

**EFFECT OF SEWAGE SLUDGE ON SOIL FERTILITY AND ON THE
NUTRITIONAL QUALITY OF DURUM WHEAT (TRITICUM DURUM, WAHA
VARIETY)**

S. Boudjabi

Department of Natural and Life Sciences, Faculty of Exact Sciences and Natural and Life
Sciences, University of Tebessa, Tebessa 12002, Algeria

Received: 29 April 2020 / Accepted: 08 July 2020 / Published online: 01 September 2020

ABSTRACT

In aims to assess the effect of increasing doses of sludge on the nutritional quality of the durum wheat and on soil fertility. An experiment was carried out in a green house in Faculty of Exact Sciences and Natural and Life Sciences at the University of Tébéssa. Four levels of sewage sludge (control = 0 g of sludge/pot; B1 = 120 g of sludge/pot, B2 = 300 g of sludge /pot, B3 = 600g of sludge/pot) were brought into plastic pots; each dose is reproduced in three repetitions. The results revealed significant increase in the humidity of the wheat seed which amended by the sludge. Plants treated with sludge accumulate more ash, nitrogen and fatty acidity compared to control plants. The sewage sludge improves soil fertility; the results have shown an increase in organic matter, nitrates and phosphorus. In addition, the electrical conductivity reveals a strong accumulation of salts in the pots amended by the sewage sludge in comparison with the control.

Keywords: Seed; ash; Proline; nitrate; starch; organic matter

Author Correspondence, e-mail: soniabeida@yahoo.fr

doi: <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v12i3.5>



1. INTRODUCTION

L'épuration des eaux usées urbaines s'inscrit dans une démarche de protection de notre environnement et la préservation de nos ressources en eau. Le processus de dépollution des eaux usées urbaines produit de grande quantité de boues résiduaires. En Algérie, le taux d'épuration (10 %) est considéré relativement faible [43]. Cependant, ce taux est appelé à augmenter de manière exponentielle suite aux programmes d'installation de nouvelles stations d'épurations qui a lieu dans les différentes parties du pays. Représentant chaque jour un volume considérable, ces boues doivent trouver une destination.

La majorité des études effectuées sur ce bio solide sont orientées vers la valorisation agricole [28]. Une orientation qui a montré des résultats prometteurs en termes de production. Des résultats qui s'expliquent par la richesse de ces résidus organiques en plusieurs éléments nutritifs, importants pour le végétal. Cependant, la forte charge en sels et la présence avec des teneurs élevées des éléments métalliques toxiques (Zinc, cadmium, plomb, mercure...), limite dans certains cas l'apport positif des ces boues résiduaires [44]. En effet, l'épandage des boues pose un problème de contamination du sol et aussi des végétaux, surtout s'il est apporté anarchiquement sans aucun suivi et avec de fortes concentrations. Les éléments toxiques qui se trouvent à de fortes concentrations peuvent entraîner des effets indésirables et perturber le bon fonctionnement des écosystèmes. De ce fait, l'utilisation de ces résidus dans le domaine agricole génère une certaine inquiétude parfaitement compréhensible lorsqu'il est question d'épandre ces déchets sur des sols destinés à produire des aliments pour l'homme ou pour les animaux [29]. C'est le cas du blé, qui constitue un aliment de base dans beaucoup de pays en développement, particulièrement en Algérie, où cette filière représente l'une des principales voies de la production agricole dont, la culture occupe une surface importante [30]. L'épandage des boues résiduaires pourrait avoir des conséquences positives sur la formation des matières nutritives du grain de blé. Toutefois, cet effet améliorant ne peut avoir lieu que si, ces boues résiduaires sont apportées avec de faibles doses et de façon raisonnée. Dans cet objectif que, cette étude est menée. L'idée fixée est de mettre en relief l'apport des boues résiduaires avec des concentrations croissantes sur la fertilité du sol en premier, par la suite sur qualité nutritionnelle du blé dur, étudier entre autres l'aspect toxique de ces biosolides sur

la qualité alimentaire de cet aliment et prendre en compte une prise de conscience pour la protection et la sauvegarde de notre environnement, surtout dans notre pays où l'utilisation de ce bio solide n'est pas encore généralisée.

Nous mettons l'hypothèse que les paramètres du sol étudiés s'améliorent avec l'augmentation des doses de boues appliquées. On mettra aussi l'hypothèse avec les doses élevées de boues, il s'établit une forte accumulation de sel qui contribuera à installer un stress physiologique pour le végétal. Pour le grain de blé, on s'attendra à avoir une bonne accumulation dans les matières de réserves surtout avec les plus faibles doses de boues. Les plus fortes doses de boues seraient négatives sur le développement du végétal, à l'échelle morphologique et aussi physiologique. Aussi, on suspecte une forte accumulation de métaux lourds apportée par les boues résiduelles qui limite la valeur nutritionnelle du grain de blé.

I. MATERIEL ET METHODES

I. 1. Dispositif d'expérimentation

L'expérimentation a été menée dans la Faculté des sciences exactes et sciences de la nature de l'université de Tébessa (Région semi aride située dans L'Est de l'Algérie). Un apport de trois doses de boues (B1=120gde MS de boue /pot, B2=300gde MS de boue/pot, B3=600 de MS de boue / pot) est établi dans des pots en plastique contenant 10 kg de sol pris dans la région. Le quatrième niveau représente le témoin T sans fertilisation. Chaque dose est reproduite en trois répétitions.

