

Effect of sludge from sewage treatment plants on major elements and organic compounds in sandy soil in arid regions: Case of Medenine sandy soil

Effet des boues des stations d'épuration sur les éléments majeurs et les composés organiques du sol sableux des régions arides : Cas de Sol sableux de Médénine

Nissaf KARBOUT^{1*}, Zied ZRIBE¹, Habib LAMOURE¹, Mohamed MOUSSA¹

¹ *Institute des Régions Arides, Route du Djorf Km 22.5 Médénine, Tunisie*

*Corresponding author: nissaf.karbout@yahoo.fr

Abstract- The soil fertility is an important element to improving soil productivity; the sludge is rich in nutrients such as nitrogen, phosphorus, and potassium and rich in humic compounds. This work, present the effect of different doses of sludge on a bean crop on sandy soil in arid areas of southern Tunisia in pots. The results show that the addition of sludge changes the physical and chemical properties of soil studied by improving organic content and major elements, resulting in increased crop yields which peaked to a percentage of 5 % and 10% of sludge.

Key words: Sludge, Sandy soil of arid area, physical and chemical characteristic.

Résumé - La fertilité de sol est un élément important dans l'amélioration de la productivité des sols ; Les boues de station d'épuration sont riches en éléments fertilisants comme l'azote, le phosphore et le potassium ainsi qu'elles sont riches en composés humiques.

Dans ce travail, une présentation de l'effet des différentes doses de boues sur un sol sableux des zones arides de sud tunisien dans des pots.

Les résultats obtenus montrent bien que l'ajout de boue modifie les propriétés physiques et chimiques du sol étudié, en améliorant la teneur en matière organique et en éléments majeurs, ce qui engendre une augmentation des rendements agricoles qui atteint son maximum pour un pourcentage de 5% et 10% de boue.

Mots Clés : Boue, Sol de régions arides, caractéristiques physico-chimiques.

1. Introduction

L'utilisation des terres agricoles est reconnue comme une pratique qui augmente le taux de dégradation des sols. Cependant, l'agriculture fournit certaines pratiques de gestion, par exemple rotation des cultures, épandage de fumier et de compost, qui peuvent aider à réduire et protéger les sols contre la dégradation (FAO et ITPS, 2015). Les processus de dégradation dépendent des facteurs physiques, chimiques et biologiques du sol. La texture du sol et la teneur en matière organique (MO) ont été largement reconnues comme les principales caractéristiques qui influencent fortement la sensibilité du sol aux processus de dégradation (Ding et al., 2014). Les sols sensibles à la décomposition de MO (par exemple, un sol sableux) sont sujets à la dégradation. Une faible teneur en MO entraîne une diminution de les propriétés physique et chimique du sol, par exemple, une faible stabilité des agrégats, une faible capacité de rétention des nutriments et de l'eau (McCoy et McCoy, 2009 ; Nasta et al., 2009 ; Hejduk et al., 2012; Martins Gomes et al., 2018). D'un autre côté, une forte teneur en MO dans le sol entraîne l'inhibition des processus de dégradation. La MO a des effets bénéfiques sur les propriétés physiques et chimiques du sol. L'introduction de matières organiques dans un sol entraîne une réduction de l'acidification du sol, une augmentation de la capacité d'échange cationique et la teneur en nutriments, par exemple N, P, K et Mg (Gondek et al., 2019). Vityakon (2007) a déclaré que la MO dans le sol peut être augmentée dans les cas suivants méthodes : réduction de la décomposition des MO à l'aide de pratiques agronomiques (sans labour, cultures pérennes et légumineuses en rotation des cultures, prairies, etc.), amendements inorganiques (zéolite, diatomite, etc.) (Li et al., 2000) et applications



d'amendements de matière organique à partir de sources externes (fumier, compost, biochar, boue, etc.) (Bigelow et al., 2004; Chen et al., 2007).

Les technologies communes de traitement des eaux usées produisent de grandes quantités de boues qui doivent être correctement rejetées pour éviter les menaces environnementales pour les sols et les plans d'eau. En raison de ses teneurs élevées en matière organique, N et P, les boues d'épuration sont généralement utilisées dans l'agriculture comme régénérateur de sols (Zhu et al. 2011) ; Guerrini et al., 2017). Cependant, l'utilisation des boues d'épuration comme engrais organique dans la production végétale crée certains problèmes, tels que la présence de métaux lourds, de micro-organismes pathogènes, de composés organiques phytotoxiques, d'émissions de gaz à effet de serre et des odeurs, etc. (Li et al., 2017).

