

Effet de margines traitées par infiltration-percolation sur la germination et la croissance de quatre espèces végétales

Effect of oil mill wastewater processed by infiltration-percolation on the germination and growth of four plant species

EL Hassania El Herradi, Chakib El Adlouni, Malika Naman, Ibtissam Rochdi, Abdellatif Aafrane and Fatima Naman

Volume 30, Number 2, 2017

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1042920ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/1042920ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Université du Québec - INRS-Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE)

ISSN

1718-8598 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

El Herradi, E., El Adlouni, C., Naman, M., Rochdi, I., Aafrane, A. & Naman, F. (2017). Effet de margines traitées par infiltration-percolation sur la germination et la croissance de quatre espèces végétales. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 30(2), 89–101. <https://doi.org/10.7202/1042920ar>

Article abstract

The interest for environmental protection through an ecological management of olive waste has become currently a preoccupying element. The purpose of this study was to determine the feasibility of the use of oil mill wastewater treated with the infiltration - percolation technique through five different filters based on sea sand, agricultural soil and fly ash. The behavior of four plant species: radish (*Raphanus sativus* R.), turnip (*Brassica rapa* L.), tomato (*Solanum lycopersicum* C.) and alfalfa (*Medicago sativa* L.) during germination (rate and average speed of seed germination) and growth (length of roots and stems, fresh weight and dry weight), have been highlighted in this paper. The effluents used have an acidic pH (5.9), an electrical conductivity of 26.6 (mS·cm⁻¹) and a suspended solids content of about 32.1 g·L⁻¹. They are heavily charged with organic material with a chemical oxygen demand (COD) content of 268 g·L⁻¹, the biological oxygen demand (BOD₅) of 1.34 g·L⁻¹ and total phenols of the order of 2.66 g·L⁻¹. Adsorption tests have confirmed the effectiveness of these natural minerals in the reduction of phenolic compounds, COD and BOD₅ contained in oil mill wastewater. However, we achieved complete inhibition of germination tested with raw oil mill wastewater for all species. We have noticed an increase of the germination process according to the dilution of the vegetable water. The results of the effect of vegetable treated on germination and emergence of the vegetative species studied has shown that filtrates whose percolation infiltration column is composed of a combination of ash and agricultural soils, presented the best results.

EFFET DE MARGINES TRAITÉES PAR INFILTRATION-PERCOLATION SUR LA GERMINATION ET LA CROISSANCE DE QUATRE ESPÈCES VÉGÉTALES

Effect of oil mill wastewater processed by infiltration-percolation on the germination and growth of four plant species

EL HASSANIA EL HERRADI^{*}, CHAKIB EL ADLOUN², MALIKA NAMAN³, IBTISSAM ROCHDI⁴, ABDELLATIF AARFANE⁵,
FATIMA NAMAN⁴

¹Université Mohammed V, École Normale Supérieure, Laboratoire de physico-chimie des matériaux inorganiques et organiques, avenue Mohamed Ben Hassan El Ouazzani, BP 5118, Rabat, Maroc

²Université Chouaib Doukkali, Faculté des Sciences, Laboratoire de biotechnologies marine et de l'environnement, avenue Jabran Khalil Jabran, BP 299, El Jadida, Maroc

³Institut Supérieur des Professions d'Infirmiers et Techniques de Santé (ISPITS), Laboratoire de microbiologie, rue Mohamed el Faidouzi, quartier des Hopitaux, Casablanca, Maroc

⁴Université Chouaib Doukkali, Faculté des Sciences, Laboratoire de biotechnologie végétale, écologie et valorisation des écosystèmes, avenue Jabran Khalil Jabran, BP 299, El Jadida, Maroc

⁵Université Chouaib Doukkali, Faculté des Sciences, Laboratoire de l'eau et de l'environnement, avenue Jabran Khalil Jabran, BP 299, El Jadida, Maroc

Reçu le 12 septembre 2016, accepté le 14 février 2017

RÉSUMÉ

La protection de l'environnement à travers une gestion écologique des déchets oléicoles est devenue actuellement un élément préoccupant. La présente étude s'intéresse à la valorisation des margines traitées par la technique d'infiltration-percolation sur cinq filtres différents à base de sable marin, de sol agricole et de cendres volantes sur la germination (taux,

vitesse et moyenne journalière de germination des graines) et la croissance (longueur des racines et des tiges; poids frais et poids sec) de quatre espèces végétales : le radis (*Raphanus sativus* R.), le navet (*Brassica rapa* L.), la tomate (*Solanum lycopersicum* C.) et la luzerne (*Medicago sativa* L.). Les effluents bruts sont d'un pH acide (5,9), une conductivité électrique de 26,6 (mS·cm⁻¹), une teneur en matière en suspension de l'ordre de 32,1 g·L⁻¹. Ils sont très chargés en matière organique

avec une teneur en demande chimique en oxygène (DCO) de 268 g·L⁻¹, en demande biologique en oxygène (DBO₅) de 1,34 g·L⁻¹ et en phénols totaux de l'ordre de 2,66 g·L⁻¹. Les essais d'adsorption ont permis de confirmer l'efficacité de ces substances minérales naturelles dans la réduction des composés phénoliques, de la DCO et de la DBO₅ contenus dans les margines. Avec les margines brutes, nous avons enregistré une inhibition complète de la germination des graines des quatre espèces et un accroissement du processus de germination en fonction de la dilution des margines. Avec les margines traitées, la germination et l'émergence de l'appareil végétatif des espèces étudiées par le filtrat dont la colonne d'infiltration-percolation est composée d'une combinaison de cendres et de sols agricoles, sont meilleures que les autres filtrats.

Mots-clés : Margines, sol, sable marin, cendres volantes, infiltration-percolation, germination, croissance.

ABSTRACT

The interest for environmental protection through an ecological management of olive waste has become currently a preoccupying element. The purpose of this study was to determine the feasibility of the use of oil mill wastewater treated with the infiltration - percolation technique through five different filters based on sea sand, agricultural soil and fly ash. The behavior of four plant species: radish (*Raphanus sativus* R.), turnip (*Brassica rapa* L.), tomato (*Solanum lycopersicum* C.) and alfalfa (*Medicago sativa* L.) during germination (rate and average speed of seed germination) and growth (length of roots and stems, fresh weight and dry weight), have been highlighted in this paper. The effluents used have an acidic pH (5.9), an electrical conductivity of 26.6 (mS·cm⁻¹) and a suspended solids content of about 32.1 g·L⁻¹. They are heavily charged with organic material with a chemical oxygen demand (COD) content of 268 g·L⁻¹, the biological oxygen demand (BOD₅) of 1.34 g·L⁻¹ and total phenols of the order of 2.66 g·L⁻¹. Adsorption tests have confirmed the effectiveness of these natural minerals in the reduction of phenolic compounds, COD and BOD₅ contained in oil mill wastewater. However, we achieved complete inhibition of germination tested with raw oil mill wastewater for all species. We have noticed an increase of the germination process according to the dilution of the vegetable water. The results of the effect of vegetable treated on germination and emergence of the vegetative species studied has shown that filtrates whose percolation infiltration column is composed of a combination of ash and agricultural soils, presented the best results.

Key Words: Oil mill wastewater, soil, sea sand, fly ash, infiltration-percolation, germination, growth.

1. INTRODUCTION

Au Maroc, l'oléiculture représente une des plus importantes activités agricoles. En effet, l'olivier occupe une surface de 933 475 ha, soit plus de 57 % de la superficie arboricole totale avec des rendements de production qui oscillent entre 0,7 et 1,7 t·ha⁻¹ (MAPM, 2013). Néanmoins, l'industrie oléicole n'est pas sans conséquence puisqu'elle génère d'énormes quantités de margines dont la fraction organique complexe et la demande chimique élevée en oxygène (DCO) les rendent un déchet industriel gravement polluant (FIORENTINO *et al.*, 2003).

