

DEMOCRATIC AND POPULAR ALGERIAN REPUBLIC

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION AND SCIENTIFIC RESEARCH

جامعة الشاذلي بن جديد - الطارف

CHADLI BENDJEDID EL TARF UNIVERSITY

كلية علوم الطبيعة والحياة

FACULTY OF NATURE AND LIFE SCIENCES

قسم



Mémoire de Fin d'Études

Présenté en vue de l'obtention d'un Diplôme de Master en

« **Agroenvironnement et Bioindicateur** »

Thème

Effet combinée des pesticides sur la fertilité du sol

Présenté Par : **Bouafia Souhaib Houssef Eddine**

NOM et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Dr. OUIBRAHIM Amira	MCB	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Présidente
Dr. RAMDANI Hanene	MCB	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Directeur de thèse
Dr. BOUKHATEM Amel	MCB	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Examinatrice

Année universitaire : 2025/2026

Remercîment

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le Tout-Puissant de m'avoir accordé la santé, la volonté et la patience nécessaires pour mener à bien ce modeste travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mon immense reconnaissance à mon encadreur, **Dr. Ramdani Hanene** pour son encadrement, Ses orientations ont été d'une grande aide pour l'aboutissement de ce travail.

Je tiens également à adresser mes sincères remerciements aux membres du jury **Dr. Ouibrahim Amira** qui m'ont fait l'honneur d'accepter d'examiner et d'évaluer ce travail. **Dr. Boukhatem Amel** qui a accepté de présider notre travail

Leurs remarques et critiques constructives contribueront sans aucun doute à améliorer la qualité de ce mémoire.

Je tiens également à adresser mes sincères remerciements aux membres du jury qui m'ont fait l'honneur d'accepter d'examiner et d'évaluer ce travail

Leurs remarques et critiques constructives contribueront sans aucun doute à améliorer la qualité de ce mémoire.

Mes remerciements s'adressent également à l'ensemble des enseignants du département **AGRO-ENVIRONNEMENT ET BIO-TNDICATEURS**, pour la richesse des connaissances qu'ils m'ont transmises et pour la qualité de la formation dont j'ai bénéficié tout au long de mon parcours universitaire.

Enfin, je dédie ce travail à tous ceux qui m'ont soutenue et encouragée tout au long de mon parcours académique

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

À la femme que j'admire, que j'aime et que je vénère, ma chère
maman.

Elle s'est toujours sacrifiée pour moi et n'a jamais cessé de me
soutenir afin de me voir heureuse et réussir dans ma vie.

À mon cher papa, symbole de sagesse et de bonté, qui nous guide
toujours par ses conseils et ses bonnes actions.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à ma famille pour
leur soutien indéfectible, leur patience, leur amour et leurs
encouragements permanents, qui ont été une source de motivation
inestimable.

Je remercie également tous mes amis, collègues et toutes les
personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce
travail.

Liste des figures

N° Figures	Titre	N° Pages
01	Partie superficielle d'un sol	6
02	Représentation schématique de l'histoire évolutive des espèces de <i>Triticum</i> et <i>Aegilops</i>	12
03	Carte de la situation géographique de la zone d'étude	28
04	La station d'étude : champ de blé en conditions agricoles naturelles	30
05	Échantillon de sol prélevé sur le terrain	30
06	Epi de <i>Triticum durum</i> .	32
07	Irrigation d'appointe	33
08	Prélèvement des échantillons (Matériel Biologique) .	34
09	Étapes expérimentales de préparation et d'analyse des échantillons pour la mesure du pH et de la conductivité électrique du sol	37
10	Détermination de l'humidité et de la matière organique du sol	38
11	La structure chimique azoxystrobine	40
12	La structure chimique du Dicamba	43
13	La structure chimique du Triasulfuran	43
14	La structure de Clodinafop-propargyl	45
15	La structure du Cloquintocet-mexyl	46
16	Variation du pH d'eau (du sol) avant et après l'ajout des pesticides	48
17	Variation du pH KCL (du sol) avant et après l'ajout des pesticides	49
18	Variation de la conductivité électrique du sol avant et après l'ajout des pesticides	50
19	Variation de l'humidité du sol avant et après l'ajout des pesticides	51
20	Variation de la teneur en matière organique du sol avant et après l'ajout des pesticides	52
21	Variation du taux de carbone organique du sol avant et après l'ajout des pesticides	53

22	Variation des teneurs en chlorophylle chez le blé dur avant l'utilisation des pesticides	55
23	Variation des teneurs en chlorophylle chez le blé dur après l'utilisation des pesticides.	56
24	Variation de la matière sèche chez le blé avant et après l'utilisation des pesticides.	58

Liste des Tableaux

N° Tableaux	Titre	N° Pages
01	Superficies (S) nationales emblavées en blés dur et tendre	13
02	Mode d'action des principales familles des pesticides	19

Résumé

Le sol constitue une ressource essentielle pour la production agricole. Cependant, l'utilisation intensive des pesticides en agriculture peut modifier ses propriétés physico-chimiques, avec des répercussions sur la fertilité des sols. Cette étude vise à évaluer l'effet combiné des pesticides sur la fertilité du sol et sur certains paramètres physiologiques du blé dur (*Triticum durum*) dans la région de Zérizer (El Tarf, Algérie). La méthodologie repose sur un échantillonnage aléatoire du sol et sur des analyses physico-chimiques et biochimiques réalisées avant et après l'application des pesticides afin d'évaluer leurs effets sur le système sol-plante.

Les analyses ont mis en évidence une baisse du pH eau (8,48–8,66 à 8,01–8,29) et de la conductivité électrique (215–266 à 160–195 $\mu\text{S}/\text{cm}$) après l'application des pesticides. En revanche, l'humidité du sol a légèrement augmenté (7,83–10,24 % à 7,93–9,33 %). Les teneurs en matière organique (3,83–4,96 % à 4,02–5,76 %) et en carbone organique (1,94–2,88 % à 2,33–3,34 %) ont également présenté des variations, traduisant une modification des propriétés physico-chimiques du sol.

Chez le blé dur, les teneurs en chlorophylle a, b et totale ont augmenté respectivement de 8,735–23,235 à 10,12–42,73 $\mu\text{g}/\text{g}$ MF, de 3,672–22,562 à 6,17–29,17 $\mu\text{g}/\text{g}$ MF et de 12,407–45,797 à 16,85–71,90 $\mu\text{g}/\text{g}$ MF. La matière sèche a également progressé de 15–24 % à 26–33 %, traduisant une amélioration de l'activité physiologique et de la biomasse végétale.

En conclusion, l'application des pesticides a amélioré l'activité photosynthétique et la biomasse du blé dur, mais a également entraîné des modifications des propriétés physico-chimiques du sol susceptibles d'influencer sa fertilité à long terme.

Mots-clés : Pesticides ; Fertilité du sol ; Blé dur (*Triticum durum*) ; Chlorophylle ; Paramètres physico-chimiques.

Abstract

Soil is an essential resource for agricultural production. However, the intensive use of pesticides in agriculture can alter its physicochemical properties, with repercussions on soil fertility. This study aims to evaluate the combined effect of pesticides on soil fertility and on certain physiological parameters of durum wheat (*Triticum durum*) in the Zérizer region (El Tarf, Algeria). The methodology is based on random soil sampling and physicochemical and biochemical analyses conducted before and after pesticide application to assess their effects on the soil-plant system.

The analyses revealed a decrease in soil pH (from 8.48–8.66 to 8.01–8.29) and electrical conductivity (from 215–266 to 160–195 $\mu\text{S}/\text{cm}$) following pesticide application. In contrast, soil moisture increased slightly (7.83–10.24% to 7.93–9.33%). The organic matter content (3.83–4.96% to 4.02–5.76%) and organic carbon content (1.94–2.88% to 2.33–3.34%) also showed variations, reflecting a change in the soil's physicochemical properties.

In durum wheat, the chlorophyll a, b, and total chlorophyll contents increased from 8.735–23.235 to 10.12–42.73 $\mu\text{g}/\text{g}$ DM, from 3.672–22,562 to 6.17–29.17 $\mu\text{g}/\text{g}$ DM, and from 12.407–45.797 to 16.85–71.90 $\mu\text{g}/\text{g}$ DM. Dry matter content also increased from 15–24% to 26–33%, reflecting improved physiological activity and plant biomass.

In conclusion, the application of pesticides improved photosynthetic activity and biomass in durum wheat, but also led to changes in the soil's physicochemical properties that may influence its long-term fertility.

Keywords: Pesticides; Soil fertility; Durum wheat (*Triticum durum*); Chlorophyll; Physicochemical parameters.

ملخص

تعد التربة مورداً أساسياً للإنتاج الزراعي. ومع ذلك، فإن الاستخدام المكثف للمبيدات الحشرية في الزراعة قد يغير خصائصها الفيزيائية والكيميائية، مما يؤثر على خصوبة التربة. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم التأثير المشترك للمبيدات الحشرية على خصوبة التربة وعلى بعض المعلمات الفسيولوجية للقمح القاسي (*Triticum durum*) في منطقة زيريزر (الطرف، الجزائر). وتستند المنهجية إلى أخذ عينات عشوائية من التربة وإجراء تحليلات فيزيائية-كيميائية وبيوكيميائية قبل وبعد استخدام المبيدات لتقييم آثارها على نظام التربة-النبات.

وأظهرت التحليلات انخفاضاً في درجة الحموضة (pH) للماء (من 8,48-8,66 إلى 8,01-8,29) وفي الموصلية الكهربائية (من 215-266 إلى 160-195 $\mu\text{S/cm}$) بعد استخدام المبيدات. في المقابل، ارتفعت رطوبة التربة بشكل طفيف (من 7,83-10,24 % إلى 7,93-9,33 %). كما أظهرت مستويات المادة العضوية (3,83-4,96 % إلى 4,02-5,76 %) والكربون العضوي (1,94-2,88 % إلى 2,33-3,34 %) تباينات، مما يعكس تغيراً في الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة.

أما بالنسبة للقمح القاسي، فقد ارتفعت مستويات الكلوروفيل أ، ب، والإجمالي على التوالي من 8,735-23,235 إلى 10,12-42,73 ميكروغرام/غرام من المادة الجافة، ومن 3,672-22,562 إلى 6,17-29,17 ميكروغرام/غرام من المادة الجافة، ومن 12,407-45,797 إلى 16,85-71,90 ميكروغرام/غرام من المادة الجافة. كما ارتفعت نسبة المادة الجافة من 15-24 % إلى 26-33 %، مما يعكس تحسناً في النشاط الفسيولوجي والكتلة الحيوية النباتية.

وختاماً، أدى استخدام المبيدات الحشرية إلى تحسين نشاط التمثيل الضوئي والكتلة الحيوية للقمح القاسي، ولكنه تسبب أيضاً في تغيرات في الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة، مما قد يؤثر على خصوبتها على المدى الطويل.

الكلمات المفتاحية: المبيدات الحشرية؛ خصوبة التربة؛ القمح القاسي (*Triticum durum*)؛ الكلوروفيل؛ المعلمات الفيزيائية والكيميائية.

Table des Matières

	Pages
Remercîment	
Dédicace	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Résumé	
Table des matières	
Introduction	01
Chapitre I : Généralité sur le sol	
1. Définition	05
2. Les différentes phases du sol	05
3. Formation des sols	06
3.1. Fraction minérale	06
3.2. Fraction organique	07
3.3. Les facteurs introduisant à formation du sol	07
4. Propriétés du sol	09
4.1. Les propriétés physiques du sol	09
4.2. Les propriétés physico-chimiques du sol	09
5. Le blé dur	11
5.1. Description générale	11
5.2. Origine du blé	11
5.3. Le blé en Algérie	13
5.4. Exigences pédoclimatiques	14
5.4.1. Sol	14
5.4.2. Lumière	14

5.4.3. Température	14
5.4.4. Eau	14
5.5. Exigence en élément minéraux.	15
5.5.1. L'azote	15
5.5.2. Le phosphore	15
5.5.3. Le potassium	16
Chapitre II : Les Pesticides	
Introduction	17
1. Définition	17
2. Types de pesticides	18
2.1. Les insecticides	18
2.2. Les herbicides	18
2.3. Les fongicides	18
3. Classification des pesticides	18
3.1. La nature chimique	18
3.2. Les activités biologiques	19
3.3. L'utilisation	19
3.4. Epoque d'application	19
4. Devenir des pesticides dans l'environnement	20
4.1. La rétention	20
4.2. La dégradation	21
4.3. La dissipation	22
4.4. L'accumulation	23
4.5. La mobilité	23

4.6. Immobilisation / adsorption	24
5. La toxicité des pesticides	24
6. Utilisation des pesticides	25
6.1. Usage en agriculture	25
6.2. Usage pour la santé publique.	26
Chapitre III : Matériels et Méthodes	
1. Présentation de la station d'étude	27
2. Méthode d'échantillonnage du sol	28
2.1. Technique d'échantillonnage aléatoire simple du sol	28
2.2. Choix de la station	29
2.3. Conditionnement et identification	30
2.4. Conservation et transport.	31
2.5. La préparation des échantillons du sol.	31
3. Le matériel végétal.	31
3.1. Irrigation. Type d'irrigation	33
3.2. Semis	33
3.3. L'ajout de pesticides	33
3.4. Date des prélèvements	33
4. L'analyse des paramètres biochimiques	34
4.1. Dosage de la chlorophylle	34
4.2. La matière sèche	35
5. Analyses de laboratoire.	35
5.1. Analyses physico-chimiques.	35
5.1.1. pH du sol	35

5.1.2. Mesure de la conductivité électrique	36
5.1.3. Humidité	37
5.1.4. Matière organique	38
5.1.5. Détermination du carbone organique	39
6. Les pesticides utilisés	39
6.1. Description d'Ortiva	39
6.2. Description du Zoom	41
6.3. Description du Topik	44
Résultats et Interprétations	
1. Les Analyses physico-chimique du Sol	48
1.1. pH d'eau	48
1.2. pH KCL	49
1.3. Conductivité électrique	50
1.4. Humidité	51
1.5. Matière organique	52
1.6. Taux de matière organique Carbonée	53
2. L'analyse des paramètres biochimiques A partir des feuilles de blé dur	54
2.1. La chlorophylle Avant l'utilisation des pesticides	54
2.2. La chlorophylle Après l'utilisation des pesticides	55
2.3. La matière sèche	57
Discussion	59
Conclusion	62
Références Bibliographiques	

Introduction

Introduction

Le sol constitue une composante essentielle de la biosphère et une ressource stratégique pour les sociétés humaines, car il soutient la production alimentaire, régule les cycles biogéochimiques et participe au fonctionnement global des écosystèmes terrestres. Très tôt, la pédologie a établi que le sol résulte d'une construction progressive gouvernée par plusieurs facteurs (climat, organismes vivants, roche mère, relief et temps), faisant du sol un "corps naturel" en évolution permanente (**Jenny, 1941**).

Cette vision fondatrice reste actuelle : les sols ne sont pas des milieux inertes, mais des systèmes dynamiques où la matière minérale, la matière organique, l'eau, l'air et le vivant interagissent. Dans ce cadre, la biodiversité du sol microbes, champignons, microfaune et macrofaune représente un moteur central des fonctions écosystémiques, en particulier la décomposition de la matière organique, la structuration des agrégats et la disponibilité des nutriments (**van der Heijden *et al.*, 2008**). Ainsi, comprendre le sol implique de considérer simultanément ses propriétés physiques, chimiques et biologiques, ainsi que leur interconnexion.

Dans les terrains agricoles, le sol est la base matérielle et fonctionnelle de l'activité agricole, car il conditionne l'enracinement des plantes, la circulation de l'eau et la mise à disposition des éléments nutritifs. L'agriculture moderne, en cherchant à stabiliser et augmenter les rendements, a intensifié l'usage de la mécanisation, des engrais et des produits phytosanitaires, ce qui a parfois conduit à une dégradation progressive de certains sols (**Lal, 2015**). Les pressions sur les terres cultivées se traduisent notamment par des pertes de matière organique, un tassement, des déséquilibres physico-chimiques et des perturbations biologiques. À l'échelle internationale, les organisations scientifiques et techniques insistent aujourd'hui sur la nécessité d'évaluer la "santé des sols" à partir d'indicateurs intégrés, précisément parce que l'agriculture dépend de la capacité du sol à maintenir ses fonctions dans le temps (**FAO, n.d.-a; FAO, 2018**). Cette approche est particulièrement pertinente dans un contexte où la durabilité agricole est fortement liée à la conservation de la qualité des sols et à leur résilience.

La notion de fertilité du sol se situe au cœur de cette problématique. La fertilité ne se limite pas à la présence d'éléments nutritifs (N, P, K) : elle englobe la capacité du sol à fournir durablement un environnement favorable à la croissance, ce qui implique une structure stable, une bonne porosité, une réserve en eau adéquate, un pH compatible avec la nutrition minérale et, surtout, une activité biologique suffisante pour recycler les nutriments (**Bender *et al.*, 2016**;

INTRODUCTION

Kibblewhite *et al.*, 2008). Les microorganismes du sol et leurs enzymes assurent une part majeure des transformations nécessaires à la nutrition des plantes, notamment la minéralisation de la matière organique et les processus liés à l'azote. Dans ce sens, la fertilité biologique est aujourd'hui considérée comme un pivot de la fertilité globale, car elle conditionne l'efficacité des cycles du carbone et des nutriments, et donc la productivité agricole (**van der Heijden *et al.*, 2008**).

Dans les pratiques agricoles contemporaines, l'application de pesticides (herbicides, insecticides, fongicides) s'est imposée comme un levier majeur pour réduire les pertes liées aux ravageurs, aux maladies et aux adventices. Cependant, ces substances ne restent pas confinées à la cible biologique visée : elles atteignent le sol par dépôt, ruissellement, infiltration, ou encore via le traitement des semences. De ce fait, le sol devient un compartiment d'accumulation, de transformation et parfois de persistance des résidus. Les synthèses institutionnelles soulignent depuis plusieurs années que les produits phytosanitaires peuvent affecter des fonctions du sol et des organismes non ciblés, ce qui a conduit à renforcer l'intérêt scientifique pour l'évaluation de leurs impacts sur les écosystèmes édaphiques (**FAO & ITPS, 2017**). La question est d'autant plus importante que les sols agricoles sont des milieux "exposés" de manière répétée, au fil des campagnes culturales, ce qui favorise une exposition chronique des communautés biologiques du sol.

Un point déterminant, souvent sous-estimé dans les approches classiques, est que les sols agricoles ne contiennent pas un pesticide isolé, mais des mélanges (effets combinés). Une étude de référence sur les sols agricoles européens a montré que les résidus de pesticides sont très fréquents et que les mélanges constituent une situation courante, avec une proportion importante d'échantillons contenant deux résidus ou plus, formant de très nombreuses combinaisons différentes (**Silva *et al.*, 2019**). Cette réalité de terrain modifie profondément la manière d'aborder les risques : l'écotoxicologie fondée sur l'étude d'une seule molécule à la fois ne reflète pas toujours les expositions réelles en parcelles agricoles. Les interactions entre substances (effets additifs, antagonistes ou synergiques) peuvent amplifier ou modifier les impacts sur les processus du sol, rendant nécessaire une approche plus intégrée, proche des conditions agronomiques réelles.

Les données expérimentales récentes confirment que l'exposition à des mélanges de pesticides peut affecter des processus clés directement liés à la fertilité. Par exemple, des travaux expérimentaux ont étudié l'application simultanée d'un ensemble de pesticides fréquemment

INTRODUCTION

retrouvés dans les sols agricoles et ont observé des diminutions de processus tels que la décomposition de la litière organique, ainsi que des modifications d'indicateurs liés à la structure du sol, ce qui relie clairement la question des mélanges à la fertilité physique et fonctionnelle (Uhl *et al.*, 2024). Parallèlement, les travaux de synthèse par méta-analyse confirment que les pesticides influencent de manière mesurable plusieurs paramètres de “santé du sol”, en particulier des indicateurs microbiens associés aux processus de nitrification et aux cycles de l'azote, avec des effets marqués pour certains groupes de pesticides (Swaine *et al.*, 2025). Ces résultats consolident l'idée que la fertilité biologique peut être un point de fragilité majeur face aux intrants chimiques, et que l'évaluation du risque doit inclure des indicateurs fonctionnels sensibles.

À l'échelle des terrains agricoles, les conséquences potentielles sont multiples. D'un côté, une altération de la vie du sol peut réduire l'efficacité du recyclage des nutriments, diminuer la stabilité structurale, et accroître la dépendance aux engrais minéraux pour maintenir les rendements, ce qui contribue à une trajectoire d'intensification peu durable (Lal, 2015). De l'autre, la dégradation progressive de la qualité biologique et fonctionnelle du sol peut réduire la résilience des systèmes agricoles face aux stress climatiques (sécheresses, épisodes extrêmes), puisque des sols biologiquement actifs et structurés retiennent mieux l'eau et tamponnent davantage les variations (FAO, n.d.-a). Ainsi, la problématique des effets combinés des pesticides sur la fertilité du sol se situe au carrefour de l'agronomie, de l'écotoxicologie et de la durabilité : elle interroge la capacité des agroécosystèmes à préserver leurs fonctions productives tout en limitant les impacts sur le vivant du sol.