La boue résiduelle utilisée est une boue urbaine activée qui a pour origine la station d'épuration d'Ain Sfiha, région située dans la wilaya de Sétif dans le nord – Est de l'Algérie. Un échantillon du sol et des boues utilisés sont analysés avant l'expérimentation dans le laboratoire de la faculté pour déterminer leurs caractéristiques qui figurent dans le Tableau.1

Tableau 1. Caractéristiques du sol et des boues résiduaires

	Texture	MO (%)	Humidité (%)	CE (µS/cm)	pH	Pass (µg/gMs)	Nitrate (µg/gMs)	Fe (ppm)	Pb	Zn	Cu
Boues résiduaires	-	39,41	17,85	1851	7,83	43,99	4,202	7,6	nd	21,1	12,5
Sol	Limoneux argileux	3,32	1,83	1221,25	7,79	5,93	1,686	5,05	-	-	-

MO : matière organique (%), Pass : phosphore assimilable (µg/g), NO₃⁻ : Nitrates (µg/gMs), Fe : Fer (ppm), Zn : zinc (ppm), Cu : Cuivre (ppm), Mn : Pb : Plomb (ppm) : nd : non détectable.

Les pots une fois remplis avec le sol le 20 février 2016, un semi de 10 graines de blé de la variété Waha est établi, le même jour les boues sont rajoutées sur la surface du sol. Mis dans la serre, les pots sont irrigués selon la capacité au champ du sol dont la valeur a été préalablement déterminée au début de l'expérience selon la méthode gravimétrique en saturant un pot rempli de terre avec de l'eau puis on détermine le poids humide (PF) et sec (PS), 24 heures après ressuyage. L'humidité correspondant à la capacité au champ : Hcc (%) est déduite par la formule : $Hcc (\%) = [(PF-PS)/(PS)] \times 100$ (1).

Arrivé au stade épiaison trois feuilles de chaque pot sont prélevées, ces feuilles serviront à estimer la surface foliaire et la teneur en proline. Après le développement des plantes les épis sont retirés au stade maturation (Fin juin 2016 ce qui correspond au stade vitreux des grains). Une fois les semences de blé retirées des épis, elles sont moulues dans une moulinette pour obtenir la mouture du grain qui servira pour les analyses. Pour étudier l'effet des boues sur quelques caractéristiques du sol, un échantillon composite a été prélevé à partir de chaque niveau de traitement, séché et tamisé dans un tamis de 2mm de diamètre. Comme pour le grain de blé l'analyse du sol est faite en trois répétitions.

I.2. Les analyses effectuées

I.2.1. Les paramètres de qualité du grain

2.1.1. L'humidité

L'humidité est déterminée par la différence de poids de 5g de mouture de grain, avant et après séchage, à une température 80°C pendant 24h [31].

2.1.2. Les cendres

La mesure du taux des cendres dans le produit végétal est faite par l'incinération d'une prise de 5 g de la farine du blé dur à 900°C dans le four à moufle pendant 1h et 30 min, après refroidissement on exprime ce taux en partie pour 100 [32].

2.1.3 L'azote

La quantité d'azote dans le grain est, obtenue par la méthode de Kjeldhal [33]. L'azote organique contenu dans chaque échantillon de grain est transformé quantitativement en sulfate d'ammonium $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ par minéralisation d'une prise d'essai (1g) par l'acide sulfurique concentré, porté à ébullition et en présence d'un catalyseur. L'ammoniac est ensuite déplacé de son sel par la soude, puis entraîné par de la vapeur d'eau dans une solution d'acide sulfurique de titre connu. L'acidité résiduelle est dosée par une solution titrée de soude. Le point de virage de la réaction est apprécié par colorimétrie. On déduit la quantité d'azote présente dans l'échantillon à partir de la formule suivante :

$$N = n \times 0,0014 \times 100 / P \times 100 / (100 - H)$$

Avec : n = le volume de soude utilisé pour neutraliser l'ammoniac en solution ; P = prise d'essai de l'échantillon (g), H = la teneur en eau de l'échantillon.

2.1.4 L'acidité grasse [33].

50g de la mouture de blé est dissoute dans 30ml d'éthanol à 95%, après agitation et centrifugation, on établie une titration sur le surnageant par l'hydroxyde de sodium.

L'acidité exprimé en grammes d'acide sulfurique pour 100g de matière telle quelle :

$$7.35 \times (V1 - V0) \times T / m.$$

Avec : V1 : Le volume, en ml de la solution d'hydroxyde de sodium utilisé pour la détermination. V0 : Le volume, en ml de la solution d'hydroxyde de sodium utilisé pour l'essai blanc. T : Le titre exact de la solution d'hydroxyde de sodium utilisé, m : La masse de la prise d'essai en grammes.

2.1.5 Les lipides

Pour calculer la teneur des lipides, une prise d'essai (8g) de la mouture de blé est hydrolysée par HCl (37%) en présence de l'éthanol (95%) et l'acide formique avec une agitation homogène. L'extraction de la matière grasse libérée est faite par l'hexane par une agitation

pendant 5 min, une fois le solvant est évaporé le poids du résidu obtenu séché correspond à la matière grasse [34].

2.1.6 La teneur en amidon

La teneur en amidon est obtenue selon la méthode de Jarvis et Walker, 1993 *in* [35]. 0,5 g de la mouture du grain est ajoutée à 5ml de KOH (1N). Après homogénéisation de la solution à la température ambiante et neutralisation avec 5 ml de HCl (1N). Le mélange est mis en ébullition au bain Marie pendant 15 min puis, reajusté à 10ml. Après centrifugation, le surnageant est prélevé pour le dosage de l'amidon. 0,05 ml du surnageant est prélevé auquel est ajouté un réactif I₂/KI (Iodure de potassium).

La lecture des échantillons est faite au spectrophotomètre UV à la longueur d'onde 580nm. La teneur de l'amidon est déduite à partir de la courbe d'étalonnage.

($y = 0,229 + 0,063x, R^2 = 0,88$).