Provenant de sols modifiés par des boues, en particulier des boues de traitement des eaux usées urbaines. Dans ce contexte, nous proposons de réaliser, pour la première fois, une étude approfondie sur les caractéristiques chimiques et les composés humiques des sols agricoles après des applications à court terme de boues.

2. Matériels et Méthode

2.1. Caractéristiques de boues utilisées

Les boues utilisées pour l'amendement sont résiduaire urbaine proviennent de la station d'épuration de Médenine qui a subi un traitement de stabilisation biologique, un épaissement puis un séchage naturel sur des lits de séchage. Les caractéristiques physico-chimiques des boues sont mentionnées dans le tableau 1.

2.2. Le dispositif expérimental

L'expérience a été menée dans des pots qui sont installés dans la station expérimentale de l'Institut des Régions Arides de Médenine (sud tunisien). La région est caractérisée par une pluviométrie faible qui ne dépasse pas 150 mm/an ainsi qu'un régime particulier de la température et d'une amplitude journalière et saisonnière importante. La température moyenne oscille entre 7.26 °C et 26,65 °C. La région est caractérisée par des vents d'Est, Nord-Est qui sont froids et humides et qui soufflent en Hiver et des vents du secteur Ouest, Sud-Ouest et parfois Sud Est qui sont chauds et secs appelés *chhili* ou *Guebli* et qui soufflent en été. Ces vents augmentent la température et accélèrent l'évapotranspiration ; La variation moyenne mensuelle du vent montre que le mois le plus venteux est celui d'Avril en atteignant 1,43 km/h alors que le mois de Janvier est le moins venteux et qui présente une vitesse de 0,62 km/h. Après le tamisage du sol et de boues à 2 mm d'épaisseur, on a pris 15 pots, 3 pots de sol témoin sans boue, les caractéristiques du sol sont présentées dans le tableau 1, et 12 pots de sol avec des différentes concentrations de boue : 5% (0.5 kg/ 10 kg de sable), 10% (1 kg/10 kg de sable) ,15%(1.5 kg/10 kg de sable) et 20% (2 kg/10 kg de sable).

Tableau1. Caractéristiques chimiques de la boue et du sol sableux de la région d'El Fjé			
Caractéristiques physico-chimiques		Boue de la station d'épuration	Sol sableu d'El fjé Mednine
Calcaire (%)	Actif	4,2	8,16
	Total	16,5	2,92
N total	Total (%)	0,784	87,82
	Ammoniacal (ppm)	32,1	16,7
	Nitrique (ppm)	227,5	2,5
MO (%)		7,54	0,42
CEC (méq/100g)		4,3	0,806
pH		6,89	2,4
Phosphore (ppm)		5,2	7,25
CE (mS/cm)		9,81	4,94
Les anions (méq/l)	Cl ⁻	2,136	2
	CO ₃ ⁻	0	0
	HCO ₃ ⁻	20	10,667
Ca+Mg (méq/100g)		60,4	36
Bases échangeables (ppm)	K ⁺	5,79	5,79
	Na ⁺	0,28	0,28
Composés humique (‰)	Acide humique	0,15	0,15
	Acide fulvique	0,15	0,15

N : azote ; CE : conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée ; K⁺ : potassium ; Na⁺ : sodium ; MO : matière organique.

