

ETUDE DE L'EFFET DE L'EPANDAGE DE MARGINES SUR LES PROPRIETES BIOLOGIQUES ET CHIMIQUES DU SOL EN ZONE SEMI-ARIDE

KADI K^{1,2*}, MEKERSI N^{1,4}, GUEBOUDJI Z^{1,3}, AISSANI N¹, HAMLIS^{1,2}, ADDAD D²,
BOUKERIA S⁵, DIB D^{1,2}, LEKMINE S¹, LAASSIS A² ET BOUALAGUE B²

¹Laboratoire de Biotechnologie, Eau, Environnement et Santé, Faculté SNV, Université Abbes Laghrour Khenchela, Algérie

²Faculté SNV, Université Abbes Laghrour Khenchela, Algérie

³Département microbiologie et biochimie, Faculté SNV, Université Batna 2 Algérie

⁴Ecole nationale supérieure des forêts, Khenchela, Algérie

⁵Laboratoire des sciences et matériaux, Centre universitaire de MILA, Algérie

Résumé : Les margines sont des effluents liquides générés par la fabrication de l'huile d'olive, elles présentent les caractéristiques d'un bon fertilisant et leur épandage noté une diminution de la capacité d'adaptation de certains microorganismes du sol. Notre étude a pour objectif d'évaluer l'effet des margines issues de l'extraction à froid des olives de la région de Khenchela sur la microflore du sol. L'épandage des margines issues de deux variétés (Chemlal et Zebouche) sur des parcelles de 1 m² au niveau de l'université de Khenchela a été appliqué à des différentes doses 0 L/ m², 5L/m² et m10L/m². Des mesures des paramètres physicochimiques et microbiologiques ont été réalisés sur deux périodes : après un mois et après deux mois. Les analyses statistiques de l'analyse de variance montre qu'il n'y a pas de différences significatives entre les traitements, les profondeurs et les types des margines dans la plus part des paramètres sauf le pH après un mois et la matière organique après deux mois. Le test t de comparaison entre les deux mois montre qu'il y a une différence significative entre les deux périodes de prélèvement en ce qui concerne le pH, et la CE et qu'il n'y a pas de différences significatives entre la MO, le nombre des bactéries et des champignons. La matrice de corrélation montre que la matière organique est positivement et très fortement corrélée avec le nombre de bactéries après un mois de l'application des margines avec r=0.700.

Mots clés : Margines, épandage, sol, microflore, caractéristique physico-chimiques, Khenchela.

Introduction

L'essor de la production oléicole, conjugué à l'introduction de technologies modernes d'extraction de l'huile, a placé la filière oléicole face à de nouveaux enjeux environnementaux. Ce constat est particulièrement accentué avec l'adoption des systèmes continus à trois phases, très consommateurs d'eau, qui génèrent d'importants volumes de rejets liquides. Ainsi, l'olive et l'huile qui en est extraite ne représentent qu'une faible proportion de

la biomasse totale produite au cours du processus de trituration (Weng, 2023).

L'Algérie, faisant partie des principaux pays producteurs d'huile d'olive dans le bassin méditerranéen, a connu ces dernières années une expansion notable de son secteur oléicole. Si cette dynamique constitue un atout économique certain, elle engendre également une production accrue de sous-produits : les grignons (résidus solides) et les margines (effluents liquides) (Mekersi et al., 2024). Les grignons

connaissent des voies de valorisation en agriculture ou dans certaines industries (Palmeira et al., 2023). En revanche, les margines, riches en matières organiques et en composés phénoliques toxiques, sont encore majoritairement déversées sans traitement préalable, notamment dans les réseaux d'assainissement ou dans l'environnement naturel (Martins & Grabowski, 2024).

Pour chaque 15 litres d'huile produits, on génère en moyenne 40 kg de grignons et 70 kg de margines, soit environ 110 kg de résidus. Ces margines se distinguent par trois caractéristiques principales qui en font un déchet préoccupant :

- Une acidité élevée (Harrat et al., 2024);
- Une forte conductivité électrique, souvent liée à l'ajout de sel durant le stockage des olives (Gueboudji et al., 2021);
- Une concentration importante en composés phénoliques, responsables de leur toxicité, de leur stabilité dans l'environnement et de leur coloration sombre (Ede & El, 2022).

Aujourd'hui, on estime que des centaines de milliers de tonnes de margines sont rejetées chaque année en Algérie, avec des impacts environnementaux notables,

notamment dans le centre du pays où se concentrent près de 78 % des huileries nationales, dont une large part reste de type traditionnel. Ces rejets contribuent à la dégradation des écosystèmes aquatiques (mort de la faune et de la flore dans les oueds), à la pollution des nappes phréatiques (rendant l'eau impropre à la consommation), à la salinisation des sols agricoles riverains, et à des risques d'incendies causés par la fermentation des grignons (Harkat et al., 2014).

Dans ce contexte, ce travail s'inscrit dans une démarche de valorisation des sous-produits de l'industrie oléicole, en s'intéressant particulièrement aux margines. L'objectif principal est d'évaluer leur impact sur la microflore du sol, dans une perspective de gestion durable et de réduction de la charge polluante de ces effluents.

Matériel et méthodes

La station de l'application de l'épandage

La station d'application de l'épandage a porté sur des parcelles de 1 m² situées dans l'université Abbes Laghrour El Hamma, à 6 Km à l'ouest de Khenchela à une altitude de 999 m, Latitude: 35.4636, Longitude: 7.08262 : 35° 27' 49" Nord, 7° 4' 57" Est. Deux doses de margines ont été appliquées pour l'épandage, T1 (5L /m²) et T2

(10L/m²) y compris le témoin non traité T0 (0L/m²).

Echantillonnage

Les margines

Les margines utilisées pour l'épandage dans notre travail ont été prélevées à partir du bassin de décantation d'une l'huilerie moderne à trois phases située dans la région de Baghai «khenchela». Les échantillons du margines utilisés dans cette étude comprennent deux variétés : Zabouche et Chemlal récoltées au niveau de la commune Baghai (Khenchela). Dans des bidons en plastique de 5L couverts, les margines ont été conservées à l'obscurité et à une température de 4° C au laboratoire, pour garder leurs caractéristiques physico-chimiques jusqu'à leur utilisation.

Le sol

Après avoir nettoyé la surface du sol de chaque parcelle, nous avons prélevé 10 échantillons au hasard, sur deux profondeurs 20 cm et 30 cm. Les échantillons sont mis dans des sachets, puis ramené directement au laboratoire. Après avoir mélangé tous les échantillons, le sol est étalé sur du papier, débarrasser de tous les débris végétaux et animaux et laisser à l'air libre pour sécher.

L'échantillonnage du sol a été réalisé mensuellement en deux mois après l'épandage (période1, période 2), au niveau de deux horizons P1 (0 - 20 cm) et P2 (20 - 30cm). Le sol est de texture sable limoneux et homogène sur la profondeur d'étude (Bouzera et Kechi, 2017).

Paramètres mesurés

Paramètres physico-chimiques

Trois paramètres physico-chimiques ont été analysés sur les échantillons de sol prélevés après l'épandage des margines, à deux périodes (après un mois et deux mois) : le pH, la conductivité électrique (CE) et la matière organique (MO).

Matière organique (MO) : Sa teneur est déduite du dosage du carbone organique oxydé en CO₂ par un mélange de bichromate de potassium (K₂ Cr₂ O₇) et d'acide sulfurique (H₂ SO₄), selon la méthode de Bonneau et Souchier (1994). L'excès de bichromate est titré par une solution de sel de Mohr, en présence de diphénylamine, avec un virage de couleur indiquant la fin de la réaction. Le taux de matière organique est calculé selon la formule : $MO\% = C\% \times 1,72$.

pH : Szlon Baize (2000), le pH est mesuré par méthode potentiométrique sur une suspension sol/eau au rapport 1/2,5. Dix

grammes de sol tamisé sont agités avec 25 mL d'eau distillée, laissés au repos, puis analysés à l'aide d'un pH-mètre (type pH 211 Microprocessor).

Conductivité électrique (CE) : La conductivité est mesurée sur une suspension sol/eau au rapport 1/5, conformément à Dugain et al. (1961). Dix grammes de sol sont mélangés à 25 mL d'eau distillée, agités puis laissés au repos avant d'être analysés au conductimètre (EC 215 Conductivity Meter).

Paramètres microbiologiques

Les analyses microbiologiques ont porté sur le dénombrement des bactéries totales aérobies mésophiles ainsi que des levures et moisissures.

Flore bactérienne totale : Le dénombrement est réalisé selon la méthode AFNOR (1999), à partir d'une dilution de 1 g de sol dans 9 mL d'eau distillée stérile, suivie de six dilutions en série. Chaque dilution estensemencée dans une gélose PCA, incubée à 37°C pendant 24 h. Le nombre de bactéries par gramme est calculé selon la formule : $N = C / V$, où C est le nombre de colonies comptées et V le volume totalensemencé.

Levures et moisissures : Leur dénombrement suit également la méthode

AFNOR (1999). Les dilutions successives sontensemencées dans un milieu Sabouraud chloramphénicol, puis incubées à 25°C pendant 3 à 5 jours. Le nombre de colonies est interprété selon les règles suivantes :

- Si deux dilutions successives donnent moins de 150 colonies : $N_i = \Sigma C / (1,1 \times d)$
- Si moins de 15 colonies sont comptées : $N_e = C / d$
- En absence de colonies : **1/d colonies/g de sol**

Analyse statistique

Le traitement statistique des résultats est réalisé moyennant le logiciel MINITAB (ver.VI). L'ensemble des mesures a fait l'objet d'une analyse de la variance à trois facteurs par le test de T au seuil de risque de 5 %. Elle est complétée par des corrélations entre les paramètres mesurés et le dénombrement des bactéries et des champignons.

Résultats et discussion

Effet des margines sur les paramètres du sol mesurés

Le pH du sol

Variation du pH du sol après un mois

L'analyse de variance (ANOVA) réalisée un mois après l'épandage indique que le pH du sol ne présente pas de différence significative selon les traitements appliqués ($p = 0,166$) ni selon la profondeur d'échantillonnage ($p = 0,119$). En revanche, une différence significative a été observée en fonction du type de margine utilisé ($p = 0,029$).

À 20 cm de profondeur : Le sol témoin (non traité) présente un pH alcalin de 9,61. L'application de margines de la variété *Zabouche* à 5 L/m² entraîne une neutralisation du pH (7,14), tandis qu'une dose de 10 L/m² acidifie le sol (pH = 6,4). Avec la variété *Chemlal*, le pH est également neutre à 5 L/m² (7,11), mais devient plus acide à 10 L/m² (pH = 5,24) (voir Figure 1).