2.1.7 Les métaux lourds

Les métaux lourds sont dosés par la méthode de [36]. Un prélèvement de 2 g de la mouture de blé est calciné dans un four à moufle ; après minéralisation dans L'HCL, la lecture des métaux lourds est faite par le SAA (Spectre d'absorption atomique).

I.2.2. Les paramètres morpho- physiologiques

2.2.1 La surface des feuilles

La surface des feuilles est estimée par la méthode de [37] qui, consiste à placer les feuilles sur papier calque ; on les découpe et enfin on pèse la partie du calque qui représente la feuille (Pf), par la suite on détermine par pesé le poids (Pq) correspondant à une surface (Sq) connue d'un carré du même papier calque et on déduit la surface de la feuille (Sf) par la formule suivante :

$$\mathbf{Sf = (Pf - Sq) / Pq.}$$

2. 2.2 La proline

La méthode utilisée est celle de [38], 100 mg des échantillons des feuilles prélevées sont placées dans 2 ml de méthanol à 40% et chauffées, pendant 1h au bain-marie à 85°C. Après refroidissement, 1ml de la solution d'extraction est ajouté à 1ml d'acide acétique + 25 mg de ninhydrine et 1ml du mélange de (120ml eau distillé + 300ml acide ortho-phosphorique), l'ensemble est porté à ébullition pendant 30 minutes au bain-marie, après refroidissement

5ml de toluène est additionné, deux phases se séparent, la phase organique supérieure contenant la proline est, récupéré après un apport de quelque gramme de NaSO₄. La lecture des échantillons au spectrophotomètre UV-VIS-1205, est faite à une longueur d'onde 528nm.

La teneur en proline est déduite de la courbe d'étalonnage suivante :

$$Y=0,015 DO + 0,147 ; Do = \text{la densité optique.}$$

2. 3. Les analyses du sol

2.3.1 La matière organique

La matière organique est déterminée par calcination selon la méthode de [39]. Un échantillon de 10g de sol sec obtenu après un séchage à 105°C, est placé dans un four à moufle à chauffage électrique à 600°C pendant douze heures afin de calciner la matière organique(MO).

La matière organique (MO) est déterminée par simple calcul selon la formule suivante:

$$\text{MO (\%)} = (p1-p0) - (p2-p0) / (p1-p0) \times 100 \text{ avec :}$$

P0 : poids de creuset vide

P1 : poids finale (poids de creuset avec l'échantillon)

P2 : poids de creuset + l'échantillon après calcination.

2.3.2 Le phosphore assimilable

Le phosphore assimilable est obtenu selon la méthode [40]. Une extraction du phosphore assimilable est faite par une agitation de 5 g de sol dans 100ml de bicarbonate de sodium (0.5M), à 5ml du filtrat est ajouté 5 ml de molybdate d'ammonium et 1ml de SnCl₂. La lecture de l'absorbance des échantillons est faite au spectroscope UV –VIS 1250 à une longueur d'onde 660nm.

La teneur en phosphore est déduite à partir de la courbe d'étalonnage ($y= 0,039x+0,048$: $R^2= 0,96$).

2.3.3 Le pH et la conductivité électrique

Concernant le pH ; ce paramètre est évalué après agitation pendant 2h d'une prise de sol dans l'eau distillée avec un rapport de 2/5 puis, une fois la solution sol est filtrée, la lecture de pH est faite avec pH mètre universel N.50310. La conductivité électrique est obtenue aussi après agitation d'une quantité de sol fin dans de l'eau distillée avec un rapport de 1/5 pendant 1h et 30 mn. Le filtrat obtenu a servi pour la lecture de la conductivité à l'aide d'un conductimètre

/WTW/LF-330.

2.3.4 Les nitrates

Le dosage des nitrates est fait selon la méthode [41]. Dix grammes de sol sont agités dans 100 ml d'eau distillée pendant 1h. Après, 10 ml du filtrat est mis dans un flacon auquel est ajouté 1ml de salicylate de sodium, après évaporation à sec dans l'étuve à 75-80°C, et refroidissement, le résidu est repris par 2ml d'acide sulfurique, après 15 ml d'une solution d'hydroxyde de sodium et tartrate double de sodium et de potassium est ajoutée.

Une couleur jaune se développe. La lecture des échantillons est faite à une longueur d'onde 415 nm au spectrophotomètre UV-VIS-1205, la teneur des nitrates est déduite par l'équation d'étalonnage suivante : $Y=0,046 DO + 0,066$ ($R^2=0,963$).

2.3.5 L'humidité du sol [42]

Un échantillon de (20g) de sol est mis dans une boîte en porcelaine de tare connue, est mis à sécher dans une étuve à 105°C jusqu'à un poids constant. La différence de poids avant et après séchage correspond à la quantité d'eau contenue dans l'échantillon.

3. L'étude statistique

Les données obtenues de l'expérimentation ont été soumises à des études statistiques par le logiciel STATISTICA 6.0 ; l'analyse a consisté en une série d'analyses de la variance à un seul facteur : Facteur traitement. Ensuite, pour les paramètres significatifs au niveau $\alpha=0,05$, le classement des traitements en groupes homogènes est fait en utilisant le test de Tukey.

II. RESULTATS

II .1 Les paramètres de la plante

1. 1. La qualité du grain

L'analyse de la variance pour l'humidité du grain indique une différence significative ($F_{(10,42)}=3,53$; $P=0,0047$) entre les niveaux de traitement. Le test de comparaison des moyennes HSD Tukey met en relief deux groupes : B3, B2, T > B2, T, B1. La plus haute humidité est allouée à la dose B3 ($13,08\% \pm 0,79$). Le témoin note ($11,66\% \pm 0,11$) (Tableau.2). Les résultats obtenus pour les cendres montrent, une accumulation significative ($F_{(10,00)}=35,16$; $P<0,0001$) sous l'effet des traitements boues résiduaires.