Les margines ne subissent aucun traitement et sont souvent déversées dans les égouts d'assainissement, stockées dans des bassins d'évaporation et/ou épandues directement sur le sol sans contrôle. Il en résulte un impact négatif sur l'environnement. Ceci se traduit par le colmatage des sols, le dysfonctionnement des stations d'épuration et la pollution des eaux superficielles et souterraines. L'exemple de la situation des eaux de l'oued Sebou à Fèsau, Maroc en est une illustration de cette pollution (FOUTLANE *et al.*, 2002).

La problématique posée par les margines est attribuée à la présence des acides gras libres à longue chaîne et à des composés récalcitrants comme les composés phénoliques (EL HAJJOUJI *et al.*, 2007). Ces composés difficilement biodégradables nuisent aux cycles biologiques du sol et affectent la qualité des eaux naturelles (BELAID *et al.*, 2002).

Ce travail étudie la capacité épuratrice par infiltration-percolation sur sable marin, sol agricole et cendres volantes sur les margines. Elle évalue la valorisation des margines épurées sur la germination et la croissance de quatre espèces végétales.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 Matériaux utilisés

Les quatre matériaux utilisés sont :

- Deux sols agricoles de la région de la ville d'El Jadida au Maroc. L'un sableux et l'autre argilo-sableux. Les prélèvements des échantillons ont été effectués au niveau de l'horizon supérieur 0-20 cm.
- Le sable marin de la plage Sidi Bouzid située à 5 km au sud d'El Jadida.
- Les cendres volantes de la centrale thermique JLEC située au parc industriel Jorf Lasfar, située à 17 km au sud d'El Jadida. Ce sont des fines particules recueillies lors du dépoussiérage des gaz résultant de la combustion du charbon pulvérisé. Ces cendres sont sous forme d'une

poudre fine de couleur gris pâle, douce au toucher, d'une finesse analogue à celle d'un ciment.

2.2 Paramètres physicochimiques mesurés des matériaux

Le pH a été mesuré par la méthode électrométrique sur une suspension du matériau avec un rapport matériau/eau de 1:5 à l'aide d'un pH-mètre type JENWAY. La conductivité électrique donne une idée sur la quantité de sels solubles dans le matériau. Sa mesure a été effectuée à l'aide d'un conductivimètre électrique de type WTW série 720 avec un rapport matériau/eau de 1:5. La granulométrie des matériaux étudiés a été faite par tamisage sur une série de tamis de diamètre entre 100 et 800 μm .

Les analyses par fluorescence X ont été effectuées au Centre National pour la Recherche Scientifique et Technique, division des Unités d'appui technique à la recherche scientifique à Rabat, par un spectromètre à dispersion de longueur d'onde type Axios.

2.3 Paramètres physicochimiques mesurés des margines

Les margines ont été collectées dans une huilerie semi-industrielle de la ville de Marrakech au Maroc lors de la période de pressage de l'huile. Les paramètres physicochimiques (pH, conductivité électrique, taux d'humidité, matières en suspension (MES), demande chimique en oxygène (DCO), demande biologique en oxygène (DBO_5), les chlorures des margines brutes et traitées ont été déterminés selon les méthodes standards d'analyse AFNOR (1983). La détermination de la concentration des polyphénols a été réalisée par la technique colorimétrique de Folin Ciocalteu. L'azote total (NTK) est déterminé selon la méthode de Kjeldhal décrite par AUBERT (1978). Les formes organiques du phosphore sont transformées en orthophosphates solubles ensuite dosés selon la méthode colorimétrique, par la formation en milieu acide d'un complexe phosphomolybdique, qui se réduit par l'acide ascorbique en un complexe de coloration bleue dont l'intensité est déterminée par spectrophotométrie à 700 nm. Le sodium (Na^+), le potassium (K^+), le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}) sont dosés par spectrométrie à flamme.

2.4 Dispositif expérimental du traitement des margines

La mesure de la capacité d'adsorption des différents supports minéraux et leur efficacité dans l'élimination ou la diminution des polluants organiques des margines est réalisée par la procédure de percolation à travers une colonne. Quatre matériaux ont fait l'objet d'une optimisation de leurs aptitudes à réduire ces polluants. Le pilote expérimental utilisé est

constitué de cinq colonnes en forme d'entonnoir de 8 cm de diamètre et 12 cm de hauteur. Les colonnes sont remplies par trois matériaux. Chaque filtre représente une colonne remplie de couches stratifiées (du bas vers le haut) de sable, de sol et/ou de cendres (Figure 1) : F1 (sable marin - sol argilosableux - sable marin), F2 (sable marin - sol sableux - sable marin), F3 (sable marin - cendres volantes - sable marin), F4 (sable marin - cendres volantes - sol sableux) et F5 (sable marin - cendres volantes - sol argilosableux).



Figure 1. Colonne utilisée avec le filtre F1.
Column used with filter F1.

2.5 Tests de germination et de croissance des espèces végétales

Nous avons mesuré le pouvoir germinatif des graines de quatre espèces végétales : le radis (*Raphanus sativus* R.), le navet (*Brassica rapa* L.), la tomate (*Solanum lycopersicum* C.) et la luzerne (*Medicago sativa* L.).

Vingt graines de chacune des quatre espèces végétales sont disposées dans des boîtes de Pétri de 9 cm de diamètre tapissées de papier filtre Whatman imbibée par 4 mL d'eau distillée (témoin), des margines brutes, des margines diluées au 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64, 1:128 ou par chacun des cinq filtrats des margines traitées par infiltration-percolation. Les boîtes ont été ensuite placées en chambre de culture avec une photopériode de 16 h/8 h à 25 °C. Les tests de germination effectués ont duré environ huit jours. Durant cette période, les boîtes de Pétri ont été arrosées une fois tous les deux jours. Chaque essai de germination est conduit en trois répétitions. Une semence est considérée germée lorsque la radicule perce les téguments. Le taux de germination est exprimé en pourcentage du nombre de graines germées par rapport au nombre total des graines testées. Le nombre de graines germées a été compté quotidiennement jusqu'au 8^e jour de l'expérience. Les mesures

de croissance effectuées sont celles de la hauteur de la tige, l'élongation racinaire, le poids frais et le poids sec.

Les résultats de germination et de croissance sont soumis à l'analyse de la variance (ANOVA) à un seul facteur, et les moyennes sont comparées sur la plus petite différence significative à l'aide du logiciel SPSS 17.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 Caractérisation physicochimique du sol argilosableux, du sol sableux, du sable marin et des cendres volantes

Les résultats de la granulométrie, du pH et de la conductivité électrique des deux sols étudiés sont présentés dans le tableau 1. Le pH des deux sols est légèrement alcalin. Il est de 8,51 et 8,20 pour le sol argilosableux et le sol sableux, respectivement. Selon la classification proposée par DENIS (2000), ces deux sols sont considérés comme sols alcalins.

La conductivité électrique des deux sols est faible. Elle est de 207 et 182 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ pour le sol argilosableux et le sol sableux, respectivement. Cette salinité n'a aucun effet sur le rendement des cultures. Le sable marin utilisé est un sable coquillier dont le principal minéral est la calcite (ou aragonite) qui forme la carapace des mollusques, des coraux et bryozoaires. L'analyse par fluorescence (Tableau 2) a montré qu'il contient une part importante en oxyde de calcium CaO suivie de l'oxyde de magnésium MgO ce qui montre qu'il est constitué par une solution solide ou par un mélange de carbonates, de la calcite et de la dolomite. Le sable présente un pH de 9,31 et une conductivité électrique de 233 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Les cendres volantes provenant de la centrale thermique de Jorf-Lasfar à El Jadida ont une texture très fine avec une granulométrie des particules inférieure à 200 μm . Les résultats des analyses chimiques (Tableau 2) montrent que la silice, l'alumine, l'oxyde de calcium et l'oxyde de fer sont les principaux constituants des cendres volantes étudiées. Elles ont une texture silico-alumineuse puisque leur pourcentage en oxydes (SiO_2 , Al_2O_3 , et Fe_2O_3) est de 77,35 %. Selon la classification ASTM C618-05 (2005), les cendres appartiennent à la classe F. Leur pH est très alcalin de l'ordre de 12,16 et leur conductivité électrique est élevée de 4,83 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$.