Dans ce contexte, ce mémoire s'inscrit dans une démarche visant à analyser comment l'exposition simultanée à plusieurs pesticides peut influencer les composantes de la fertilité (physique, chimique et surtout biologique) dans les sols agricoles. Une compréhension fine des mécanismes notamment via la réponse des communautés microbiennes, des processus enzymatiques et des indicateurs fonctionnels liés aux cycles du carbone et de l'azote constitue un préalable pour améliorer l'évaluation des risques, ajuster les pratiques phytosanitaires et appuyer des stratégies de gestion intégrée plus respectueuses de la santé des sols (FAO & ITPS, 2017. Swaine *et al.*, 2025).

Les sols agricoles constituent la base de la production alimentaire et jouent un rôle essentiel dans le maintien des équilibres écologiques. La fertilité du sol dépend de ses propriétés

INTRODUCTION

physiques, chimiques et biologiques, notamment de l'activité des microorganismes impliqués dans les cycles des nutriments.

Cependant, l'intensification agricole s'accompagne d'une utilisation croissante de pesticides. Dans les conditions réelles des terrains agricoles, les sols sont souvent exposés non pas à une seule molécule, mais à des mélanges de plusieurs pesticides appliqués au cours des saisons culturales. Cette exposition combinée peut entraîner des effets additifs ou synergiques susceptibles d'altérer la biodiversité du sol et ses fonctions écologiques.

Ainsi, une question centrale se pose :

Dans quelle mesure l'exposition combinée à plusieurs pesticides influence-t-elle les différentes composantes de la fertilité des sols agricoles (physique, chimique et biologique), et quels en sont les mécanismes sous-jacents ?

Cette problématique s'inscrit dans un contexte de transition vers une agriculture durable, où la préservation de la santé des sols devient un enjeu stratégique pour garantir la productivité à long terme et la sécurité alimentaire.

Chapitre I

Généralité sur le Sol

Chapitre I : Généralité sur le sol

1. Définition

Le sol qui est la couche superficielle de la croûte terrestre où tous ces éléments interagissent entre eux (Paul, 2014).

Le sol est un écosystème complexe et dynamique contenant plus de 80% de la biomasse vivante de la terre. C'est l'habitat naturel des animaux, des végétaux et de milliers de microorganismes. Ces derniers contribuent majoritairement à la fertilisation des sols et le transfert de l'énergie (Osman, 2013).

L'écosystème tellurique assure plusieurs fonctions, il fournit une source de nutriments naturels pour les organismes vivants, il représente une réserve génétique extraordinaire, il assure la régulation et le stockage des eaux grâce à sa porosité et il contribue à de nombreux cycles biogéochimiques (Aiman *et al.*, 2016; Rocco *et al.*, 2016; Vodyanitskii, 2016).

2. Les différentes phases du sol

Le sol est un milieu hétérogène, variable dans ses constituants physiques, chimiques et biologiques. Il est composé de trois phases (Figure 01) :

La phase solide : composée d'éléments minéraux et organiques inertes, mais aussi d'êtres vivants.

La phase liquide ou solution de sol : est une solution généralement peu concentrée contenant des ions inorganiques ainsi que des molécules organiques non ionisées.

La phase gazeuse ou atmosphère du sol : a une composition voisine de celle de l'air mais la teneur en dioxygène (O₂) tend à diminuer en profondeur et celle en dioxyde de carbone (CO₂) à augmenter (Calvet, 2005).



Figure n° 01. Partie superficielle d'un sol (Jeffery *et al.*, 2013)

3. Formation des sols

3.1. Fraction minérale

La fraction minérale du sol provient de l'altération physique et chimique de la roche mère. Elle est constituée de particules de tailles variées, classées en sables, limons et argiles selon leur granulométrie.

Les sables, caractérisés par une granulométrie grossière, favorisent la perméabilité et l'aération du sol, mais présentent une faible capacité de rétention en eau et en éléments nutritifs. Les limons possèdent des propriétés intermédiaires, tandis que les argiles, très fines et dotées d'une grande surface spécifique, jouent un rôle majeur dans la rétention de l'eau et des nutriments, ainsi que dans les phénomènes d'échange cationique (Lal et Shukla, 2004 ; Hillel, 2004).

Sur le plan minéralogique, la fraction minérale comprend des minéraux primaires, hérités de la roche mère (quartz, feldspaths), et des minéraux secondaires formés par altération, tels que les argiles et les oxydes de fer et d'aluminium. Ces derniers contribuent fortement à la fertilité chimique du sol et à sa capacité d'échange (Brady et Weil, 2016 ; Wild, 1993).

3.2. Fraction organique

La fraction organique du sol est constituée de résidus végétaux et animaux à différents stades de décomposition, ainsi que de substances humiques stabilisées.

Elle provient principalement de la litière végétale, transformée sous l'action des micro-organismes et de la faune du sol. Ce processus de décomposition conduit à la formation de l'humus, élément essentiel pour la structure et la fertilité du sol. La matière organique améliore la stabilité structurale, augmente la capacité de rétention en eau et favorise la disponibilité des éléments nutritifs (**Bot et Benites, 2005 ; Duchaufour, 2001**).

En outre, la matière organique joue un rôle clé dans les cycles biogéochimiques, notamment ceux du carbone et de l'azote, et constitue un indicateur important de la qualité des sols (**Hillel, 2004 ; White, 2006**).

3.3. Les facteurs introduisant à formation du sol

La formation du sol, ou pédogenèse, résulte de l'interaction dynamique entre plusieurs facteurs environnementaux agissant sur le matériau parental au cours du temps. Selon le modèle fondamental proposé par **Jenny (1941)**, le sol est une fonction de cinq facteurs principaux : le climat, les organismes, le relief, la roche mère et le temps.

➤ Le climat

Le climat constitue un facteur déterminant de la pédogenèse, en contrôlant à la fois les processus physiques, chimiques et biologiques.

La température influence la vitesse des réactions d'altération des minéraux ainsi que l'activité biologique, tandis que les précipitations régulent les flux d'eau dans le sol, notamment les phénomènes de lessivage et de lixiviation. Dans les régions humides, l'intensité du lessivage conduit à l'appauvrissement en bases échangeables, alors que dans les zones arides, l'évaporation favorise l'accumulation de sels solubles.

Ainsi, le climat conditionne fortement la différenciation des horizons pédologiques et la distribution des types de sols à l'échelle globale (**Brady et Weil, 2016**).

➤ Les organismes vivants

Les organismes vivants, incluant la végétation, les micro-organismes et la faune du sol, jouent un rôle essentiel dans la transformation du matériau parental.

La végétation contribue à l'apport de matière organique, qui est ensuite décomposée par les micro-organismes pour former l'humus. Cette matière organique influence la structure, la porosité et la fertilité du sol. Par ailleurs, la faune du sol, notamment les lombrics, participe à la bioturbation, favorisant le mélange des horizons et l'aération du sol.

L'intensité et la nature de l'activité biologique dépendent étroitement des conditions climatiques et du type de couverture végétale (**Duchaufour, 2001**).

➤ **La roche mère (matériau parental)**

Le matériau parental constitue la base minérale du sol et influence directement ses propriétés physiques et chimiques initiales.

Sa composition minéralogique détermine la nature des produits d'altération, tandis que sa texture conditionne la granulométrie du sol (argile, limon, sable). Par exemple, les roches calcaires donnent naissance à des sols riches en carbonates, alors que les roches siliceuses produisent généralement des sols acides.

Cependant, avec le temps, l'influence du matériau parental tend à diminuer au profit des autres facteurs pédogénétiques (**Bohn et al., 2001**).

➤ **Le relief**

Le relief intervient dans la pédogenèse en modifiant les conditions de drainage, d'érosion et d'exposition.

Les zones en pente sont généralement soumises à une érosion intense, ce qui limite l'épaisseur du sol et ralentit son développement. À l'inverse, les zones de dépression ou de bas de versant favorisent l'accumulation de matériaux et d'eau, conduisant à la formation de sols plus profonds et souvent hydromorphes. De plus, l'exposition au soleil influence la température et l'humidité du sol, affectant ainsi les processus pédogénétiques (**Brady & Weil, 2016**).

➤ **Le temps**

Le temps est un facteur indispensable à la formation et à l'évolution des sols. La pédogenèse est un processus lent, nécessitant parfois plusieurs milliers d'années.

Au cours du temps, les horizons pédologiques se différencient progressivement sous l'effet des processus d'altération, de translocation et d'accumulation. Les sols jeunes présentent une

structure peu développée, tandis que les sols anciens montrent une organisation en horizons bien distincts.

La durée d'action des autres facteurs conditionne donc le degré d'évolution du sol (**Jenny, 1941**).

4. Propriétés du sol

4.1. Les propriétés physiques du sol

➤ Structure

C'est le mode d'arrangement spatial des constituants solides (minéraux et organique). Selon la présence ou l'absence des agrégats, différents types de structures sont distinguées : structure élémentaire, fragmentaire et compacte (**Chaufour et al.,2018**).

➤ Texture

La texture du sol est la base de toutes les autres propriétés. C'est la propriété qui traduit, de manière globale, la composition granulométrique de la terre fine (**Gobat et al.,2010**)

➤ Porosité

Elle peut être définie par l'ensemble des vides que comporte un horizon. La porosité d'un sol est une grandeur physique qui exprime le rapport entre le volume occupé par les pores et son volume total (**Mathieu et Pieltain,1998**).

➤ Perméabilité.

La perméabilité est l'aptitude du sol à laisser passer l'eau vers les couches inférieures. Elle dépend de la texture et de la structure (**Koller,2004**)

4.2. Les propriétés physico-chimiques du sol

➤ pH du sol

Il est défini comme le logarithme de la concentration d'une solution en ions. Il permet d'approfondir les modalités d'interaction entre les ions et les surfaces absorbantes du sol (**Nemar, 2015**).

➤ **Humidité du sol**

L'humidité du sol est définie comme étant l'eau évaporable contenue dans la portion du sol se trouvant au-dessus de la nappe libre. Elle est un paramètre prépondérant dans les échanges d'énergie à l'interface surface-atmosphérique. L'évaporation, l'infiltration, le ruissellement de surface et la quantité d'eau absorbée par la végétation sont très dépendantes de l'humidité du sol. Il s'agit donc d'un paramètre clé du cycle hydrologique (**Thanh, 2002**).

➤ **Matière organique du sol**

La matière organique se présente dans le sol, pour une part, sous forme de résidus végétaux ou animaux plus ou moins reconnaissables, et, pour le reste, sous forme de substances adhérentes à la fraction minérale (**Henin et al., 1969**).

➤ **Calcaire total du sol**

Les sols calcaires sont ceux qui contiennent du carbonate de calcium (avec éventuellement d'autres carbonates) dans la terre fine, et même dans la fraction grossière. Le carbonate de calcium peut se trouver dans le sol à l'état de fragment de dimension quelconque, depuis les blocs et les graviers jusqu'à la taille des colloïdes argileux (**Clément et al., 2003**).

➤ **Conductivité électrique**

C'est la quantité totale en sels solubles correspondant à la salinité globale du sol. Elle dépend de la teneur et de la nature des sels solubles présents dans ce sol (**Koller, 2004**).

➤ **Le pouvoir absorbant**

Capacité à fixer des ions et à rendre ainsi plus aisé le passage de ces ions de l'humus aux racines des plantes, notamment par la création de complexes argilo-humiques, aussi appelés complexes absorbants, qui fixent des ions positifs apportés par les engrais. Leur présence dans le sol est un facteur essentiel de sa fertilité (**Boudelaa, 2010**).

5. Le blé dur

5.1. Description générale

Le blé dur est exclusivement destiné à l'alimentation humaine. C'est la céréale de base de l'Afrique du Nord et du proche et moyen Orient. Les céréales présentent l'avantage important de constituer des provisions pouvant se conserver sous formes de grains de grande valeur nutritionnelle et constituées par des substances amylacées d'environ 10% de protéines. Elle est de transformation aisée et variée par cuisson (**Oussinault,1993 In Morsli.,2010**). Le grain du blé dur sert à la production de pâtes alimentaires, de divers gâteaux (**Troccoli et al., 2000**). Il est utilisé pour faire les chappattis dans les sous. Continent mdien et tortillas en Amérique Central et du Sud (**Pena et Pfeiffer, 2005**). La paille est utilisée comme litière et comme aliment pour les animaux (**Abbas et Abdelguerfi,2005**) . Le blé dur (*Triticum durum* desf) est une plante annuelle de la classe de Monocotylédones de la famille des graminées, de la tribu des triticées et du genre Triticum (**Feillet.,2000**). En termes de production commerciale et d'alimentation humaine, cette espèce et la deuxième plus importante du genre Triticum après le blé tendre, leur famille comprend 600 genres et plus de 5000 espèces (**Feillet.,2000**)

5.2. Origine du blé.

➤ Origine géographique du blé dur

La domestication du blé dur a eu lieu dans le croissant fertile (**Dubcovsky et Dvorak, 2007**). Selon (**Lev-Yadun et al., 2000**), le creuset de la céréaliculture se situerait dans une zone localisée autour de l'amont du Tigre et de l'Euphrate, dans les territoires de la Syrie et de la Turquie. Les blés sauvages tétraploïdes sont largement répandus au Proche-Orient (**Bozzini, 1988**). Comparativement aux blés diploïdes, leurs grands épis et leurs gros grains, les rendaient beaucoup plus intéressants pour la domestication (**Feldman, 2001**).

➤ Origine génétique du blé dur

La domestication et la culture des différentes espèces de blé (*Triticum* et *Aegilops*) a été un élément fondateur des premières civilisations humaines dans le croissant fertile. Ces différentes espèces de blé ont subi des transformations au fil du temps, les faisant passer de l'état de graminées sauvages à des espèces cultivées. Les différents blés ont été générés par des événements successifs de polyploïdisation intervenant après des croisements interspécifiques entre des espèces ancestrales diploïdes. Le premier événement, impliquant *Triticum*

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE SOL

monococcum et *Aegilops speltoides*, a conduit à l'apparition du blé dur tétraploïde, *Triticum turgidum*. Le deuxième événement de polyploïdisation a eu lieu entre le blé dur tétraploïde et *Aegilops tauschii*, donnant naissance au blé tendre, *Triticum aestivum*, de structure chromosomique hexaploïde (Chantret *et al.*, 2005). Le génome A provient de *Triticum monococcum*, alors que le donateur du génome B est l'*Aegilops speltoides* (Dvorak, 1998 ; Gitte *et al.*, 2006). *Triticum durum* a une garniture chromosomique AB (McKey, 1968), c'est une espèce allotétraploïde ($AABB = 2n=4x=28$, Figure 3). Comme telle, chaque paire de chromosomes du génome A a une paire de chromosomes homéologues du B, à laquelle elle est étroitement apparentée (Wall *et al.*, 1971).

L'aire de distribution de cette espèce est le sud-ouest de l'Asie et les Balkans. Sa domestication, suite aux découvertes archéologiques, remonterait au VII^e millénaire avant JC. Il était cultivé comme mélange avec l'orge et l'en grain dans l'ancienne Egypte. (Mekhlouf, 2009).

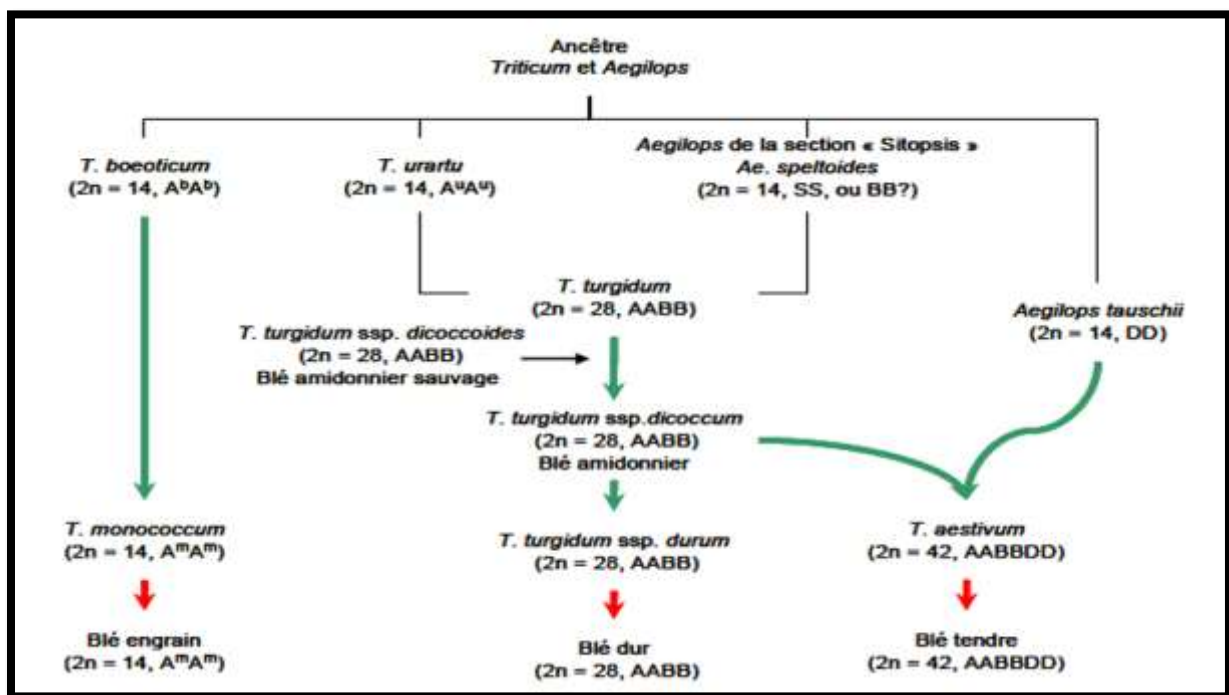


Figure n°02. Représentation schématique de l'histoire évolutive des espèces de *Triticum* et *Aegilops* (Feuillet *et al.*, 2008).

5.3. Le blé en Algérie

La superficie totale de l'Algérie est de 238 millions d'hectares dont 191 millions sont occupés par le Sahara. La superficie agricole totale représente 3% du total. La surface agricole utile est de 7,14 millions d'hectares, dont près de la moitié est laissée en jachère chaque campagne. Les cultures herbacées couvrent 3,8 millions d'hectares, la céréaliculture constitue la principale activité, notamment dans les zones arides et semi-arides. Les terres annuellement emblavées représentent 3,6 millions d'hectares, soit 50.42 des terres labourées (Cadi, 2005).

Le blé dur est une ancienne culture dont l'origine remonte à la venue des arabes (Laumont et Erroux, 1961). Cette spéculation se partageait avec l'orge, l'essentiel des emblavements ; alors que le blé tendre d'origine coloniale connut un certain développement après l'indépendance (Tableau 1). La superficie occupée par le blé dur est de 1 457 913 hectares (ha), en moyenne pour la période 1996/97- 2003/2004 ; alors que celle du blé tendre est de 816 216 ha (Tableau 1). L'importance des superficies occupées par ces deux espèces, comparativement à la superficie occupée par l'orge, est influencée par le prix à la production garanti par l'état. Ces prix sont de 4800, 3800 et 2800 DA respectivement pour le blé dur, le blé tendre et l'orge.

Tableau n° 01. Superficies (S) nationales emblavées en blés dur et tendre (MADR, 2005).

	S (ha)	S (ha)
Campagne	BD	BT
1997	1510940	734420
1998	1714720	874210
1999	1487960	791140
2000	1485830	860170
2001	1419040	834760
2002	1350740	813770
2003	1321580	812510
2004	1372495	808750
Moyenne	1457913	816216

5.4. Exigences pédoclimatiques

5.4.1. Sol

Pour bien réussir, le blé exige du sol certaines conditions bien précises. Il réussit très bien dans les sols fertiles, de bonne constitution et d'une réaction (pH) neutre. Afin que les racines puissent se développer convenablement et utiliser la fertilité du sol, celui ci doit être bien ameubli et profond. D'après **Grancourt & Prats (1971)**, les textures idéales sont : Limoneuses, argilo-siliceuse et argilo-calcaire, riche en éléments fertilisants et sable, à pH approchant de la neutralité. **Selon Soltner (2000)**, trois caractéristiques font la bonne «terre à blé» :

- une texture fine: limono argileuse, qui assurera aux racines fasciculées du blé une grande surface de contact, et permettra une bonne nutrition ;
- une structure stable, qui résiste à la dégradation par les pluies d'hiver ;
- une bonne profondeur, et une richesse suffisante en colloïdes afin d'assurer la bonne nutrition nécessaire aux grands rendements.

5.4.2. Lumière

Comme pour les autres facteurs, le blé a des exigences déterminées en lumière. L'insuffisance de lumière entraîne l'étiollement des feuilles, l'affaiblissement des tiges et enfin la verse. C'est surtout la densité du semis qui est en rapport direct avec l'intensité de lumière nécessaire et la possibilité de verse. Un peuplement très dense diminue l'éclairement et provoque la verse.

5.4.3. Température

La température conditionne à tout moment la physiologie de blé selon le zéro de végétation et de germination : la température à partir de laquelle un blé germe et pousse, est de 0°C. Cependant l'optimum se situe entre 20 et 22°C entre ces deux extrêmes, une température élevée sera favorable au développement et à la croissance (**Simon et al., 1989**). Selon Simon *et al.*, (1989), une température élevée est favorable au développement et à la croissance, cependant, Baldy (1983) ajoute que les fortes températures provoquent une levée trop rapide et parfois un déséquilibre entre la partie aérienne et la partie souterraine.