Pour le niveau B2 la valeur est ($0,026\% \pm 0,001$) et de ($0,022 \pm 0,002$) pour B3. Le témoin est

classé dans le même groupe avec la dose B1 avec la valeur de $(0,014\% \pm 0,001)$.

Les groupes obtenus du test HSD Tukey sont B2, B3 > T, B1 (Tableau.2).

L'accumulation de l'amidon comme matière de réserve est non significative ($F_{(10,72)} = 1,29$; $P = 0,33$). Les teneurs observées appartiennent au même groupe. Toutes les valeurs sont proches et varient entre $(72,44 \pm 0,26\%)$ pour le témoin à $(71,2 \pm 0,33 \%)$ pour la plus forte dose de boue B3. Concernant l'amylopectine, il ressort des valeurs obtenues, un effet traitement hautement significatif ($F_{(10,60)} = 25,54$; $P < 0,0004$). L'amylopectine dans les plantes boues est inférieur à celle des plantes témoins $(18,10 \pm 0,92\%)$, la dose B3 détient $(13,33 \pm 0,12\%)$ suivi par B2 $(12,89 \pm 0,33\%)$, B1 égale $(12,49 \pm 1,32\%)$ (Tableau.2). Le test de comparaison des moyennes HSD Tukey indique ces deux groupes T > B3, B2, B1.

L'étude statistique de l'acidité grasse indique, un effet traitement significatif ($F_{(10,00)} = 3,78$; $P = 0,039$). La comparaison des moyennes montre une forte teneur pour le niveau de traitement B1 $(0,0053 \pm 0,0008 \text{ g d'acide sulfurique / } 100 \text{ MS})$. La dose B3 note $(0,0046 \pm 0,0008 \text{ g d'acide sulfurique / } 100 \text{ MS})$. Le témoin $(0,0034 \pm 0,00084)$ est classé dans un groupe inférieur avec le niveau B3, B2 (Tableau.2). Le test HSD Tukey laisse voir les deux groupes suivants :

B1, B3, B2 > B3, B2, T.

L'ANOVA des résultats décelés des lipides indique un effet traitement significatif ($F_{(10,20)} = 4,54$; $P = 0,023$). La plus forte teneur $3,39 \pm 0,256\%$ est enregistrée avec les plantes témoins. La plus faible teneur $2,18 \pm 0,516\%$ est obtenue avec la dose B3. (Tableau.2) L'étude statistique révèle les groupes suivants B3, B2, B1 < B1 < T.

Contrairement aux lipides, l'effet traitement sur l'accumulation de l'azote dans le grain montre des résultats hautement significatifs ($F_{(10,42)} = 1,32$; $P < 0,0008$). La plus haute quantité d'azote est obtenue avec la dose B3 $(0,040 \pm 0,00\%)$, suivi par B2 $(0,024 \pm 0,01\%)$, le témoin décelé la plus faible teneur $0,012\% \pm 0,001$ (Tableau.2). Les groupes obtenus sont : B3 > B2, B1 > T.

Pour les métaux lourds, les résultats obtenus de L'ANOVA concernant les moyennes du fer, indiquent un effet traitement hautement significatif ($MC = 0,000004$; $P < 0,001$). Les valeurs varient entre $0,0015 \pm 0,0001 \text{ ppm}$ pour le niveau B3 et $0,0010 \pm 0,0001 \text{ ppm}$ pour le traitement B1, B2. Le témoin note la plus grande teneur $0,0030 \pm 0,0001 \text{ ppm}$. Trois groupes sont notés

selon l'ordre croissant : B1, B2 < B3 < T. (Tableau.2).

L'analyse de la variance des valeurs obtenues pour le **cuivre** indique un effet traitement hautement significatif ($F=44,09$; $P < 0,001$). La teneur du cuivre dans les grains des plantes témoins $2,9 \pm 0,94$ ppm est supérieure aux grains traités par les boues.

Les valeurs obtenues avec B1 est $2,75 \pm 0,28$ ppm. Celles enregistrées dans les grains cultivés dans les pots ayant reçu les épandages B2 et B3 sont de l'ordre de $2,43 \pm 0,26$ ppm et $2,48 \pm 0,28$ ppm.

À l'issue de cette étude, le test HSD Tukey met en évidence dans l'ordre décroissant les groupes suivants : T, B1 > B2, B3 > B2.

L'analyse statistique **du zinc** indique un effet traitement hautement significatif ($MC=0,000003$ $P < 0,001$). La plus grande valeur est décelée pour les niveaux B1 et le témoin ($0,002 \pm 0,00$). On obtient deux groupes selon l'ordre suivant : B2, B3 < T, B1

Tableau 2. Les moyennes obtenues de l'effet boues résiduaire sur les paramètres nutritionnelles du blé.