3.2 Caractérisation physicochimique des margines brutes

La caractérisation physicochimique des margines est généralement tributaire des techniques et des systèmes retenus pour l'extraction d'huile. Le tableau 3 montre les résultats des paramètres physicochimiques des margines étudiées.

Les margines fraîchement prélevées, de couleur brune, ont un aspect trouble et une forte odeur d'huile d'olive. Leur pH est de 5,9. Celle-ci est comparable aux valeurs comprises entre 4,2 et 5,9 trouvées par plusieurs auteurs (EROGLU *et al.*, 2008; HANAFI *et al.*, 2009; BOUKNANA *et al.*, 2014; OUABOU *et al.*, 2014; EL HERRADI *et al.*, 2016).

La conductivité électrique des margines analysées est élevée (26,2 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$). Elle est due à sa teneur élevée en sels présents dans ce type d'effluents. Cette valeur est comparable à celles trouvées par TSILOULPAS *et al.* (2002) et DI SERIO *et al.* (2008), mais reste supérieure à 10 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ trouvée par EL HERRADI *et al.* (2016). Cette forte conductivité est probablement due à l'ajout important de sel lors de la

Tableau 1. Granulométrie, conductivité électrique et pH du sable marin et des sols étudiés.

Table 1. Particle size, electrical conductivity, and pH of marine sand and soils studied.

Matériau	pH _{eau}	Conductivité électrique ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Granulométrie (%)		
			Sable grossier	Sable fin	Limon et argile
Sol argilo-sableux	8,51	207	6,48	41,75	51,77
Sol sableux	8,20	182	81,87	15,82	2,8
Sable marin	9,31	233	96,13	2,44	1,43

Tableau 2. Composition chimique des matériaux déterminée par fluorescence X (% masse).

Table 2. Chemical composition of the materials determined by XRF (% mass).

Matériau	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	SO ₃	P ₂ O ₅
Sable marin	0,941	0,249	0,625	50,4	0,069	0,366	1,93	0,61	0,118
Sol sableux	53,1	12,8	7,15	11,2	2,19	0,537	1,4	0,441	0,482
Sol argilo-sableux	63,9	8,54	6,46	7,3	1,85	0,702	1,21	0,654	0,662
Cendres volantes	48,7	24,2	4,45	8,71	1,99	1,04	1,19	1,64	0,481

Tableau 3. Caractéristiques physicochimiques des margines.**Table 3. Physico-chemical characteristics of oil mill wastewater.**

Paramètres analysés	Margines brutes
pH	5,9
Conductivité électrique (mS·cm ⁻¹)	26,6
Densité (g·cm ⁻³)	1,04
Teneur en eau (%)	88
Matière en suspension (g·L ⁻¹)	32,1
Matière sèche (g·L ⁻¹)	159
Demande chimique en oxygène (DCO) (g·L ⁻¹)	268
Demande biochimique en oxygène (DBO ₅) (g·L ⁻¹)	13,4
Phénols totaux (mg·L ⁻¹)	2,66
Azote total kjeldhal (NTK) (g·L ⁻¹)	0,7
Ammonium (mg·L ⁻¹)	23
Nitrates (mg·L ⁻¹)	84
Phosphore total (g·L ⁻¹)	6,8
SO ₄ ²⁻ (mg·L ⁻¹)	80,7
Cl ⁻ (mg·L ⁻¹)	500
K ⁺ (g·L ⁻¹)	3,32
Ca ²⁺ (g·L ⁻¹)	0,4
Mg ²⁺ (g·L ⁻¹)	0,5
Na ⁺ (g·L ⁻¹)	0,393

conservation des olives avant leur trituration et à la richesse naturelle des margines en sels minéraux dissous. La densité des margines est de 1,04 g·cm⁻³. Cette valeur reste comparable aux valeurs comprises entre 1,001 et 1,1 enregistrées par ACHAK *et al.*, (2008), EROGLU *et al.*, (2008) et BOUKNANA *et al.*, (2014).

La teneur des margines brutes analysées en matières en suspension est de l'ordre de 32,1 g·L⁻¹. Cette valeur reste supérieure à celle rapportée par AL-MALAH *et al.*, (2000) qui est de l'ordre de 18 g·L⁻¹ dans les margines industrielles. Cette différence est probablement due à la faible durée de décantation de nos margines puisque l'échantillonnage a été effectué durant la période de fonctionnement de la station.

Celles-ci sont riches en matière organique comme le montrent les valeurs très élevées de la DCO (268 g O₂·L⁻¹) et de la DBO₅ (13,4 g·L⁻¹). Cette teneur en DCO est plus élevée que celle trouvée dans d'autres types de rejets tels les effluents d'abattoir (4,02 g O₂·L⁻¹) considérés comme les principaux rejets à caractère organique dominant (AISSAM *et al.*, 2001). Toutefois notre DCO reste inférieure à celles obtenues par plusieurs auteurs (EL HERRADI *et al.*, 2016; OUABOU *et al.*, 2014; ZAHARI *et al.*, 2014) comprises entre 329 et 374 g O₂·L⁻¹ pour les margines des huileries de plusieurs régions du Maroc (Settat, Elkalaa Sraghna, Marrakech et Sefrou). La valeur de DBO₅ de nos margines est comparable à celle trouvée par OUABOU *et al.*, (2014) et est inférieure à celles rapportées par ZAHARI *et al.*, (2014) qui ont trouvé des valeurs comprises entre 12,5 et 62,5 g·L⁻¹.

La teneur de nos margines en polyphénols est 2,66 g·L⁻¹. Ces composés de nature aromatique sont reconnus pour leurs effet antimicrobien et phytotoxique (EL HAJJOUJI *et al.*, 2007). Notre valeur est proche de celle trouvée par ZAHARI *et al.*, (2014) qui est de l'ordre de 2,05 g·L⁻¹ et est plus élevée de celle rapportée par ACHAK *et al.*, (2008) qui est de l'ordre de 1,42 g·L⁻¹.

Les margines étudiées contiennent des quantités significatives de composés minéraux. Elles sont riches en phosphore (6,8 g·L⁻¹) et ont des taux relativement élevés en potassium (3,32 g·L⁻¹), azote (0,7 g·L⁻¹), magnésium (0,5 g·L⁻¹) et calcium (0,4 g·L⁻¹), respectivement. Vu ces teneurs, nous pensons que nos margines peuvent être utilisées comme amendement naturel des sols avec des taux d'apport de ces éléments bien étudiés pour qu'ils soient compatibles avec les normes établies pour l'épandage sur les terres agricoles.

3.3 Traitement des margines brutes par infiltration-percolation

Le temps de transit qui représente le passage de 100 mL des margines à travers les filtres s'est échelonné entre 33 min 42 s et 42 min 48 s. Il a augmenté suivant l'ordre des filtres suivants : F2, F1, F3, F4 et F5. Ce qui montre clairement que la granulométrie des matériaux étudiés a influencé sur le temps de séjour des margines dans chaque filtre. L'infiltration est rapide dans le filtre F2 qui contient le sable et le sol sableux. Elle est plus lente dans les filtres qui contiennent les cendres. Le F5 qui contient les cendres, le sol argilosableux et les particules fines présente le temps de séjour le plus grand.

Les résultats des paramètres physicochimiques des margines traitées sont présentés sur la figure 2. Par comparaison aux margines brutes, le pH à la sortie du filtre F1 n'a pas subi une grande modification, il est de l'ordre de 6,01. Il est devenu neutre dans le filtre F2 avec une valeur de 7,04. Avec les filtres F3, F4 et F5 qui contiennent les cendres, le pH est devenu très alcalin avec des valeurs de 11,3 pour F3, 9,28 pour F4 et 8,68 pour F5, respectivement. Cette alcalinisation pourrait être due à la fois au caractère légèrement alcalin à alcalin des matériaux et à la rétention des acides organiques des margines par les filtres utilisés. Ces derniers confèrent aux margines le caractère acide (ZENJARI et NEJMEDDINE, 2001; ACHAK *et al.*, 2009).