5.4.4. Eau

L'eau constitue le véhicule des éléments nutritifs avec lequel s'effectuent les différentes réactions métaboliques, ce qui le rend par conséquent indispensable pour le développement et

la croissance de la plante (Soltner, 1990). On exprime souvent le besoin en eau par la quantité d'eau utilisée par la plante pour fabriquer une unité (un kilogramme, par exemple) de matière sèche. Le blé des besoins en eau de l'ordre de 500 à 550 kg d'eau pour un kilogramme de matière sèche (un kilogramme d'eau représente sur 1 m² une hauteur de 1mm) (Boyeldieu, 1997).

5.5. Exigence en élément minéraux

il faut répondre aux besoins de la culture en fonction du moment de la saison où sont rencontrés ces besoins (Brulsema *et al.*, 2016).

5.5.1. L'azote

L'azote est un élément nutritif indispensable pour la croissance et le développement du blé. C'est le pivot de la production de biomasse, du rendement et de la qualité des produits récoltés. C'est l'élément essentiel de la synthèse protéique par la formation du radical Amine (NH₂) indispensable aux liaisons peptidiques (Mazliak, 1998). Son apport dépend de la fertilité initiale du sol (Bouaziz et Soudi, 1997). À ce propos, la libération de l'azote à partir de la matière organique pourrait être évaluée par des méthodes biologiques ou chimiques basées sur l'incubation ou l'hydrolyse des échantillons du sol (Keeney, 1982). La mesure de l'azote nitrique initial a pour but d'estimer les doses optimales à apporter dans les régions arides (Keeney, 1982 ; Archer, 1988 ; Badraoui *et al.*, 1992) pour éviter de polluer les nappes phréatiques par les nitrates (Bouaziz et Soudi, 1997). Pour de meilleurs rendements, l'apport doit être fourni au fur et à mesure de ses besoins. Généralement son apport est fractionné en deux apports : au stade début tallage et au stade début montaison (Mossaddaq, 1990).

5.5.2. Le phosphore

Le phosphore est l'un des éléments fondamentaux parmi les trois éléments majeurs (N, P, K). Il participe à tous les stades de développement des végétaux en sa qualité de support énergétique (Duthil, 1973). Il joue un rôle important dans la formation et la maturation des grains, ainsi que la croissance des racines (Moughli, 2000) et il complète des activités métaboliques, en particulier la synthèse des protéines.

L'application d'engrais phosphatés est essentielle pour obtenir un rendement optimal des cultures lorsque les sols sont limités en phosphore (Shujie et Yunfa, 2011). D'après Storia *et al.* (2013), les apports de phosphore dépendent de la concentration de cet élément dans le sol et

des conditions environnementales qui affectent la quantité de phosphore disponible pour la plante. Dans un essai au champ, l'étude des effets de différentes doses d'engrais phosphaté sur le rendement de trois variétés de blé, réalisée par **Saha *et al.* (2014)** a montré que des apports allant de 60 à 120 kg de P₂O₅/ha augmentent significativement le rendement en grain et les prélèvements du phosphore par la culture du blé.

En fonction des conditions pédoclimatiques, et des besoins de la culture, c'est durant la phase tallage et floraison que l'absorption des principaux éléments est la plus importante. L'engrais doit donc être apporté lors du labour ou en début de cycle et au plus près des jeunes racines (**Nedjeh, 2015**).

5.5.3. Le potassium

Le blé dur est peu exigeant en potassium (**Lesouder, 2017**). Des études ont montré l'efficacité de l'apport potassique sur l'accroissement des rendements en grain et en biomasse et de la qualité des grains de blé dur ainsi qu'une meilleure résistance au stress thermique (**Aissa et Mhiri, 2002**).

Chapitre II

Les Pesticides

Introduction

Les pesticides, ou produits phytosanitaires, issus le plus souvent de la synthèse chimique possèdent des propriétés toxiques permettant de lutter contre les organismes nuisibles (**Anonyme 03**)

L'usage des pesticides a constitué une avancée importante dans la maîtrise des ravageurs, des maladies parasitaires et des mauvaises herbes en agriculture. Ces produits ont largement facilité les conditions de travail et de production des agriculteurs et ont permis une sécurisation incontestable de la production alimentaire.

Cependant l'usage de ces produits est aussi à l'origine de nuisances induites : pollutions des eaux, induction d'organismes résistants,

La contamination des eaux de surface et des eaux d'alimentation par des micropolluants organiques est un problème récurrent auquel doivent faire face les gestionnaires des réseaux d'eau. Cependant en absence de méthode de lutte alternative applicable rapidement à grande échelle, l'usage des pesticides en agriculture devrait perdurer encore pendant plusieurs décennies (**Anonyme 03**).

1. Définition

Le mot pesticide a été créé en anglais, c'est un mot qui se termine par le suffixe -cide (latin -cida, du verbe latin caedo, caedere, « tuer »), et sur la base du mot anglais pest (animal, insecte ou plante nuisible),

Le terme pesticide désigne les substances ou les préparations utilisées pour la prévention, le contrôle ou l'élimination d'organismes jugés indésirables, qu'il s'agisse de plantes, d'animaux, de champignons ou de bactéries. Donc il rassemble les insecticides, les fongicides, les herbicides, les parasiticides.

Les pesticides sont majoritairement utilisés en agriculture ; on parle alors de produits phytosanitaires ou phytopharmaceutiques.

CHAPITRE II : LES PESTICIDES

Les pesticides ne sont pas forcément des produits chimiques fabriqués par l'homme, car ils peuvent également être fabriqués à partir d'extraits de plantes (**Barberis, et al., 1994**).

2. Types de pesticides

Les pesticides regroupent plus de 900 matières actives qui rentrent dans la composition de 8800 spécialités commerciales. Ces substances sont classées selon leur mode d'action principal ce qui permet de définir plusieurs catégories (Tron, 2001) : les insecticides, les fongicides, les herbicides, les nématicides, les acaricides, les rodenticides, les molluscides, les algicides

Il existe plusieurs types de pesticides, mais les grands groupes de ces produits chimiques sont :

2.1. Les insecticides : sont des produits capables de provoquer la mort des insectes, parmi les insecticides on peut citer : les carbamates, les pyréthrines, les organophosphorés et les organochlorés.

2.2. Les herbicides : ce sont des produits chimiques complexes destinés au contrôle des mauvaises herbes et de végétation ligneuse. Les herbicides agissent sur une cible biochimique d'action, parfois plusieurs, la conséquence est généralement le blocage d'une fonction, avec des répercussions dommageables pour la cellule végétale.

2.3. Les fongicides : les fongicides sont des produits chimiques utilisés pour lutter contre les champignons et les moisissures. Ils sont le plus souvent de nature synthétique (**Anonyme, 2005**). Les fongicides ont plusieurs actions : action biochimique, action métabolique et action sur les liaisons vanderwals, hydrogènes, ioniques, covalentes (**Devillers, 2005**).

3. Classification des pesticides

Les pesticides peuvent être classés selon :

3.1. La nature chimique : On distingue des produits inorganiques, des produits organiques, des produits extraits des plantes, des produits de synthèse, des médiateurs chimiques et autres.

CHAPITRE II : LES PESTICIDES

3.2. Les activités biologiques : On parle des composés à action purement physique ou des produits à action physiologique ou biologique.

3.3. L'utilisation : Les pesticides peuvent être utilisés soit en traitement préventif (prophylactiques) soit en traitement curatif (thérapeutique) dont l'effet peut être local (topique) ou général (systématique).

3.4. Epoque d'application : Pesticides de post-semi ou de pré-semi, et de post ou prélevée (Anonyme 04).

Tableau n°02. Mode d'action des principales familles des pesticides d'après (Mestel, 1989).

Pesticides	Mode d'action
*Organophosphorés	*Agissent par contact et par ingestion sur le système nerveux des ravageurs.
*Arylacides	*Absorbés par le feuillage, puis véhiculés dans la sève des plantes à détruire (2,4D, dichlorprop...)
*Triazines	*Absorbées par la racine et bloquent la photosynthèse (atrazine
*Amides	*Inhibent la synthèse des lipides à longues chaînes (alachlore...)
*Ammonium quaternaires	*Ont une grande rapidité d'action : - le diquat et le paraquat agissent sur le processus de photosynthèse des végétaux et sont non-selectifs. - Le difenzoquat agit sur la croissance et est sélectif.
*Toluidines	*Bloquent la division cellulaire (trifluraline...).
*Amino-phosphates	

<p>*Dérivés de l'acide benzoïque</p> <p>*Aryloxyphenoxy propionates</p>	<p>*Herbicides de contact non sélectifs (glyphosate).</p> <p>*Agissent de façon systémique et sont de faible sélectivité.</p> <p>*ils inhibent la synthèse des lipides (diclofop methyl...).</p>
---------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

4. Devenir des pesticides dans l'environnement

Les pesticides ont été depuis près d'une cinquantaine d'années mis en évidence dans tous les compartiments environnementaux. Aussi bien, dans les eaux de rivières, les nappes phréatiques, l'air, les eaux de pluie, mais aussi dans les fruits, les légumes, les céréales et les produits d'origine animale (El Mrabet, 2008).

Le non-respect des bonnes pratiques agricoles peut entraîner la contamination des trois compartiments de la biosphère, à savoir : l'eau, le sol et l'air.

Ainsi, le cycle géochimique des pesticides est très complexe car ils peuvent être retrouvés à tous les niveaux (El Mrabet, 2008).

La diffusion des produits phytosanitaires dans l'environnement dépend des pratiques agricoles (quantités appliquées, travail du sol...), des propriétés physico-chimiques des pesticides (capacité d'absorption, durée de vie...), la nature du sol (texture, état hydrique...), des éléments du paysage (haies, bandes enherbées...), les conditions climatiques et hydrologiques (températures, intensité et durée des pluies...) (El Mrabet, 2008).

4.1. La rétention

Parmi les processus qui influent sur le devenir d'un produit phytosanitaire dans le sol, la rétention joue un rôle prépondérant. D'un point de vue agronomique, le contrôle de certaines espèces végétales par exemple, a souvent été mis en relation avec la capacité d'un sol à adsorber l'herbicide, car c'est la concentration en matière active de la solution du sol qui conditionne son

activité biocide. Une rétention trop intense entraîne une diminution de l'efficacité du traitement envers les organismes cibles et le seul remède possible est une augmentation des doses appliquées. Un autre désavantage est le risque de reliquats trop importants en fin de cycle végétatif de la culture traitée et donc de phytotoxicité pour la culture suivante éventuellement sensible. Par contre, les quantités du pesticide retenu présentent l'avantage, par désorption progressive, de prolonger l'activité biocide et le contrôle de la cible **(Regnault-Roger, 2005)**.

D'un point de vue environnemental, la rétention peut être considérée comme globalement avantageuse. En réduisant la concentration du pesticide dans la solution du sol, elle limite le potentiel de la mobilité de la matière active vers l'atmosphère, les eaux de surface (ruissellement) et les eaux profondes (lessivage). D'autre part, elle peut favoriser la dégradation abiotique par l'intervention de certains sites d'adsorption catalytique. Mais une rétention trop forte freine la dégradation biologique, car elle diminue la disponibilité des résidus pour les micro-organismes **(Regnault-Roger, 2005)**.

Quoi qu'il en soit, suite à la rétention, la phase solide du sol constitue un réservoir de résidus qui seront progressivement libérés dans la solution du sol. Ainsi les conséquences de la désorption sur le milieu naturel sont contraires à celles résultant de la rétention, avec éventuellement pour résultat possible un effet sur les organismes non-ciblés **(Regnault-Roger, 2005)**.

4.2. La dégradation

La dissipation des produits phytosanitaires apportés lors d'un traitement peut avoir plusieurs origines : absorption par les plantes, volatilisation, ruissellement, lessivage, stabilisation, toute fois seule la dégradation constitue le processus qui conduit à la disparition réelle de la matière active, soit par transformation partielle, soit par transformation totale de la molécule d'origine en composés minéraux **.(Barriuso,2003)**.

Indépendamment du type de mécanisme mis en jeu, l'intensité de ce phénomène présente un intérêt à la fois agronomique et environnemental. En agronomie, la dégradation constitue un processus qui définit en partie la persistance du produit et donc sa durée d'action biocide ou de contrôle des cibles visées. Du point de vue environnemental, la dégradation doit être considérée en prenant en compte les voies métaboliques. Lorsqu'elle est rapide et totale (minéralisation), elle

contribue à la réduction du risque de dispersion de la matière active ou de ses métabolites. Lorsqu'elle est partielle et/ ou lente, on peut aboutir à une diversification des produits de transformation et de la pollution du milieu (**Barriuso,2003**)

4.3. La dissipation

La dissipation des produits phytosanitaires débute à priori, dès leur application au sol. Deux processus fondamentaux, la dégradation et la dispersion vont contribuer à la disparition du pesticide et définir sa persistance au point d'application.

La dégradation assure, comme nous l'avons vu, la transformation de la molécule initiale d'une manière plus ou moins prononcée, tandis que la dispersion va entraîner le produit et éventuellement ses dérivés hors du point d'application ou du volume du sol dans lequel il est recherché (**Regnault-Roger, 2005**).

Toutefois, la dynamique de dissipation d'un produit en un point donné est généralement évaluée de manière indirecte, par le dosage des résidus extraits du sol au cours du temps qui suit l'application. Ainsi apparaît un autre processus susceptible d'affecter la notation de dissipation : la formation de résidus non extractible, qui diminue la disponibilité à l'extraction.

L'appréciation de la dissipation par la mesure de la persistance ou de la demi-vie de dissipation, revêt le plus grand intérêt tant du point de vue agronomique qu'environnemental (durée de l'activité biocide, quantité de produit disponible à la dispersion). Elle ne constitue cependant qu'une valeur très approximative et surtout variable en fonction de la méthodologie analytique mise en œuvre et des conditions de milieu rencontrées. De plus, la mesure de la persistance ne renseigne en rien sur la dynamique et l'intensité de chacun des processus ayant contribué à la dissipation du produit (**Regnault-Roger, 2005**).

4.4. L'accumulation

Par le jeu des chaînes alimentaires, les produits rémanents peuvent être accumulés le long de ces chaînes, et ils se trouvent à des concentrations de plus en plus importantes selon les niveaux de la chaîne.

On les retrouvera dans les corps gras (cas des produits liposolubles) de l'animal ou dans les tissus végétaux où ils peuvent séjourner pendant une longue période dans un environnement stable (**Cadrot, 1999**).

Ce phénomène a été observé en de nombreuses occasions dans les milieux aquatiques, pour des produits tels que DDT, DDD, Dieldrine... etc. Les insecticides organochlorés, famille chimiquement hétérogène, ont été les produits les plus utilisés après la seconde guerre mondiale, les membres de ce groupe où figurent l'aldine et le toxaphène, présentent généralement une très grande stabilité chimique et leur accumulation progressive dans l'environnement a entraîné leur interdiction dans la plupart des pays (**Albin, 1999**).

4.5. La mobilité

La mobilité d'un pesticide dans l'eau est un signe de solubilité, elle correspond aux facteurs de sorption du pesticide ou au coefficient de ralentissement. Lorsqu'un pesticide s'introduit dans le sol, une partie adhère aux particules de sol (notamment aux particules de la matière organique) selon un processus appelé sorption, et une partie se dissout et se mélange avec l'eau.

Les composés organiques qui se dissolvent dans les eaux souterraines se déplacent plus lentement que celle-ci en raison du phénomène de sorption vers les particules du sol. Solubilité et plus sorption dans le sol d'un pesticide sont en rapport inverse : la solubilité est d'autant plus forte que la sorption est faible (**Anonyme 05**)

4.6. Immobilisation / adsorption.

Les pesticides peuvent être immobilisés par adsorption dans les particules du sol ou piégés par des plantes. Ces deux processus irréversibles isolent les pesticides et par conséquent arrêtent sa migration dans l'environnement.

L'adsorption fait référence à l'attachement du pesticide par les particules du sol, le taux d'adsorption est influencé par les caractéristiques d'un pesticide donné par le sol dont le pH par la suite, détermine la structure chimique du pesticide dans l'environnement **(El Abdelahi, 2004)**.

Les pesticides sont en majorité adsorbés rapidement par les matières humiques du sol (colloïdes minéraux et organiques). Une molécule adsorbée n'est plus en solution dans la phase liquide ou gazeuse. N'étant plus disponible, ses effets biologiques sont supprimés. Elle n'est plus dégradée par les micro-organismes du sol ce qui augmente sa persistante, elle n'est plus entraînée par l'eau, ce qui empêche la pollution de cette dernière, sa désorption lui rend toutes ses capacités bio toxique. Plus fortement retenu en générale dans les sols argileux ou riches en matière organique **(El Addelahi, 2004)**.

5. La toxicité des pesticides

Les pesticides sont utilisés en quantités considérables depuis plus d'un demi-siècle par l'agriculture intensive. On retrouve des résidus de pesticides partout, dans l'eau bien sûr, mais aussi dans l'air, les brouillards et l'eau de pluie ! Les pesticides sont présents dans nos aliments également : plus de 50% des fruits et des légumes produits par l'agriculture intensive en contiennent. Ils finissent finalement dans nos organismes, apportés là par l'eau et les aliments consommés. Nos organismes hébergent ainsi des centaines de molécules toxiques dont de très nombreux pesticides. Ces pesticides posent un véritable problème de santé publique, et pas seulement pour les utilisateurs qui sont les plus exposés, mais aussi pour la population.

Les pesticides sont employés en agriculture (traitement par épandage ou pulvérisation), dans les industries (textile et bois), dans la construction et pour le désherbage (des voies de Communication par exemple). La pollution des eaux par ces produits est liée à leur entraînement par le ruissellement (contamination des eaux de surface) ou par leur infiltration (contamination des eaux

souterraines). Cette pollution peut être diffuse en raison de la fréquence des utilisations précédemment citées ou ponctuelle (déversements accidentelles d'industries, fausse manœuvre lors du remplissage des appareils d'aspersion agricole, orage...). Les caractéristiques physico-chimiques influant sur le transfert des pesticides jusqu'au milieu hydrique naturel sans leur solubilité dans l'eau, leur résistance à la dégradation physique et biochimique, la nature du sol, le volume et l'intensité des pluies. Les concentrations habituellement trouvées dans l'eau ne représentent qu'une partie de l'apport quotidien total, issu pour l'essentiel des aliments. En effet, la persistance de ces produits est très variable dans l'environnement, mais les plus stables sont susceptibles de s'accumuler tout au long des chaînes alimentaires (**Regnault-Roger, 2005**).

6. Utilisation des pesticides

Il ya une croissance très importante de l'utilisation des pesticides surtout dans les pays en voie de développement.

6.1. Usage en agriculture

Même si les grandes famines tendent à disparaître, la pénurie alimentaire reste de manière chronique et constitue un des problèmes de notre temps. On estime que 50% de la population mondiale ne reçoit pas une ration alimentaire suffisante. L'Afrique étant le continent le plus touché (**Gilles, 1991**).

La solution à ce problème impose l'augmentation et la rentabilité des cultures. L'homme doit donc protéger ses récoltes contre les ravageurs et en même temps accroître la productivité de ses cultures.

En effet la production agricole mondiale subit une baisse de 40% due aux dégâts des parasites et des ravageurs de culture. Ces pertes sont plus importantes dans les pays en voie de développement. En Afrique la production agricole subit une perte annuelle de 42% dont 13% due aux insectes, 13% aux maladies fongiques et 16% aux mauvaises herbes. Ceci explique la nécessité d'une protection phytosanitaire efficace et adéquate (**Gilles, 1991**).

6.2. Usage pour la santé publique.

La santé publique tire profit de l'utilisation des pesticides dans l'éradication des maladies transmises par les vecteurs et dans la lutte contre les moustiques.

En effet des maladies telles que le paludisme, la bilharziose, le typhus et la peste ont pu être éradiquées ou du moins, vu leur endémicité fortement diminuée par une lutte anti vectorielle par les pesticides.

En 1935 on dénombrait 6000 cas de peste en Afrique, à la suite de traitement raticide, on ne dénombrait plus que 4000 cas en 1949 (**Lamrini, 1978**).

Chapitre III

Matériels et Méthodes

Matériels.

Notre travail consiste à étudier l'évaluation de la qualité physico-chimique du sol et étudier l'effet combiné des pesticides sur leur fertilité dans les sols dans les terrain agricole de la région d'el tarf

Le but de notre étude expérimentale est de connaître effet combiné de pesticides sur quelques paramètres biochimiques du blé dur : *Triticum durum*. *Variété : GTA dur*, ainsi que certains paramètres physicochimiques du sol sur lequel cette espèce est implantée.

1. Présentation de la station d'étude.

La commune de Zérizer est située au nord-est de l'Algérie, dans la wilaya d'El Tarf. Elle se trouve précisément entre les latitudes 36°43' Nord et les longitudes 7°53' Est. Elle appartient à la daïra de Besbes et est limitée par plusieurs communes : Ben Mehidi au nord, Besbes au sud-ouest et Chihani à l'ouest. Sa position géographique s'inscrit dans une plaine littorale proche de la mer Méditerranée, caractérisée par un relief plat et des terres agricoles fertiles.

Zérizer présente un caractère essentiellement rural, où l'agriculture constitue l'activité principale des habitants. Son histoire remonte à la période coloniale française, durant laquelle elle a été organisée comme centre de peuplement. Aujourd'hui, la commune dispose des services administratifs de base et joue un rôle local dans le développement agricole de la région.



Figure n° 3. Carte de la situation géographique de la zone d'étude

2. Méthode d'échantillonnage du sol.

L'échantillonnage du sol constitue une étape fondamentale. Il consiste à prélever une portion représentative du sol d'une parcelle donnée afin d'en analyser les propriétés physico-chimiques en laboratoire.