(Pour chaque variable calculée, les lettres associées aux moyennes se rapportent au Test de Tukey : Les lettres différentes sont significativement différentes à $P \leq 0,05$)

Moyennes Traitements /variables	Humidité dugrain (%)	Cendres du grain (%)	Amido n (%)	Amylopectine (%)	Acidité grass (g d'acide sulfurique /100MS)	Lipides (%)	Azote (%)	Cu(ppm)	Fer (ppm)	Zinc (ppm)
Témoin	11,66±0,11 Ab	0,014 ±0,001 b	72,44± 0,26 a	18,10±0,92 a	0,0034± 0,0008 b	3,39±0,2 56 c	0,012±00 c	2,9±0,94 a	0,003± 0,0001 c	0,002± 0,000 b
B1	11,26±0,17 B	0,012±0,001 b	70,84± 0,10 a	12,49±1,32 a	0,0039±0, 0008 a	2,36± 0,736 ab	0,020±0,0 b	2,75±0,28 ab	0,001± 0,0001 b	0,002± 0,000 b
B2	11,30±0,08 Ab	0,026±0,001 a	70,15± 0,10 a	12,89±0,33 a	0,0053± 0,0008 ab	2,23±0,1 75 a	0,023±0,0 b	2,43±0,26 c	0,001± 0,0001 b	0,001± 0,000 a
B3	13,08±0,79 A	0,022±0,002 a	71,60± 0,33 a	13,32±0,12 a	0,0053± 0,0008 ab	2,18±0,5 16 a	0,04±0,00 a	2,48±0,28 bc	0,001± 0,0001 a	0,001± 0,000 a

1. 2 Les paramètres morpho physiologiques

L'étude statistique des valeurs concernant la surface foliaire indique une diminution significative ($F_{(12,60)}=46,76$; $P<0,0001$) dans la croissance des feuilles appartenant aux traitements boues en comparaison avec le témoin. La surface moyenne des feuilles T ($4,73\pm 0,704$ cm²) dépasse les niveaux de traitements boues; Le niveau B3 détient $3,42\pm 0,44$ cm², B2 ($2,90\pm 1,199$ cm²) et B1 ($2,42\pm 0,345$ cm²) (Tableau. 3)

Le test HSD Tukey donne les groupes suivants T>B1; B2>B3

Les résultats de la proline montrent une accumulation significative ($F_{(12,00)}=48,48$; $P<0,0001$).

La plus haute teneur en proline ($0,458\pm 0,05$ µg/gMS) est décelée avec la dose B3 ; la plus faible teneur ($0,15\pm 0,010$ µg/gMS) est celle du témoin (Tableau. 3).

Le test de comparaison des moyennes HSD Tukey accuse deux groupes B3>B2, B1, T

Tableau 3. Effet des boues sur les variables morph-physiologiques calculées de la plante. (Pour chaque variable calculée les lettres associées aux moyennes se rapportent au Test de Tukey : Les lettres différentes sont significativement différentes à $P \leq 0,05$)

Moyennes : /Variables	Traitements	Surface foliaire (cm ²)	Proline (µg/gMS)
	Temoin	$4,73\pm 0,704$ a	$0,15\pm 0,010$ b
	B1	$2,42\pm 0,345$ b	$0,18\pm 0,02$ b
	B2	$2,90\pm 1,199$ b	$0,24 \pm 0,06$ b
	B3	$3,42\pm 0,44$ c	$0,458\pm 0,05$ a

II. 2 Les paramètres du sol

II .2.1 La matière organique

L'étude statistique indique une accumulation hautement significative ($F_{(12,07)}=85,85$; $P<0,0001$) sous l'effet du traitement boue. On observe une accumulation linéaire en fonction des doses ; le niveau B3 détient la teneur ($5,96\pm 0,113\%$) suivi par B2 ($5,21\pm 0,129\%$) et B1 ($4,50\pm 0,205\%$). Le témoin note la plus faible valeur $3,32\pm 0,406\%$ (Tableau.4).

Les groupes obtenus sont $B3>B2>B1>T$

II .2.2 Le phosphore assimilable

L'apport des boues résiduelles en élément phosphore est significatif ($F_{(12,3)}=1610,64$; $P<0,0001$).

Le test HSD Tukey met en relief trois groupes suivants : $B3>B2;B1>T$. La plus haute teneur observée avec le niveau B3 est égale à $31,03\pm 0,020$ ppm alors que le témoin note $5,93\pm 0,172$ ppm (Tableau .4).

II.2.3 Le pH et la conductivité électrique

Les résultats du pH indique une diminution significative ($F_{(12,00)}= 62,5$; $P<0,001$) du pH.

La valeur diminue de $7,79\pm 0,075$ pour le témoin à $7,18\pm 0,084$ avec le niveau de boue B3. Trois groupes sont observés : $T;B1>B2>B3$.

A la différence du pH, l'effet traitement assure une augmentation significative ($F_{(12,87)}=82,27$; $P<0,0001$) pour la conductivité électrique ; la dose B3 note une valeur de $1505\pm 12,70\mu\text{S/cm}$ suivi par la valeur $1338,75\pm 34,40\mu\text{S/cm}$ pour la dose B2, puis la dose B1 avec la valeur $1297,50\pm 14,36\mu\text{S/cm}$, vient en dernier le témoin avec une conductivité de $1221,25\pm 36,80\mu\text{S/cm}$ (Tableau.4).

Le test HSD Tukey donne les groupes suivants : $B3>B2>B1>T$

II. 2.4 Les nitrates

L'analyse de la variance indique un effet boue hautement significatif ($F_{(12,11)}= 296,15$; $P<0,0001$). Les résultats des nitrates montrent la même tendance que celle du phosphore assimilable. La plus haute teneur ($37,02 \pm 2,23\text{mg}/100\text{g}$ de sol) est décelée avec la plus forte dose de boue B3. Le niveau B2 montre la valeur ($31,55\pm 0,483$ mg/100g de sol), vient en dernier le témoin avec la plus faible teneur ($16,86\pm 0,206$ mg/100g de sol) (Tableau .4).

Les groupes sont : B3>B2;B1>T

II.2.5 L'humidité du sol

L'étude statistique montre un effet traitement hautement significatif ($F_{(12,06)}=1272,30$; $P<0,0001$). Le test de comparaison des moyennes classe les niveaux de traitement en ces quatre groupes : B3 avec la plus haute humidité ($11,03\pm 0,24\%$) suivi par le deuxième groupe B2 avec la valeur $7,10\pm 0,124\%$, B1 ($4,34\pm 0,247\%$) et enfin le témoin en dernière position avec la plus faible humidité de $1,63\pm 0,068\%$ (Tableau .4).