La conductivité électrique des margines traitées par les cinq filtres a connu une diminution très importante. Cette baisse de conductivité dépend du temps de séjour des margines dans la matrice filtrante. La conductivité est de l'ordre de 2,1 mS·cm⁻¹ pour le filtrat 1 et de 1,63 mS·cm⁻¹ pour le filtrat 2. Elle présente les valeurs 6,3-7,92 et 8,49 dans les filtrats 3, 4 et 5, respectivement. Le filtrat 2 présente un abattement important

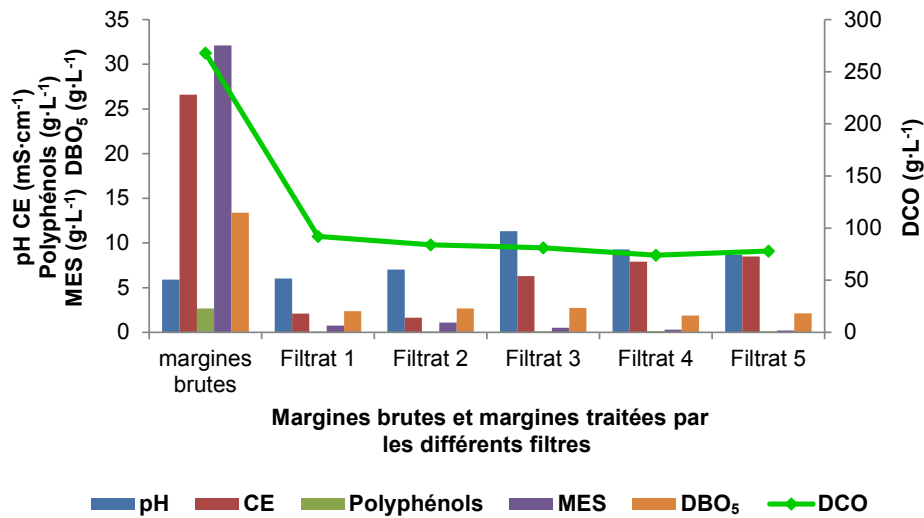


Figure 2. Caractéristiques physicochimiques des margines traitées.
Physico-chemical characteristics of treated oil mill wastewater.

de la conductivité électrique. Ce changement de conductivité peut être dû aux échanges ioniques qui se font au niveau des couches de chaque filtre. Chaque ion possède une mobilité propre à elle.

En comparant la teneur en matières en suspension des margines traitées à celle des margines brutes, on note une forte diminution de celle-ci pour tous les filtrats. Généralement, la pollution par les MES est facilement éliminée par le procédé d'infiltration-percolation. Cette élimination peut être expliquée principalement par des processus physiques tels que la sédimentation et la filtration. Le taux d'abattement est élevé pour les cinq filtrats. Il est de l'ordre de 97,66 %, 96,64 %, 98,44 %, 99,07 % et 99,38 %, respectivement, pour F1, F2, F3, F4 et F5. Le filtre F5 est celui qui a enregistré le taux d'abattement des MES le plus élevé vu la forte durée de séjour de l'effluent dans cette colonne qui contient les matériaux les plus fins.

Le taux d'abattement de la DCO des cinq filtrats a atteint 99,97 %. Nos résultats sont très proches de ceux rapportés par ACHAK *et al.*, (2011) qui ont montré que cet abattement fait intervenir des phénomènes physiques (sédimentation, nature du filtre adsorbant). De même, le taux d'élimination de la matière organique biodégradable est presque comparable pour tous les filtrats. Il dépasse les 99 %. Une faible granulométrie du filtrat facilite plus la fixation de la matière organique à la surface du matériau adsorbant.

La teneur en phénols totaux des margines traitées varie entre 0,092 et 0,136 g·L⁻¹. Le taux d'abattement est significatif pour les cinq filtrats. Il est de l'ordre de 96 %. Ce taux est plus élevé que celui des margines traitées par infiltration-percolation sur sable trouvé par ACHAK *et al.*, (2011) qui est de 67 %.

Ceci est dû à une combinaison des deux ou des trois matériaux utilisés dans notre colonne de filtration.

3.4 Effet des margines brutes et traitées sur le taux de germination des espèces étudiées

L'évolution journalière de germination des graines des quatre espèces végétales étudiées en fonction du temps et pour les cinq traitements est illustrée sur la figure 3. Bien qu'il ne reflète pas intégralement le comportement des plantes dans leurs conditions naturelles, le taux de germination donne toujours une idée plus ou moins précise du comportement des espèces étudiées. La cinétique de germination varie en fonction de l'espèce végétale et de la nature du filtrat.

Les graines des quatre espèces végétales arrosées par nos margines n'ont pas germé. Cette non germination est aussi obtenue par CASA *et al.*, (2003) et EL HADRAMI *et al.*, (2004) sur les graines du blé dur. Selon ces auteurs, cette inhibition est due aux composés phénoliques présents dans les margines. Ces mêmes composés phénoliques sont derrière l'inhibition de la germination du haricot (ZOHAIB *et al.*, 2014). Ils privent l'embryon d'un apport convenable d'oxygène en le piégeant au passage en raison de leur propre oxydation. La présence des polyphénols dans nos margines avec une teneur 2,66 g·L⁻¹ a dû permettre l'inhibition de la germination des graines des quatre espèces étudiées.

Pour toutes les espèces testées, on remarque qu'il n'y a pas de différence importante entre le taux de germination du témoin et celui des filtrats 1, 2, 4 et 5. Ceci pourrait être dû à l'abattement important des composés phénoliques qui varient entre 96,23 % et 96,54 % pour les différents filtrats testés.