À 30 cm de profondeur : Le pH initial du sol est acide (6,41). Après traitement avec *Zabouche* à 5 L/m², le pH devient neutre (7,18), et reste stable à 10 L/m² (7,23). Pour *Chemlal*, le pH est neutre à 5 L/m² (7,10), mais redescend à une valeur légèrement acide à 10 L/m² (6,65) (voir Figure 1).

Comparaison entre les deux profondeurs : Les résultats de la figure 1 montrent que, quelle que soit la variété de margine utilisée, le pH du sol tend à diminuer à 20 cm, indiquant un léger effet acidifiant. En revanche, à 30 cm de profondeur, l'effet des margines est moins homogène et ne présente pas de tendance significative.

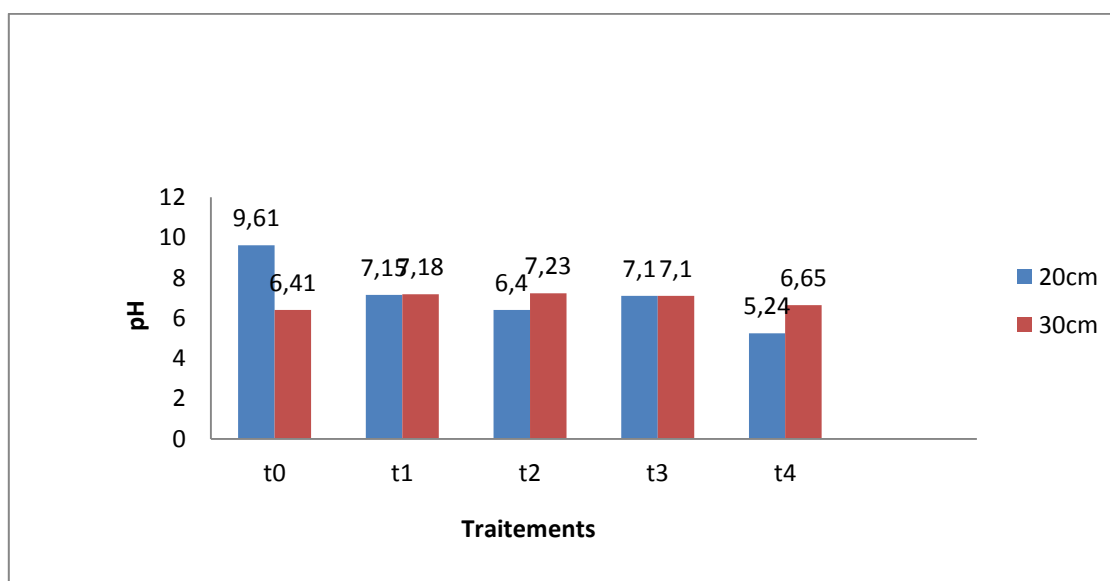


Figure 1. Effet des margines sur le pH de sol après un mois de l'épandage

Évolution du pH du sol après deux mois

Deux mois après l'épandage des margines, l'analyse de variance révèle une différence significative du pH du sol entre les différents traitements ($p = 0,039$). En revanche, ni la profondeur ($p = 0,122$) ni le type de marge utilisé ($p = 0,343$) n'ont montré d'effet significatif.

À 20 cm de profondeur : Le sol non traité présente un pH alcalin de 8,61. Après application des margines, quelle que soit la variété (*Zabouche* ou *Chemlal*) et la concentration (5 ou 10 L/m²), le pH reste alcalin. Toutefois, une différence est observée entre les sols traités et le témoin (Figure 2).

À 30 cm de profondeur : Le pH du sol non traité est acide (5,2). Après deux mois d'épandage, le pH augmente pour atteindre des valeurs alcalines, quel que soit le type de marge ou la concentration appliquée (Figure 2).

Comparaison entre les deux profondeurs : Les résultats montrent qu'après deux mois, les margines n'ont pas eu d'effet significatif sur le pH en fonction de la profondeur, du type ou de la concentration. Le passage d'un pH acide à alcalin à 30 cm suggère néanmoins une influence modérée mais non constante des margines sur le pH en profondeur

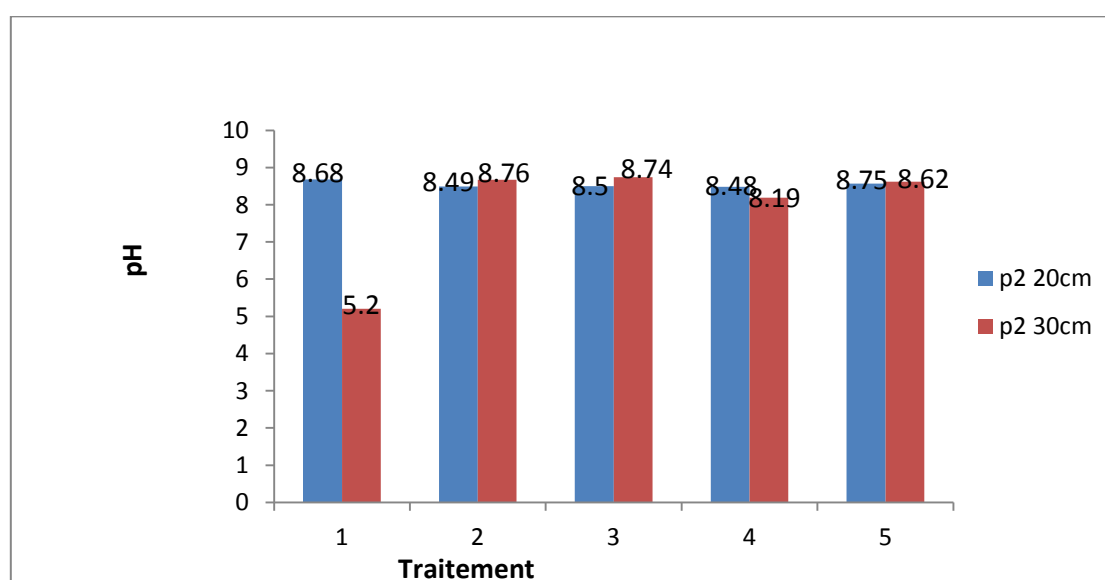


Figure 2. Effet des margines sur le pH après deux mois de l'épandage

Test t pour données appariées et IC : pH 1m; pH 2m.

D'après les résultats démontrés dans la boîte à moustaches ainsi que l'intervalle de confiance représentés dans la figure 16 ci-

dessous, on constate qu'il y a des différences significatives entre les pH du sol entre les deux périodes de prélèvement après un mois et après deux mois ou l'hypothèse H_0 est rejetée.

Le pH a été diminué après deux mois de l'application des margines ; ce qui indique que le facteur temps a joué un rôle

important dans la modération de l'acidité provoquée par les margines sans pris en considération le type de margine.

L'épandage direct des effluents d'huileries d'olive sur les sols provoque un colmatage et une diminution de leur qualité (Touahar & Stout, 2022).

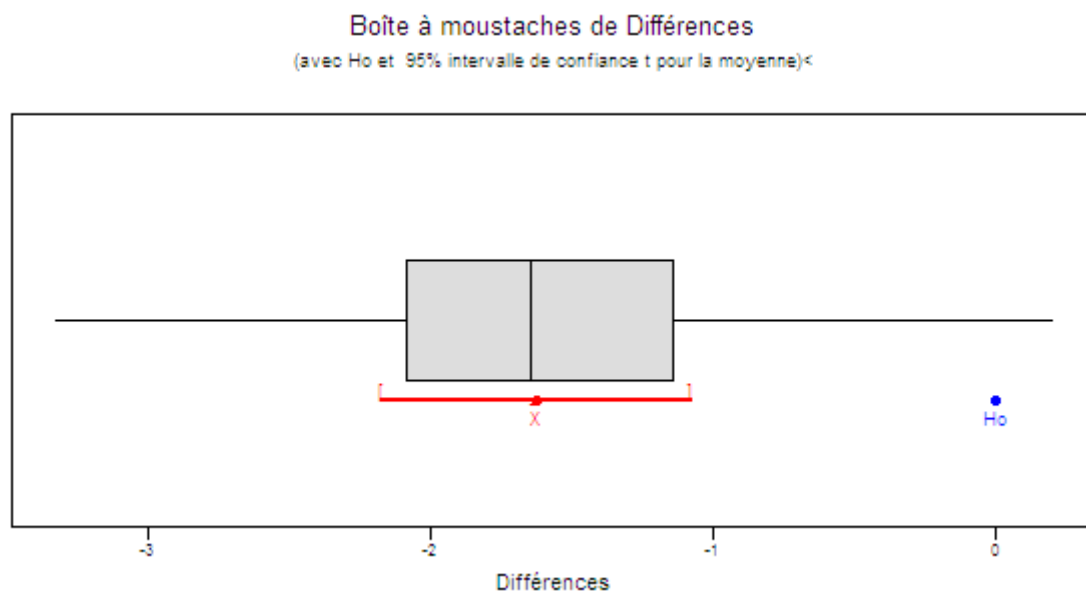


Figure 3. Boîte à moustaches de différences du pH entre les deux périodes

D'après les résultats de l'analyse de variance de tout les facteurs étudiés, seul le facteur du temps qui a un effet très hautement significatif sur les paramètres mesurés ($p < 0.0001$). Les résultats de pH du sol après un et deux mois de l'épandage en fonction des profondeurs, traitements, et type de margines sont présentés dans la figure 4.

Le pH du témoin ou bien du sol non traité par les margines sur les deux profondeurs

se diminue de la période après un mois à la période après deux mois et devient plus acide.

On ce qui concerne les différentes concentrations et les différents types utilisés sur les deux profondeurs, on constate que l'effet du temps a provoqué une augmentation générale dans le pH du sol en fonction des profondeurs, types de margine et concentrations.

Nos résultats sont confirmés par les travaux de Bouajila et al. (2015) qui ont trouvé que l'application des margines sur des sols alcalins et calcaires, n'affectent pas le pH du sol, de même que l'application des irrigations avec eau douce ou salée n'engendrent aucune modification significative du pH pour une même dose de marge appliquée. Ceci est attribué, au fait, que les sols sont riches en calcaire et leur pouvoir tampon limite les changements de ce paramètre.

En présence des margines, une amélioration de la microflore du sol s'établit et devient capable de décomposer les éléments phytotoxiques tels que les polyphénols. Les phénols contenus dans les margines peuvent être dégradés par les bactéries et les champignons, suite à une hydrolyse enzymatique ce qui donne une modification de qualité du sol (Sahraoui et al., 2012).