Tableau 4. Effet des boues résiduaires sur les paramètres de fertilité du sol. (Pour chaque variable calculée les lettres associées aux moyennes se rapportent au Test de Tukey : Les lettres différentes sont significativement différentes à $P \leq 0,05$)

Les Moyennes traitements/les variables	Matière organique (%)	Le phosphore assimilable	pH	conductivité électrique ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Nitrates (mg/100g de sol)	Humidité (%)
Témoin	$3,32\pm 0,406$ a	$5,93\pm 0,172$ c	$7,79\pm 0,075$ a	$1221,25\pm 36,80$ d	$16,86\pm 0,206$ c	$1,63\pm 0,068$ d
B1	$4,50\pm 0,205$ c	$11,91\pm 0,175$ b	$7,70\pm 0,065$ a	$1297,50\pm 14,36$ c	$26,94\pm 0,665$ b	$4,34\pm 0,247$ c
B2	$5,21\pm 0,129$ b	$24\pm 0,223$ b	$7,54\pm 0,044$ b	$1338,75\pm 34,40$ b	$31,55\pm 0,483$ b	$7,10\pm 0,124$ b
B3	$5,96\pm 0,113$ a	$31,03\pm 0,020$ a	$7,18\pm 0,084$ c	$1505\pm 12,70$ a	$37,02 \pm 2,23$ a	$11,03\pm 0,24$ a

III DISCUSSION

III .1 Les paramètres de la plante

L'épandage des boues résiduaires améliore l'humidité du grain de blé. Cette observation revient à l'effet absorbant de ce bio-fumure [1]. En effet, les boues résiduaires permettent de garder plus longtemps l'eau dans le sol grâce à la matière organique qu'elles contiennent [2], elles agissent comme un capteur tampon de l'humidité [3]. Dans notre cas d'étude l'analyse du sol laisse observer, une amélioration dans la rétention du sol en eau, surtout avec la plus forte dose B3. Cet effet explique la forte teneur en eau dans les grains des plantes amendées par cette dose apportée de boue. Aussi, la variété utilisée est une variété résistante qui a

tendance à garder une teneur élevée en eau dans ses feuilles [4].

L'augmentation de la teneur des cendres dans les grains des plantes de blé amendées par la boue résiduaire revient à la richesse de cette dernière en éléments minéraux (Tableau 1), Avec l'installation d'une bonne humidité suffisante dans le sol apportée par les boues, il s'établit un bon passage de nutriments existant dans ce bio fumure vers les plantes via le sol. Le transfert de ces éléments depuis le sol amendé vers la plante permet une accumulation de ces sels dans celle-ci et par la suite dans le grain[1]. Dans le même ordre d'idées, l'estimation de la conductivité confirme une accumulation de sels dans le sol qui a pour origine les boues résiduaires utilisées ; ainsi le passage de ces sels à partir du sol vers les plantes augmente la quantité des cendres dans le grain

Contrairement aux cendres l'accumulation de l'amylopectine est plus déterminante dans les plantes témoins. Il semble que, la production de cette matière de réserve est influencée négativement par les trois doses de boues. Au cours de notre essai, les plantes amendées par la boue développent une forte biomasse. Nous pensons que le végétale a utilisé l'amylopectine comme source d'énergie pour son développement, ce qui explique sa faible teneur dans les plantes boues par rapport aux témoins [5]. D'autres part, la dilution de l'amidon dans la forte biomasse des plantes boues n'a pas mis en relief une accumulation de cette matière de réserve dans le grain [5].

Les lipides du blé, malgré qu'ils soient des constituants mineurs et représentent environ 2 % du poids sec du grain [6]. Ces constituants contribuent en grande partie aux qualités du grain. Il est clair aussi que, les plus fortes doses de boues (B3) limitent la formation des lipides ; Cette observation s'explique par la teneur élevée de proline obtenue qui montre qu'avec la plus haute dose de boue B3, il s'établit un stress osmotique [7] qui diminue la formation des lipides et entraîne une perte dans leurs quantités au niveau du grain. Aussi, la proportion des lipides des graines est généralement inverse à celle des protéines [8], [9] en particulier, si la fourniture d'azote dans la plante est importante, la production des protéines est favorisée, et il y aura une plus faible formation de corps gras à partir des hydrates de carbone [7]. Cet effet est observé dans notre cas d'étude. L'amendement boue s'est basé sur la formation des protéines dans le végétal à partir de l'azote fournis par les boues contrairement aux lipides.

Les boues sont considérées comme une source potentielle en élément azote [10], plusieurs auteurs [11] rapportent que, l'azote dans les boues se trouve sous deux formes ; la forme minérale et aussi organique, ainsi l'épandage de ce bio solide contribue en premier à améliorer la teneur en nitrates existant dans le sol d'expérimentation et par la suite il s'en suit une bonne nutrition des plantes en azote, conduisant l'augmentation de cet élément dans le grain traité par la boue [12]. Les teneurs plus élevées en azote du grain sont à la fois dues à une meilleure assimilation directe de celui ci à partir du sol, même à des stades tardifs les mouvements d'azote des feuilles vers l'épi se poursuivent [13].

Nos résultats corroborent avec [14] qui rapportent que l'épandage des boues résiduelles anaérobiques améliore la concentration des tissus de Colza en azote.

Les acides gras polyinsaturés sont des nutriments essentiels pour la croissance [5]. Dans notre cas d'étude il semble que, la faible dose de boues a amélioré la teneur des acides gras dans le grain contrairement aux fortes doses. Cet effet met en relief une bonne croissance du grain. La teneur en acidité grasse est un indicateur de l'état de bonne conservation des blés, des farines et des semoules [7].