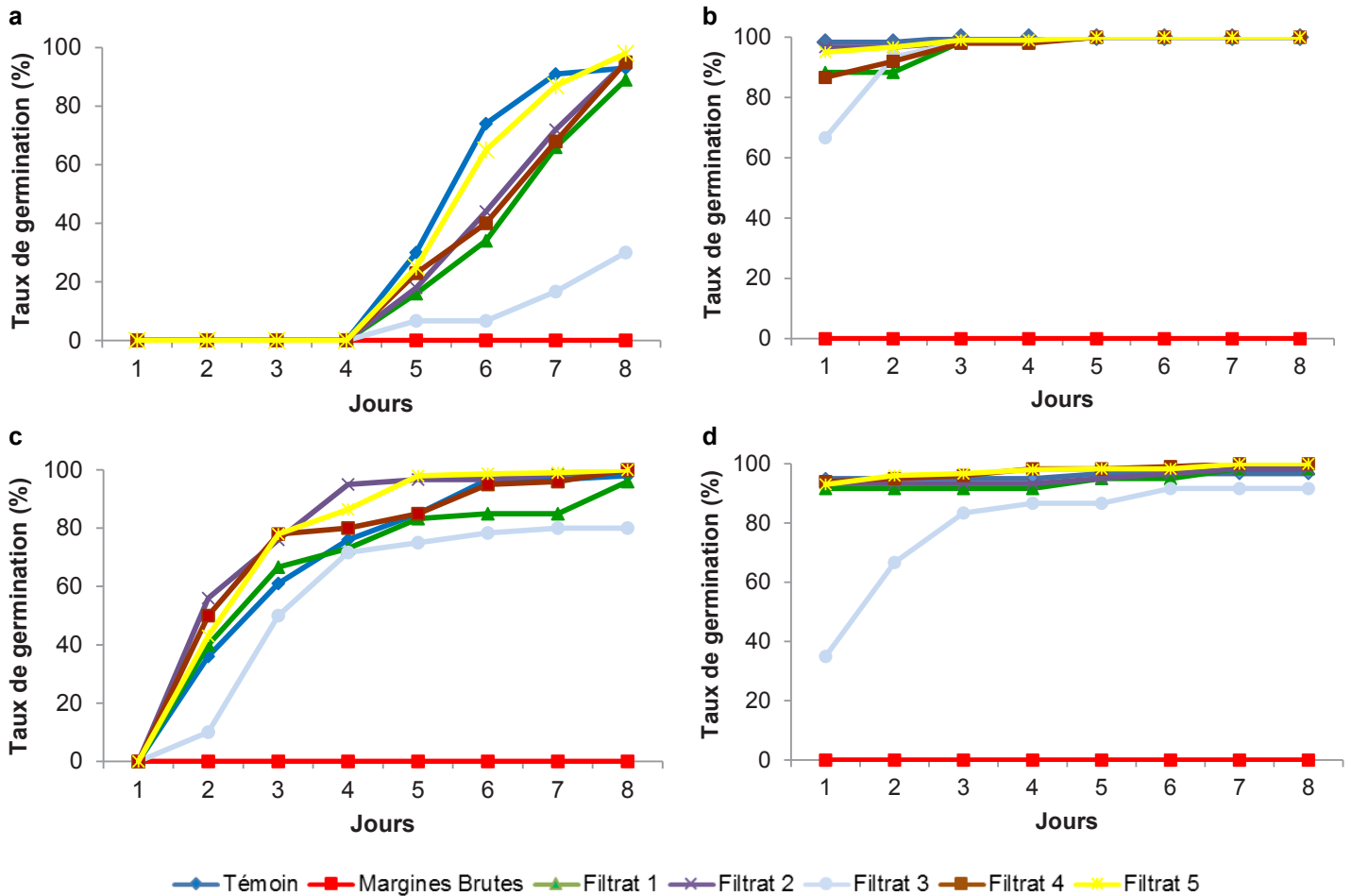


Figure 3. Taux de germination des graines des quatre espèces végétales traitées par des margines brutes et des margines épurées en fonction du temps : a) tomate, b) luzerne, c) radis, d) navet.

Seed germination rates of the four treated plant species by raw oil mill wastewater and pure oil mill wastewater versus time: a) tomato, b) alfalfa, c) radish, d) turnip.

Ces composés sont derrière l'effet phytotoxique des margines. Le filtrat 3 qui contient les cendres avec le sable a permis d'obtenir un taux de germination inférieur aux taux des autres filtrats. Cette différence est probablement due à l'effet du pH trop alcalin du filtrat 3 (11,33) sur la qualité germinative des semences étudiées.

Pour la tomate, on constate qu'il y a un retard de la germination des graines qui ne se déclenche qu'après le 4^e jour. Ce retard est souvent attribué, soit à la dormance embryonnaire, soit à l'imperméabilité de l'enveloppe tégumentaire de la graine à l'eau (WHISENANT et UECKERT, 1982; BRAHIM et SMITH, 1993). Du 5^e au 7^e jour, on observe un taux de germination relativement faible des graines traitées avec le filtrat 1, par rapport au témoin pour dépasser 90 % au 8^e jour de la germination pour le témoin et pour tous les traitements 1, 2, 4 et 5. Pour le filtrat 3, le taux de germination au 8^e jour est faible puisqu'il n'atteint que 30 %. L'analyse de la variance a indiqué qu'il y a une différence significative entre le filtrat 3 et les autres traitements à cause de son alcalinité élevée.

Pour la luzerne, la germination a débuté au 1^{er} jour avec un pourcentage de 98, 97, 95, 88, 87 et 67 %, respectivement pour le témoin, le filtrat 2, le filtrat 5, le filtrat 1, le filtrat 4 et le filtrat 3. Le taux de germination des graines a atteint 100 % vers le 5^e jour pour le témoin et les cinq traitements. L'analyse statistique de la variance pour les différents traitements et pour tous les jours de la germination confondus a révélé un effet non significatif sur la germination.

La capacité germinative du radis pour les différents filtrats reste comparable à celle du témoin. L'allure générale des courbes de cinétique de germination du témoin et des cinq traitements est comparable. La germination emprunte une évolution parallèle pouvant être divisée en deux phases. Une phase exponentielle, entre le premier et le 4^e jour, durant laquelle les taux de germination augmentent fortement. La deuxième phase correspond à un palier où les pourcentages cumulés de germination augmentent lentement dans un premier temps pour se stabiliser jusqu'à la fin de l'expérience. Les graines traitées avec les filtrats 2, 3 et 4 ont atteint un taux

de germination de 100 % au bout du 8^e jour. Elles n'ont atteint que 98 %, 96 % et 80 %, respectivement, pour le témoin, le filtrat 1 et le filtrat 3.

Pour le navet, la germination a commencé dès le 1^{er} jour avec un pourcentage dépassant 92 % pour le témoin et les filtrats 1, 2, 4 et 5 et un pourcentage de 35 % pour le filtrat 3. Avec ce filtrat, le taux de germination maximal (92 %) est atteint au 3^e jour pour y rester stable jusqu'au 8^e jour.

La figure 4 représente la germination moyenne journalière qui est le taux final de germination sur le nombre de jours de germination. Elle a une valeur constante pour la luzerne et ceci pour tout traitement confondu. Pour les autres espèces végétales, la capacité germinative des graines présente une allure presque linéaire pour les traitements témoin, filtrat 1, filtrat 2, filtrat 4 et filtrat 5. Alors qu'elle diminue pour le filtrat 3. Ceci peut être dû à la valeur trop alcaline du pH de ce filtrat.

3.5 Effet des margines diluées sur la germination des graines des espèces étudiées

Nous avons testé les margines à l'état dilué aux facteurs 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64 et 1:128 sur la germination des graines des quatre espèces végétales étudiées. Comme les margines brutes, les margines diluées aux 1:2 et 1:4 ont induit une inhibition complète de la germination des graines des quatre espèces. Ceci est aussi observé pour la dilution 1:8 exempte pour la luzerne. Au-delà de la dilution 1:8, le taux de germination augmente au fur et mesure que le facteur de dilution augmente (Figure 5). En plus, la vitesse de germination diffère significativement entre les espèces.

Pour la luzerne, avec la dilution 1:8, la germination commence au 2^e jour et son taux atteint le palier de 85 % au 6^e jour. Pour les dilutions 1:16 et 1:32, la germination débute au 1^{er} jour et atteint le palier 100 % au 3^e et 2^e jour, respectivement. Alors que pour les dilutions 1:64 et 1:128, la germination a été complète dès le 1^{er} jour.

Pour le navet, les graines à la dilution 1:16 possèdent le taux de germination le plus faible par rapport aux autres dilutions (1:32, 1:64 et 1:128). Il n'a atteint que 34 % au 8^e jour. À la dilution 1:32, la courbe obtenue présente trois zones linéaires : une première zone entre le 1^{er} et le 4^e jour avec un taux de 3 % au départ; la deuxième zone, au cours de laquelle la vitesse de germination est maximale (100 %), est située entre le 4^e et le 6^e jour; la troisième zone, entre le 6^e et le 8^e jour, au cours de laquelle la courbe évolue avec une pente nulle. La germination à la dilution 1:64 a débuté avec un pourcentage de 95 % pour atteindre 98 % aux 3^e et 4^e jours et ensuite 100 % au 5^e jour. Le pourcentage de germination 100 % du navet est atteint dès le 1^{er} jour pour la dilution 1:128.

Les graines de la tomate ont présenté une inhibition de 100 % à la dilution 1:16. Pour les trois autres dilutions, la germination des graines est précédée par un temps de latence. Il est de trois jours pour 1:32 et de deux jours pour 1:64 et 1:128. Les courbes de la cinétique de germination évoluent en forme de S pour atteindre un taux de germination de 69 % pour la dilution 1:32 et 100 % pour les dilutions 1:64 et 1:128.