Afin de garantir la représentativité des échantillons, il est essentiel de respecter certaines règles méthodologiques. La parcelle étudiée doit être subdivisée en zones homogènes en fonction de critères tels que la texture, la topographie ou l'usage du sol. Dans chaque zone, plusieurs prélèvements élémentaires sont réalisés de manière aléatoire, puis mélangés pour former un échantillon composite.

2.1. Technique d'échantillonnage aléatoire simple du sol

Dans le cadre de l'étude intitulée « *Effet combiné des pesticides sur la fertilité du sol* », l'échantillonnage du sol a été réalisé selon une méthode d'échantillonnage aléatoire simple appliquée à une parcelle agricole.

La parcelle a été considérée comme homogène du point de vue des caractéristiques pédologiques et des pratiques agricoles. Les points de prélèvement ont été choisis de manière aléatoire afin de garantir l'absence de biais dans la sélection des échantillons.

Au niveau de chaque point, des prélèvements de sol ont été effectués à l'aide d'une Fourche et une pelle selon deux profondeurs, conformément aux recommandations du Guide d'échantillonnage des sols (**Ministère de l'Environnement, Pérou, 2014**) :

- **0–30 cm (0–1 pied)** : correspondant à l'horizon de surface, directement influencé par les apports de pesticides et les activités agricoles ;
- **30–60 cm (1–2 pieds)** : représentant la couche sous-jacente, permettant d'évaluer la migration verticale des pesticides et leur impact en profondeur.

Dans chaque parcelle, 10 à 15 prélèvements élémentaires ont été réalisés de manière aléatoire pour chaque profondeur. Les prélèvements correspondant à une même profondeur ont été mélangés séparément afin d'obtenir deux échantillons composites distincts (surface et subsurface).

2.2.Choix de la station

La station d'étude a été choisie au niveau d'un terrain agricole exploité pour la culture du blé. Ce choix s'explique par l'importance agronomique de cette culture, largement répandue dans la région et fortement dépendante de l'utilisation de produits phytosanitaires, notamment les pesticides.

En outre, ce site présente des conditions réelles d'exploitation agricole, ce qui permet d'évaluer l'impact des pesticides sur les propriétés physico-chimiques du sol dans un contexte représentatif des pratiques agricoles locales. La culture du blé étant l'une des plus sensibles aux variations des caractéristiques du sol, elle constitue un modèle pertinent pour ce type d'étude.



Figure n° 4. La station d'étude : champ de blé en conditions agricoles naturelles

2.3. Conditionnement et identification

L'échantillon est placé dans un sac (plastique ou papier), puis étiqueté avec les informations suivantes :

- + Code de l'échantillon,
- + Localisation,
- + Profondeur,
- + Date de prélèvement.



Figure n° 5. Échantillon du sol

2.4. Conservation et transport.

Les échantillons doivent être conservés dans des conditions appropriées (à l'abri de la chaleur et de l'humidité) et acheminés rapidement au laboratoire afin d'éviter toute modification de leurs propriétés.

2.5. La préparation des échantillons du sol.

Elle comporte trois étapes :

- Le séchage du sol à l'aire libre.
- L'émottage des agrégats.
- Le tamisage à 2mm pour séparer la terre fine de la terre grossière.

3. Le matériel végétal.

Pour notre étude, nous avons retenu une espèce végétale, le blé dur : *Triticum durum* variété.

Le blé est une céréale cultivée pour la production de semoule et la fabrication des pâtes alimentaires. Il se différencie du blé tendre par sa graine à albumen vitreux et sa plus haute teneur en protéines. Plus sensible au froid que le blé tendre, sa culture est plus développée autour du bassin méditerranéen et dans les pays à climat tempéré chaud, comme l'Australie et l'Argentine notamment.

Le blé occupe annuellement une superficie de 3500.000 ha, soit près de 46% de la surface agricole utile. La production nationale des céréales à paille des dernières années a été caractérisée par des rendements bas, oscillant entre 5 et 11 q x/ha, conduisant à une production nationale variant entre 10 et 38 millions de quintaux dont 4 à 13 millions de quintaux pour le blé dur et 1 à 5 millions de quintaux pour le blé tendre. Cette production est très instable d'une année à une autre à cause de certaines contraintes.).



Figure n° 6. Epi de *Triticum durum*.

Classification phylogénétique

*Règne : Plantae

*S / R : Tracheobionta

*Division : Magnoliophyta

*Classe : Liliopsida

*S / Cl : Commelinidae

*Ordre : Poales

*Famille : Poaceae

*Genre : *Triticum*

*Esp : *Triticum durum*

*Variété : *GTA dur*

Classification classique

*Règne : Plantae

*S / R : Tracheobionta

*Division : Magnoliophyta

*Classe : Liliopsida

*S / Cl : Commelinidae

*Ordre : Cyperales

*Famille : Poacées

*Genre : *Triticum*

*Esp : *Triticum durum*

*Variété : *GTA dur*

3.1. Irrigation. Type d'irrigation



Figure n° 7. Irrigation d'appointe

3.2. Semis

Il a été effectué directement en plain champs le 10-11-2026

3.3. L'ajout de pesticides

L'adjonction des pesticides a été effectuée après les premières tombées des pluies, le 10.12.2025.

3.4. Date des prélèvements

Pour chaque parcelle, nous avons procédé au prélèvement des échantillons des plantes et sol.

Le prélèvement est réalisé à deux principaux stades phénologiques du blé et qui sont :

-Stade tallage : date du premier prélèvement le 15.02.2026.

-Stade épiaison : date du deuxième prélèvement le 07.03.2026.

Selon l'indice de Martonne, ces deux périodes indiquent un climat subhumide.



Figure n° 8. Prélèvement des échantillons (Matériel Biologique) .

4. L'analyse des paramètres biochimiques

A partir des feuilles de blé dur on a quantifié :

La chlorophylle, les glucides solubles, les protéines totales, la matière sèche et la proline.

4.1. Dosage de la chlorophylle

La méthode utilisée pour l'extraction de la chlorophylle est la méthode traditionnelle établie par Mackiney, (1941) et améliorée par Holden (1975) qui consiste en une macération du végétale dans de l'acétone

*Mode opératoire

On pèse 1 g de feuilles coupées, broyer dans un mortier avec 20 ml d'acétone à 80 % et du carbonate de calcium. Après broyage total, la solution est filtrée et récupérée dans des flacons noirs pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière.

Le dosage se fait par prélèvement de 3 ml de la solution dans une cuve en verre à spectrophotométrie. La lecture de la densité optique se fait aux deux longueurs d'ondes 645 nm et 663 nm, après étalonnage de l'appareil avec la solution témoin d'acétone compte tenu, de la densité optique de chaque type de chlorophylle (a) et (b).

Les teneurs en chlorophylle sont estimées à partir des équations suivantes, exprimées en $\mu\text{g/g}$ de MF.

Chl a: $12,7 \text{ DO (663nm)} - 2,69 \text{ DO (645 nm)}$.

Chl b: $22,9 \text{ DO (645nm)} - 4,68 \text{ DO (663nm)}$.

Chl (a+b): $8,02 \text{ DO (663nm)} + 20,20 \text{ DO (654nm)}$.

4.2 La matière sèche

Mesuré à l'aide d'étuve.

- peser la capsule vide.
- peser 1g de végétal
- mettre la capsule + végétal dans l'étuve pendant 24heures à 105°C
- remesurer le poids de (capsule+végétal).
- On applique la règle de trois

5. Analyses de laboratoire.

Une fois les échantillons de sol séchés, broyés et passés sur des tamis à maille carrée de 2 mm, nous avons procédé aux mesures du pH, de la conductivité électrique, du phosphore assimilable et de l'azote.

5.1. Analyses physico-chimiques.

5.1.1. pH du sol

➤ Principe

La mesure du pH s'effectue sur une suspension de terre fine. Le pH_{eau} mesure l'acidité réelle et prend en compte les ions H_3O^+ libres dans la solution du sol. Le pH_{KCl} mesure l'acidité potentielle qui prend en compte les ions H libres dans la solution du sol et ceux déplacés par le KCl ou CaCl_2 . Les mesures de pH_{eau} et pH_{KCl} sont effectuées selon la norme ISO 10390 (Afnor, 1994).

➤ Détermination du pH du sol (eau)

Un échantillon de 5 g de sol a été prélevé, auquel 25 mL d'eau distillée ont été ajoutés. Le mélange a ensuite été soigneusement agité afin d'obtenir une suspension homogène. Après un

temps de repos permettant la stabilisation de la solution, le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre préalablement étalonné.

➤ Détermination du pH KCl

Le pH_{KCl} a été déterminé en mélangeant 5 g de sol avec 25 mL d'une solution de KCl (1N). Le mélange a été agité puis laissé au repos. Le pH a ensuite été mesuré à l'aide d'un pH-mètre étalonné.

5.1.2. Mesure de la conductivité électrique

➤ Principe

A partir d'une solution d'extraction aqueuse et en fonction de la concentration des électrolytes, on détermine la conductivité électrique (Aubert, 1978).

➤ Détermination de la conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique a été mesurée à partir d'un extrait sol-eau préparé en mélangeant 5 g de sol avec 25 mL d'eau distillée. Après agitation et décantation, la conductivité a été mesurée à l'aide d'un conductimètre.

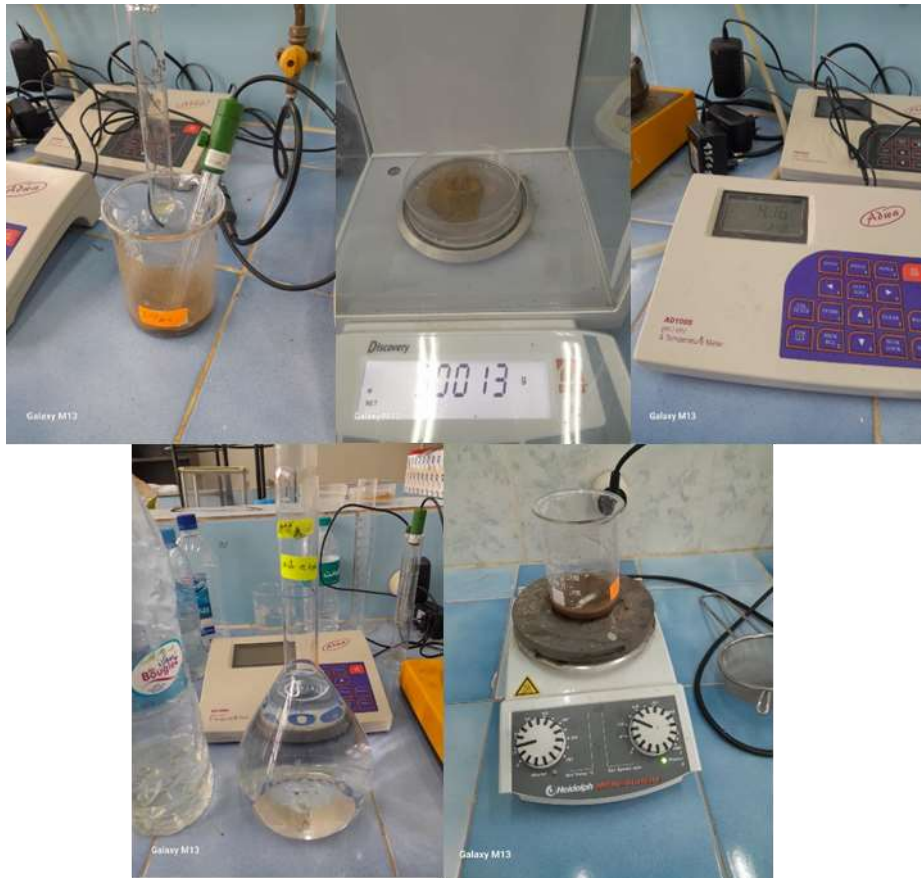


Figure n°9. Étapes expérimentales de préparation et d'analyse des échantillons pour la mesure du pH et de la conductivité électrique du sol

5.1.3. Humidité

➤ **Mode opératoire :**

Peser une capsule vide et noté son poids (P0)

Peser 5g de sol séché à l'aire libre et tamisé à 2mm est introduire dans la capsule vide

$$(P0 + 5g) = P1$$

Introduire la capsule + échantillons dans une Etuve Allumer et régler à 105°C laisser dans l'étuve pendant 24h

Après 24h arrêté l'étuve ; laisser refroidir votre échantillon ; couvrir la capsule par du papier Aluminium et peser P2

Calcule :

$$\text{Taux d'humidité} = (P1-P2) / (P1-P0) \times 100$$

5.1.4. Matière organique

➤ **Mode opératoire :**

Dans des creusets (dont le poids est connu à l'avance), mettre une prise de terre 10 g broyée à 2 mm de chaque échantillon.

* Nous mettons les échantillons dans une "étuve" pendant 24 heures, à une température de 105 °C pour éliminer l'humidité résiduelle.

* Préchauffer le four à moufle à 450 °C.

* Placer les échantillons à 450 °C pendant 4 heures.

* Après calcination, placer les échantillons dans un dessiccateur pendant 30 minutes pour assurer le refroidissement.

* Après refroidissement dans un dessiccateur, peser à nouveau le creuset et les cendres et noter la nouvelle masse.

$$\text{MO} = (P1-P2) / (P1-P0) \times 100$$



Figure n°10. Détermination de l'humidité et de la matière organique du sol

5.1.5. Détermination du carbone organique

Détermination du carbone organique à partir de la matière organique

Le carbone organique du sol a été estimé à partir de la teneur en matière organique. Cette estimation repose sur le facteur de conversion de Van Bemmelen, selon lequel la matière organique contient en moyenne 58 % de carbone. Ainsi, le taux de carbone organique a été calculé en appliquant la relation suivante :

$$C (\%) = MO / 1,724 (\%)$$

où :

- C (%) représente le carbone organique,
- MO (%) représente la matière organique du sol.

6. Les pesticides utilisés

6.1. Description d'Ortiva

Ortiva est un fongicide systémique à large spectre utilisé en protection des cultures pour le contrôle de nombreuses maladies d'origine fongique. Il est commercialisé par la société Syngenta et formulé sous forme de suspension concentrée (SC). La substance active du produit est l'azoxystrobine, présente à une concentration de 250 g/L (Syngenta, 2023).

L'azoxystrobine appartient à la famille chimique des strobilurines, un groupe de fongicides synthétiques inspirés de métabolites naturels isolés initialement à partir du champignon *Strobilurus tenacellus*. Ces composés ont été développés afin d'améliorer la stabilité et l'efficacité biologique des strobilurines naturelles (Bartlett *et al.*, 2002).

Il est principalement utilisé en traitement préventif. Il agit avant l'apparition visible des symptômes de la maladie en inhibant la germination des spores et la croissance du mycélium. Son efficacité repose sur son mode d'action spécifique au niveau de la respiration mitochondriale des champignons (Bartlett *et al.*, 2002)

➤ Spectre d'Activité et Utilisation Agronomique.

Ortiva présente un large spectre d'activité contre de nombreux champignons phytopathogènes appartenant principalement aux Ascomycètes et Basidiomycètes. Il est utilisé pour le contrôle de maladies telles que :

- L'oïdium
- Le mildiou
- L'alternariose
- Les rouilles
- L'anthracnose

Son efficacité et sa large gamme d'application expliquent son importance dans les programmes modernes de protection intégrée des cultures.

➤ Propriétés Physico-Chimiques de la Substance Active.

La substance active azoxystrobine possède la formule moléculaire $C_{22}H_{17}N_3O_5$ et une masse molaire de 403,39 g/mol. Elle est faiblement soluble dans l'eau (environ 6–7 mg/L à 20 °C) et présente un coefficient de partage octanol/eau (log Kow) d'environ 2,5, indiquant une lipophilie modérée (FAO & WHO, 2008 ; EFSA, 2010).

Ces propriétés influencent son comportement environnemental, notamment :

- Une mobilité modérée dans le sol
- Une persistance variable selon les conditions pédoclimatiques
- Une toxicité élevée pour les organismes aquatiques.

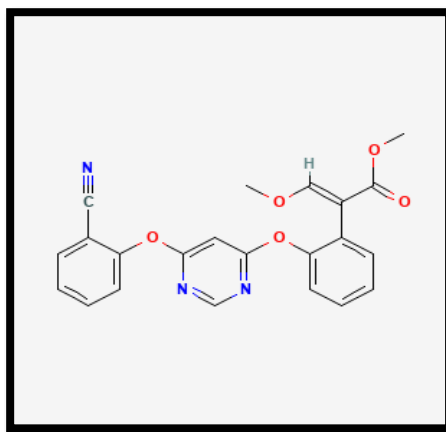


Figure n°11. la structure chimique azoxystrobine

➤ **Mode d'Action.**

L'azoxystrobine est classée dans le groupe 11 du FRAC (QoI : Quinone outside Inhibitors). Elle agit en bloquant le transfert d'électrons au niveau du complexe III (cytochrome bc1) dans la chaîne respiratoire mitochondriale. Cette inhibition empêche la synthèse d'ATP, indispensable au métabolisme énergétique du champignon, entraînant ainsi l'arrêt de sa croissance et finalement sa mort cellulaire (**Bartlett *et al.*, 2002 ; FRAC, 2023**).

Ce mode d'action confère à Ortiva :

- Une activité préventive marquée
- Une action translaminaire
- Une diffusion locale dans les tissus végétaux

Cependant, en raison de son mode d'action spécifique (site unique), le risque de développement de résistance est considéré comme élevé en cas d'utilisation répétée sans alternance avec d'autres familles chimiques (**FRAC, 2023**).

6.2. Description du Zoom

L'herbicide **Zoom** est une formulation utilisée principalement en post-levée des céréales pour le contrôle des adventices dicotylédones. Selon les bases de données phytosanitaires internationales, le produit commercialisé sous le nom « Zoom » contient généralement une association de **triasulfuron** (≈ 41 g/kg) et de **dicamba** (≈ 659 g/kg), deux substances actives complémentaires appartenant à des familles chimiques distinctes.

Cette combinaison permet une action systémique efficace sur un large spectre de mauvaises herbes annuelles à feuilles larges en blé et en orge.

➤ **Spectre d'Activité et Utilisation Agronomique de Zoom.**

L'association du dicamba (auxine synthétique) et du triasulfuron (inhibiteur de l'ALS) permet un élargissement du spectre d'action et une efficacité complémentaire sur différentes espèces adventices.

Le produit est particulièrement efficace contre :

- *Sinapis arvensis* (moutarde des champs)

CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES

- *Chenopodium album* (chénopode blanc)
- *Papaver rhoeas* (coquelicot)
- *Capsella bursa-pastoris* (bourse-à-pasteur)
- *Stellaria media* (mouron des oiseaux)
- *Polygonum spp.* (renouées)
- *Galium aparine* (gaillet gratteron)

Le dicamba agit principalement sur les dicotylédones sensibles en provoquant des déformations et un déséquilibre hormonal, tandis que le triasulfuron inhibe la division cellulaire en bloquant la biosynthèse des acides aminés essentiels (Shaner, 2014 ; PPDB, 2023).

L'application est recommandée au stade jeune des adventices (2 à 4 feuilles), période durant laquelle la sensibilité des plantes indésirables est maximale. L'efficacité dépend fortement :

- Du stade de développement des adventices
- Des conditions climatiques (température, humidité)
- De la qualité de pulvérisation

(Shaner, 2014)

➤ La composition chimique.

il est composé de deux substances actives :

- ✚ **Le dicamba (65,9%)** : le nom d'identification est : Acide 3,6-dichloro-2-méthoxybenzoïque, sa formule chimique est : $C_8H_6Cl_2O_3$.
- ✚ **Le triasulfuran (4,1%)** : le nom d'identification est : 3-(6-méthoxy-4-méthyl-1,3,5-triazin-2-yl)-1-[2-(2-chloréthoxy)-phénylesulfonyl]-urée, sa formule chimique est $C_{14}H_{16}ClN_5O_5S$.

-Second nom commercial du produit Zoom de référence : LINTUR 70 WG. (Gustafson).

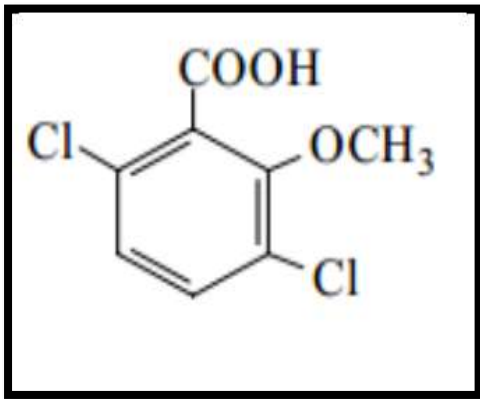


Figure n°12. la structure chimique du dicamba (Gustafson,1989)

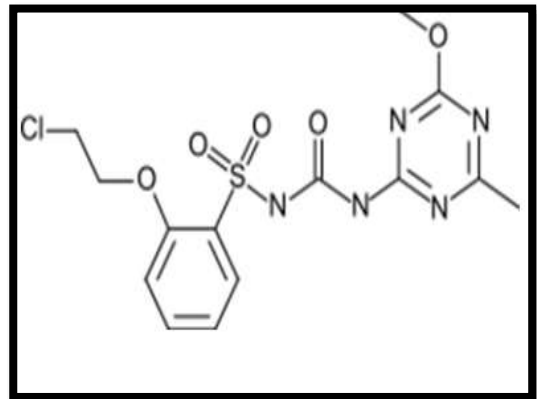


Figure n° 13. la structure chimique du triasulfuran (Gustafson,1989)

➤ Mode d'Action

Zoom agit grâce à la combinaison de deux mécanismes d'action complémentaires.