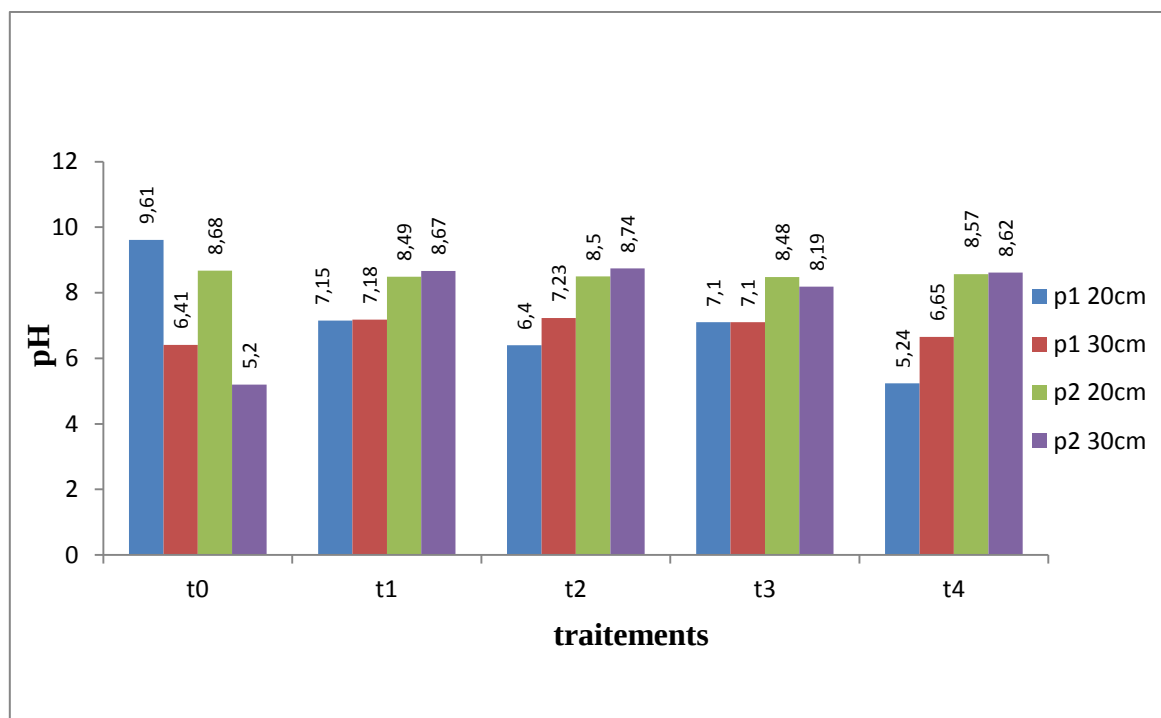


Figure 4. Effet du temps sur le pH du sol en fonction du profondeur, type de marge et concentration des margines

La matière organique (MO)

Après un mois

L'analyse de variance montre qu'il n'y a pas une différence significative de la matière organique après un mois de l'épandage entre les traitements, la

profondeur et les types de marge ($p = 0.307$, $p=0.506$, $p=0.822$ en ordre).

Le sol étudié (non traité par le margine) présente un taux de matière organique faible 2,2%, 2% dans les deux profondeurs 20cm, et 30cm respectueusement. Rappelons que généralement les margines sont des effluents à contenu organique allant de 2,5 à 10,5 % du volume total.

Bien que cette teneur soit faible, elle pourrait constituer un stimulus de l'activité microbienne du sol. Pour cela l'épandage par les margines avec les deux concentrations (5 et 10 L/m²) avec deux variété (Zabouche et Chemlal) au niveau des deux profondeurs (20 cm et 30 cm) a provoqué une légère augmentation de la teneur en matière organique (Figure 5).

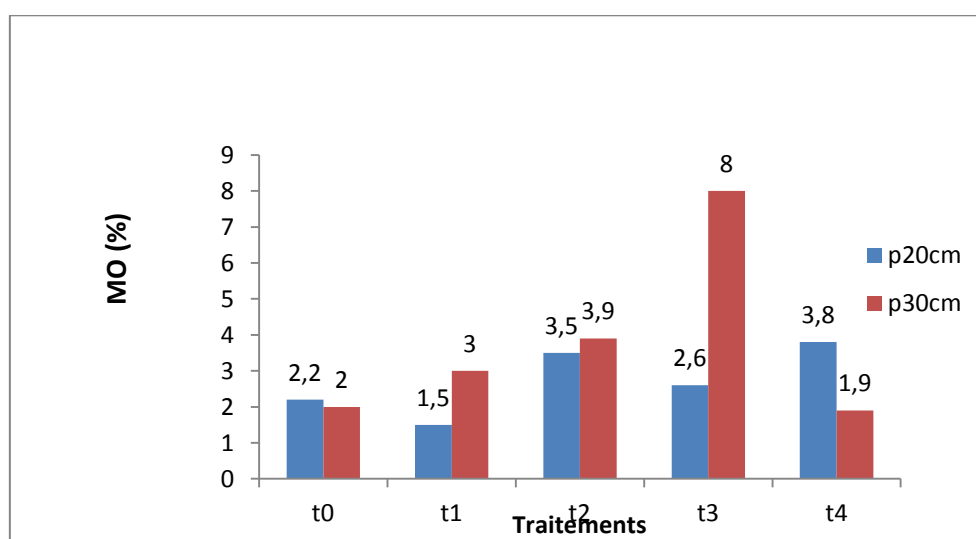


Figure 5. Effet des margines sur la matière organique après un mois de l'épandage

Après deux mois

L'analyse de variance montre qu'il n'y a pas une différence significative de la matière organique après un mois de l'épandage entre les traitements, la profondeur et les types de marge ($p = 0.379$, $p=0.406$, $p=0.201$ en ordre).

La matière organique du sol témoin non traité est de 6.5% dans la profondeur de 20cm et de 5 % dans la profondeur de

30cm. Après deux mois de l'épandage avec les margines on constate une diminution de la matière organique dans la profondeur de 20cm dans les différentes concentrations et types de margines et elle atteint jusqu'à 2.1% avec le traitement par la marge de la variété Chemlal en appliquant la concentration 5L/m², par contre dans la profondeur de 30 cm elle est augmentée jusqu'à 8.6% par le traitement avec la marge de Chemlal (10L/m²) et elle est diminuée dans les autres traitements et

atteint la valeur de 1% avec le traitement de T3 (var. Chemlal : 5L/m²) (figure 6).

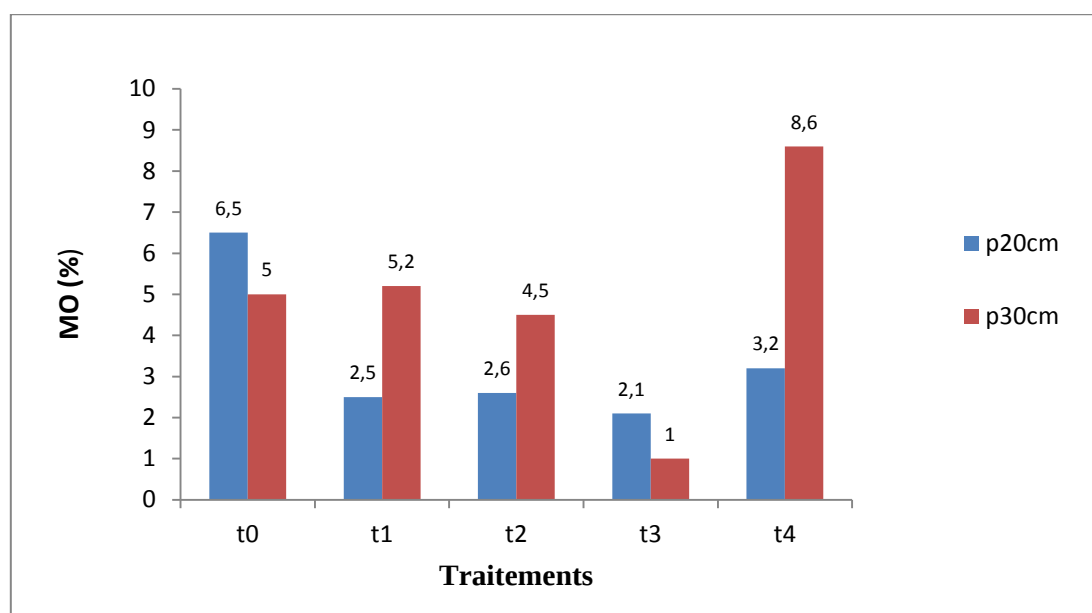


Figure 6. Effet des margines sur la matière organique après deux mois de l'épandage

Test t pour données appariées et IC : MO 1m; MO 2m.

D'après les résultats démontrés dans la boîte à moustaches ainsi que l'intervalle de confiance représentés dans la figure 7 ci-dessous, il n'y pas des différences significatives entre les valeurs de la MO du sol entre les deux périodes de prélèvement après un mois et après deux mois ou l'hypothèse H_0 est acceptée.

La MO a été diminuée après un et deux mois de l'application des margines ; ce qui indique que le facteur temps n'a pas un effet sur ce paramètre. Cet abaissement

pourrait être dû à la minéralisation ou bien l'humification du carbone par les micro-organismes du sol.

Effectivement, ceci confirme la difficulté de la minéralisation et de la simplification des molécules organiques de la margine, en d'autres termes les molécules phénoliques du margine sont complexes et difficilement biodégradables et en plus les micro-organismes mettent du temps pour s'adapter à ce milieu.

Ces résultats sont conformes à ceux trouvés par Benzarti (2003) et Taâmallah (2007).