L'analyse du sol indique une forte accumulation de matière organique dans le sol qui a limité le passage des métaux lourds vers les plantes [15]. Nous Pensons qu'il ya eu une rétention du fer par la matière organique qui se trouve en abondance dans la boue [11]. La fixation par effet d'adsorption a limité le passage de ce métal vers la plante et par la suite vers le grain [16].

Nos observations obtenues sur l'accumulation de ce métal lourd s'opposent à ceux trouvés par plusieurs auteurs [17] qui révèlent que l'épandage des boues résiduelles permet une forte accumulation de fer. Comme pour le fer les résultats décelés pour le cuivre, montre que, dans cette présente étude les plus hautes teneurs en cuivre testées dans le grain de blé sont observées avec le niveau de concentration qui correspond au témoin, ainsi on peut envisager que cette quantité de cuivre apportée à ce niveau de traitement se traduit d'autant plus facilement par une absorption supplémentaire par les plantes que le sol était pauvre en cet élément [18].Aussi,on n'a pas détecté une forte accumulation de zinc; il est clair que, ces faibles teneurs enregistrées s'expliquent par l'antagonisme existant entre l'absorption de ce

métal et l'élément phosphore qui se trouve en très grande quantité dans la boue utilisée (Tableau. 1). Ainsi ce minéral pourrait être le facteur principal qui a limité le passage du zinc vers la plante et par la suite vers le grain. Cet effet est du probablement à formation du phosphate de Zinc insoluble qui se précipite dans le sol. Le phosphore forme avec le zinc du $Zn_3(PO_4)_2$, et il limite l'assimilation du zinc par les végétaux [19].

Pour les paramètres morpho-physiologiques, l'effet croissant des boues appliquées a permis une diminution linéaire de la surface foliaire. Cet effet revient à la richesse de ce biosolide en sels minéraux [21]. En effet, l'analyse du sol accuse une accumulation en nitrates, phosphore assimilable aussi en métaux lourds, ainsi l'accumulation de ces éléments minéraux conduit à un stress physiologique qui incite les plantes à réagir par la diminution du développement de leurs feuilles [20]. La production de la proline qui est un acide aminé de stress confirme cette observation. Les teneurs élevées de la proline dans les feuilles traitées par la boue résiduaire constituent un véritable mécanisme d'adaptation pris par ces plantes pour affronter le stress auxquelles elles sont soumises sous l'effet des boues [14]. La forte accumulation de proline est une stratégie développée par les plantes pour assurer la teneur en azote et en carbone dans le grain [22] ce qui permet d'accumuler plus de proline et de contre carer le stress osmotique.

III.2. Les paramètres du sol

La boue résiduaire est un véritable réservoir de macronutriments et micropolluants organiques [12]. L'incorporation de ce bio-solide dans le sol permet d'apporter un stock important et non négligeable de matière organique dans le sol. Nos résultats viennent approuver ceux trouvés par [19]. Ces derniers ont réalisé avec du compost une amélioration en carbone avec des teneurs significatives de l'ordre de 1,59 et 1,93 %, respectivement avec les doses 50 et 100 t/ha MS de boues.

Aussi, l'apport des boues augmente la charge des sels minéraux et les oligoéléments dans le sol, cet effet conduit à l'augmentation de la conductivité électrique [23]. La diminution du pH revient à la dégradation de la matière organique existante dans le sol qui a pour origine les boues résiduaire et qui permet de libérer des acides organiques [24]. Aussi, l'amélioration de l'humidité du sol traité par la boue a favorisé en mieux le processus de dissolution des différents sels existant dans ce bio-solide ce qui a favorisé l'augmentation de la conductivité

électrique et surtout la libération de métaux lourds sels organiques qui contribuent à diminuer le pH.

Dans les eaux usées, la part des rejets humains représente 30 à 50 % du Phosphore total le reste provient des produits de nettoyage [25]. Les rejets d'eaux domestiques par leur richesse en tripolyphosphates de sodium (TPPS), utilisé comme additifs dans les lessives textiles et les produits pour lave-vaisselle constituent une source importante de phosphore. Ainsi l'épandage des boues dans le sol améliore son contenu en cet élément. La boue résiduaire est aussi riche en azote, minérale et organique [26]. Sous les bonnes conditions d'humidité et surtout la présence du carbone il s'établie une dégradation de la matière organique riche en azote ce qui permet de libérer les nitrates dans le sol [27].

CONCLUSION

En conclusion à cette étude, l'effet positif et fertilisant des boues résiduaires sur le sol corroborent avec plusieurs auteurs. L'apport des boues à amélioré le taux de la matière organique, le phosphore assimilable, les nitrates, l'humidité, cette amélioration s'est répercuté positivement sur la valeur nutritionnelle du grain du blé. On observe une amélioration en humidité, en taux d'azote, les cendres. Cependant, avec les plus fortes doses (300g/MS de boue, 600g/MS de boue) il s'établi un stress osmotique. À cet effet, il s'ensuit une accumulation en proline, une diminution dans la teneur des lipides, amidon et amylopectine, aussi dans la surface des feuilles comme paramètres morphologique. Les doses utilisées n'ont pas induit une accumulation de métaux lourds (Fer et cuivre, zinc) dans le grain, ceci revient à leurs faibles teneurs dans les boues.

Il serait judicieux d'élargir ultérieurement cette expérimentation par un apport de plusieurs doses croissantes sur plusieurs types de sol et aussi sur plusieurs types de plantes autres que le blé, suivre aussi les teneurs d'une gamme importante des métaux lourds pour voir réellement l'effet de ces bio-fumures et leurs intérêts, établir des fiches d'utilisation et de sensibilisation qui pourront servir aux agriculteurs utilisateurs de cette matière.