• Mode d'action du Dicamba

Le dicamba appartient à la famille des **auxines synthétiques** (groupe HRAC O). Il agit comme un analogue de l'auxine naturelle (acide indole-3-acétique), provoquant une croissance désordonnée des cellules végétales.

Après absorption foliaire et racinaire, il est transloqué dans toute la plante via le xylème et le phloème. Il entraîne :

- Une division cellulaire excessive
- Une perturbation des tissus vasculaires
- Une déformation des feuilles
- Finalement la mort de la plante sensible

(Shaner, 2014 ; PPDB, 2023)

- **Mode d'action du Triasulfuron.**

Le triasulfuron appartient à la famille des **sulfonylurées** (groupe HRAC B). Il agit en inhibant l'enzyme **acéto-lactate synthase (ALS)**, également appelée acétohydroxyacide synthase (AHAS).

Cette enzyme est essentielle à la biosynthèse des acides aminés branchés (valine, leucine et isoleucine). Son inhibition provoque :

- L'arrêt de la division cellulaire
- L'arrêt de la croissance des tissus méristématiques
- La mort progressive de la plante. (Shaner, 2014)

6.3. Description du Topik

C'est un herbicide sélectif absorbé par les feuilles des graminées adventices et la croissance active cesse dans les 48 heures suivantes. L'application se fait par pulvérisation en post-levé précoce dès que les adventices atteignent 2 à 4 feuilles. La dose recommandée a pulvérisé est de : 0.75L/ha. L'herbicide permet le contrôle des graminées adventices des céréales à savoir les pholades et la folle avoine

➤ **Spectre d'activité et utilisation agronomique de Topik.**

Topik est un herbicide sélectif systémique de post-levée, principalement utilisé pour le contrôle des graminées adventices annuelles dans les cultures céréalières.

Son spectre d'activité couvre un large éventail de mauvaises herbes, notamment :

- Avena spp. (folle avoine)
- Phalaris spp. (phalaris)
- Lolium spp. (ray-grass annuel)
- Setaria spp. (sétaire)
- Alopecurus spp. (vulpin)

Il agit efficacement sur ces adventices en inhibant leur croissance dès les premiers stades, avec un arrêt visible du développement peu après l'application.

CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES

Topik présente une activité spécifique sur les graminées, avec peu ou pas d'effet sur les dicotylédones, ce qui explique sa sélectivité vis-à-vis des cultures de céréales.

➤ Composition chimique de Topik.

Le produit phytosanitaire **Topik** est un herbicide sélectif composé principalement d'une substance active appartenant à la famille des **aryloxyphénoxypropionates**, associée à un antidote agronomique améliorant sa sélectivité.

➤ Substance active

• Clodinafop-propargyl (8 % ou 80 g/L)

Le clodinafop-propargyl est un herbicide systémique utilisé pour lutter contre les graminées adventices.

✚ Nom chimique : Prop-2-ynyl (R)-2-[4-(5-chloro-3-fluoro-2-pyridyloxy) phénoxy] propionate

✚ Formule chimique : $C_{17}H_{13}ClFNO_4$

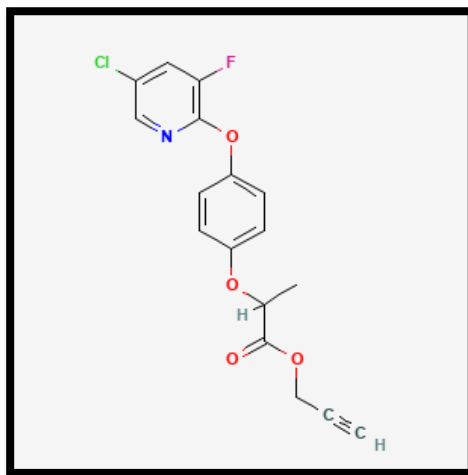


Figure n°14. la structure de Clodinafop-propargyl

➤ Safener (antidote).

• Cloquintocet-mexyl.

- Nom chimique : Methyl 1-(quinolin-8-yloxy) acetate
- Formule chimique : $C_{13}H_{11}NO_3$

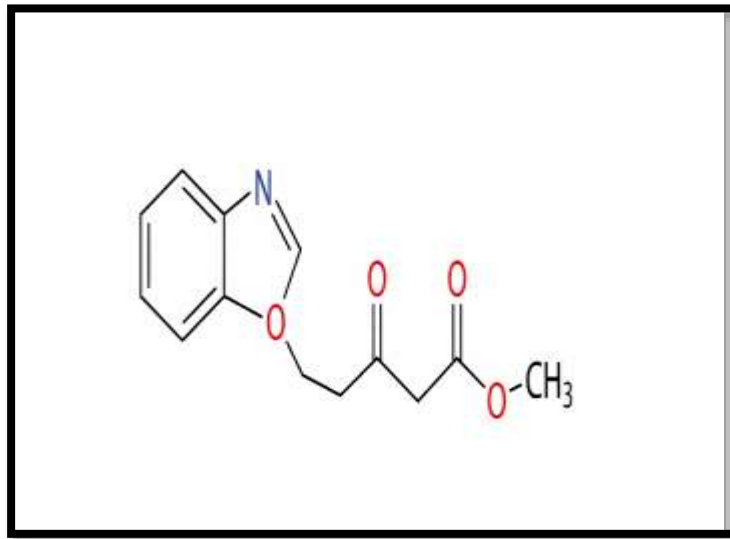


Figure n°15. La structure du Cloquintocet-mexyl

Ce composé est ajouté à la formulation afin de :

- Protéger la culture (notamment le blé),
- Améliorer la sélectivité de l'herbicide,
- Réduire la phytotoxicité sur les plantes cultivées.

➤ **Mode d'action de Topik.**

Topik agit grâce à un mécanisme d'action spécifique ciblant les graminées adventices, basé sur l'inhibition d'une enzyme essentielle à la croissance des plantes.

➤ **Mode d'action du Clodinafop-propargyl.**

Le clodinafop-propargyl appartient à la famille des aryloxyphénoxypropionates (FOPs) et est classé dans le groupe HRAC A. Il agit en inhibant l'enzyme acétyl-CoA carboxylase (ACCase), indispensable à la biosynthèse des acides gras chez les plantes.

Après absorption principalement par les feuilles, il est rapidement transloqué vers les zones de croissance (méristèmes).

Son action entraîne :

- Une inhibition de la synthèse des acides gras
- Une perturbation de la formation des membranes cellulaires
- Un arrêt de la division cellulaire

- Un blocage de la croissance des tissus méristématiques
- Finalement, la mort progressive des adventices sensibles

➤ **Rôle du Cloquintocet-mexyl (safener).**

Le cloquintocet-mexyl est un **antidote agronomique** ajouté à la formulation afin d'améliorer la sélectivité du produit.

Il agit en :

- Stimulant les mécanismes de détoxification dans les plantes cultivées (notamment le blé),
- Réduisant la phytotoxicité du clodinafop-propargyl sur la culture,
- Permettant une action ciblée sur les adventices sans affecter la culture.

Résultats
et
Interprétations

Résultats

1. Les Analyses physico-chimique du Sol

1.1. pH d'eau

Le pH du sol varie selon les échantillons entre l'état initial et après l'application des pesticides. Pour l'échantillon 1, la valeur passe de 8,48 à l'état initial à 8,08 après l'application des pesticides, indiquant une diminution. Pour l'échantillon 2, le pH diminue également, évoluant de 8,66 à l'état initial à 8,18 après l'application des pesticides. L'échantillon 3 montre une baisse de 8,55 à l'état initial à 8,01 après l'application des pesticides.

L'échantillon 4 présente une diminution moins marquée, avec une valeur passant de 8,57 à l'état initial à 8,29 après l'application des pesticides. De même, l'échantillon 5 enregistre une baisse de 8,63 à l'état initial à 8,15 après l'application des pesticides, et l'échantillon 6 de 8,60 à l'état initial à 8,19 après l'application des pesticides.

Ainsi, pour l'ensemble des échantillons, les valeurs du pH du sol mesurées après l'application des pesticides sont inférieures à celles observées à l'état initial, traduisant une diminution générale du pH du sol.

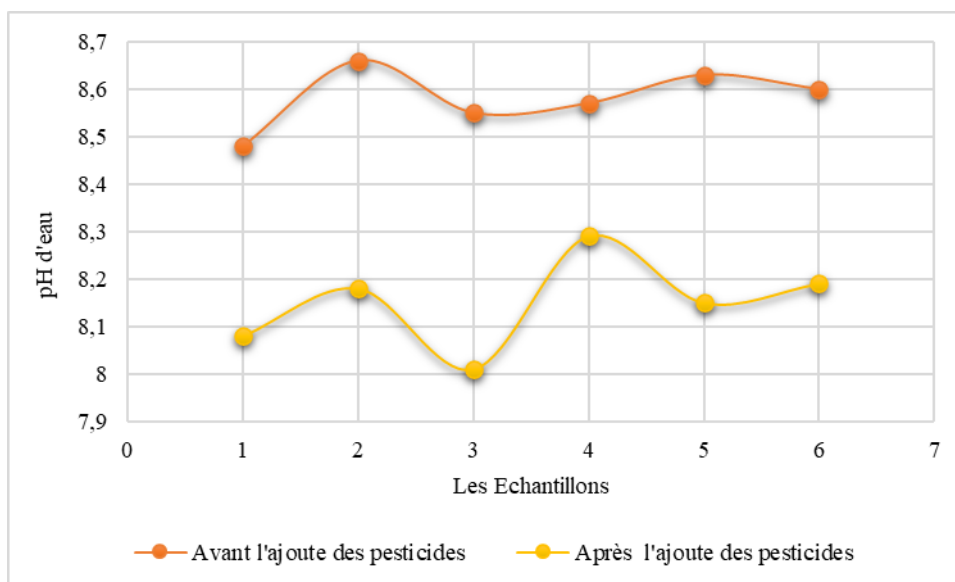


Figure n° 16. Variation du pH d'eau (du sol) avant et après l'ajout des pesticides

1.2. pH KCL

Le pH KCl du sol varie selon les échantillons entre les conditions avant et après l'ajout des pesticides. Pour l'échantillon 1, la valeur passe de 4,16 avant l'ajout à 3,87 après l'ajout, indiquant une diminution. Pour l'échantillon 2, le pH reste presque stable, évoluant de 3,63 avant l'ajout à 3,64 après l'ajout. L'échantillon 3 montre une légère baisse, passant de 3,84 avant l'ajout à 3,74 après l'ajout, tout comme l'échantillon 4 où la valeur évolue de 3,66 avant l'ajout à 3,65 après l'ajout.

En revanche, l'échantillon 5 présente une diminution importante, passant de 3,68 avant l'ajout à 2,73 après l'ajout. Enfin, l'échantillon 6 montre une légère augmentation, avec une valeur passant de 3,72 avant l'ajout à 3,79 après l'ajout.

Ainsi, les valeurs mesurées après l'ajout des pesticides sont globalement inférieures à celles obtenues avant l'ajout, avec des variations plus ou moins marquées selon les échantillons.

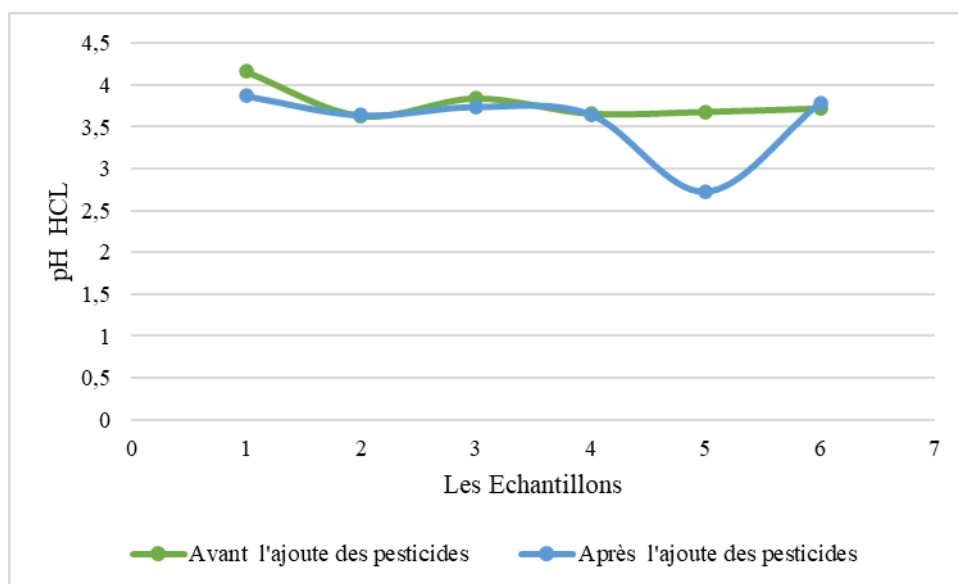


Figure n°17. Variation du pH KCL (du sol) avant et après l'ajout des pesticides

1.3. Conductivité électrique

L'examen des valeurs de la conductivité électrique met en évidence un décalage net entre les mesures réalisées avant et après l'ajout des pesticides. Les valeurs initiales, comprises entre 215 et 266 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sont systématiquement plus élevées que celles obtenues après traitement, qui varient entre 160 et 195 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Ce contraste traduit une tendance homogène à la diminution de la conductivité électrique pour l'ensemble des échantillons. L'amplitude de cette diminution reste toutefois variable, avec une réduction particulièrement prononcée pour certains cas, notamment l'échantillon 4 (266 à 160 $\mu\text{S}/\text{cm}$), alors que d'autres présentent des écarts plus modérés.

Une telle évolution suggère une modification du statut ionique du sol sous l'effet des pesticides, probablement liée à une réduction de la concentration en sels dissous ou à leur transformation sous des formes moins mobiles.

Ainsi, l'analyse comparative met en évidence une réponse cohérente du sol au traitement, caractérisée par une baisse généralisée de la conductivité électrique, tout en soulignant une variabilité dans l'intensité de cette réponse selon les échantillons

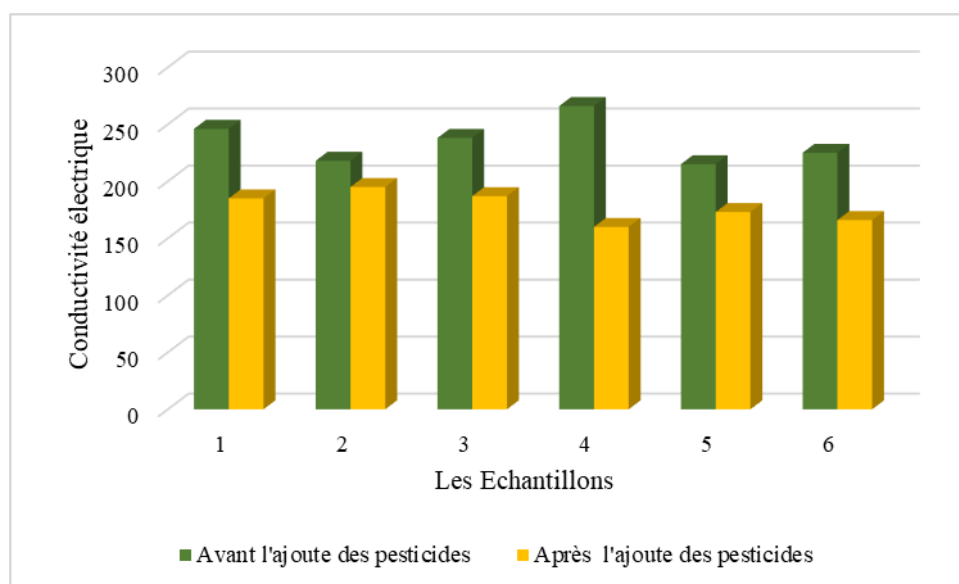


Figure n° 18. Variation de la conductivité électrique du sol avant et après l'ajout des pesticides

1.4. Humidité

Les résultats mettent en évidence une variation de l'humidité du sol entre les conditions avant et après l'ajout des pesticides. Avant l'ajout, les valeurs d'humidité sont de 9,09 %, 10,24 %, 8,25 %, 8,13 %, 8,16 % et 7,83 % pour les échantillons 1 à 6, respectivement. Après l'ajout des pesticides, ces valeurs deviennent 9,33 %, 8,26 %, 8,61 %, 8,47 %, 8,90 % et 7,93 %.

La comparaison entre ces deux séries de données montre que l'humidité augmente pour la majorité des échantillons, notamment pour les échantillons 1 (de 9,09 % à 9,33 %), 3 (de 8,25 % à 8,61 %), 4 (de 8,13 % à 8,47 %), 5 (de 8,16 % à 8,90 %) et 6 (de 7,83 % à 7,93 %). En revanche, une diminution notable est observée pour l'échantillon 2, dont la valeur passe de 10,24 % à 8,26 %.

Ainsi, ces résultats mettent en évidence une tendance générale à l'augmentation de l'humidité du sol après l'ajout des pesticides, tout en soulignant une variabilité selon les échantillons.

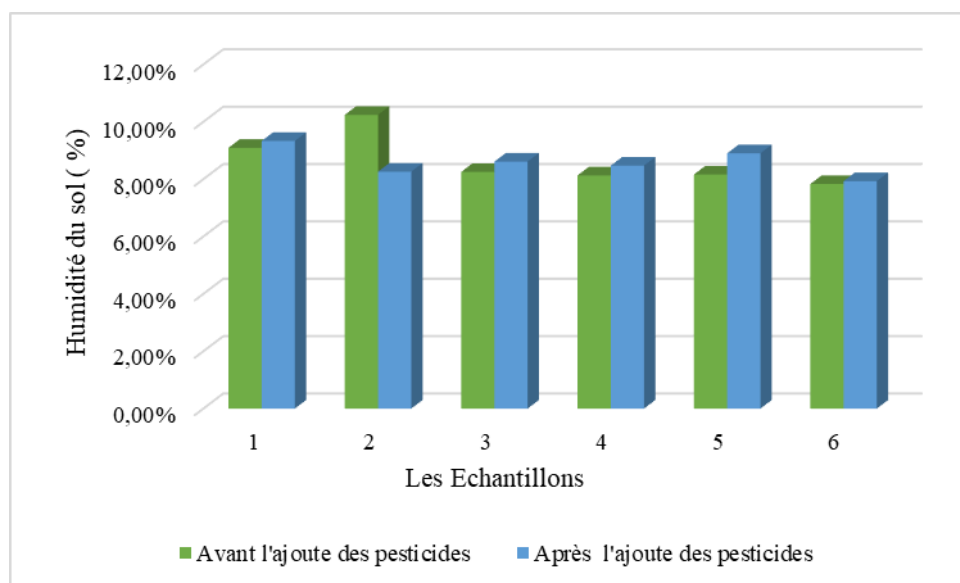


Figure n°19. Variation de l'humidité du sol avant et après l'ajout des pesticides

1.5. Matière organique

Les résultats obtenus mettent en évidence une variation de la teneur en matière organique (MO) du sol suite à l'application des pesticides pour l'ensemble des échantillons étudiés. L'analyse comparative par échantillon révèle des réponses contrastées.

En effet, l'échantillon 1 présente une légère diminution de la teneur en MO, passant de 4,55 % à 4,37 %. Une tendance similaire est observée pour les échantillons 3 et 5, dont les valeurs diminuent respectivement de 4,96 % à 4,02 % et de 4,45 % à 4,32 %. En revanche, les échantillons 2, 4 et 6 enregistrent une augmentation de la teneur en matière organique, avec des valeurs évoluant de 3,92 % à 4,04 %, de 3,83 % à 5,72 % et de 3,87 % à 5,76 %, respectivement. Les augmentations les plus importantes sont observées pour les échantillons 4 et 6.

Ces variations traduisent une réponse hétérogène du sol à l'apport de pesticides. Les diminutions observées peuvent être liées à des processus de minéralisation ou de dégradation de la matière organique, tandis que les augmentations pourraient résulter d'un enrichissement en composés organiques ou d'une modification de l'activité microbienne.

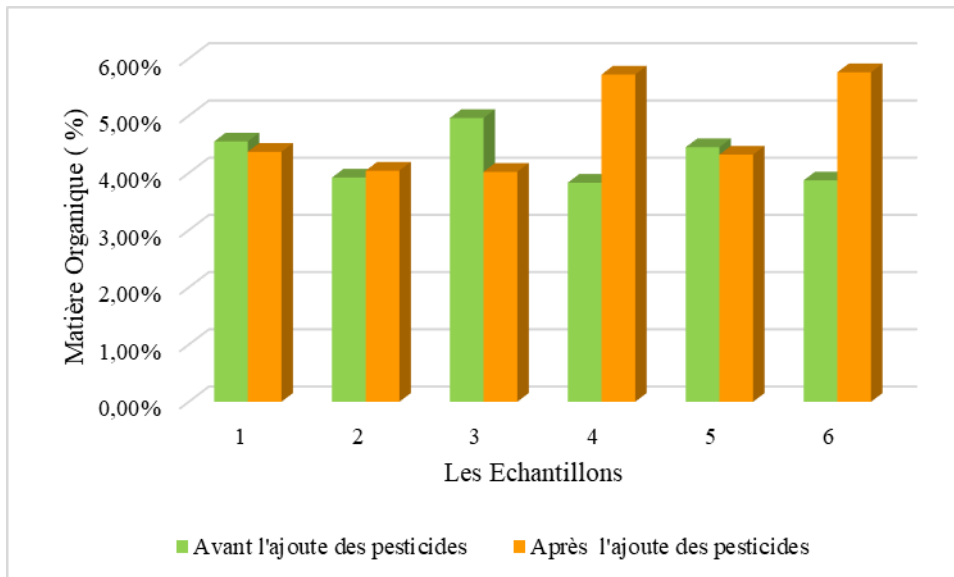


Figure n°20. Variation de la teneur en matière organique du sol avant et après l'ajout des pesticides

1.6. Taux de matière organique Carbonée

Les résultats obtenus mettent en évidence une variation du taux de carbone organique du sol avant et après l'ajout des pesticides pour l'ensemble des échantillons étudiés. L'analyse comparative par échantillon révèle des comportements différenciés.

