36%) avec une texture limono-argileuse, cela peut être expliquée que les sols riches en argile et en limon ayant généralement une bonne cohésion et une meilleure capacité de rétention hydrique. En revanche, le S2 avec seulement 14,18% de fines, montre une texture sablo-limoneuse, probablement peu cohésive susceptible au lessivage, ce qui limite sa fertilité naturelle et nécessite une gestion hydrique et nutritive plus rigoureuse (USDA-NRCS, 1993).

Ces résultats concordent avec ceux de Djelailia (2014), qui montre que les sols à texture fine présentent une meilleure capacité de rétention d'eau comparativement aux sols grossiers, particulièrement dans les zones semi-arides.

➤ Nous constatons également à partir les données du tableau que les teneurs en CaCO_3 varient entre 3,73 et 7,81 %, indiquant que les des sols sont faiblement à modérément calcaires. Cette caractéristique est assez cohérente avec le contexte pédoclimatique méditerranéens.

Toutefois, Elle peut affecter les propriétés du sol liées à la croissance des plantes, notamment la disponibilité des éléments nutritifs (fer, zinc et phosphore) (Zoca & Penn, 2023).

➤ Les analyses chimiques illustrées sur le tableau 14 montrent que les teneurs en matière organique des trois sols variants entre 3,66–4,38 %, sont modérées et relativement homogènes, ces teneurs reflètent une fertilité organique modérée, due aux des apports d'engrais chimiques. En effet, Ce mode de gestion extensive des engrais chimiques contribue à terme long à l'appauvrissement progressif de la fraction organique du sol et la dégradation de sa structure, qui conduit ainsi à un déséquilibre nutritionnel, à l'émergence de carences en micronutriments et à une diminution progressive de la teneur en carbone organique, constituant ainsi une menace sérieuse pour la durabilité des systèmes agricoles (Zheng *et al.*, 2020).

➤ Les valeurs de conductivité électrique des sols indiquent une salinité modérée et différenciée. Le S2 présente la valeur la plus faible (1,68 ds/cm), ce qui est cohérent avec sa texture sablo-limoneuse favorisant le lessivage des sels par drainage rapide. La valeur la plus élevée (2,95 ds/cm) s'est affichée par S1, explicable par sa texture argilo-limoneuse qui retient davantage les ions salins dans la solution du sol. Les trois sols étudiés restent donc en dessous de ce seuil critique (4 ds/cm), ce qui constitue un atout agronomique, bien qu'une surveillance régulière soit recommandée pour de S1 et S3, car la salinité secondaire, principalement causée par les pratiques d'irrigation intensive, l'utilisation d'engrais à fort indice salin et l'inadéquation des systèmes de drainage, dégrade la structure du sol, réduit l'absorption des nutriments par les plantes et diminue la productivité agricole (Mosley *et al.*, 2024).

➤ Par ailleurs, Les trois sols présentent un pH alcalin, variant de 7,81 à 8,34, situé dans une zone d'alcalinité modérée ce qui est caractéristique des sols agricoles des régions semi-arides méditerranéennes dont les conditions climatiques locales favorisent l'alcalinité des sols car les précipitations et l'évapotranspiration exercent une influence déterminante sur le pH du sol. Des observations similaires ont été rapportées dans des sols arides et semi-arides, confirmant le caractère alcalin de ces sols ainsi que l'influence du climat et de la présence de carbonates sur leur réaction (Mezlini *et al.*, 2024 ; Bona *et al.* (2021).

VI. 3. Les paramètres physico-chimiques de l'eau d'irrigation

Le tableau 15 montre les résultats des analyses physico-chimiques l'eau d'irrigation des exploitations agricoles étudiées.