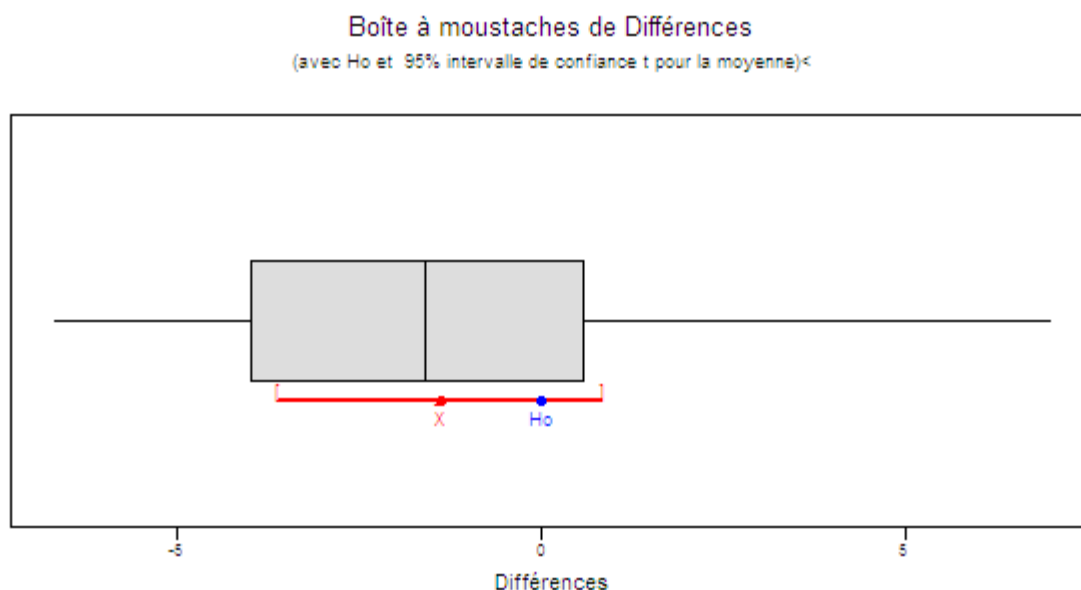


Figure 7. Boîte à moustaches de différences de la matière organique entre les deux périodes

Parmi les facteurs étudiés seul le facteur temps qui a présenté un effet très hautement significatif sur la teneur en matière organique ($p=0.0197$).

Pour l'analyse d'étude du sol qui non traité par les marges dans la première période du prélèvement le taux de la matière organique est faible dans les deux profondeurs (20 et 30cm)(2.2 et 2 % par ordre) par contre dans la deuxième période le taux de la matière organique dans les deux profondeurs (20 et 30cm) augmente jusqu'au 6.5 et 5 % respectivement. Comparativement au témoin, les teneurs en matière organique dans les différents traitements augmentent après un mois et deux mois en fonction de type de margine et la concentration utilisée au niveau des

deux profondeurs. Cependant, et à la fin de l'essai (après deux mois), une augmentation des taux de la matière organique par rapport à l'état initial, est notant les deux profondeurs. Dans la profondeur de 20 cm, les différents traitements (T0, T1, T2, T3 et T4) passent de 2.2/1.5/3.5/2.6/3.8% à 6.5/2.5/2.6/2.1/3.2% respectivement. pour la profondeur 30 cm, les traitement (T0, T1, T2, T3 et T4) passent de 2/3/3.9/8/1.9 % à 5/5.2/4.5/1/8.6% respectivement (Figure 8). Cette augmentation entre les périodes de prélèvement est attribuée à l'activité des microorganismes du sol qui sont activés à la suite de l'enrichissement des parcelles par les marges, et à la migration en profondeur de la matière organique au cours de l'expérimentation.

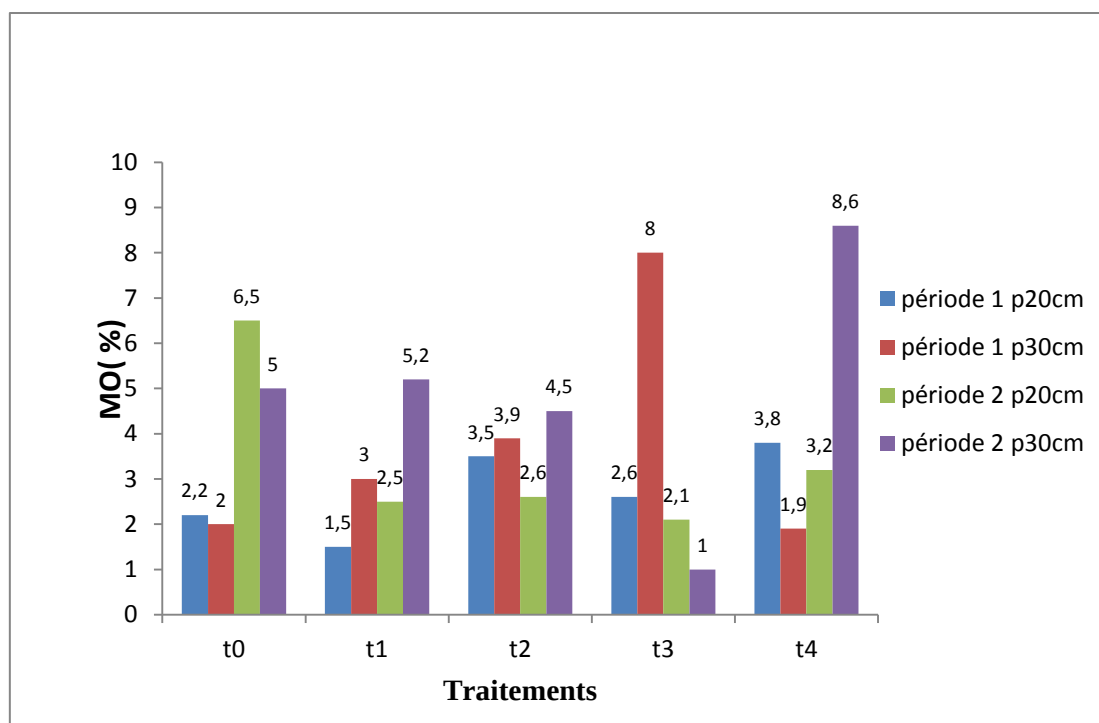


Figure 8. Effet des margines sur la matière organique du sol dans les deux périodes

La conductivité du sol

La conductivité du sol après un mois

L'analyse de variance montre qu'il n'y a pas une différence significative de la conductivité électrique après un mois de l'épandage entre les traitements, la profondeur et les types de marge ($p = 0.744$, $p=0.827$, $p=0.729$ par ordre)

Le suivi de l'évolution de la conductivité électrique dans le sol et d'après des résultats présentés dans la figure 9, la CE

est légèrement diminuée en fonction des traitements et profondeurs comparativement au témoin non traité; Après un mois la salinité du sol passe de $5.8 \mu\text{S/S}$ pour le témoin à $0.2/4.8/1.5/1.4 \mu\text{S/S}$ pour les sols traités avec différentes concentrations T1/T2/T3/T4 respectivement dans la profondeur de 20cm et dans la profondeur de 30cm, elle passe de $5.3 \mu\text{S/S}$ pour le témoin à $3.3/1.4/5.8/1.3 \mu\text{S/S}$ pour les sols traités avec différentes concentrations T1/T2/T3/T4 respectivement.

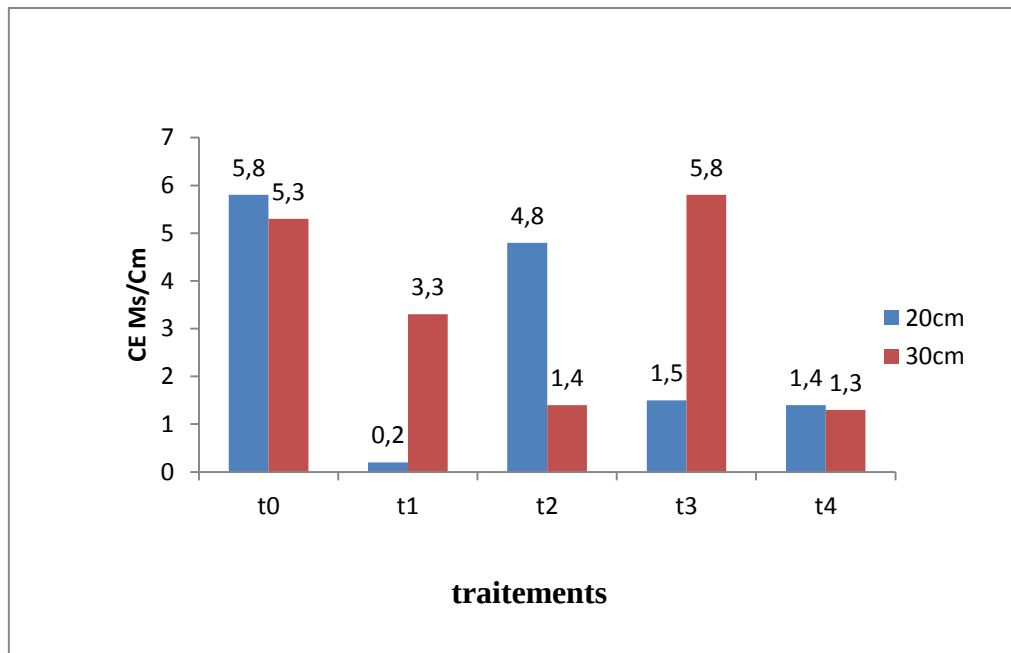


Figure 9. Effet des margines sur la conductivité du sol après un mois

La conductivité du sol après deux mois

L'analyse de variance montre qu'il n'y a pas une différence significative de la conductivité électrique après un mois de l'épandage entre les traitements, la profondeur et les types de margine ($p = 0.536$, $p=0.255$, $p=0.078$ par ordre).

Une légère augmentation de la salinité est constatée après deux mois l'application des

différents traitements avec les margines. La salinité du sol passe de $0.1 \mu\text{S/S}$ pour le témoin à $0.3/0.1/0.2/0.2 \mu\text{S/S}$ pour les traitements T1/T2/T3/T4 respectivement dans la profondeur de 20cm et dans la profondeur de 30cm elle passe de $0.2 \mu\text{S/S}$ pour le témoin à $0.3/0.2/0.2/0.1 \mu\text{S/S}$ pour les traitements T1/T2/T3/T4 respectivement (Figure 10).

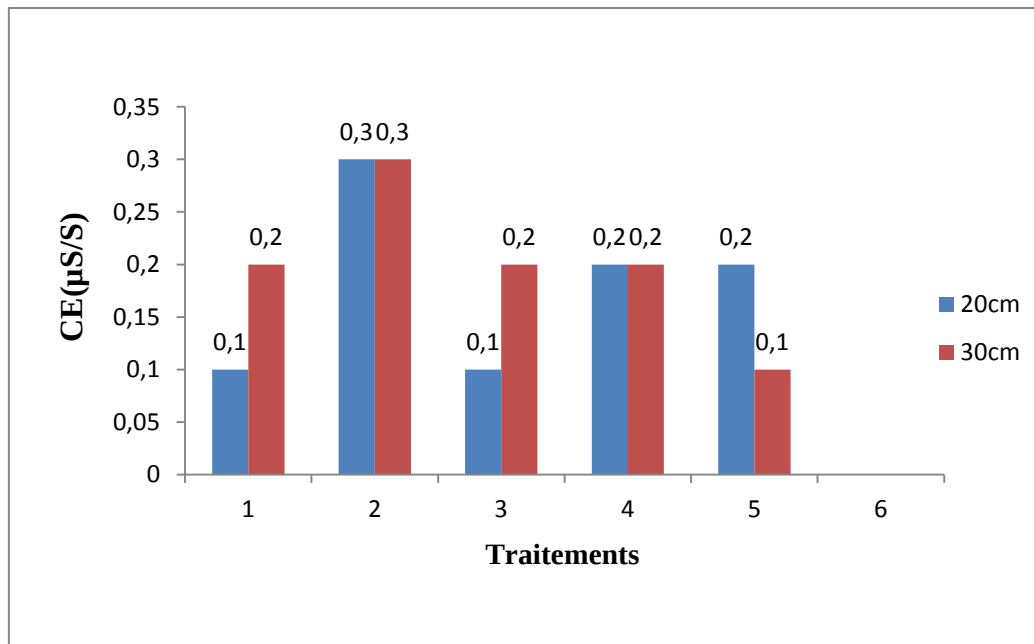


Figure 10. Effet des marges sur la conductivité du sol après deux mois

Test t pour données appariées et IC : CE 1m; CE 2m.