En effet, l'échantillon 1 présente une légère diminution du taux de carbone organique, passant de 2,63 % avant traitement à 2,53 % après traitement. Une tendance similaire est observée pour les échantillons 3 et 5, dont les valeurs diminuent respectivement de 2,88 % à 2,33 % et de 2,58 % à 2,51 % et après l'ajoute du pesticide. En revanche, une augmentation du carbone organique est enregistrée pour les échantillons 2, 4 et 6, avec des valeurs évoluant de 2,27 % à 2,34 %, de 2,22 % à 3,32 % et de 1,94 % à 3,34 %, respectivement. Les augmentations les plus marquées concernent les échantillons 4 et 6.

Ces résultats traduisent une réponse hétérogène du carbone organique du sol à l'apport de pesticides. Les diminutions observées pourraient être attribuées à des processus de minéralisation ou de dégradation de la matière organique, tandis que les augmentations pourraient résulter d'un apport direct de composés organiques contenus dans les pesticides ou d'une modification de l'activité microbienne du sol.

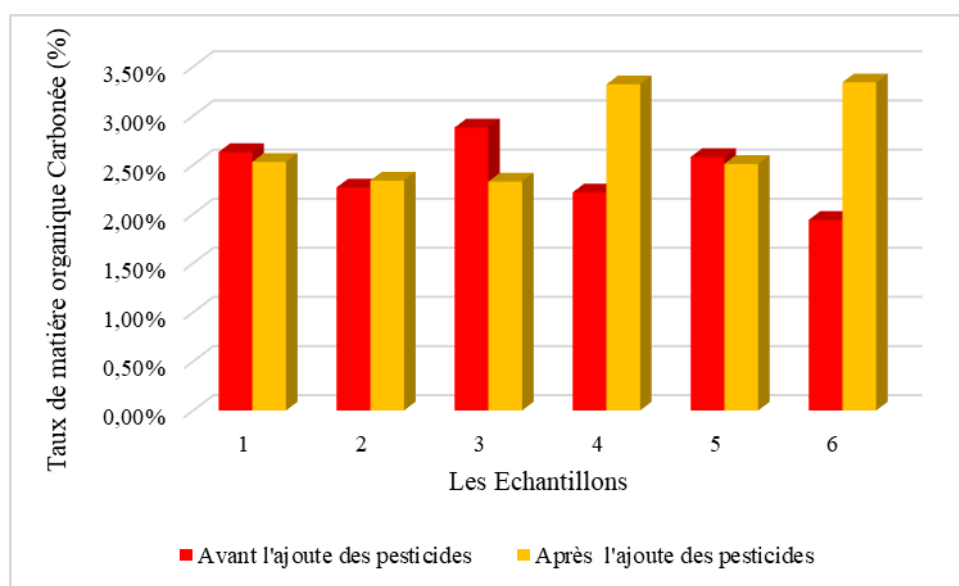


Figure n°21. Variation du taux de carbone organique du sol avant et après l'ajoutDes pesticides

2. L'analyse des paramètres biochimiques A partir des feuilles de blé dur

2.1. La chlorophylle Avant l'utilisation des pesticides

La figure illustre les variations des teneurs en chlorophylles *a*, *b* et totale (*a+b*) chez le blé avant l'utilisation des pesticides.

Les résultats montrent une variation des teneurs en chlorophylle *a*, chlorophylle *b* et chlorophylle totale (*a+b*) chez le blé avant l'utilisation des pesticides selon les différents échantillons étudiés. Les valeurs de la chlorophylle *a* varient entre 8,735 et 23,235 µg/g MF, celles de la chlorophylle *b* entre 3,672 et 22,562 µg/g MF, tandis que la chlorophylle totale oscille entre 12,407 et 45,797 µg/g MF.

L'échantillon 03 présente les teneurs les plus élevées avec 23,235 µg/g MF pour la chlorophylle *a*, 22,562 µg/g MF pour la chlorophylle *b* et 45,797 µg/g MF pour la chlorophylle totale. Ces valeurs traduisent une activité photosynthétique importante et un bon état physiologique des plants de blé, probablement liés à des conditions environnementales favorables telles qu'une bonne disponibilité en eau et en éléments nutritifs.

L'échantillon 04 occupe une position intermédiaire avec des valeurs de 18,123 µg/g MF pour la chlorophylle *a*, 9,273 µg/g MF pour la chlorophylle *b* et 27,396 µg/g MF pour la chlorophylle totale, indiquant une capacité photosynthétique relativement satisfaisante. Les échantillons 02 et 05 présentent également des teneurs modérées en pigments chlorophylliens, avec des chlorophylles totales respectives de 22,033 et 20,649 µg/g MF.

En revanche, les échantillons 01 et 06 enregistrent les valeurs les plus faibles, avec respectivement 14,134 et 12,407 µg/g MF de chlorophylle totale. Cette diminution peut être liée à des conditions moins favorables, notamment un déficit hydrique, une faible fertilité du sol ou d'autres facteurs de stress environnementaux limitant la synthèse des pigments chlorophylliens.

Globalement, la chlorophylle *a* reste supérieure à la chlorophylle *b* dans la majorité des échantillons, ce qui est conforme à son rôle principal dans le processus photosynthétique. Ces résultats montrent que, avant l'utilisation des pesticides, les plants de blé présentaient des capacités photosynthétiques variables selon les conditions écologiques propres à chaque échantillon étudié.

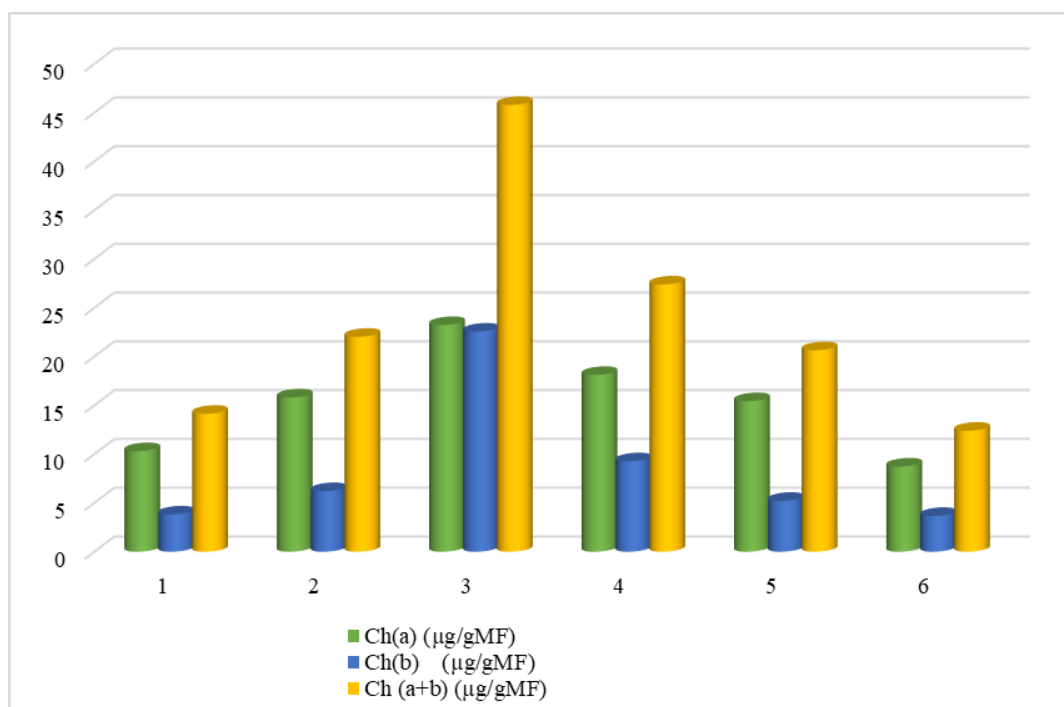


Figure n° 22. Variation des teneurs en chlorophylle chez le blé dur avant l'utilisation des pesticides

2.2. La chlorophylle Après l'utilisation des pesticides

La figure montre les teneurs en chlorophylle *a*, chlorophylle *b* et chlorophylle totale (*a+b*) chez le blé après l'application des pesticides dans les différents échantillons étudiés.

Les résultats montrent une augmentation importante des teneurs en chlorophylle *a*, chlorophylle *b* et chlorophylle totale (*a+b*) chez le blé après l'utilisation des pesticides dans tous les échantillons étudiés. Les valeurs de la chlorophylle *a*, varient entre 10,12 et 42,73 µg/g MF, celles de la chlorophylle *b* entre 6,17 et 29,17 µg/g MF, tandis que la chlorophylle totale oscille entre 16,85 et 71,90 µg/g MF.

L'échantillon 03 présente les teneurs les plus élevées avec 42,73 µg/g MF pour la chlorophylle *a*, 29,17 µg/g MF pour la chlorophylle *b* et 71,90 µg/g MF pour la chlorophylle totale. Cette forte augmentation traduit une activité photosynthétique très importante et un bon état physiologique des plants de blé après traitement. Cela peut être expliqué par l'efficacité des pesticides dans la réduction des agents pathogènes et des facteurs de stress biotiques, favorisant ainsi une meilleure synthèse des pigments chlorophylliens.

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

L'échantillon 04 présente également des teneurs élevées avec une chlorophylle totale de 56,14 $\mu\text{g/g}$ MF, suivi de l'échantillon 05 avec 49,82 $\mu\text{g/g}$ MF et de l'échantillon 02 avec 45,22 $\mu\text{g/g}$ MF. Ces résultats indiquent une amélioration notable de la capacité photosynthétique et du développement végétatif des plants après traitement phytosanitaire.

En revanche, les échantillons 01 et 06 enregistrent les valeurs les plus faibles, avec respectivement 20,49 et 16,85 $\mu\text{g/g}$ MF de chlorophylle totale. Malgré cette augmentation par rapport aux valeurs avant traitement, ces faibles concentrations peuvent être liées à des conditions environnementales moins favorables, telles qu'un déficit hydrique, une faible fertilité du sol ou une sensibilité plus importante des plants aux stress environnementaux.

La chlorophylle *a* demeure supérieure à la chlorophylle *b* dans tous les échantillons, ce qui est conforme au rôle fondamental de la chlorophylle *a* dans le processus photosynthétique. Globalement, les résultats suggèrent que l'utilisation des pesticides a favorisé une amélioration de l'activité photosynthétique chez le blé, traduite par une augmentation des pigments chlorophylliens et une meilleure vigueur physiologique des plants.

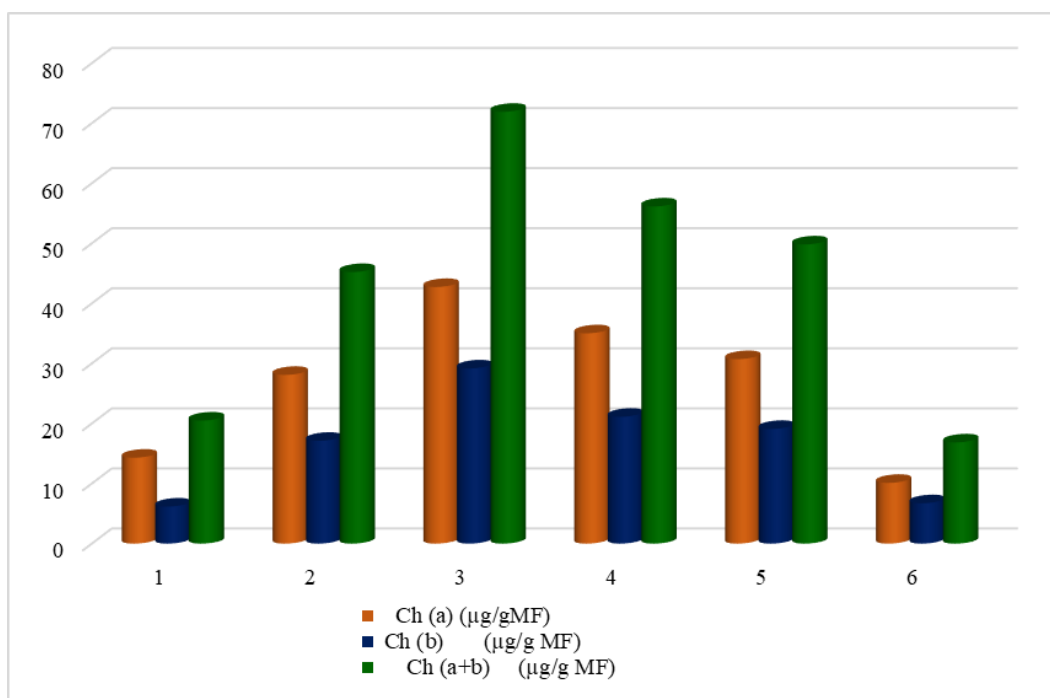


Figure n°23. Variation des teneurs en chlorophylle chez le blé dur après l'utilisation des pesticides.

2.3. La matière sèche

La figure illustre les variations de la matière sèche chez le blé dur avant et après l'application des pesticides dans les différents échantillons étudiés.

Les résultats montrent une augmentation nette de la matière sèche chez le blé après l'utilisation des pesticides dans tous les échantillons étudiés. Avant traitement, les valeurs variaient entre 15 et 24, tandis qu'après traitement elles atteignaient des valeurs comprises entre 26 et 33. L'échantillon 01 présente une augmentation de la matière sèche de 20 à 30, traduisant une amélioration importante de la croissance végétative après réduction des facteurs de stress biotiques. L'échantillon 02 enregistre la plus forte augmentation, passant de 15 à 33, ce qui indique une accumulation élevée de biomasse et une réponse physiologique très favorable au traitement phytosanitaire. Pour l'échantillon 03, la matière sèche augmente de 18 à 26, révélant une amélioration modérée du développement des plants. L'échantillon 04 présente une faible variation, de 24 à 26, suggérant que les plants se trouvaient déjà dans des conditions relativement favorables avant traitement ou que l'effet des pesticides y était moins marqué. L'échantillon 05 montre également une augmentation importante, passant de 16 à 29, tandis que l'échantillon 06 évolue de 15 à 26, indiquant une amélioration de l'accumulation de matière organique après application des pesticides. Cette augmentation générale de la matière sèche peut être expliquée par la diminution des effets des agents pathogènes, des insectes nuisibles et des adventices, permettant ainsi aux plants de blé de mieux utiliser les ressources nutritives et d'améliorer leur activité physiologique et photosynthétique.

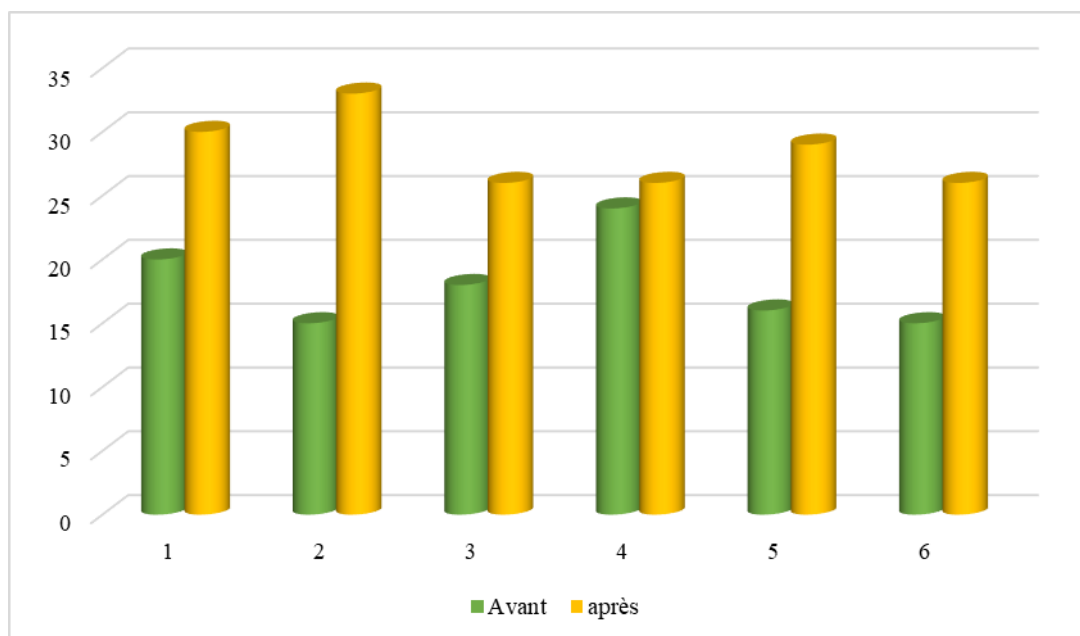


Figure n24°. Variation de la matière sèche chez le blé avant et après l'utilisation des pesticides.

Discussion

Discussion

Dans le cadre de cette étude, une approche globale sol–plante a été adoptée, intégrant, en plus des analyses physico-chimiques du sol, des investigations biochimiques sur le blé dur afin d'évaluer les effets des pesticides sur le fonctionnement physiologique de la culture. Cette démarche permet d'établir un lien entre les modifications du milieu édaphique et les réponses biologiques de la plante, notamment à travers l'étude des paramètres biochimiques tels que les enzymes antioxydantes et les indicateurs de stress.

Les résultats obtenus mettent en évidence une modification significative des propriétés physico-chimiques du sol suite à l'application des pesticides, traduisant une perturbation du fonctionnement du sol dans les conditions étudiées. Le sol analysé étant un sol agricole cultivé en blé, ces observations s'inscrivent dans un contexte de pratiques culturales intensives, où l'utilisation de produits phytosanitaires est fréquente afin d'assurer la protection des cultures (**Slimani, 2020**).

La diminution du pH observée dans l'ensemble des échantillons indique une tendance à l'acidification du sol après l'ajout des pesticides. Cette évolution peut être expliquée par la nature chimique de certains pesticides ainsi que par leurs produits de dégradation, susceptibles de libérer des ions H^+ . Dans les systèmes céréaliers, notamment la culture du blé, l'utilisation répétée d'intrants chimiques accentue ces phénomènes et modifie progressivement l'équilibre acido-basique du sol (**Kherbouche & Boudoukha, 2016 ; Slimani, 2020**). Les variations du pH KCl confirment également une modification de l'acidité échangeable, reflétant la sensibilité des sols agricoles à ces apports.

La diminution généralisée de la conductivité électrique observée dans cette étude traduit une réduction de la concentration en sels dissous dans le sol. Dans les sols cultivés en blé, cette évolution peut être liée à l'absorption des éléments nutritifs par les cultures, combinée à l'effet des pesticides qui modifient la disponibilité des ions en solution. Des travaux réalisés dans le nord-est algérien ont montré que les pratiques agricoles intensives, notamment en systèmes céréaliers, influencent fortement le statut ionique du sol (**Boudjabi & Chenchouni, 2021**).

Concernant l'humidité, l'augmentation observée dans la majorité des échantillons suggère une amélioration de la capacité de rétention en eau du sol. Dans les sols cultivés en blé, cette propriété est essentielle pour assurer le développement des cultures, notamment dans les conditions climatiques variables de la région d'El Tarf. Les pesticides peuvent modifier la

DISCUSSION

structure du sol et les interactions entre ses constituants, influençant ainsi la porosité et la rétention hydrique (**Hamza & Kherbouche, 2017**). Toutefois, la variabilité observée entre les échantillons souligne l'influence de la texture et des caractéristiques propres du sol.

Les variations de la matière organique et du carbone organique mettent en évidence une réponse hétérogène du sol. Dans les systèmes agricoles céréaliers, la matière organique joue un rôle clé dans la fertilité du sol. La diminution observée dans certains échantillons peut être liée à une minéralisation accrue, tandis que l'augmentation dans d'autres peut résulter de l'accumulation de résidus organiques issus des pesticides ou de leurs produits de dégradation. Dans les sols agricoles du nord-est algérien, il a été démontré que les pratiques culturales, notamment en culture du blé, peuvent modifier l'activité biologique du sol et influencer la dynamique de la matière organique (**Bensaad & Bouzidi, 2019 ; Slimani, 2020**).

Ainsi, l'ensemble des résultats met en évidence que l'application des pesticides dans un sol agricole dédié à la culture du blé entraîne une modification globale des propriétés du sol, affectant son équilibre chimique, son statut ionique, ses propriétés hydriques et sa dynamique organique. Ces effets sont fortement dépendants des pratiques agricoles et des caractéristiques locales, confirmant la sensibilité des sols céréaliers de la région d'El Tarf aux apports phytosanitaires (**Boudjabi & Chenchouni, 2021 ; Slimani, 2020**).

Concernant l'analyse des paramètres biochimiques des feuilles de blé dur a montré une augmentation des teneurs en chlorophylle *a*, chlorophylle *b* et chlorophylle totale après l'utilisation des pesticides. Cette augmentation traduit une amélioration de l'activité photosynthétique et de l'état physiologique des plants de blé. L'échantillon 03 a enregistré les valeurs les plus élevées, indiquant une meilleure efficacité photosynthétique et une accumulation plus importante des pigments chlorophylliens.