Paramètre Echantillon	Physique			Chimique		
	MES	SDT	CE (ms)	PH	P Rx (mv)	Nacl
Eau 1	17.80	1.62	1,81	9.10	-111.5	1.72
Eau2	3.65	3.13	3,48	8.08	-59.2	3.45
Eau3	5.26	3.37	3,75	8.08	-69.9	3.73

➤ Les résultats du tableau ci-dessus montrent une variation nette des matières en suspension entre les trois échantillons. L'eau du **puits 1** plus chargée en particules avec la valeur la plus élevée (17,8) suivie de celle du **puits 3** (5,26), tandis que le **puits 2** présente une charge favorable par une valeur la plus faible (3,65). Une teneur élevée en MES peut dégrader la qualité du sol en obstruant ses pores, en réduisant sa perméabilité à l'eau et à l'air, et en limitant l'aération racinaire. En revanche, les faibles valeurs traduisent une eau globalement plus adaptée à l'irrigation (FAO, 2023).

➤ Les résultats des solides dissous totaux montrent une augmentation progressive du **puits 1** (1,62) vers le **puits 3** (3,37), en passant par le **puits 2** (3,13). Cela indique une salinité croissante de l'eau, ce qui classe le **puits 1** le plus adapté pour l'irrigation. Sur le plan agronomique, une augmentation des SDT peut entraîner une accumulation progressive des sels dans le sol, conduisant à une baisse de la fertilité, une réduction de la productivité et, à long terme, une salinisation des sols (FAO, 2023).

➤ Les résultats de la conductivité électrique montrent une différence entre les trois échantillons d'eau et indiquent également une augmentation progressive de la salinité de l'eau : puits 1 (1,81 mS/cm), puits 2 (3,48 mS/cm) et puits 3 (3,75 mS/cm). La CE étant directement liée à la concentration en sels dissous, ces résultats confirment la dégradation progressive de la qualité de l'eau d'irrigation du puits 1 vers le puits 3.

Une CE élevée peut provoquer une accumulation de sels dans le sol, entraînant une diminution de la perméabilité, une réduction de l'aération et une perturbation de l'activité biologique des micro-organismes du sol (FAO, 2023).

➤ Les teneurs en NaCl varient également entre les trois échantillons, avec une valeur faible au **puits 1** (1,720), intermédiaire au **puits 2** (3,454) et la plus élevée au **puits 3** (3,735). Cette variation indique une différence importante du niveau de salinité entre les sources d'eau.

Une forte concentration en NaCl peut induire un stress osmotique chez les plantes, réduisant l'absorption de l'eau, freinant la croissance et diminuant la productivité. À long terme, elle contribue à la dégradation de la fertilité des sols et à leur salinisation progressive (FAO, 2023).

➤ Les résultats du potentiel redox montrent des valeurs du potentiel redox négatives pour les trois échantillons, dont le **puits 2** (-59,2 mV) présente la valeur la moins négative, indiquant un état relativement plus oxydé et donc plus favorable, tandis que le **puits 1** (-111,5 mV) présente le milieu le plus réducteur. Les eaux étudiées montrent un caractère globalement réducteur qui peut être associées à une faible oxygénation ou à une teneur élevée en matière organique. Elles peuvent favoriser des conditions anaérobies, réduire l'activité microbienne bénéfique du sol et perturber la disponibilité des nutriments. Ainsi, le **puits 2** apparaît comme le plus adapté à l'irrigation (FAO, 2023).

➤ Les résultats du pH montrent que l'ensemble des eaux est alcalin. Ainsi, les eaux du **puits 2** et du **puits 3** sont relativement plus adaptées à l'irrigation en raison de leur alcalinité moins élevée par rapport le **puits 1** (pH 9,10). Cette alcalinité peut influencer négativement la disponibilité des éléments nutritifs essentiels tels que le fer, le zinc et le phosphore. Une utilisation prolongée d'une eau fortement alcaline peut ainsi réduire la fertilité du sol et affecter le développement des cultures (FAO, 2023).

Conclusion générale

Ce travail a pour objectif d'évaluer l'impact des pratiques agricoles intensives, notamment l'utilisation des engrais et des pesticides, et comprendre leurs effets sur les propriétés physico-chimiques des sols et des eaux d'irrigation et la qualité des sols dans quelques exploitations agricoles de la wilaya d'Aïn Témouchent.