D'après les résultats démontrés dans la boîte à moustaches de la CE ainsi que l'intervalle de confiance représentés dans la figure 11 ci-dessous, on constate qu'il y a des différences significatives entre les valeurs de la CE du sol entre les deux périodes de prélèvement après un mois et après deux mois ou l'hypothèse H_0 est rejetée.

La CE a été diminuée après un et deux mois de l'application des marges ; ce qui indique que le facteur temps a un effet sur la salinité du sol. Ces résultats conformes avec les résultats trouvés par Taâmallah (2007) qui a montré une chute de la conductivité au cours de son expérience, expliquée par la forte précipitation engendrée au cours de cette période.

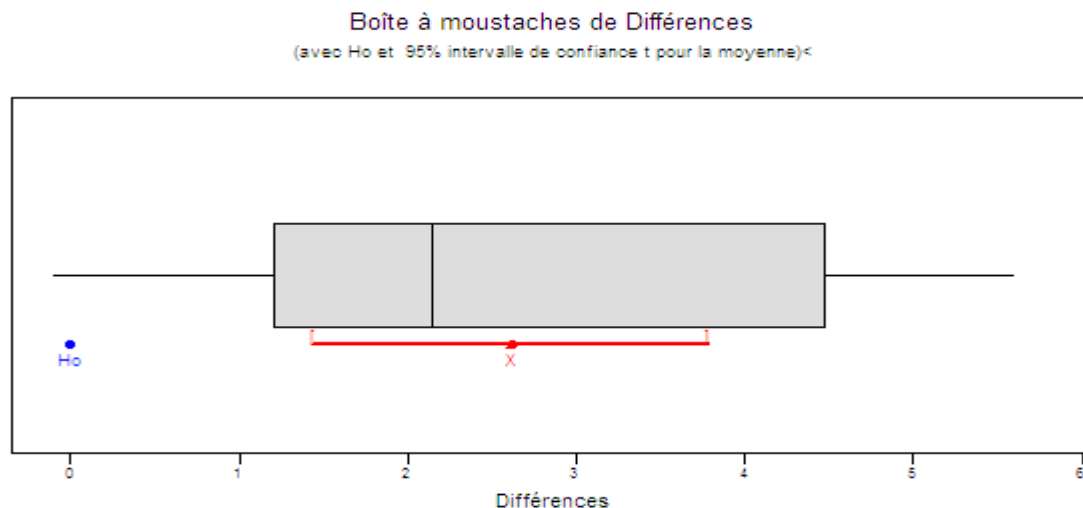


Figure 11. Boîte à moustaches de différences de la CE entre les deux périodes

Les résultats de l'analyse de variance de tout les facteurs étudiés montre que le facteur (temps) a un effet très hautement significatif sur la conductivité électrique ($p=0.0001$) bien aussi le facteur traitement a un effet significatif sur le même paramètre ($p=0.0291$).

Une diminution de la CE a été enregistrée après deux mois de l'épandage par les margines dans les différents traitements et profondeur ce qui explique l'effet significatif du temps sur la salinité dans les

deux profondeurs et les différents traitements. La salinité du sol dans la profondeur de 20cm après un mois passe du 5.8/0.2/4.8/1.5/1.4 $\mu\text{S/S}$ à 0.1/0.3/0.1/0.2/0.2 $\mu\text{S/S}$ pour les traitements T0/T1/T2/T3/T4 respectivement après deux mois ; de même dans la profondeur de 30cm elle passe du 5.3/3.3/1.4/5.8/1.3 $\mu\text{S/S}$ après un mois à 0.2/0.3/0.2/0.2/0.1 $\mu\text{S/S}$ après deux mois pour les traitements T0/T1/T2/T3/T4 respectivement (Figure 12).

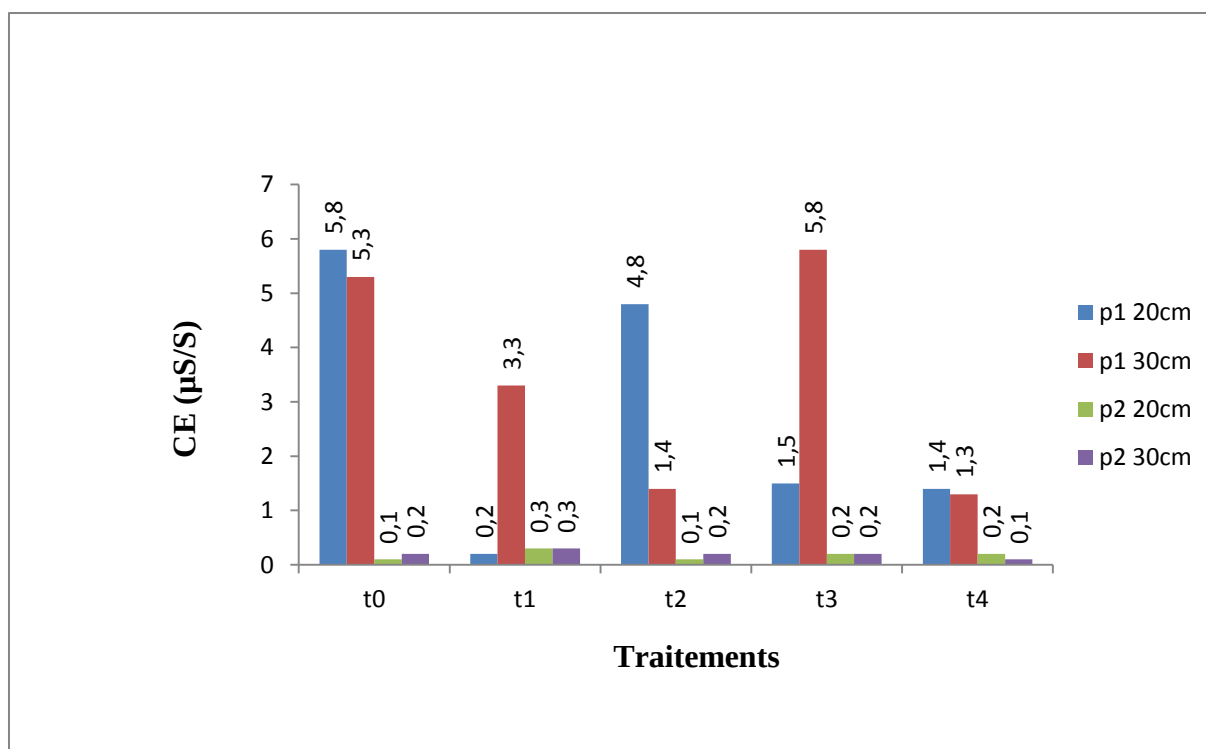


Figure 12. Effet des margines sur la conductivité du sol

Effet des margines sur la microflore du sol

Le nombre des bactéries

Après un mois

L'analyse de variance montre qu'il n'y a pas une différence significative du nombre de bactéries après un mois entre les traitements, la profondeur et les types de marge ($p = 0.089$, $p=0.108$, $p=0.878$ en ordre)

La profondeur 20cm : Dans cette profondeur (20cm), après un mois le nombre de bactérie est nulle (0) après le traitement par la marge de Zebouche à la concentration de 10L/m^2 et il est diminué

avec le traitement par les marges de la variété Chemlal (concentration de 5L/m^2) (24.5×10^6) comparativement au témoin non traité et qui a donné 32.7×10^6 de bactéries, mais il a augmenté jusqu'à 66.3×10^6 avec le traitement par avec la même marge mais à la concentration de 10L/m^2 (Figure 13).

La profondeur 30cm : Dans cette profondeur ; le nombre de bactérie est augmenté en fonction des traitements par rapport au témoin (20.9×10^6), il atteint 105×10^6 après un mois de traitement (Figure 13).

Comparaison entre les deux profondeurs 20 et 30cm : Il y a une différence entre les traitements sur le

nombre des bactéries au niveau des deux profondeurs par rapport au témoin, dont les meilleures valeurs du nombre ont été enregistrées dans la profondeur de 30cm.

Ceci peut être expliqué qu'au-delà de 30cm les margines ont un effet positif sur le nombre de bactéries (Figure 13).

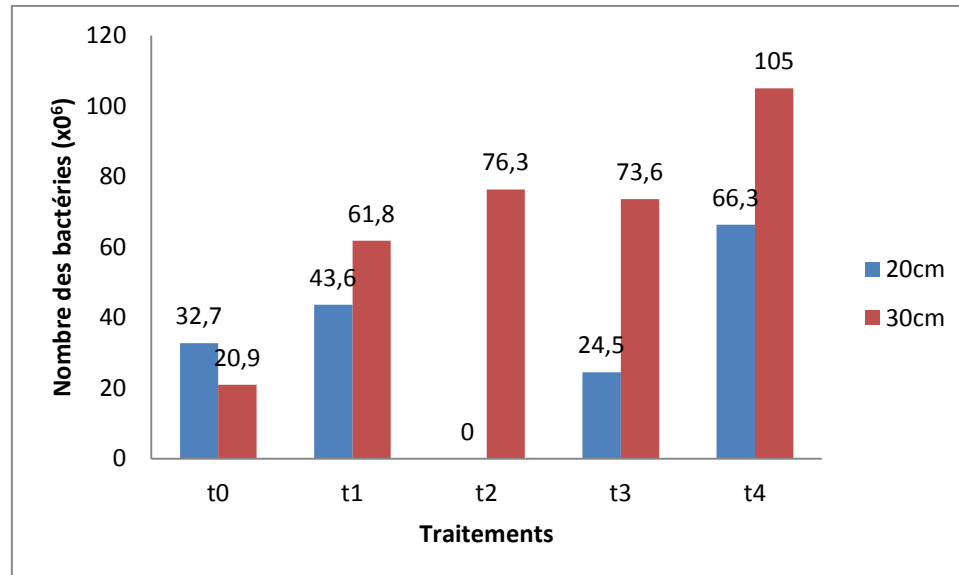


Figure 13. Effet de margines sur les bactéries de sol après un mois de l'épandage

Après deux mois

L'analyse de variance montre qu'il n'y a pas une différence significative du nombre de bactéries après deux mois entre les traitements, la profondeur et les types de marge ($p = 0.276$, $p=0.706$, $p=0.963$ en ordre)

La profondeur 20cm : Dans cette profondeur (20cm), après deux mois de l'épandage le nombre de bactérie se diffère avec le traitement : il augmente avec les faibles concentrations et diminue avec les fortes concentrations comparativement au témoin non traité (figure 14).