Pour le radis, le taux de germination est de seulement 8,5 % pour la dilution 1:16 et atteint 100 % pour les dilutions 1:32, 1:64 et 1:128. L'allure des courbes de la cinétique de germination du radis est semblable à celle de la tomate.

3.6 Effet des margines brutes et traitées sur la longueur des racines et de la tige des espèces étudiées

La figure 6 présente les résultats des différents traitements sur la longueur des racines et de la tige des quatre espèces végétales. L'effet des margines traitées sur l'élongation racinaire est bien marqué pour les quatre filtrats : 1, 2, 4 et 5. Comme pour la germination, le F3 a un effet négatif sur l'élongation des racines. L'analyse de la variance s'est révélée significative ($P > 0,05$) sur la longueur des racines entre les différents filtrats sauf pour le filtrat 3 comparé au témoin.

Pour les quatre espèces végétales, la longueur maximale des racines est enregistrée par les plantules arrosées avec le filtrat 1. Elle est suivie de celle des plantules arrosées avec le filtrat 4 puis de celle du filtrat 5 pour la tomate et le radis et de celle des plantules arrosées avec le filtrat 5 puis de celle du filtrat 4 pour la luzerne et le navet.

L'augmentation de l'élongation racinaire en valeur relative du filtrat 1 par rapport au témoin est de 81 % pour la luzerne, de 70 % pour le navet et de 22 % pour la tomate, alors qu'elle ne dépasse pas 10 % pour le radis. Les quatre espèces végétales traitées par le filtrat 3 présentent une longueur du système racinaire inférieure à celle du témoin. Cette diminution est de 67 %, 30 %, 10 % et 2 %, respectivement, pour le navet, la tomate, le radis et la luzerne. Elle est due au pH alcalin du filtrat 3 qui pourra causer une absorption réduite des nutriments.

L'effet des margines traitées sur la hauteur des plantules de la luzerne et du navet est positif pour les margines traitées par F1, F5, F4 et F2. Le F3 a le même effet que le témoin. La comparaison de l'effet des filtrats sur la croissance de ces plantules a montré une augmentation de la longueur aussi bien pour les racines que pour la partie aérienne. Cette croissance est plus accentuée avec F1. Ces résultats sont confirmés par l'analyse statistique des données qui montre un effet significatif sur la hauteur de la tige et sur la longueur des racines traitées par les différents filtrats à l'exception de F3.

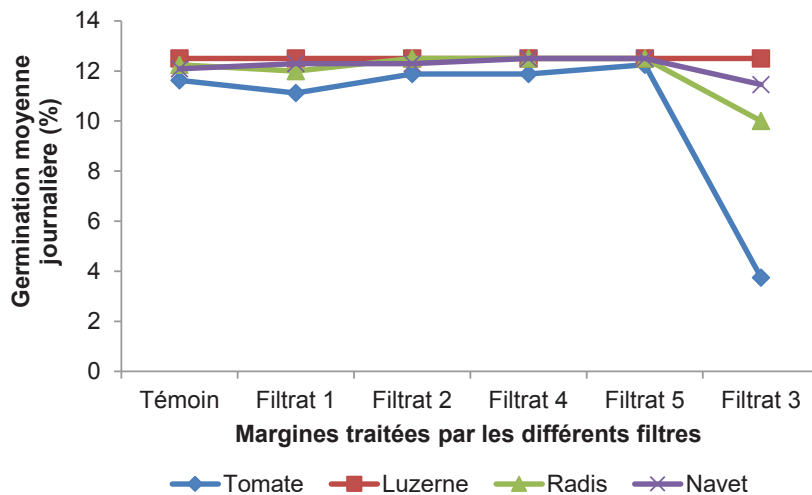


Figure 4. Germination moyenne journalière des quatre espèces végétales étudiées. Average daily germination of four plant species studied.

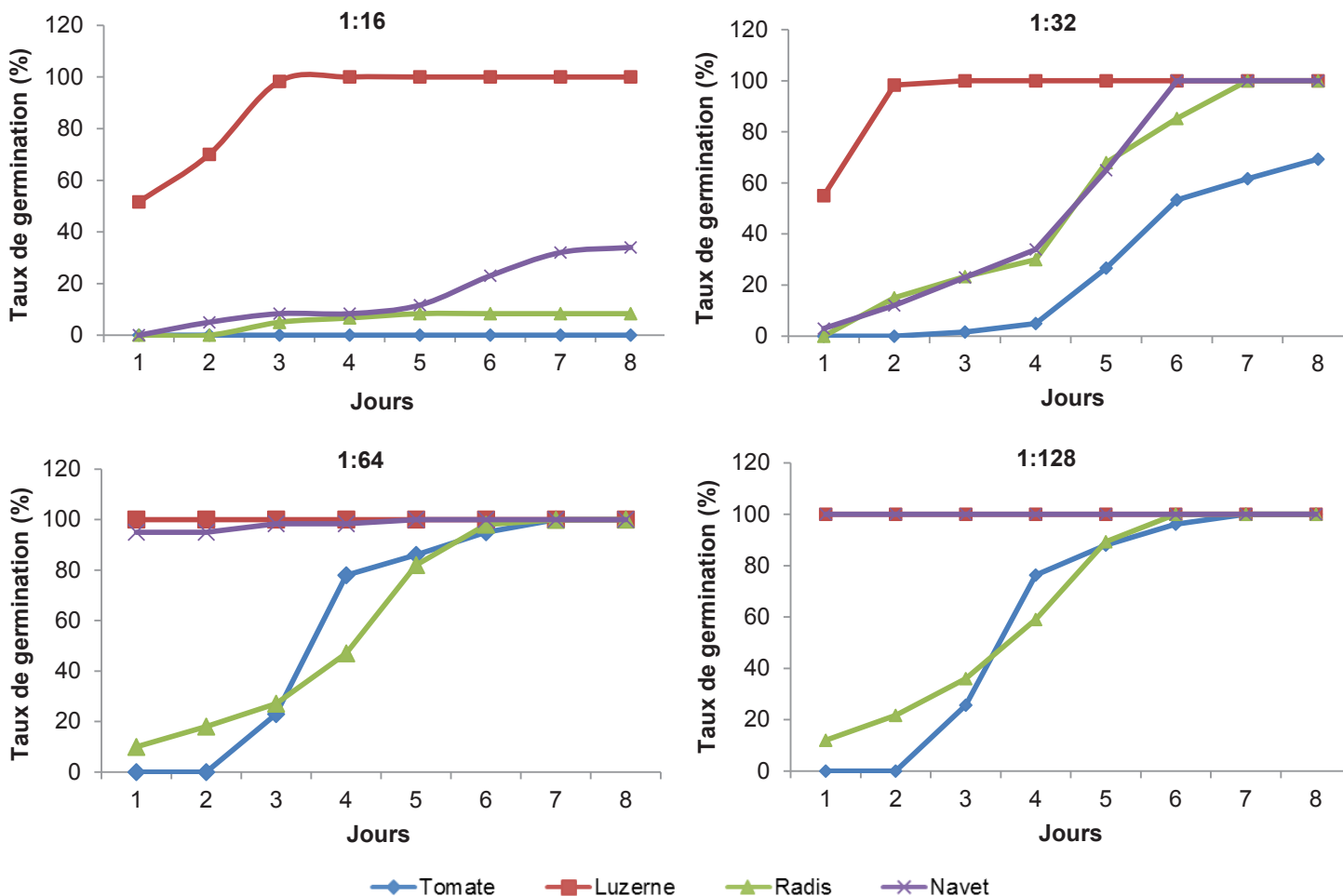


Figure 5. Taux de germination des graines des quatre espèces végétales traitées par des margines diluées en fonction du temps. Seed germination rates of the four treated plant species by diluted oil mill wastewater versus time.