L'étude révèle une variation des systèmes agricoles entre arboriculture, céréaliculture et maraîchage, reposant majoritairement sur l'usage des intrants chimiques. Les sols présentent des propriétés physico-chimiques très variables, S3 et S4 se caractérisant par une richesse organique et minérale plus élevée et favorable à l'activité biologique. La qualité des eaux d'irrigation est hétérogène, notamment en ce qui concerne la salinité et les matières en suspension, avec un pH généralement basique.

Dans l'ensemble, les résultats mettent en évidence l'impact des pratiques agricoles intensives sur la qualité des sols et des eaux, dont les résidus chimiques issus de l'usage croissant des engrais et des pesticides induit l'altération des propriétés physico-chimiques du sol et de la qualité des eaux d'irrigation. Cela, interpelle à une gestion plus durable des intrants afin de préserver les ressources et la productivité des agroécosystèmes.

Enfin, ces données constituent une étape importante pour mieux comprendre les enjeux environnementaux de la zone d'étude, et ouvre des perspectives pour des recherches futures, notamment par l'élargissement de l'échantillonnage ou l'intégration d'analyses complémentaires sur le devenir de ces polluants à long terme.

Références bibliographiques

- Antoine Bernard de Raymond, & Goulet, F. (2014). Les transformations de l'agriculture intensive : Éléments pour une sociologie des grandes cultures.
- Bensabeur, A. (2018). Effet de l'incorporation de la matière organique sur les propriétés physico-chimiques des sols salés (Mémoire de master). Université de Mostaganem, Algérie.
- Bouhafs, M., et al. (2022). Étude comparative de la qualité des sols d'agriculture du Sud-Est algérien (Mémoire de master). Université d'El Oued, Algérie.
- Castañeda-Álvarez, N., Khoury, C., Achicanoy, H., et al. (2016). Global conservation priorities for crop wild relatives. *Nature Plants*, 2, 16022.
- Djelailia, A. (2014). Contribution à l'étude des caractères physico-chimiques des sols de la wilaya de Tlemcen (Mémoire de master). Université de Tlemcen, Algérie.
- FAO. (2011). Save and grow: A policymaker's guide to the sustainable intensification of smallholder crop production. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M., & Toulmin, C. (2010). Food Security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967), 812–818.
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M., & Toulmin, C. (2010). Food security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967), 812–818.
- Gomiero, T., Pimentel, D., & Paoletti, M. G. (2011). Environmental impact of different agricultural management practices: Conventional vs. organic agriculture. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30(1–2), 95–124.
- Holtz, R. D., & Kovacs, W. D. (1981). An introduction to geotechnical engineering. Prentice-Hall.
- Keesstra, S., Bouma, J., Wallinga, J., Tittone, P., Smith, P., Cerdà, A., ... & Montanarella, L. (2016). The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. *SOIL*, 2, 111–128.
- Keesstra, S., Pereira, P., Novara, A., Brevik, E. C., Azorín-Molina, C., Parras-Alcántara, L., Jordán, A., & Cerdà, A. (2016). Effects of soil management techniques on soil water erosion in apricot orchards. *Science of the Total Environment*, 551–552, 357–366.