La profondeur 30cm : Dans cette profondeur après deux mois de traitement ; le nombre de bactérie est augmenté en fonction des traitements par rapport au témoin (20.4×10^6), il atteint jusqu'au 113×10^6 avec le traitement par la forte concentration de la marge variété Zebouche (figure 14).

Comparaison entre les deux profondeurs 20 et 30cm : Après deux mois de l'épandage on constate qu'il y a une augmentation du nombre de bactéries dans les traitements au niveau des deux profondeurs par rapport au témoin (figure 14).

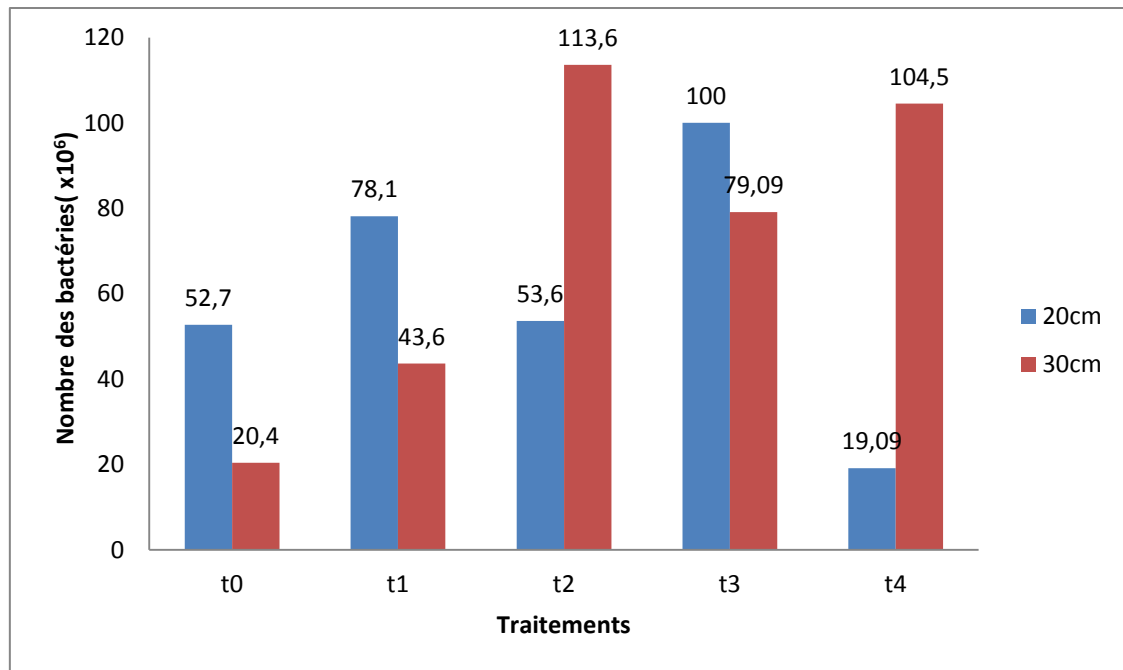


Figure 14. Effet de margines sur les bactéries de sol après deux mois de l'épandage

Test t pour données appariées et IC : Bactérie1; Bactérie2

D'après les résultats démontrés dans la boîte à moustaches de la CE ainsi que l'intervalle de confiance représentés dans la figure 15 ci-dessous, on constate qu'il n'y a pas de différences significatives entre les nombres de bactéries du sol entre les deux périodes de prélèvement après un mois et après deux mois ou l'hypothèse H_0 est acceptée.

La CE a été diminuée après un et deux mois de l'application des margines ; ce qui indique que le facteur temps a un effet sur la salinité du sol. Ces résultats conformes avec les résultats trouvés par Taâmallah (2007) et Mechri et al., (2010) qui ont montré une chute de la conductivité au cours de leur expérience, expliquée par la forte précipitation engendrée au cours de cette période.

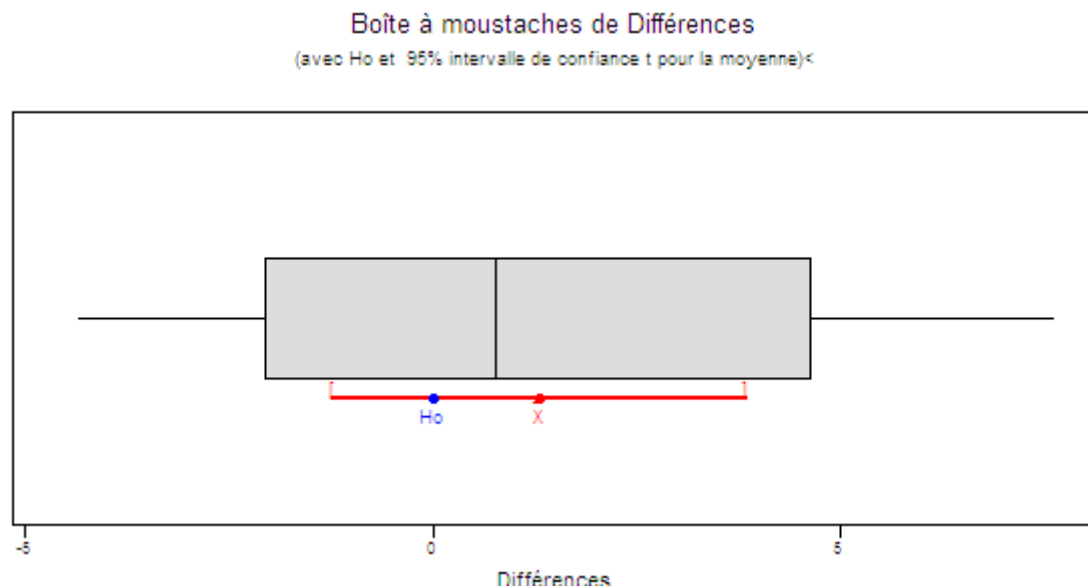


Figure 15. Boîte à moustaches de différences du nombre de bactéries entre les deux périodes

Les facteurs temps et traitement ont un effet significatif sur le nombre des bactéries entre les deux périodes de prélèvement ($p=0.0444/ p= 0.0295$), au contraire aux autres facteurs qui ont présenté un effet non significatif (profondeur : $p=0.3793$ et type de margine : $p=0.5835$).

Dans la profondeur de 30cm, une augmentation importante est enregistrée après un et deux mois ce qui indique que

les bactéries dans cette profondeur est très lointaines de l'effet des margines ; par contre la profondeur de 20 cm est affectée par les margines (Figure 16). Ces résultats sont confirmés par les travaux de Sahraoui et al. (2012) dont il a trouvé que le traitement par les margines n'a engendré aucun effet négatif sur l'activité microbienne du sol, de cette faite ni activation, ni inhibition de l'activité de la microflore du sol n'ont été constatées suite à l'épandage des doses étudiées.

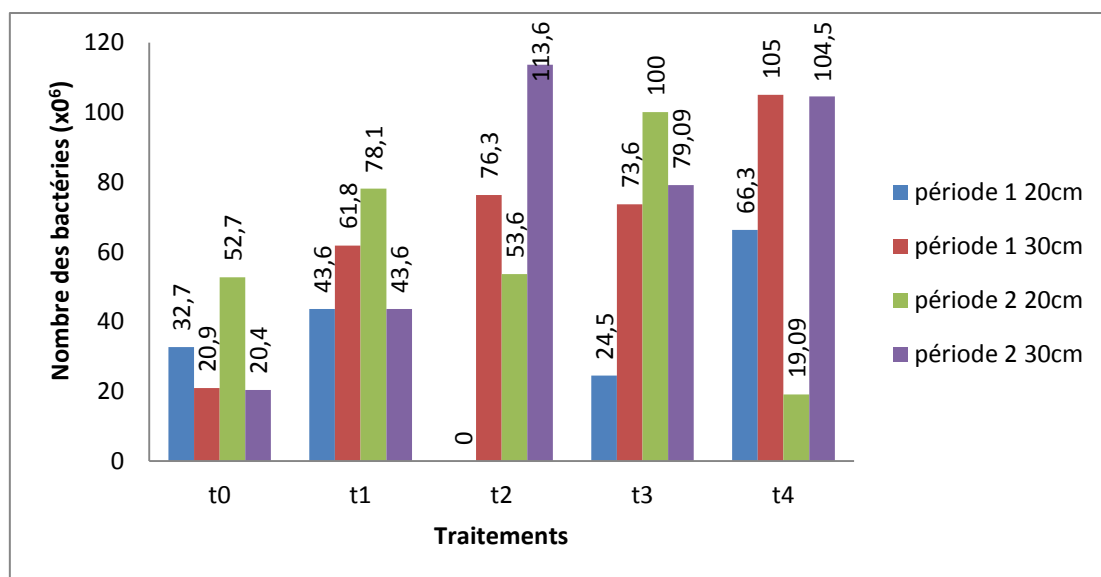


Figure 16. Effet des margines sur les bactéries de sol

Les champignons

Après un mois

L'analyse de variance montre qu'il n'y a pas une différence significative du nombre de champignons après un mois entre les traitements, la profondeur et les types de margine ($p = 0.393, 0.545, p=0.424$ en ordre).

La profondeur 20cm : Dans cette profondeur (20cm), après un mois de l'épandage le nombre des champignons augmente par rapport au témoin et il atteint 20.9×10^6 avec le traitement par la margine de la variété Chemlal à faible concentration ($5L/m^2$) (Figure 17).

La profondeur 30cm : Dans cette profondeur après un mois de traitement; le nombre de champignons augmente aussi en fonction des traitements par rapport au témoin (10×10^6). La meilleure valeur est enregistrée avec le traitement par la margine de la variété Chemlal à faible concentration ($5L/m^2$) (Figure 17).

Comparaison entre les deux profondeurs 20 et 30cm : Après un mois de l'épandage on constate qu'il y a une augmentation du nombre de champignons dans les traitements au niveau des deux profondeurs par rapport au témoin (Figure 17).