La chlorophylle *a* est restée supérieure à la chlorophylle *b* dans tous les échantillons, ce qui confirme son rôle essentiel dans la capture de l'énergie lumineuse et le processus photosynthétique (**Taiz et al., 2018**). L'augmentation des pigments chlorophylliens après traitement peut être liée à la réduction des stress biotiques et des attaques phytopathogènes grâce à l'action des pesticides, favorisant ainsi une meilleure activité métabolique des feuilles. Selon **Hasanuzzaman et al., (2020)**, l'amélioration de l'état sanitaire des plantes contribue directement à l'augmentation de la synthèse chlorophyllienne et à l'efficacité photosynthétique.

DISCUSSION

Les faibles valeurs observées dans certains échantillons peuvent être expliquées par des facteurs environnementaux tels que le déficit hydrique, les variations de fertilité du sol ou les conditions climatiques locales, qui influencent fortement la biosynthèse des pigments photosynthétiques (Khalil *et al.*, 2021).

L'analyse de la matière sèche chez le blé dur a révélé une augmentation après l'utilisation des pesticides dans tous les échantillons étudiés, traduisant une amélioration de la croissance végétative et de l'accumulation de biomasse. Cette augmentation peut être liée à la réduction des stress biotiques et à une meilleure efficacité photosynthétique des plants. Selon **Ashraf et Harris (2013)**, l'amélioration de l'état physiologique des plantes favorise l'accumulation de matière organique et stimule la production de biomasse. Les variations observées entre les échantillons peuvent également être influencées par les conditions environnementales et la fertilité du sol.

Conclusion

Conclusion

La présente étude a été réalisée dans le but d'évaluer l'effet combiné de plusieurs pesticides utilisés en culture céréalière sur la fertilité du sol et sur certaines réponses physiologiques du blé dur (*Triticum durum* var. GTA Dur) cultivé dans la région de Zérizer, wilaya d'El Tarf. L'approche adoptée a permis d'étudier simultanément les modifications des caractéristiques physico-chimiques du sol et les variations de paramètres biochimiques végétaux, afin d'obtenir une vision globale de l'impact de ces produits phytosanitaires sur le système sol-plante.

Les analyses physico-chimiques du sol ont montré que l'application des pesticides a entraîné plusieurs modifications notables. Une diminution générale du pH eau et du pH KCl a été observée dans la majorité des échantillons, traduisant une tendance à l'acidification du milieu. Cette évolution pourrait être liée à la nature chimique des substances actives utilisées ainsi qu'aux produits issus de leur dégradation dans le sol. De même, la baisse de la conductivité électrique enregistrée après traitement indique une modification du statut ionique du sol et une réduction de la concentration des sels dissous. Ces changements témoignent d'une influence directe des pesticides sur l'équilibre chimique du milieu édaphique.

Les résultats relatifs à l'humidité du sol ont révélé une légère augmentation dans la plupart des échantillons après traitement, suggérant une amélioration de la capacité de rétention en eau. Cette évolution peut être associée à des modifications de la structure du sol ou à des changements dans les interactions entre les différents constituants du complexe sol-eau. Concernant la matière organique et le carbone organique, les réponses observées se sont révélées variables selon les échantillons. Certaines stations ont enregistré une diminution de ces paramètres, probablement en raison d'une accélération des phénomènes de minéralisation, tandis que d'autres ont présenté une augmentation pouvant être liée à l'accumulation de résidus organiques ou à une modification de l'activité microbienne du sol. Ces résultats mettent en évidence la complexité des interactions entre les pesticides et les processus biologiques qui régissent la fertilité des sols agricoles.

Par ailleurs, l'étude des paramètres biochimiques du blé dur a montré une amélioration significative de l'état physiologique des plantes après l'application des pesticides. Les teneurs en chlorophylle a, chlorophylle b et chlorophylle totale ont augmenté dans l'ensemble des échantillons, traduisant une intensification de l'activité photosynthétique. Cette amélioration peut être expliquée par la réduction des attaques de pathogènes et des stress biotiques grâce à

CONCLUSION

l'action protectrice des produits phytosanitaires. L'augmentation de la matière sèche observée après traitement confirme également une meilleure croissance végétative et une accumulation plus importante de biomasse, témoignant d'une utilisation plus efficace des ressources nutritives par les plants de blé.

L'ensemble des résultats obtenus met donc en évidence que l'effet combiné des pesticides est à la fois bénéfique et préoccupant. D'une part, ces produits contribuent à améliorer les performances physiologiques du blé dur en favorisant la photosynthèse et la production de biomasse. D'autre part, ils induisent des modifications parfois importantes des propriétés physico-chimiques du sol, susceptibles d'affecter à long terme son équilibre biologique et sa fertilité. Ainsi, bien que les pesticides constituent un outil essentiel de protection des cultures et d'amélioration des rendements agricoles, leur utilisation doit être maîtrisée et intégrée dans une stratégie de gestion durable des agroécosystèmes.

En définitive, cette étude souligne la nécessité d'adopter une utilisation raisonnée des pesticides, fondée sur le respect des doses recommandées, la surveillance régulière de la qualité des sols et le recours à des pratiques agricoles durables. Il serait également pertinent de compléter ces travaux par des études portant sur les communautés microbiennes du sol, les activités enzymatiques, les paramètres écotoxicologiques et les effets à long terme des pesticides sur les écosystèmes agricoles. De telles investigations permettraient de mieux comprendre les mécanismes impliqués et de proposer des solutions conciliant productivité agricole, préservation de la fertilité des sols et protection de l'environnement.

Références

Bibliographiques

Références Bibliographiques

A

Abbas K., A , Abdelguerfi .,2005 ; perspectives d'avenir de la jachère pâturée dans les zones céréalières semi _arides. Fomages

Acta (2002). "Pesticides et protection phytosanitaire dans une agriculture en mouvement," Acta, Paris. 976 p.

AFNOR, 1994. NF ISO 10390-Indice de classement: X31-117. Qualité du sol. Détermination du pH. Paris, France. p12.

Afsset (2010) Valeurs Toxicologiques De Référence (VTR) Rapport Guide D'élaboration De VTR.

Aiman, U., Mahmood, A., Waheed, S., Malik, R. N. (2016). Enrichment, geo-accumulation

Aissa, A., Mhiri, A. (2002). Fertilisation phospho-potassique du blé dur en culture intensive en Tunisie. *Agricultures*, *agricultures/article/view/30366* 11(6), 391-397.
<https://revues.cirad.fr/index.php/cahiers>

Ait Hamada M. Et Khaoua S. 2017. Effets D'un Mélange Combiné De Certains Pesticides Sur Le Genre Armadillidum. Mémoire De Master : Environnement Et Santé Publique. Université De Béjaia, 68p.

Aktar W., Sengopta D., Chawdhury A. 2009. Impact Of Pesticides Use In Agriculture: Their Benefits And Hazards. *Interdisc Toxicol*, 12p

Aktar, W., Sengupta, D., & Chowdhury, A. (2009). Impact de l'utilisation des pesticides en agriculture.

and risk surveillance of toxic metals for different environmental compartments from Mehmood

Andren O, Balandreau J. (1998). Biodiversité et fonctionnement du sol : où en sommes nous aujourd'hui?. 16ème congrès mondial de science du sol, symposium11, Montpellier

Anonyme 4., 1999. Agenda Annuel De L'amiphy, Association Marocaine De Négociants, Importateurs Et Formulateurs Des Produits Phytosanitaires

Archambeaud, M., Thomas, F. (2016). Les Sols agricoles : Comprendre observer diagnostiquer. Editions France agricole. (consulté le 23 Mars 2023).

Archer, J. (1988). Crop nutrition and fertilizer use (2nd. Ed). Farming Press.

Ashraf, M., & Harris, P. J. C. (2013). *Photosynthesis under stressful environments: An overview*. *Photosynthetica*, 51(2), 163–190.

Aubert, G ,1978. Méthodes d'analyses des sols. Marseille : Centre national de documentation et pedologique

Ayad-Mokhtari N. (2012). Identification et dosage des Pesticides dans l'Agriculture et les problèmes d'Environnement liés (en ligne). Diplôme de MAGISTER, faculté de Chimie Organique, université d'Oran, ALGERIE, pp86.

B

Badraoui M., Bouaziz A. & Kabbassi M. (1992) Sols des Doukkala., contraintes physiques et potentialités pour une céréaliculture intensive. Vol. 1. Projet Développement et amélioration de la production céréalière en irrigué. DPV. MAMVA. Rabat.

Barriuso E., Calvet R., Schiavon M. et Soulas G., 1996. Les pesticides et les polluants organiques des sols. Forum « le sol, un patrimoine menacé? » numéro spécial: 279 295.

Bartlett, D. W., Clough, J. M., Godwin, J. R., Hall, A. A., Hamer, M., & Parr-Dobrzanski, B. (2002). The strobilurin fungicides. *Pest Management Science*, 58(7), 649–662. <https://doi.org/10.1002/ps.520>

Bazzi LH. Etude De La Persistance De Quelques Pesticides Dans La Culture De L'haricot Vert Dans La Région De Souss Massa. [Thèse De Doctorat En Science, Spécialité Environnement]. Agadir : Université Ibn Zohr, Ecole Nationale Des Sciences Appliquées; 2010.

Bender, S. F., Wagg, C., & van der Heijden, M. G. A. (2016). An underground revolution: Biodiversity and soil ecological engineering for agricultural sustainability. *Trends in Ecology & Evolution*, 31(6), 440–452. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.02.016>

Bensaad, S., & Bouzidi, A. (2019). Impact des pratiques agricoles sur la qualité des sols dans le nord-est algérien. *Revue Agriculture*, 10(2), 45–53.

Benziane A.D., 2014. Effet d'un régime enrichi en chlorpyrifos chez le rat wistar: etude de l'activité enzymatique des cholinestérasés comme indicateur biologique. Thèse de master, université Telemasane. 51p.

Berny Pj., Buronfosse T., Buronfosse F., Lorgue G. 1997. Field Biologiques Et Ecologiques Dans La Détermination De Stratégies D'échantillonnage Adaptées Aux Etudes

Bevenk., Germannp., 1982. Macropores And Water Flow In Soils. *Water Resources Research*, 18, 1311 1325.

Bohn, HL, McNeal, BL et O'Connor, GA (2001). Chimie du sol (3e éd., p. 307). New York : John Wiley & Sons, Inc.

Boland J., Koomen I., Vane Lidth De Jeude J., Oudjans J. 2004. AD29E Pesticides: Compounds, Use And Hazards. Agromisa Foundation.108p

Booti dumping site, Lahore city, Pakistan. Chemosphere [en ligne], 144, 2229-2237. (consulté

Borneman J, Triplett Ew. (1997). Molecular microbial diversity in soils from eastern Amazonian : evidence for unusual microorganisms and microbial population shifts associated with deforestation. Applied Environmental Microbiology 63:2647-2653.

Boseret, G., T. Jauniaux, And F. Coignoul. (2001). Evidence Of Distemper In Harbor Seals (Phoca Vitulina) Stranded From 1990 To 2000 Along The Coastlines Of Belgium And Northern France. European Cetacean Society Annual Meeting Roma

Bot, A. et Benites, J. (2005) L'importance de la matière organique du sol, clé d'un sol résistant à la sécheresse et d'une production alimentaire durable. Bulletin des sols de la FAO 80, FAO, Rome.

Bouaziz, A., Soudi, B. (1997). Fertilisation azotée du blé dur (Triticum durum Desf L.) en irrigué dans les Doukkala (Maroc). 18(3), 139-150., Actes Inst. Agron. Veto, Maroc.

Bouchon C, Lemoine S (2003) Level of contamination by pesticides in marine food webs of Guadeloupe and research of biomarkers of genotoxicity. Rapport UAG-DIREN, 33 pp (in French)

Boudjabi, S., & Chenchouni, H. (2021). Effects of agricultural practices on soil quality in northeastern Algeria. *Journal of Applied Soil Ecology*, 157, 103–112.

Boyardieu J., (1997) Techniques agricoles – précis de physiologie végétale. Techniques Agricoles Fascicule n°2020.

Bozzini A. (1988). Origin, distribution, and production of durum wheat in the world. In: Fabriani G. et Lintas C. (éd). Durum: Chemistry and Technology. AACC (American Association of Cereal Chemists) , Inc. St. Paul, Minnesota, États-Unis. pp 1-16.

Brady, N. C., & Weil, R. R. (2016). *The nature and properties of soils* (15th ed.). Pearson.

C

Cadi A. (2005). Caractérisation des zones céréalières potentielles à travers le nord d'Algérie. Céréaliculture N°44-1er Semester : 36-39.

Cairns T., Sherma J.1996. Emerging strategies for pesticides analysis. CRC press, Boca Raton. Florida-USA. Vol 754: 125-135.

Calvet R. & Charnay M.-P. (2002). Le Devenir Dans Le Sol Des Produits Phytopharmaceutiques Insecticides et protection phytosanitaire dans une agriculture en mouvement. Edition Acta, Paris, 805- 833pp.

Calvet R., Barriuso E., Bedos C., Benoit C., Charnay M.-P. et Coquet Y., 2005. Les pesticides dans le sol: conséquences agronomiques et environnementales. Éditions France Agricole, Paris. 625 p.

Calvet, R. (2005). Les pesticides dans le sol: Conséquences agronomiques et environnementales. France Agricole Editions [en ligne]. (consulté le 31 Mars 2023). URL : <https://books.google.com.na/books?id=YaSjZm4E0EwC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

Carné-Carvalet, C. (2021). Biologie du sol et agriculture durable : une approche organique et agroécologique. France Agricole Editions. (consulté le 23 Mars 2023).

Carvalho, F. P. (2017). Pesticides, environnement et sécurité alimentaire.

Chafik N., 2002. Contribution A L'étude Du Comportement De L'herbicide Triflurosulfuron Méthyle Dans Le Sol Et Dans Les Milieux Aquatiques. Thèse De Doctorat, Université Hassan II Ain- Chock, Casablanca, Maroc, P 6.

Chaignon, V., Sanchez-Neira, I., Herrmann, P., Jaillard, B., And Hinsinger, P., 2003. Copper bioavailability and extractability as related to chemical properties of contaminated soils from a vine-growing area. Environ Pollut. 123(2); 229-238.

Chantret N., Salse J., Sabot F., Rahman S., Bellec A., Laubin B., Dubois I., Dossat C., Sourdille P., Joudrier Ph., Gautier M.F., Cattolico L., Beckert M., Aubourg S., Weissenbach J., Caboche M., Bernard M., Leroy Ph and Chalhoub B. (2005). Molecular Basis of Evolutionary Events That Shaped the Hardness Locus in Diploid and Polyploid Wheat Species (Triticum and Aegilops). communiqué de presse. Paris, le 4 avril 2005 / INRA - CNRS – Université Evry – Genoscope-CNS – Génoplante – Genopole.

Clement M et Pielain F., 2003. Analyse chimique méthodes choisies. Ed. TEC&Doc. P 275

Coleman, J.M. Blake-Kalff et E. Davies, « Détoxification des xénobiotiques par les plantes : modification chimique et compartimentation vacuolaire », Trends Plant Science, vol. 2, n° 4, 1997, p. 144-151. [http://dx.doi.org/10.1016/S1360-1385\(97\)01019-4](http://dx.doi.org/10.1016/S1360-1385(97)01019-4).

Colleu S. et Mignard E., 2000. La lutte contre la pollution des sols par les pesticides: limiter les apports, réduire les fuites. INRA, 5p.

Commission De La Santé Et De La Sécurité Du Travail Du Québec., 2004. Direction Des Communications, & Commission De La Santé Et De La Sécurité Du Travail Du Québec. Service Du Répertoire Toxicologique. Notions De Toxicologie. Montréal: Commission De La Santé Et De La Sécurité Du Travail. ISBN : 2-551-22538-8.P 20.

Cooper K., 1991. Effects Of Pesticides On Wildlife. In W.J. HAYES &R.R.LAWS : Handbook Of Pesticide Toxicology. Academic Press, San Diego, CA, USA, 463-496.

Coullery, P. (1997). Gestion des sols faiblement pollués par des métaux lourds. Revue Suisse d'Agriculture. 29, 299-305.

Courde, L., Vallaey, T., Chaussod, R., Levèque, J. et Andreux, F. (1998). Faut-il craindre des effets secondaires du cuivre sur la biocoenose des sols viticoles ? Revue des oenologues. 86, 19-21.

Couteux A. et Lejeune V., 2006 Indexe phytosanitaire ACTA 2007. 43 éd. Paris. 832 p.

D

Dabène E., Marié F., 1993. Caractéristiques Utiles Pour L'évaluation Du Comportement De Quelques Matières Actives Dans L'environnement. Recueil De Fiches Synthétiques Et Guide De Lecture. Ministère De L'Agriculture Et De La Pêche, Paris, France.

Deluisa, A., Giandon, P., Aichner, M., Bortolami, P., Bruna, L., Lupetti, A., Nardelli, F. et Stringari, G. (1996). Copper pollution in Italian vineyard soils. Communication Soil Science Plant Anal. 27, 1537-1548.

Di Geronimo I., 1987, Bionomie Des Peuplements Benthiques Des Substrats Meubles Et Rocheux Plio-Quaternaires Du Détroit De Messine. Doc. Et Trav. IGAL, 11: 153-170.

Djellouli F., (2013). Aspect Qualitatif Et Quantitatif Des Lipoprotéines Sériques Chez Les Agriculteurs Utilisant Les Pesticides Dans La Région De Tlemcen. Thèse De Magistère En Physiopathologie Cellulaire. Université Abou Bekrbelkaid-Tlemcen.P 08

Domminique.Z (2000). Les Résidus De Pesticides Dans Les Plantes. Ed INRA.

Dubcovsky J., Dvorak J. (2007). Genome Plasticity a Key Factor in the Success of Polyploid Wheat Under Domestication. Science 316 [Issue 5833], pp 1862.

Duchaufour P., Faivre P., Poulenard J., Gury M. (2018). Introduction à la science du sol 7^e édition Sol, végétation, environnement. Dunod, 472 p.

Duchaufour Ph (1995). Pédologie, Sol, Végétation, Environnement. Abrégés 4^{ème} édition, Masson éd. 324p.

Duchaufour, P. (2001) Introduction à la Science du Sol : Sol, Végétation, Environnement. Dunod, Paris, 331 p.

Duthil, J. (1973). Eléments d'écologie et d'agronomie. J.B. Baillièrre et Fils.

Dvorak J. (1998). Genome analysis in the Triticum-Aegilops alliance. In: Proc. of the 9th Int. Wheat Genetics Symp. (Ed: A.E. Slinkard). Univ. of Saskatchewan. Vol 1, 8-11.

E

EFSA. (2010). Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance azoxystrobin. *EFSA Journal*, 8(4), 1542.

EL Bakouri H. Développement De Nouvelles Techniques De Détermination Des Pesticides Et Contribution A La Réduction De Leur Impact Sur Les Eaux Par Utilisation Des Substances Organiques Naturelles. [Thèse De Doctorat]. Tanger : Université Abdelmalel Essaadi, Faculté Des Sciences Et Techniques;2006.

El Bakouri, H (2002). Etude De L'adsorption De L'endosulfan Sur Certaines Matrices Végétales. Rapport De Stage. Réf : UFR/02-01. Thèse De Doctorat Université De Tanger. Maroc

F

FAO, & WHO. (2008). *Azoxystrobin: Pesticide residues in food – Evaluations*. Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues (JMPR). Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Faurie C., Erra C., Médorie P., Devane J., Remptime J.L. 2003. Ecologie, Scientifique. 5^{ème} édition LAVOISIER. 823P.

Feillat et p., 2000: le grain de blé dur : composition et utilisation. INRA. paris.

Feldman M. (2001). Origin of Cultivated Wheat. In Bonjean A.P et Angus W.J (éd.). The World Wheat Book: a history of wheat breeding. Intercept Limited, Andover, Angleterre, pp 3-58.

Fenner, K., Canonica, S., Wackett, L. P., & Elsner, M. (2013). Evaluating pesticide degradation in the environment: blind spots and emerging opportunities. *Science (New York, N.Y.)*, 341(6147), 752–758. <https://doi.org/10.1126/science.1236281>

Fillatre Y. Produits Phytosanitaires : Développement D'une Méthode D'analyse Multi Résidus Dans Les Huiles Essentielles Par Couplage De La Chromatographie Liquide Avec La Spectrométrie De Masse En Mode Tandem. [Thèse De Doctorat, Spécialité Chimie Analytique]. Angers: Ecole Doctorale : Matières, Molécules, Matériaux Des Pays De Loire; 2011.

Flores-Velez, L. M., Robert, M., Ducaroir, J. et Elsass, F. (1996). Transfert du cuivre dans les sols de vignobles. In "Transfert des polluants dans les hydrosystèmes", Paris. 39-46 p.

Food and Agriculture Organization of the United Nations, & Intergovernmental Technical Panel on Soils. (2017). *Global assessment of the impact of plant protection products on soil functions and soil ecosystems.* FAO. (openknowledge.fao.org)

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2018). *Soil pollution: A hidden reality* (Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M., & Pennock, D.). FAO. (agris.fao.org)

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (n.d.-a). *Global soil health: Indicators and assessment.* FAO Soils Portal. ([FAOHome](https://www.fao.org/soils-portal))

FRAC. (2023). *FRAC code list 2023: Fungicides sorted by mode of action.* Fungicide Resistance Action Committee.