2.3. Analyses chimiques réalisées

Les analyses réalisées pour le sol et l'eau et les protocoles expérimentales sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 2. Analyses réalisées pour le sol et l'eau et les protocoles expérimentales	
Les analyses réalisées pour le sol et l'eau	Protocoles expérimentales
Dosages de la matière organique	La méthode de Walkley et Black (Pauwles et al, 1992) à partir de la détermination de l'un de ses constituants qui est le carbone par le bichromate de potassium. $\% MO = 1,725 * \% C$
Dosage de l'azote total	L'azote total est déterminé par la méthode de Kjeldhal (Pauwels et al, 1992). $\% N = 0,14 VHCl$
Détermination d'azote ammoniacale et nitrique	L'azote ammoniacal est facilement extrait du sol. Dans une première étape, il est retiré du sol par distillation. Les nitrates présents sont par la suite transformés en azote ammoniacal par réaction avec un alliage Devarda, puis distillés pour ainsi mesurer l'azote transformé et déterminer la quantité de nitrates présents dans le sol. Ce dernier est piégé dans une 5 ml indicateur qui est le rouge de méthyle La solution est ensuite titrée avec une solution d'acide chlorhydrique (0,1N). Le pourcentage d'azote ammoniacal et nitrique (% N) est calculé suivant la relation suivante $Teneur\ en\ azote\ ammoniacal\ (N-NH_4)\ (ppm) = (Volume\ échantillon - Volume\ blanc) \times 35$ $Teneur\ en\ nitrate\ (N-NO_3)\ (ppm) = (Volume\ échantillon - Volume\ blanc) \times 35$ Où : Volume blanc = volume (ml) de HCl 0,01 N pour titrer le blanc Volume échantillon = volume (ml) de HCl 0,01 N pour titrer l'échantillon
Potassium échangeable	Le potassium échangeable est déterminé par photométrie de flamme après extraction avec une solution d'acétate d'ammonium 1N (Pauwel et al. 1992). $K\ éch\ (mg/Kg\ de\ sol) = L * D * (20)$ L = lecture sur photomètre à flamme D =facteur de dilution
Phosphore assimilable	Le phosphore assimilable est déterminé selon la méthode d'Olsen (Pauwles et al. 1992). $P\ (ppm) = (C * 10) / PE$ Avec 10ml : prise d'essai ; C : concentration lue du phosphore en ppm. ; PE : prise d'essai du sol en g.
Purification de composés humique	Les acides humiques et les acides fulviques, appelés aussi les composés humiques totaux, sont extraits du sol à l'aide d'une solution de sel alcalin (pyrophosphate de sodium), puis séparés en milieu en milieu acide en raison de la différence de comportement qui existe de ces deux catégories de substance vis-à-vis de pH. Les premiers sont insolubles en milieu acide alors que les secondes y sont solubles. Les dosages de ses acides consistent à déterminer la quantité de carbone organique qui le constitue, pour cela on utilise la méthode Anne.

3. Résultats et Discussion

3.1. Effet de la boue sur les teneurs en éléments majeurs (N, P, K) dans le sol sableux

L'ajout de boue assure l'amélioration de la teneur du sol en azote total du $0.6 \pm 0.1\%$ pour le sol témoin à $0.8 \pm 0.2\%$ pour le sol amélioré par 20% boue, l'évolution de teneur d'azote total dans le sol est accompagnée par une augmentation de la teneur en azote nitrique et ammoniacale pour atteindre $105 \pm 0.8\ mg/l$ et $10.8 \pm 0.3\ mg/l$ respectivement pour le sol amendé par 20% boue (tableau 3).

Tableau 3. Effet de la boue sur les teneurs en éléments majeurs (N, P, K) dans le sol sableux					
	Témoin	5% boue ajoutée	10 % boue ajoutée	15 %boue ajoutée	20% boue ajoutée
Azote total (%)	0.6±0.1	0.65±0.2	0.7±0.4	0.75±0.3	0.8±0.3
Azote ammoniacal (mg/l)	18±0.5	25±0.6	40±0.4	70±0.8	105±0.9
Azote nitrique (mg/l)	1.0±0.8	2.0±0.5	3.2±0.6	7.6±0.1	10.8±0.3
P ₂ O ₅ assimilable (mg/l)	4.9±0.1	5.2±0.1	5.25±0.2	5.3±0.3	5.4±0.1
Potassium échangeable (mg/l)	0.5±0.1	1.0±0.2	1.3±0.3	1.4±0.3	1.4±0.1

Zoller (1994) et Souidi (1995) ont montré que l'azote nitrique est l'élément qui pose le plus de problèmes en agriculture. Les nitrates sont très solubles et mobiles dans la solution du sol. Ils sont facilement lixiviés vers les eaux souterraines et constituent ainsi une source potentielle de pollution de la nappe phréatique, mais avec 20% de boue ajoutée dans les terres agricoles, on est dans les normes tunisiens de teneur du sol en azote nitrique. Selon Jared 2010, L'azote ammoniacal est soluble dans l'eau mais bien retenu par le pouvoir absorbant du sol. Les ions NH_4^+ , issus de l'ammonification, sont retenus sur le complexe absorbant grâce à leurs charges positives, ce qui limite le risque d'enfouissement en profondeur, mais aussi la disponibilité instantanée pour les plantes.