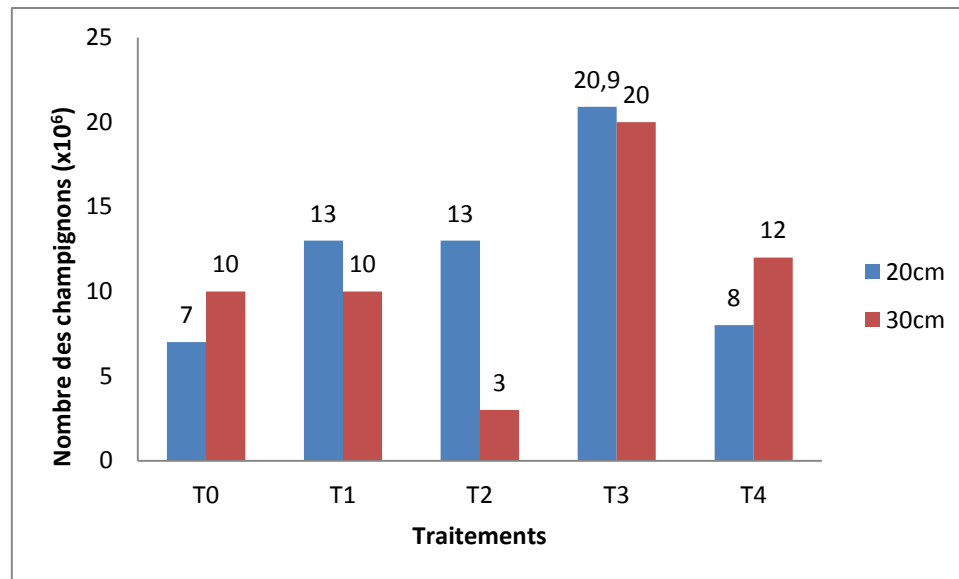


Figure 17. Effet des margines sur les champignons de sol après un mois

Après deux mois

L'analyse de variance montre qu'il n'y a pas une différence significative du nombre de champignons après deux mois entre les traitements, la profondeur et les types de margine ($p = 0.454$, $p=0.653$, $p=0.583$ par ordre).

La profondeur 20cm : Dans cette profondeur (20cm), après deux mois de l'épandage le nombre des champignons augmente par rapport au témoin (30×10^6) et donne une valeur de 90.7×10^6 de champignons avec le traitement T2 et 52.72×10^6 avec le traitement T3 par contre il a diminué avec les traitements T2 et T4 (21.8×10^6 et 25.4×10^6 respectueusement) (Figure 18).

La profondeur 30cm : Dans cette profondeur après deux mois de traitement; le nombre de champignons augmente aussi bien en fonction des traitements par rapport au témoin (20.9×10^6), et atteint (47.2×10^6) avec le traitement T4 (47.2×10^6) (Figure 18).

Comparaison entre les deux profondeurs 20 et 30cm : Après deux mois de l'épandage on constate qu'il y a une augmentation du nombre de champignons dans les traitements au niveau des deux profondeurs par rapport au témoin, dont la meilleure valeur est enregistrée avec la profondeur de 20cm et traitement par la margine de la variété Zebouche avec forte concentration ($10L/m^2$) T2 (Figure 18).

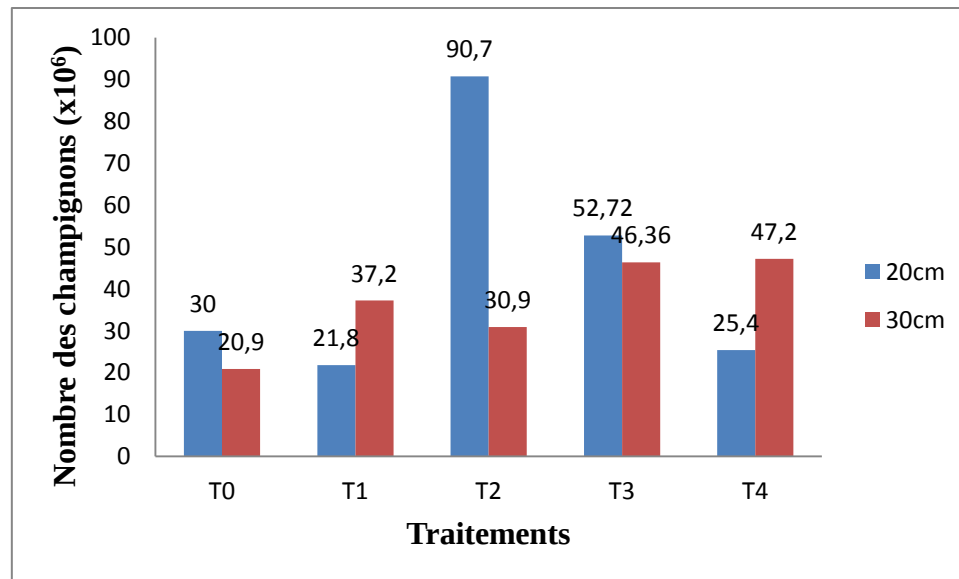


Figure 18. Effet des margines sur les champignons de sol après deux mois

Test t pour données appariées et IC : chompignon_1; chompignon_2

D'après les résultats démontrés dans la boîte à moustaches du nombre de champignons ainsi que l'intervalle de confiance représentés dans la figure 19 ci-dessous, on constate qu'il n'y a pas des différences significatives entre les nombres des champignons du sol entre les deux

périodes de prélèvement après un mois et après deux mois ou l'hypothèse H_0 est acceptée.

Le nombre de champignon a été augmenté après un et deux mois de l'application des margines; ce qui indique que le facteur temps a un effet significatif et positif sur le nombre de champignons dans les deux profondeurs.

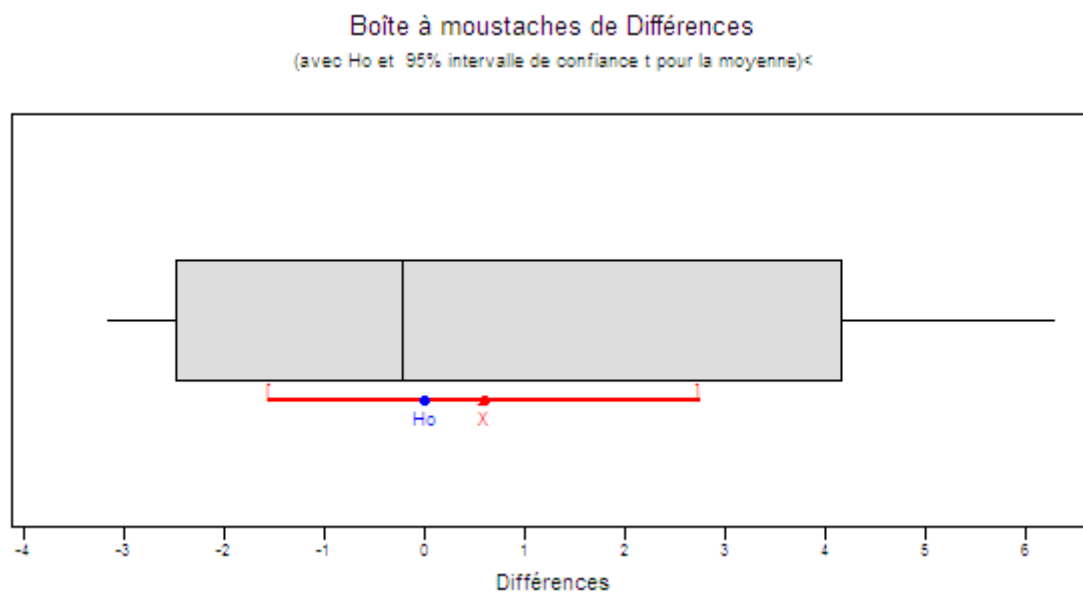


Figure 19. Boîte à moustaches de différences du nombre de champignons entre les deux périodes

Seul le facteur temps qui a présenté un effet très hautement significatif sur le nombre des champignons ($p=0.0006$).

Dans les deux profondeurs le nombre des champignons est augmenté entre les deux périodes de prélèvement (Figure 20), d'après les travaux d'Aissam *et al.* (2007) qui ont montré que quatre souches indigènes, deux champignons (*Aspergillus niger* et *Penicillium sp.*) et deux levures (*Geotrichum terrestre* et *Candida boidinii*),

étaient performantes pour l'assimilation des composés phénoliques et lipidiques. L'adaptation de ces souches à des concentrations croissantes de margines (25, 50, 75 et 100 %) permet d'augmenter leur résistance à la toxicité des composés phénoliques, ce qui explique l'augmentation du nombre des champignons.

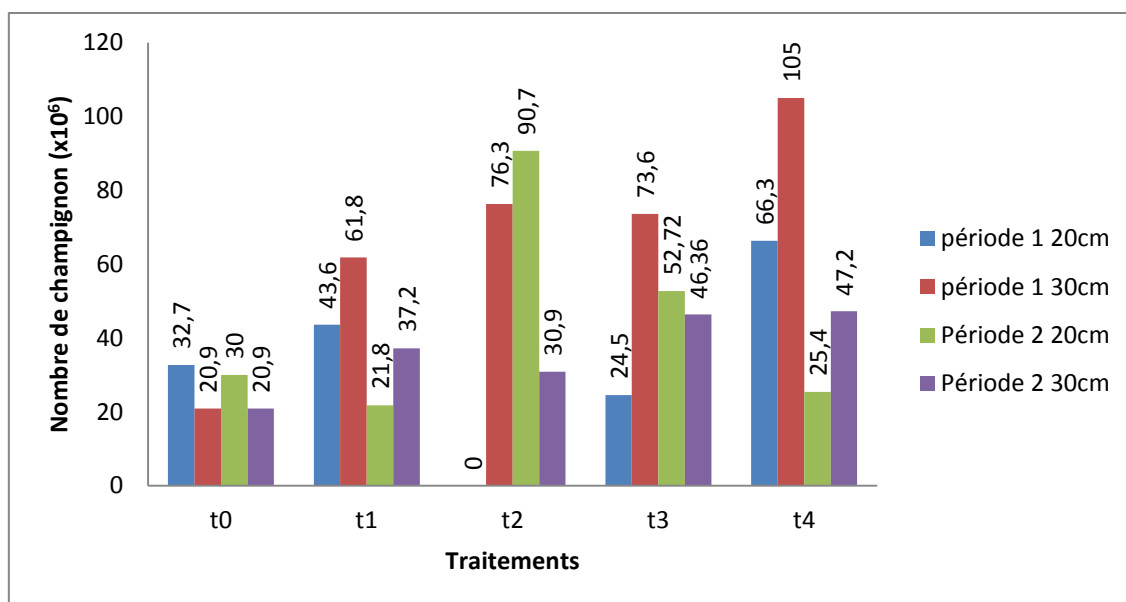


Figure 20. Effet des margines sur le nombre des champignons de sol

Matrice de corrélations

Tableau 01. matrice de corrélation entre les paramètres mesurés après un mois

	MO	pH	CE	Champ
pH	0.046 0,886			
CE	0.489 0.107	-0.018 0.957		
Champ	-0.014 0.966	-0.375 0.229	-0.349 0.266	
Bactérie	0.700 0.011	0.196 0.541	0.336 0.285	-0.236 0.460