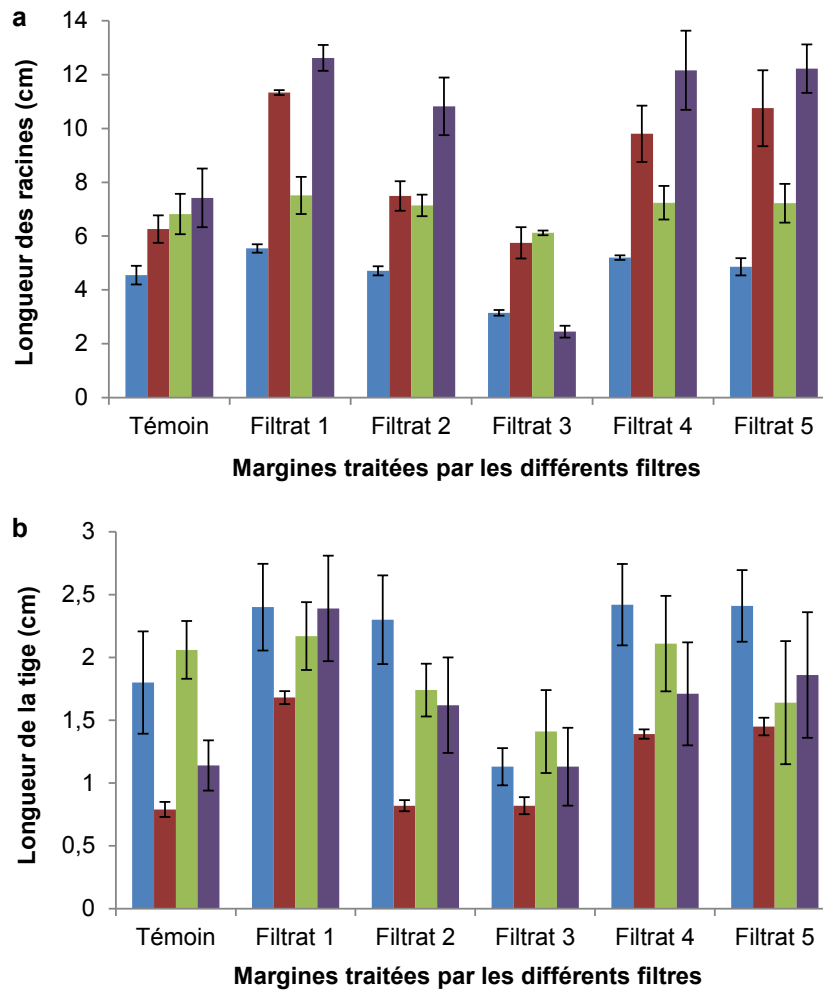


Figure 6. Effet des différents traitements sur la longueur des racines (a) et de la tige (b) des quatre espèces étudiées.
Effect of different treatments on root (a) and stem (b) length of the four species studied.

Pour la tomate, concernant la croissance en hauteur des tiges, le traitement avec F4, F5 et F1 donne les meilleurs gains de croissance que le F2.

Pour le radis, les traitements par les filtrats 1 et 4 ont donné les meilleurs résultats derrière le témoin. Tandis qu'avec le traitement par F2, F5 et F3, le développement de la partie aérienne est plus faible comparé à celui du témoin. En revanche, l'analyse statistique de la variance pour les différents traitements a révélé un effet non significatif sur la hauteur de la tige.

3.7 Effet des margines brutes et traitées sur le poids frais et sec des quatre espèces végétales en culture sous chambre

Le traitement des plantules par les filtrats 1, 4, 5 et 2 a induit une augmentation du poids frais produisant ainsi une matière fraîche plus importante par rapport au témoin (Figure 7). Ce résultat a été confirmé par l'analyse statistique de la variance

révélant un effet hautement significatif sur le poids frais. Le traitement qui a abouti au plus faible poids frais est celui par F3 et ceci pour la tomate, la luzerne et le radis.

Pour les quatre espèces végétales, le poids frais maximal est enregistré par les plantules arrosées avec le filtrat 1. L'augmentation en poids de la valeur relative du filtrat 1 par rapport au témoin est de 186 % pour le navet, 154 % pour la tomate, 60 % pour la luzerne et de 26 % pour le radis.

Pour la biomasse sèche (Figure 7), le meilleur effet a été observé avec F1 suivi de celui de F5, du F4 et enfin du F2 pour les plantules de la tomate, du radis et du navet. Pour la luzerne l'ordre est inversé entre le filtrat 5 et le filtrat 1. Contrairement aux plantules du navet, le traitement par F3 de la tomate, du radis et de la luzerne a donné les biomasses sèches les plus faibles. L'analyse de la variance montre qu'il y a un effet significatif des différents traitements par rapport au témoin pour la luzerne et non significatif pour la tomate et le navet.

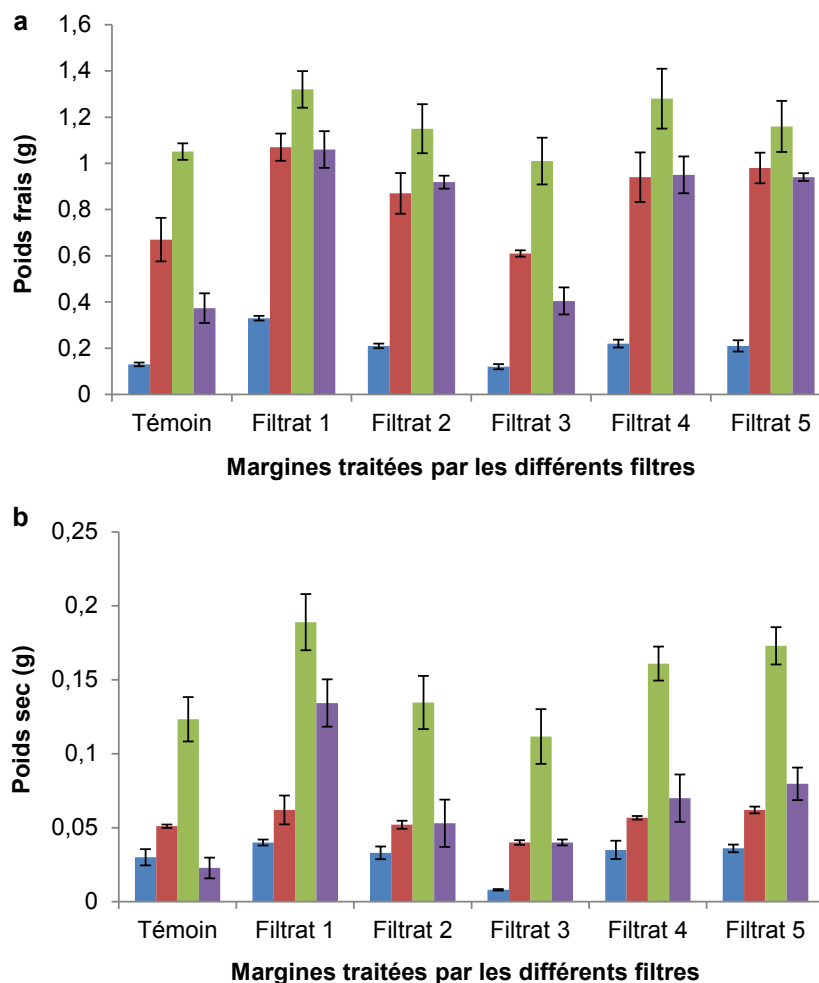


Figure 7. Effet des différents traitements sur le poids frais (a) et le poids sec (b) des quatre espèces étudiées.
Effect of different treatments on fresh weight (a) and dry weight (b) of the four species studied.

4. CONCLUSION

Les matériaux utilisés ont montré leur efficacité dans le traitement des margines. Ils ont neutralisé l'acidité des margines et ont diminué leur MES, DCO, et DBO_5 de plus de 96 % ainsi que leur taux de polyphénols de 96 %.

Les margines brutes ont provoqué une inhibition complète de la germination des graines des quatre espèces végétales étudiées. Les taux de germination les plus élevés (100 % au 8^e jour) sont obtenus avec les margines les plus diluées (1:64 et 1:128). Ceci pourrait être expliqué par les faibles teneurs en polyphénols de ces derniers. Des quatre espèces végétales étudiées, la luzerne est celle qui présente la forte tolérance aux margines diluées.