Le sol sableux de la région d'El Fjé est caractérisé par une faible teneur en phosphore assimilable qui ne dépasse pas 4.9 mg/l et qui évolue successivement en fonction du pourcentage de boue ajoutée dans le sol pour atteindre 5.9 mg/l avec 20% boue additionnée avec le sol sableux. Ceci peut être expliqué par la forte concentration de la boue en phosphore provenant des eaux usées comme illustre N R C en 2007.

Le potassium est un élément majeur dans le sol, le tableau 1 montre qu'il s'agit d'une variation entre la teneur en potassium dans le sol témoin et celui amendé par la boue. L'effet de boue sur l'amélioration du sol par le potassium échangeable est apparait lorsque leurs pourcentages dépassent le 5% puis il présente une augmentation stable pour les autres doses, cela est due à la faible quantité de potassium qui existe dans les boues. Ces résultats sont confirmés par Héber en 2007 qui a montré que le potassium est généralement présent en faible quantité dans les boues couvrant les besoins de la plante. En effet, le potassium excrété dans l'urine, étant très soluble, a tendance à demeurer en solution dans les eaux usées.

3.2. Effet de la boue sur les composés organiques

Le taux de la matière organique augmente avec l'augmentation du pourcentage de boue dans le sol amendé. L'apport de boue a permis d'augmenter les teneurs en matière organique pour atteindre 3,28 % avec 20%. Cette augmentation est le résultat de la transformation d'une partie de la matière organique des boues en humus. Ces résultats sont confirmés par Balesdent en 1996 qui montre que la boue assure l'augmentation de la MO dans le sol (Fig1).

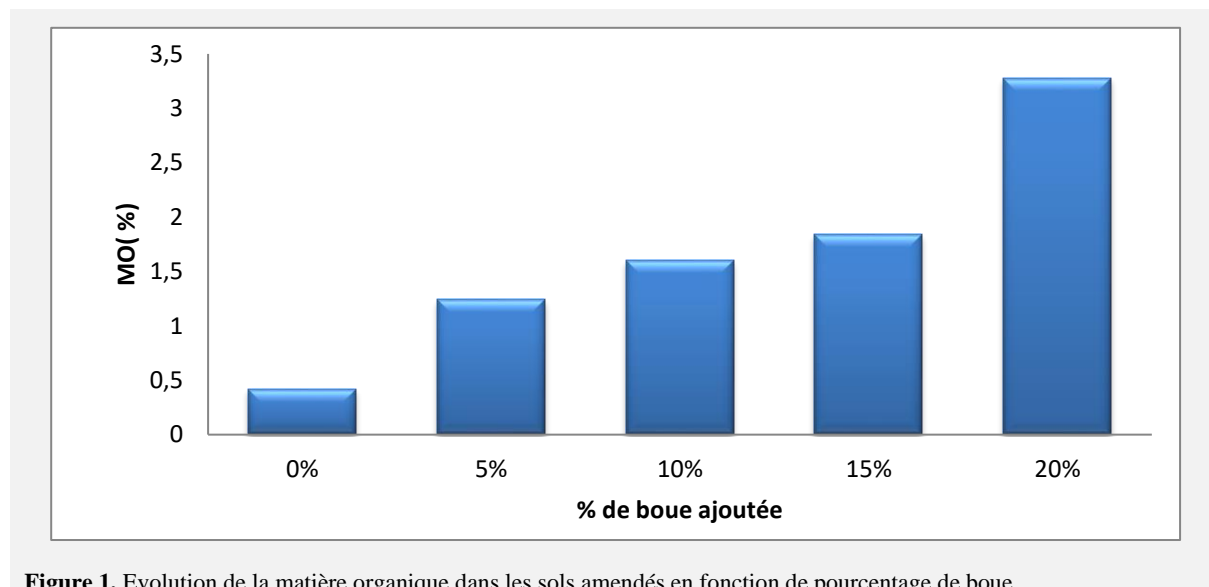


Figure 1. Evolution de la matière organique dans les sols amendés en fonction de pourcentage de boue