Tableau 02. matrice de corrélation entre les paramètres mesurés après deux mois de l'épandage

	MO	pH	CE	Champ	Bactérie
MO	1.00000	-0.05127 0.8743	-0.39144 0.2083	-0.25839 0.4174	-0.11902 0.7126
pH	-0.05127 0.8743	1.00000	-0.20269 0.5275	0.42953 0.1635	0.41372 0.1812
CE	-0.39144 0.2083	-0.20269 0.5275	1.00000	0.39318 0.2061	0.02624 0.9355
Champ	-0.25839 0.4174	0.42953 0.1635	0.39318 0.2061	1.00000	0.24884 0.4354
Bactérie	-0.11902 0.7126	0.41372 0.1812	0.02624 0.9355	0.24884 0.4354	1.00000

L'apport de la corrélation entre les paramètres mesurés du sol aide à comprendre l'effet de l'épandage par les marines sur la microflore du sol. On a admet qu'une corrélation est significative si les valeurs de « r » est comprise entre +0.5 et 1 (relation positive) et entre -0,5 et -1 (relation négative). Dans notre étude, la matrice de corrélation montre que la matière organique est positivement et très fortement corrélée avec le nombre de bactéries après un mois de l'application des margines avec $r=0.700$. Par contre les autres paramètres de l'analyse physicochimique du sol ne sont pas corrélés ni entre eux ni avec les paramètres mesurés de la microflore du sol.

Il est à noter qu'il n'y a pas de corrélation entre tout les paramètres mesurés après deux mois.

Nous pouvons dire que ces effluents riches en matière organique (composés phénoliques, lipides, sucres, protéines ...) et en sels minéraux (potassium, sodium, magnésium, ...), elles peuvent être utilisées pour la restauration des sols dans des régions arides ou semi-arides.

Au pH neutre, les microorganismes du sol biodégradent les composés phénoliques. L'activité microbienne n'est plus inhibée. La biodégradation des composés phénoliques par les bactéries peut être accélérée par une élévation de pH et/ou une amélioration de l'aération (Yaakoubi et al., 2010). À pH neutre ou légèrement alcalin (7.4 à 7.6), les composés

phénoliques passent sous forme de phénates et perdent une grande partie de leur pouvoir antimicrobien (Yaakoubi et al., 2010).

Les microorganismes peuvent utiliser la matière organique des margines comme nutriments carbonés (Yaakoubi et al., 2010) ce qui explique la forte corrélation entre le nombre des microorganismes (bactéries et champignons) et cette dernière; donc le traitement par les margines malgré ses effets néfastes sur la microflore du sol à cause de son acidité dans le premier temps de l'application, les microorganismes se développent être réactivés après un mois et utilisent la matière organique pour son multiplication et développement.

Conclusion

Cette étude a évalué l'impact des margines issues de l'extraction à froid d'olives (variétés Zebouche et Chemlal) sur la microflore du sol dans la région de Khenchela. Les traitements appliqués à différentes doses (0, 5, 10 L/m²), sur deux profondeurs (0–20 cm et 20–30 cm) et à deux périodes (un mois et deux mois), ont permis d'analyser plusieurs paramètres physicochimiques (pH, CE, MO) et microbiologiques (bactéries et champignons).

Les résultats montrent que l'effet des margines sur le pH est significatif selon certaines conditions, tandis que leur influence sur la matière organique (MO) et la conductivité électrique (CE) reste généralement non significative. Le test t révèle des différences significatives entre les deux périodes pour le pH et la CE, mais pas pour la MO.

Sur le plan microbiologique, aucune variation significative du nombre de bactéries et de champignons n'a été observée selon les traitements, profondeurs ou types de margines, ni entre les deux périodes. Toutefois, une corrélation positive forte ($r = 0,700$) a été notée entre la matière organique et le nombre de bactéries après un mois.

Ces résultats suggèrent que l'épandage des margines n'a pas eu d'impact notable à court terme sur la microflore globale du sol, bien que certains paramètres physicochimiques puissent être influencés. Des études complémentaires sont recommandées, notamment sur d'autres indicateurs microbiologiques, le traitement préalable des margines et leur valorisation dans une optique agro-environnementale durable.

Références bibliographiques

- AFNOR (1999). *NF ISO 4833-1 - Microbiologie des aliments — Dénombrement des micro-organismes*.
- Aissam H., Michel J. Penninckx, Mohamed Benlemlih. (2007). Reduction of phenolics content and COD in olive oil mill wastewaters by indigenous yeasts and fungi. *World. J. Microbiol Biotechnol* 23, 1203-1208.
- Baize, D. (2000). *Guide des analyses en pédologie*. INRA Éditions, Paris.
- Benzarti, S. (2003). Effets des margines sur les caractéristiques chimiques et l'activité biologique du sol. Mémoire d'études approfondies en sciences agronomiques, INAT, 99 p.
- Bonneau, M. And Souchier, B. (1994) *Pédologie. 2, Constituants et propriétés du sol*. 2nd Edition, Masson, Paris, 665 p.
- Bouajila, K., Ellefi, H., & Taamallah, H. (2015). Valorisation des margines pour améliorer la qualité des sols dans les zones arides tunisiennes. *Algerian Journal of Arid Environment*, 5(1), 92–105.
- Dugain, F., Duchaufour, P., Jacquin, F., & Morel, J. (1961). *Étude de la conductivité électrique des sols*. *Annales Agronomiques*, 12(3), 231–244.
- Ede, A., & El, S. N. (2022). Zeytinyağı Üretim Atıklarının Biyolojik Aktiviteleri ve Gıdalarda Kullanım Potansiyeli. *Turkish Journal of Agriculture: Food Science and Technology*, 10(5), 798–810. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v10i5.798-810.4605>
- Evaluation of the anticoagulant activity of margins from olives extraction in the khenchela
- Ghattas D. (2004). Valorisation des margines par digestion anaérobie. Mémoire de diplôme d'études approfondies (DEA). Contrôle et gestion de qualité. «Application à l'agroalimentaire». Institut de recherches agronomiques Libanais. p39.
- Gueboudji, Z., Kadi, K., & Nagaz, K. (2021). Extraction and Quantification of Polyphenols of Olive Oil Mill Wastewater from the Cold Extraction of Olive Oil in the Region of Khenchela-Algeria. *Genetics & Biodiversity Journal*, 5(2), 116–122. <https://doi.org/10.46325/gabj.v5i2.79>
- Harkat, S., Arabi, M., & Taleb, S. (2014). Impacts des activités anthropiques sur l'érosion hydrique et la pollution de l'eau de surface dans le bassin versant du cheliff, algérie/impacts of human activities on water erosion and pollution of surface water in the algerian cheliff watershed. 19.

<https://share.ensh.dz/index.php/ljee/article/download/249/198>

Harrat Naassa, Kadi Kenza, Gueboudji Zakia, Dalila Addad, Sofia hamlidounia Dib, Sabah Boukeria, Sabrina Lekmine & Nawal Mekersi. (2024). Effect of Infiltration-Percolation Treatment of Olive Mill Wastewater on Cereal Seed Germination. *Water Air Soil Pollut* 235, 693 (2024).
<https://doi.org/10.1007/s11270-024-07488-5>.

Kadi K, Mrah R, Hamli S, Lekmine S, Dib D, Addad D, Boukeria S, Gueboudji Z, Hafsaoui I.

Kadi, K., Mrah, R., Hamli, S., Lekmine, S., Dib, D., Addad, D., ... & Hafsaoui, I. (2020). Evaluation of the anticoagulant activity of margins from olives extraction in the Khenchela region. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 12(2), 634-649.

Martins, R. J. & Grabowski, T. T. (2024). Oczyszczanie i waloryzacja ścieków z wycłoczyn z oliwek. *Inżynieria Mineralna*, 1 (1). Doi:10.29227/im-2024-01-84

Mechri B, (2010), H. CHEHEB, O. BOUSSADIA, F. ATTIA, F. BEN MARIEM, M. BRAHAM, M.

HAMMAMI, *Environ. Exper. Bot.*, 2 (2010) 184-191.

Mechri, B., Chehab, H., Attia, F., Mariem, F.B., Braham, M., & Hammami, M. (2010). Olive mill wastewater effects on the microbial communities as studied in the field of olive trees by analysis of fatty acid signatures. *European Journal of Soil Biology*, 46, 312–318. doi:10.1016/j.ejsobi.2010.06.00

Mekersi, N., Kadi, K., Hackenberger, D.K. et al. (2024) Accumulation of heavy metals from single and combined olive mill wastewater and pomace in soil and bioaccumulation in tissues of two earthworm species: Endogeic (*Aporrectodea trapezoides*) and Epigeic (*Eisenia fetida*). *Environ Sci Pollut Res* 31, 45280–45294.

<https://doi.org/10.1007/s11356-024-34087-y>

Palmeira, J. D., Araujo, D., Alves, R. C., Oliveira, M. B. P. P., & Ferreira, H. (2023). Fermentation as a Strategy to Valorize Olive Pomace, a By-Product of the Olive Oil Industry. *Fermentation*, 9(5), 442.

<https://doi.org/10.3390/fermentation9050442>

Region. *J. Fundam. Appl. Sci.*, 2020, 12(2), 634-649.

Sahraoui, H., Jrad, A., & Mellouli, H. J. (2012). Épandage des margines sur les sols agricoles: impacts environnementaux microbiologiques. *Afrique Science: Revue Internationale des Sciences et Technologie*, 8(1).

Taâmallah, H. (2007). L'épandage des margines en vergers d'oliviers : une alternative pour la valorisation de cet effluent. Thèse de Doctorat, [Institution non précisée], 107 p.

Touahar, A., & Stout, A. (2022). Valorisation des margines dans la région de Fes. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 35(2), 209-234.

Weng, Z. (2023). Olive Mill Wastewater: Treatment and Valorization (s. 27–59). Springer ebooks. Doi:10.1007/978-3-031-23449-1_2

Yaakoubi A., Chahlaoui A., El Yachioui M. Et Chaouch A. (2010). Traitement des margines a ph neutre et en condition d'aérobic par la microflore du sol avant épandage. *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*. 149. Pp 43-56.