Les meilleurs taux de germination ont été observés pour les filtres qui combinent les cendres volantes et/ou le sol sableux ou le sol argilosableux comme matériaux utilisés. Ce taux

varie selon l'espèce végétale testée. De ces quatre espèces, la luzerne est celle qui a donné la meilleure réponse germinative. Comme pour la germination, le traitement des margines accroît la biomasse (longueur des racines et de la tige) et le poids frais et sec des quatre espèces végétales. La réutilisation des margines traitées dans l'irrigation est prometteuse par leur apport en éléments fertilisants et comme source hydrique pour le développement des plantes dans des régions agricoles où le besoin en eau est ressenti.

REMERCIEMENTS

Les auteurs de cet article tiennent à remercier le professeur M. Kandil du département de Biologie de la faculté des Sciences d'El Jadida pour son aide dans la réalisation des analyses statistiques.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ACHAK M., N. OUAZZANI, A. YAACOUBI et L. MANDI (2008). Caractérisation des margines issues d'une huilerie moderne et essais de leur traitement par coagulation-floculation par la chaux et le sulfate d'aluminium. *J. Water Sci.*, 21, 53-57.
- ACHAK M., N. OUAZZANI et L. MANDI (2009). Traitement des margines par infiltration-percolation sur un filtre à sable. *J. Water Sci.*, 22, 421-433.
- ACHAK M., N. OUAZZANIN et L. MANDI (2011). Élimination des polluants organiques des effluents de l'industrie oléicole par combinaison d'un filtre à sable et un lit planté. *J. Water Sci.*, 24, 35-51.
- ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION (AFNOR) (1983). *Recueil de normes françaises : eau, méthodes d'essai*. AFNOR, 2^e Édition, Paris, France, 621 p.
- AISSAM H., K. SENDIDE et M. BENLEMLIH (2001). Étude et traitement biologique préliminaire de la pollution azotée et phosphorée contenue dans les effluents d'industries agroalimentaires. *Ann. Chim. Sci. Mat.*, 26, 391-396.
- AL-MALAH K., M.O.J. AZZAM et N.I. ABU-LAIL (2000). Olive mills effluent (OME) wastewater posttreatment using activated clay. *Sep. Purif. Technol.*, 20, 225-234.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (ASTM C618-05) (2005). *Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete*. ASTM International, West Conshohocken, PA, États-Unis, www.astm.org.
- AUBERT G. (1978). *Méthodes d'analyse des sols*. Éditions C.R.D.P., Marseille, France, 360 p.
- BELAID C., M. KALLEL et B. ELLEUCH (2002). Identification de nouveaux composés phénoliques présents dans les rejets liquides d'huileries d'olive (margines). *Déchets sciences et techniques*, 27, 30-34.
- BOUKNANA D., B. HAMMOUTI, R. SALGHI, S. JODEH, A. ZARROUK, I. WARAD, A. AOUNITI et M. SBAA (2014). Physicochemical characterization of olive oil mill wastewaters in the eastern region of Morocco. *J. Mater. Environ. Sci.*, 5 (4), 1039-1058.
- BRAHIM K. et S.E. SMITH (1993). Annual medic establishment and the potential for stand persistence in southern Arizona. *J. Range Manage.*, 46, 21-25.
- CASA R., A. D'ANNIBALE, F. PIERUCCETTI, S.R. STAZI, G.G. SERMANNI et B. LO CASCIO (2003). Reduction of the phenolic components in olive-mill wastewater by an enzymatic treatment and its impact on durum wheat (*Triticum durum* Desf.) germinability. *Chemosphere*, 50, 959-66.
- DENIS B. (2000). *Guide des analyses en pédologie*. 2^e édition revue et augmentée. INRA-QUAE édition, Versailles, France, 257 p.
- DI SERIO M.G., B. LANZA, M.R. MUCCIARELLA, F. RUSSI, E. IANNUCCI, P. MARFISI et A. MADEO (2008). Effects of olive mill wastewater spreading on the physico-chemical and microbiological characteristics of soil. *Int. Biodeterior. Biodegradation*, 62, 403-407.
- EL HADRAMI A., M. BELAQZIZ, M. EL HASSNI, S. HANIFI, A. ABBAD, R. CAPASSO, L. GIANFREDA et I. EL HADRAMI (2004). Physico-chemical characterization and effects of olive oil mill wastewater fertirrigation on the growth of some mediterranean crops. *J. Agron.*, 3 (4), 247-254.
- EL HAJJOUJI H., N. FAKHARELINE, G.A. BADDI, P. WINTERTON, J.R. BAILLY, J.C. REVEL et M. HAFIDI (2007). Treatment of olive mill wastewater by aerobic biodegradation: an analytical study using gel permeation chromatography, ultraviolet-visible and Fourier transform infrared spectroscopy. *Bioresour. Technol.*, 98, 3513-3520.
- EL HERRADI E., G. BOUJABER, M. NAMAN, A. LAAMYEM, C. EL ADLOUNI, F. NAMAN (2016). Treatment of oil mill wastewaters by infiltration-percolation on two types of filters based on soil, sand and fly ash. *J. Mater. Environ. Sci.*, 7 (3), 820-827.
- EROGLU E., I. EROGLU, U. GÜNDÜZ, et I.M. YÜCE (2008). Effect of clay pretreatment on photofermentative hydrogen production from olive mill wastewater. *Bioresour. Technol.*, 99, 6799-6808.
- FIORENTINO A., A. GENTILI, M. ISIDORI, P. MONACO, A. NARDELLI, A. PARRELLA et F. TEMUSSI (2003). Environmental effects caused by olive mill wastewater: toxicity comparison of low-molecular-weight phenol components. *J. Agric. Food Chem.*, 51, 1005-1009.
- FOUTLANE A., M. SAADALLAH, L. ECHIHABI et L. BOURCHICH (2002). Pollution by wastewater from olive oil mills and drinking-water production. Case study of the Sebou river in Morocco. *East Mediterr. Health J.*, 8, 129-140.

- HANAFI F., N. SADIF, O. ASSOBBHEI et M. MOUNTADAR (2009). Traitement des margines par électrocoagulation avec des électrodes plates en aluminium. *J. Water Sci.*, 22 (4), 473-485.
- MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE LA PÊCHE MARITIME (MAPM) (2013). *Veille économique - Secteur oléicole*. Note stratégique No 95, MAPM, Maroc, 14 p.
- OUABOU E., A. ANOUAR et S. HILALI (2014). Traitement de la margine brute d'huile d'olive par distillation suivi de neutralisation par chaux. *J. Appl. Biosci.*, 79, 6867-6872.
- TSIOULPAS A., D. DIMOU, D. ICONOMOU et G. AGGELIS (2002). Phenolic removal in olive oil mill wastewater by strains of *Pleurotus* spp. in respect to their phenol oxidase (laccase) activity. *Bioresour. Technol.*, 84, 251-257.
- WHISENANT S.G. et D.N. UECKERT (1982). Germination responses of *Eysenhardtia texana* and *Leucaena retusa*. *J. Range Manage.*, 35 (6), 748-750.
- ZAHARI A., A. TAZI et M. AZZI (2014). Optimisation des conditions de traitement des margines par un superoxydant $K_3Fe_xMn_yO_8$. *J. Mater. Environ. Sci.*, 5 (2), 484-489.
- ZENJARI B. et A. NEJMEDDINE (2001). Impact of spreading olive mill wastewater on soil characteristics: laboratory experiments. *Agronomie*, 21, 749-755.
- ZOHAIB A., EHSANULLAH, T. TAHIRA, T. ABBAS et T. RASOOL (2014). Influence of water soluble phenolics of *Vicia sativa* L. on germination and seedling growth of pulse crops. *Sci. Agri.*, 8, 148-151.