Le taux de composés humiques augmente avec l'augmentation de pourcentage de boue dans le sol amendé. L'apport de boue a permis d'augmenter les teneurs en composés humiques pour atteindre 3,28% avec 20% de boue (Tableau 3). La teneur en acide humique augmente de 0,15‰ pour le sol témoin à plus de 1,5‰ pour le pourcentage 10% de boue cette augmentation est due à la dissolution de boue dans le sol amendé. Cela est expliqué par l'humification de boue qui se produit parfaitement pour le 10% boue par rapport aux autres pourcentages. L'ajout de boue dans le sol permet l'augmentation l'acide fulviques ce qui est confirmé par l'augmentation de teneur en acide fulviques de 0,2 % pour le sol témoin à 10,1 % pour le sol amendé par 20% de boue (Tableau 4).

Tableau 4. Effet de l'amendement par boue sur les composées organique dans le sol sableux

	Témoin	5% boue ajoutée	10 % boue ajoutée	15 %boue ajoutée	20% boue ajoutée
Composé humique (%)	0.3±0.1	0.8±0.2	2.5±0.4	3.5±0.3	5±0.3
Acide humique (%)	0.2±0.1	0.3±0.1	1.6±0.2	1.2±0.3	1.1±0.1
Acide fulvique (%)	0.2±0.1	0.4±0.2	1.1±0.3	2.5±0.3	3.8±0.1
Rapport AH/AF	1.0	0.75	1.45	0.48	0.28

AH : Acide humique ; AF : Acide fulvique

Le rapport Ah/AF atteint son maximum pour 10% boue ajouté par 1.4 et un minimum au niveau de 20% boue ajoutée (Tableau3). Plusieurs études ont montré que l'augmentation de AH est un indicateur du degré d'humification des matières organiques (Veeken et al. 2000; Huang et al. 2006). Huang et al. (2006) ont aussi expliqué que l'humification des matières organiques se produit principalement à travers la fraction AH et peu à travers la fraction AF. Ainsi, le rapport AH/AF a souvent été proposé comme indicateur des processus d'humification et comme indice de maturité (Sanchez-Monedero et al. 1996). Pour Jouraiphy et al. (2005), l'augmentation du rapport AH/AF provient de la formation d'AH par la polymérisation d'AF ou par la dégradation de substances non humiques de la fraction AF, suivie par la formation de structures humiques polycondensées AH.

4. Conclusion

L'objectif de ce travail est de faire sortir les boues de station d'épuration de leur réputation de déchets pour en faire un produit utilisable en agriculture par son utilisation comme amendement, sain, sans danger pour la santé et l'environnement et contenant une matière organique régénérée. Cette étude a permis de mettre en évidence une variabilité de l'action de boues sur le comportement des sols. Les analyses ont montré que la boue riche en matière organique, en composés humique et en éléments majeurs, ainsi montre que le pourcentage de boue bénéfique pour la plante est entre 5% et 10%.