- Kopittke, P. M., Menzies, N. W., Wang, P., McKenna, B. A., & Lombi, E. (2019). Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*, 132.
- Koull, N., et al. (2016). Effets de la matière organique sur les propriétés physiques et chimiques des sols sableux de la région d'Ouargla. *La Revue des Sciences de Gestion Direction et Gestion*, 23, 9-20.
- Madhab Chandra Jena, Mishra, S. K., & Moharana, H. S. (2024). Environmental impact of conventional manufacturing, green manufacturing initiatives to mitigate the impact and enhancing sustainability. *Environmental Claims Journal*, 36(4), 485–504.
- Matson, P. A., Parton, W. J., Power, A. G., & Swift, M. J. (1997). Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science*, 277(5325), 504–509.
- Peter M. Kopittke, Neal W. Menzies, Peng Wang, Brigid A. McKenna, & Enzo Lombi. (2019). Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*, 132, 105078.
- Pingali, P. L. (2012). Green Revolution: Impacts, limits, and the path ahead. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(31), 12302–12308.
- Pretty, J. (2008). Agricultural sustainability: Concepts, principles and evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491), 447–465.
- Reganold, J. P., & Wachter, J. M. (2016). Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature Plants*, 2, 15221.
- Terzaghi, K., & Peck, R. B. (1967). *Soil mechanics in engineering practice*. John Wiley & Sons.
- United States Department of Agriculture (USDA). (1999). *Soil survey manual*. U.S. Department of Agriculture.
- Zhang, X., Davidson, E. A., Mauzerall, D. L., Searchinger, T. D., Dumas, P., & Shen, Y. (2015). Managing nitrogen for sustainable development. *Nature*, 528(7580), 51–59.
- Zhang, X., Davidson, E. A., Mauzerall, D. L., Searchinger, T. D., Dumas, P., & Shen, Y. (2015). Managing nitrogen for sustainable development. *Environmental Pollution*, 199, 1–10.
- Belloula, N., & Mezeghrane, L. (2019). *Étude des propriétés hydriques des sols en zones arides du nord-ouest algérien*. *Journal Algérien des Régions Arides (JARA)*, CRSTRA, Biskra.

- USDA-NRCS (1993). *Soil Survey Manual*. Handbook No. 18. United States Department of Agriculture, Washington D.C
- Zoca, S.M., & Penn, C.J. (2023). Distribution, characteristics and management of calcareous soils. *Advances in Agronomy*, Elsevier.
- Zeng J. et al. (2020). Long-Term Chemical-Only Fertilization Induces a Diversity Decline and Deep Selection on the Soil Bacteria. *mSystems*, 5(3), PMC7363003.
- Mezlini, W., Amor, R.B., Beneduci, A. (2024). Effects of Irrigation Water Quality on Soil Physico-chemical Proprieties: Case Study in North-West of Tunisia. *Earth Syst Environ* 8, 1541–1561.
- Mosley, L. M., Rengasamy, P., & Fitzpatrick, R. (2024). Soil pH: Techniques, challenges and insights from a global dataset. *European Journal of Soil Science*, 75(6), 70021
- Bona E, Massa N, Toumatia O, Novello G, Cesaro P, Todeschini V, Boatti L, Mignone F, Titouah H, Zitouni A, Lingua G, Vuolo F, Gamalero E. 2021. Climatic Zone and Soil Properties Determine the Biodiversity of the Soil Bacterial Communities Associated to Native Plants from Desert Areas of North-Central Algeria. *Microorganisms*. 23;9(7):1359.
- Benniou, R., & Van Damme, P. (2013). *Irrigated farm management in semi-arid area East Algeria*. *Agriculture*, 4(2), 21–28.
- Beelagi R, Singh VP, Jat R, Singh PK, Rai R, Singh A, Basile B, Mataffo A, Corrado G, Kumar P. (2023). Enhancing the Fruit Yield and Quality in Pomegranate: Insights into Drip Irrigation and Mulching Strategies. *Plants (Basel)*. 12;12(18):3241.
- Abdelhaq, Boundi & Yacine, Z & Lahyane, S & Elhabty, Mohamed & Mouradi, A & Saaf, M. (2017). Efficiency of usual irrigation systems and water productivity for crops in Mediterranean and semi-arid climates with reduce hydric requirements. *Review*. 04. 107-126.
- Allaoua, N., Hafid, H., & Chenchouni, H. (2024). Exploring groundwater quality in semi-arid areas of Algeria: Impacts on potable water supply and agricultural sustainability. *Journal of Arid Land*, 16(2), 147–167.