G

Genot, V., Colinet, G., Bock, L. (2007). La fertilité et la biodiversité des sols. Rapport analytique sur l'état de l'environnement Wallon 2006-2007. pp 461-467

Genot, V., Colinet, G., Bock, L. (2007). La fertilité et la biodiversité des sols. Rapport analytique sur l'état de l'environnement Wallon 2006-2007. pp 461-467.

Gille F., 1991. Pesticides And The Thierd World. J. Toxicol. Environm. Health. 32: 11 31.

Gitte P., Seberg O., Yde M., Berthelsen K. (2006). Phylogenetic relationships of Triticum and Aegilops and evidence for the origin of the A, B, and D genomes of common wheat (Triticum aestivum). Molecular Phylogenetics and Evolution, 39: 70-82.

Glotfeltyd.E., Seiber J.N., Liljedahl, L.A., 1987. Pesticides In Fog. Nature, 325, 602-605.

Gobat J. M., Aragno M., & Matthey W. (2010). Le sol vivant: bases de pédologie, biologie des sols. PPUR Presses polytechniques (Vol. 14), 817 p.

Grandcourt M.C., Prats J. (1971). Les céréales. Ed. J.B Bailliers et Fils, 360 p.

Guét G,(2003). Mémento d'agriculture biologique : guide pratique à usage professionnel. Edit. Pairs : France agricole 2e édit. 60p

Gustafson, D.I. 1989. Ground water Ubiquity Score: A Simple Method for Assessing Pesticide Leachability. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 8:339-357.

Gustafson, D.I. 1989. Groundwater Ubiquity Score: A Simple Method For Assessing Pesticide Leachability. *Environmental Toxicology And Chemistry*, 8, 339-357.

H

Hamza, M., & Kherbouche, A. (2017). Effet des intrants agricoles sur les propriétés physico-chimiques des sols en Algérie orientale. *Courrier du Savoir*, 23, 67–74.

Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. H. M. B., Zulfiqar, F., Raza, A., Mohsin, S. M., Mahmud, J. A., Fujita, M., & Fotopoulos, V. (2020). « Espèces réactives de l'oxygène et défense antioxydante chez les plantes soumises au stress abiotique ». *Antioxidants*, 9(8), 681.

Hayo M. G. Van Der Werf. (1997). Evaluer L'impact Des Pesticides Sur L'environnement. Le Courrier De L'environnement N°31. 1997

Helander M., Saloniemi I., Saikkonen K. 2012. Glyphosate In Northern Ecosystems. *Plant Science.Finland. (TRPLSC)*, 979p.

Henin O., Hasnaou A., 1969: Effets des hydrocarbures sur les propriétés physicochimiques du sol et essaie de phytoremediation. Mémoire d'ingénieur d'état en Biologie. U.M.M.T.O. 35p.

Hequet F, (1995). Approche Méthodologique Des Conditions D'hydrolyse De l'Atrazine.

Hillel, D. (2004) Introduction à la physique environnementale des sols. Academic Press, New York.

J

Jayanthi, B., Emenike, C. U., Agamuthu, P., Simarani, K., Mohamad, S., Fauziah, S. H. (2016). Selected microbial diversity of contaminated landfill soil of Peninsular Malaysia and the behavior towards heavy metal exposure. *Catena*, 147, 25-31. (consulté le 23 Mars 2023). DOI : <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.06.033>

Jeffery S., Gardi C., Jones A. (2013) Atlas européen de la biodiversité des sols.128p

Jenny, H. (1941) Facteurs de formation des sols : un système de pédologie quantitative. Dover Publications, New York, 281 p.

Jury W.A., Fochtd.D., Farmerw.J., 1987. Evaluation Of Pesticide Groundwater Pollution Potential From Standard Indices Of Soil-Chemical Adsorption And Biodegradation. *J. Environ. Qual.*, 16, 422-428.

K

Kawahigashi H. (2009). Transgenic plants for phytoremediation of herbicides. *Current opinion in biotechnology*, 20(2), 225–230. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2009.01.010>

Keeney, D.R. (1982). Nitrogen availability indexes. In: C. A. Blacket et al. (Ed.) *Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy 9.* Am. Soc. Agron. Inc. Madison. Wis. 711-730

Khalil, N., Ashraf, M., & Hameed, M. (2021). « Influence du stress environnemental sur la teneur en chlorophylle et l'efficacité photosynthétique chez le blé ». *Journal of Plant Growth Regulation*, 40, 1502–1512.

Kherbouche, A., & Boudoukha, A. (2016). Influence des pesticides sur les caractéristiques chimiques des sols agricoles en Algérie. *Revue des Sciences de l'Eau*, 29(4), 295–304.

Kibblewhite, M. G., Ritz, K., & Swift, M. J. (2008). Soil health in agricultural systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1492), 685–701. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2178>

Kjeldahl, J. (1883). *A new method for the determination of nitrogen in organic matter.* Zeitschrift für analytische Chemie, 22, 366–382.

Koller E. (2004). Traitement des pollutions industrielles (eau, air, déchet, sol, boues). Edition DUNOD Paris. 424 p.

L

Lal R., Shukla MK (2004) : Principes de la physique des sols. Marcel Dekker, New York

Lal, R. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*, 7(5), 5875–5895. <https://doi.org/10.3390/su7055875>

Lamrini A., 1978. Contribution A L'étude De La Pollution Aquatique Pat Les Pesticides Organochlorés. Thèse De Doctorat Vétérinaire, Institut Agronomique Et Vétérinaire Hassan II. Maroc.

Laumont P., Erroux J. (1961). Inventaire des blés durs rencontrés et cultivés en Algérie, Mémoires de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord, 5 : 96.

le 23 Février 2023) DOI : <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.10.077>

Le Clech B.H, (1998). Environnement Et Agriculture. 2e Ed. Bordeaux, France : Edition Synthèse Agricole. Leachability. Environ. Toxicol. Chem.,8, 339-357.

Leonardr. A., 1990. Movement Of Pesticides Into Surface Waters. In Pesticides In The Soil Environment. Soil Science Society Of America Book Series, N° 2, Madison, WI, USA, 303-349.

Leonardr. A., Langdale G.W., Fleming W.G., 1979. Herbicide Runoff From Upland Piedmont Watersheds- Data And Implications For Modeling Pesticide Transport. J. Environ. Qual., 8, 223 229.

Lesouder, C. (2017). Le raisonnement de la fertilisation P-K repose sur quatre critères. Arvalis. <https://www.arvalis-infos.fr/le-raisonnement-de-la-fertilisation-pk-repose-sur-quatre-criteres-@/view/240-arvarticle.html>

Lev-Yadun S., Gopher A., Abbo S. (2000). The cradle of agriculture. Science, 288: 1602-1603.

Liu, X., Wang, S., Zhuang, Q., Jin, X., Bian, Z., Zhou, M., Meng, Z., Han, C., Guo, X., Jin, W., Zhang, Y. (2022). A Review on Carbon Source and Sink in Arable Land Ecosystems. Land, 11(4), Article 4. (consulté le 24 Février 2023) DOI : <https://doi.org/10.3390/land11040580>

M

MADR. 2005. Rapports campagnes Labours Semailles/Moissons Battages, 2003/2004,2004/2005 du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, Direction de la Régulation, du Développement et de la Production Agricole.

Margoum C., Malessard C. And Gouy V. (2003). Use Of Experimental Design To Investigate Pesticide Adsorption On Ditch Bed Sediment And Leaves In Decay. In: XII Symposium Pesticide Chemistry, Piacenza Italie, 4-6 Juin 2003: 175-183

Massenot .D, (2001). La méthode BRDA-Herody. Un outil de diagnostic de la fertilité. In forum national des fruits et légumes biologiques GRAB-ITAB. pp 137-140

Mathieu, C. et Pieltain, F. (1998) Analyse physique des sols. Méthodes choisies, TEC et DOC Lavoisier, Paris, 1-17.

Matthews, G. A. (2008). Pesticide Application Methods. 3rd Edition, Wiley-Blackwell.

Mckey J. (1968). Species relations in Triticum. Proc.2nd International Wheat Genetic symposium. Hereditas2, 237-276.

Mekhlouf, A. Etude de la variabilité génétique du blé dur (*Triticum durum*, Desf), pour la tolérance au froid. Thèse de Doctorat es Science en Agronomie. Institut National Agronomique El-Harrach Alger. 2009,81p.

Merhi M. 2008. Etude De L'impact De L'exposition A Des Mélanges De Pesticides A Faible Dose : Caractérisation Des Effets Sur Des Lignées Cellulaires Humaines Et Sur Le Système Hématopoïétique Murin. Thèse De Doctorat : Pathologie, Toxicologie, Génétique Et Nutrition. Université De Toulouse, France, 140p.

Mesnager, R., Defarge, N., Spiroux de Vendômois, J., & Séralini, G. E. (2014). Major pesticides are more toxic to human cells than their declared active principles. *BioMed research international*, 2014, 179691. <https://doi.org/10.1155/2014/179691>

Mietinnen, I., Martikainen, P., Vartiainen, T. Et Lötjönen, S. (1993). « Biochemical And Chemical Degradation Of 3-Chloro-4-(Dichloromethyl)-5-Hydroxy-2(5H)- Furanone (MX) In Surface And Drinking Water,» *Chemosphere*, Vol. 27, Pp. 1707-1718.

Monnier, Stengel, Guerifj.(1981). Séminaire AGRIMED, Bari, 28-9-1981.

Morsli, 2010 : Adaptation du blé dur (*triticum durum* desf) dans les conditions des hautes plaines. Constantinoises. Diplôme de doctorat univ bordj Mokhtar annaba.

Mossaddaq, F. (1990). Nitrogen assimilation and remobilisation in relation to grain yield and protein inspring wheats. [Thèse de Doctorat Colorado State University].

Moughli, L., (2000). Mineral fertilizers: Characteristics and uses. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, 72-74.

N

Nedjeh, I., 2015 : Changements physiologiques chez des plantes (Blé dur *Triticum durum* Desf.) exposées à une pollution par un métal lourd (plomb) thèse de doctorat en science en biologie végétale et environnement. Université Badji Mokhtar - Annaba Algérie P (4- 5 – 6) .

O

OMS (2020). Classification recommandée des pesticides en fonction de leur danger par l'Organisation mondiale de la santé.

Osman, K. T. (2013). Wetland Soils. In K. T. Osman (Éd.), *Soils : Principles, Properties and Management* (p. 215-227). Springer Netherlands. (consulté le 24 Février 2023). DOI : https://doi.org/10.1007/978-94-007-5663-2_13

P

Paul, E. A. (2014). Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry. Academic Press. (consulté le 23 Février 2023).

Pena RJ., WH ,pfeiffer ,2005 : Breeding méthodologies et stratigies for durum what quality improvement .In conscita R., Nachit ,M, dit fonzo .N ; Araus J.L., pfeiffer ,W.H ; & slafter, G.A (eds) .Durum wheat breeding current approaches and future stratigies .food product press.

Pflieger M. 2009. Etude De La Dégradation Photochimique Des Pesticides Adsorbés A La Surface De Particules Atmosphériques. Thèse De Doctorat : Biosciences De L'environnement. Université De Provence France, 261p.

PPDB. (2023). *Pesticide properties database.* University of Hertfordshire.
<https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/>

Prové P., Ambrosi D., Barralis G., Cluzeau-Moulay S., Coutin R., Faivre-Amiot A., Muller B., De La Rocque B. (2007). *Reconnaître facilement les plantes adventices des cultures.* ACTA / ACTA Publications, Paris.

R

Regnault-Roger C., Fabres G. Et Philogene B.J. (2005). Enjeux Phytosanitaires Pour L'agriculture Etl'environnement. Edition Tec Et Doc, Paris, 977 P.

Regnault-Roger C., Philogene B.J.R Et Vincent Ch. (2005). Biopesticides D'origine Végétale. Editions Tec Et Doc, Lavoisier, Paris, P 465.

Regnault-Roger, C., Fabres, G. et Philogène, B. (2005). *Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement .* Tec & Doc.

Ribolzi, O., Valles, V., Gomez, L. et Voltz, M. (2002). Speciation and origin ofparticulate copper in runoff water from a Mediterranean vineyard catchment. Environmental pollution. 117,261-271.

Richard I. 2010. Les Pesticides Et La Perte De Biodiversité : Comment L'usage Intensif Des Pesticides Affecte La Faune Et La Flore Sauvage Et La Diversité Des Espèces Europe, 28 P.

Robert M, (1996) Le sol: Interface dans l'environnement, ressources pour le développement. Masson, Paris, Milan, Barcelone

Rocco, C., Duro, I., Di Rosa, S., Fagnano, M., Fiorentino, N., Vetromile, A., Adamo, P. (2016). Composite vs. Discrete soil sampling in assessing soil pollution of agricultural sites affected by solid waste disposal. *Journal of Geochemical Exploration* [en ligne], 170, 30-38. (consulté le 23 Février 2023) DOI : <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.08.004>

S

Saha, S., B. Saha, S. Muru, S. Pati and P. Roy. (2014). Grain yield and phosphorus uptake by wheat as influenced by long-term phosphorus fertilization. *African Journal of Agricultural Research*, 9(6), 607-612. <https://doi.org/10.5897/AJAR2013.7525>

Saibi A. (2008) . mémoire de magister Ecole Nationale Polytechnique Alger.

Sandermann H., Jr (1994). Higher plant metabolism of xenobiotics: the 'green liver' concept. *Pharmacogenetics*, 4(5), 225–241. <https://doi.org/10.1097/00008571-199410000-00001>

Schreck, T., Bernard, J., Von Landesberger, T. & Kohlhammer, J. (2009). Visual Cluster Analysis Of Trajectory Data With Interactive Kohonen Maps, *Information Visualization* 8(1): 14–29

Severin F, (2002). Risque Ecotoxicologiques Des Pesticides– Dynamique Des Produits Dans Les Systèmes. In *Pesticide Et Protection Phytosanitaire Dans Une Agriculture En Mouvement* Ed ACTA, PARIS Pp.731-754

Shaner, D. L. (Ed.). (2014). *Herbicide handbook* (10th ed.). Weed Science Society of America.

Shujie, M., Yunfa, Q. (2011). Effect of phosphorus concentration on adaptive mechanisms of high and-low-P efficiency soybean genotypes when grown in solution. *Plant Soil Environ*, 57(2), 61-66. <https://doi.org/10.17221/143/2010-PSE>

Silva, V., Mol, H. G. J., Zomer, P., Tienstra, M., Ritsema, C. J., & Geissen, V. (2019). Pesticide residues in European agricultural soils—A hidden reality unfolded. *Science of the Total Environment*, 653, 1532–1545. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.441> ([ScienceDirect](#))

Simon, H., Codaccioni,P., Lequeur,X., 1989. Produire des céréales à paille. Coll. Agriculture d'aujourd'hui. Science, Techniques, Applications. 63 (67), 292 - 296.

Slimani, H. (2020). *Impact des pesticides sur les propriétés physico-chimiques des sols agricoles dans la région d'El Tarf* (Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba).

Soltner 1988 : les grandes productions végétales, les collections sciences et the role of protine accumulations in halophytes planta.

Soltner.D., 1990. Les grandes productions végétales: Céréales, plantes sarclées, prairies. Coll.Sciences et Techniques agricoles. 17ième Ed. 464p.

Spencer W.F., Cliath, M.M., 1990. Movement Of Pesticides From Soil To The Atmosphere. In D.A. Kurtz : Long Range Transport Of Pesticides. Lewis Publishers, Chelsea, Michigan, USA, 1-16.

Storia, C., A. Berbecea, N. Baghina, I. Gaica, M. Storia, I. Radulov. (2013). Phosphorus dynamics on soil. Research Journal of Agricultural Science, 45(1), 78-83. https://www.researchgate.net/publication/284409195_Phosphorus_dynamics_on_acidic_grass_land_soil

Swaine, M., Bergna, A., Oyserman, B., Vasileiadis, S., Karas, P. A., Screpanti, C., & Karpouzas, D. G. (2025). Impact of pesticides on soil health: Identification of key soil microbial indicators for ecotoxicological assessment strategies through meta-analysis. *FEMS Microbiology Ecology*, 101(6), fiaf052. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiaf052> ([OUP Academic](#))

Syngenta. (2023). *Ortiva® 25 SC – Fiche technique.* Syngenta Crop Protection AG.

T

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2018). *Physiologie et développement des plantes* (6^e éd.). Sinauer Associates.

Tanwar, S.P.S., Shaktawat, M.S. (2003). Influence of phosphorus sources, levels and solubilizers on yield, quality and nutrient uptake of soybean (Glycin max)-wheat (Triticum aestivum) cropping system in southern Rajasthan. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 73(1), 3-7.

Taylor A.W., Spencerw. F., 1990. Volatilization And Vapor Transport Processes. In Pesticides In The Soil Environment. Soil Science Society Of America Book Series, N°2, Madison, WI, USA, 213-269.

Taylor, A.W. 1995. The Volatilization Of Pesticide Residues. In : Environmental Behaviour Of Agrochemicals. Vol. 9. Roberts T.R., Kearney P.C., (Eds.), Wiley J & Sons Ltd, Chichester, UK, P. 418.

Tomlin CDS. The Pesticide Manual. 13th Ed. UK : British Crop Protection Council, Surrey ; 2006.

Troccoli A., G.M. Borelli.p. pevita,c.Fares, N, Difonzo ;2000 : durum wheat quality : A multi_ dixipling concept .j.cérééal sci

Uhl, P., et al. (2024). Combined application of up to ten pesticides decreases key soil processes. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-31836-x> ([Springer](#))

U

USDA,(1998). Soil quality resource concerns: Soil biodiversity. USDA Natural Resources Concervation Service, January 1998. www.nssc.nrcs.usda.gov

V

Van der Heijden, M. G. A., Bardgett, R. D., & van Straalen, N. M. (2008). The unseen majority: Soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 11(3), 296–310. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01139.x> ([Wiley Online Library](#))

Vodyanitskii, Y. N. (2016). Biochemical processes in soil and groundwater contaminated by leachates from municipal landfills (Mini review). *Annals of Agrarian Science* [en ligne], 14(3), 249-256. (consulté le 23 Février 2023).

W

Wall A.M., Ripley R., Gale M.D. (1971). The position of a locus on chromosome 5B of *Triticum aestivum* affecting homoeologous meiotic pairing . *Genet Res*, 18: 329-339.

Ware, G. W., & Whitacre, D. M. (2004). *The Pesticide Book*. 6th Edition, MeisterPro Information Resources.

White, R. E. (2006). *Principles and practice of soil science: The soil as a natural resource* (4e éd.). Blackwell Publishing.

Whocunep, 1989. Public Health Impact Of Pesticides Used In Agriculture. World Health Organization-United Nations Environment Programme. Genève, Suisse

Wild, A. (1993). *Soils and the environment: An introduction*. Cambridge University Press.

Annexe

Annexe 1

1. Les Analyses physico-chimique du Sol Avant l'utilisation des pesticides

Echantillons	pH eau	pH Kcl	EC	Humidité	Matière Organique	Carbone
1	8,48	4,16	246	9,09%	4,55%	2,63%
2	8,66	3,63	218	10,24%	3,92%	2,27%
3	8,55	3,84	238	8,25%	4,96%	2,88%
4	8,57	3,66	266	8,13%	3,83%	2,22%
5	8,63	3,68	215	8,16%	4,45%	2,58%
6	8,6	3,72	225	7,83%	3,87%	1,94%

2. L'analyse des paramètres biochimiques A partir des feuilles de blé dur

Echantillons	Ch(a) ($\mu\text{g/gMF}$)	Ch(b) ($\mu\text{g/gMF}$)	Ch (a+b) ($\mu\text{g/gMF}$)	Matière sèche
1	10,312	3,822	14,134	20
2	15,819	6,214	22,033	15
3	23,235	22,562	45,797	18
4	18,123	9,273	27,396	24
5	15,432	5,217	20,649	16
6	8,735	3,672	12,407	15

Annexe 2

1. Les Analyses physico-chimique du Sol Après l'utilisation des pesticides

Echantillons	pH eau	pH Kcl	EC	Humidité	Matière Organique	Carbone
1	8,08	3,87	185	9,33%	4,37%	2,53%
2	8,18	3,64	195	8,26%	4,04%	2,34%
3	8,01	3,74	187	8,61%	4,02%	2,33%
4	8,29	3,65	160	8,47%	5,72%	3,32%
5	8,15	2,73	173	8,90%	4,32%	2,51%
6	8,19	3,79	166	7,93%	5,76%	3,34%

2. L'analyse des paramètres biochimiques A partir des feuilles de blé dur

Echantillons	Ch(a) ($\mu\text{g/gMF}$)	Ch(b) ($\mu\text{g/gMF}$)	Ch (a+b) ($\mu\text{g/gMF}$)	Matière sèche
1	14,31	6,17	20,49	30
2	28,1	17,12	45,22	33
3	42,73	29,17	71,9	26
4	35,02	21,12	56,14	26
5	30,72	19,1	49,82	29
6	10,12	6,72	16,85	

Annexe 3

1. Méthodes utilisées pour les analyses du sol

Paramètre	Méthode utilisée
pH	pH-métrie
Conductivité électrique	Conductimétrie
Humidité	Méthode gravimétrique (étuvage à 105 °C)
Matière organique	Méthode de calcination (perte au feu)
Carbone organique	Méthode de Van Bemmelen

2. Méthodes utilisées pour les analyses de la plante (*Triticum durum*)

Paramètre	Méthode utilisée
Chlorophylle a, b et totale	Méthode de Mackinney (1941) modifiée par Holden (1975)
Matière sèche	Méthode gravimétrique (étuvage à 105 °C)