Références bibliographiques

- Bigelow, C.A., Bowman, D.C., Cassel, D.K., 2004.** Physical properties of three sand size classes amended with inorganic materials or sphagnum peat moss for putting green rootzones. *Crop Sci.* 44, 900–907. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.0900>.
- Chen, G., Zeng, G., Du, C., Huang, D., Tang, L., Wang, L., Shen, G., 2010.** Transfer of heavy metals from compost to red soil and groundwater under simulated rainfall conditions. *J. Hazard. Mater.* 181, 211–216. doi: 10.1016/j.jhazmat.2010.04.118
- Cheng, H., Xu, W., Liu, J., Zhao, Q., He, Y., Chen, G., 2007.** Application of composted sewage sludge (CSS) as a soil amendment for turfgrass growth. *Ecol. Eng.* 29, 96–104. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2006.08.005>.
- Ding, F., Huang, Y., Sun, W., Jiang, G., Chen, Y., 2014.** Decomposition of organic carbon in fine soil particles is likely more sensitive to warming than in coarse particles: an incubation study with temperate grassland and forest soils in northern china. *PLoS One* 9, 4703–4706.
- FAO, ITPS, 2015.** Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy.
- Gondek, K., Mierzwa-Hersztek, M., Kopeć, M., 2018.** Mobility of heavy metals in sandy soil after application of composts produced from maize straw, sewage sludge and biochar. *J. Environ. Manage.* 210, 87–95.
- Heber D.** Physicians' Desk Reference for Herbal Medicines. 4th. Montvale, NJ: Thomson; 2007
- Hejduk, S., Baker, S.W., Spring, C.A., 2012.** Evaluation of the effects of incorporation rate and depth of water-retentive amendment materials in sports turf constructions. *Acta Agr. Scand. Section B-S P* 62 (sup1), 155–164. <https://doi.org/10.1080/09064710.2012.687396>.
- Huang, Y. and Sun, W. J. 2006.** Changes in topsoil organic carbon of croplands in mainland China over the last two decades. *Chinese Science Bulletin.* 51(15): 1785-1 803.
- Jarde, E., Mansuy, L., Faure, P., 2003.** Characterization of the macromolecular organic content of sewage sludges by thermally assisted hydrolysis and methylation-gas chromatography-mass spectrometer (THM-GC/MS). *J. Anal. Appl. Pyrol.*, pp 68-69, pp 331-350.
- Jouraiphy, A., S. Amir, M. El Gharous, J.C. Revel, and M. Hafidi. 2005.** Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformation during composting of sewage sludge and green plant waste. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 56:101 -108. doi: 10.1016/j.ibiod.2005.06.002

- Li, D., Joo, Y.K., Christians, N.E., Minner, D.D., 2000.** Inorganic soil amendment effects on sand-based sports turf media. *Crop Sci.* 40, 1121–1125. <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.4041121x>.
- Li, S., Li, D., Li, J., Li, G., Zhang, B., 2017.** Evaluation of humic substances during cocomposting of sewage sludge and corn stalk under different aeration rates. *Bioresour. Technol.* 245, 1299–1302. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.177>. Part A.
- Martins Gomes, E.T., Berbara, R.L.L., Pereira, M.G., Urquiaga, S.S., Tavares, O.C.H., Assuncao, S.A., Zonta, E., Sobrinho, N.M.B.A., Garcia, A.C., 2018.** Effects of farmed managements in sandy soils on composition and stabilization of soil humic substances. *Land Degrad. Dev.* 29, 68–79.
- McCoy, E.L., McCoy, K.R., 2009.** Simulation of putting-green soil water dynamics: implications for turfgrass water use. *Agr. Water Manage.* 96 (3), 405–414. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.09.006>.
- Nasta, P., Kamai, T., Chirico, G.B., Hopmans, J.W., Romano, N., 2009.** Scaling soil water retention functions using particle-size distribution. *J. Hydrol.* 374, 223–234. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.06.007>.
- Pauwels J.M., Van Ranst E., Verloo M., et Mvondo Ze.A., 1992** - Manuel de laboratoire de pédologie : Méthodes d'analyses des sols et des plantes. Equipement, gestion des stocks de verrerie et produits chimiques. Publications agricoles – 28. AGCD, Bruxelles:265 p
- Sánchez-Monedero MA, Roig A, Martínez-Pardo C, Cegarra J, Paredes C (1996)** A microanalysis method for determining total organic carbon in extracts of humic substances. Relationships between total organic carbon and oxidable carbon. *Biores Technol* 57:291–295
- Soudi, B. Et al. ;1995.** Mise en place des réseaux de suivi de la nappe phréatique et de la qualité des sols et des eaux du périmètre de Tadla Rapport M.R.T N° 608-0213-3-20014.
- Veeken, A., K. Nierop, V. de Wilde, and B. Hamelers. 2000.** Characterisation of NaOH-extracted humic acids during composting of a biowaste. *Bioresour. Technol.* 72:33–41.
- Vityakon, P., 2007.** Degradation and restoration of sandy soils under different agricultural land uses in northeast Thailand: a review. *Degrad. Dev.* 18, 567–577. <https://doi.org/10.1002/ldr.798>.
- Zhu, R., Wu, M., Yang, J. (2011)** Mobilities and leachabilities of heavy metals in sludge with humus soil. *Journal of Environmental Sciences.* 23 (2); 247-254.
- Zoller, I. 1994:** Non-ionic surfactants in reused water: are activated sludge/soil aquifer treatments sufficient. *Wat. Res.* 28 (7), pp : 1625-1629.