REMERCIEMENTS

Je remercie Mr Goussef T et Mme Abdelmalek D qui ont aidé dans la réalisation de la pratique de quelques paramètres au laboratoire.

REFERENCES

- [1] Boudjabi S, Kribaa M, Chenchouni H. Growth, physiology and yield of durum wheat (*Triticum durum*) treated with sewage sludge under water stress conditions. *J. EXCLI.*, 2015, (14):320-334.
- [2] Bride Mc. Effet à long terme d'apports d'engrais minéraux et de fumier sur les teneurs en C et en N des fractions densimétriques et des agrégats. *J. Canadian journal of Soil Science.*, 2003, (77): 351-358.
- [3] Mäder P, Fliessbach A, Dubois D, Gunst L, Fried P, and Niggli U. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *J. Science.*, 2002, 296(5573): 1694-1697.
- [4] Mekliche L, Bousalhih B, Aissat A, et Halim SB. Etude du déterminisme génétique de l'indice de récolte du blé dur (*Triticum durum* Desf) en conditions semi-arides. *J. African Journal of Biotechnology.*, 2016, 15 (47) :2671-2677.
- [5] Hemery Y, Rouau x, Lullien-Pellerin V, Barron C and Abecassis J. Dry processes to develop wheat fractions and products with enhanced nutritional Quality. *J. Journal of Cereal Science-Elsievier.*, 2007, 327-347.
- [6] BAR –ON. M. Contrôle de la qualité des céréales et des protéagineux. Guide pratique (Eds), ITCF. Paris: 2001, pp260- 268.
- [7] Shewry P R. The Health grain programme opens new opportunities for improving wheat for nutrition and health Nutrition. *J. Journal of experimental Botany.*, 2009, 34(2): 225–231.
- [8] Raiffaud C. Mixing properties of durum wheat semolina as influenced by protein quality and quantity. *J. Food and Technology.*, 2001, (6): 615 -641.
- [9] Hernandez J A Z, Santiveri F, Michelena A and Pena R J. Durum wheat (*Triticum turgidum* L.) carrying the 1BL/1RS chromosomal translocation: agronomic performance and quality characteristics under Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy.*, 2004, (30): 33 -47.

-
- [10] Li S, Di X, Wu D and Zhang J. Effects of sewage sludge and nitrogen fertilizer on herbage growth and soil fertility improvement in restoration of the abandoned open cast mining areas in Shanxi China. *J. Environ Earth Sci.*, 2013, (70): 23-33.
- [11] Bouajila K, Sanaa M. Effects of organic amendments on soil physico-chemical and biological properties. *J. Mater. Environ. Sci.*, (2011), 2(1): 485-490.
- [12] Casado-Vela, Selle's S, Navarro J, Bustamante M A, Mataix J, Guerrero C and Gomez I. Evaluation of composted sewage sludge as nutritional source for horticultural soils., *J. Waste management.* 2006, (26) : 956-952.
- [13] Djekoun A. Fertilisation minérale des cultures. Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA N°155. Ecole nationale d'agriculture de Meknès. 2007, 53- 54.
- [14] Singh M, Agrawal C. Effects of sewage sludge amendment on heavy metal accumulation and consequent responses of *Beta vulgaris* plants. *J. Chemosphere.*, 2007, (67): 2229- 2240.
- [15] Su D C, Wong J W C. Chemical speciation and phytoavailability of Zn, Cu, Ni and Cd in soil amended with fly ash-stabilized sewage sludge. *J. Environment International.*, 2004, 29(7): 895-900.
- [16] Guilbot B. Growth and yield responses of two contrasting barley cultivars in a Mediterranean environment. *J. Journal of Cereal Science.*, 1985, 3(4): 271-278.
- [17] Boudjabi S, Kribaa M, and Tamrabet L. Contribution of Sewage Sludge to the Fertility of the Soil and the Growth of Barley (*Hordium Vulgare* L) Variety Jaidor. Springer, Berlin Heidelberg : In *Efficient Management of Wastewater.*, 2008, pp. 227-235.
- [18] Temgoua E, Tsafack H N, Pfeifer H R et Njine T. Teneurs en éléments majeurs et oligoéléments dans un sol et quelques cultures maraîchères de la ville de Dschang, Cameroun. *J. African crop science journal.*, 2015, 23(1): 35-44.
- [19] Courtney R.G, Mullen G J. Soil quality and barley growth as influenced by the land application of two compost types. *J. Bioresource Technology.*, 2008, 99(8), 2913-2918.
- [20] Marie E. Stress metabolism. IX. The significance of end-product inhibition of proline biosynthesis and of compartmentation in relation to stress induced proline accumulation. *Aust. J Plant Physiol.*, 2011, 3: 513-525.
- [21] Bagreev A, Bandosz T J and Locke D C. Pore structure and surface chemistry of adsorbents

obtained by pyrolysis of sewage sludge-derived fertilizer. *J. Environmental science & technology*, 2001, 35(7): 1537-1543.

[22] Monneveux P. Response of plants to environmental stresses. Vol. 1. (Eds.) Chilling, freezing and high temperature stresses. New York: Academic Press, 1992. P497.

[23] Zhang T, Wang T, Liu K S, Wang L, Wang K, and Zhou Y. Effects of different amendments for the reclamation of coastal saline soil on soil nutrient dynamics and electrical conductivity responses. *J. Agricultural water management.*, 2015, (159): 115-122.

[24] Fukushi K, Babel S, and Burakrai S. Survival of *Salmonella* spp. in a simulated acid-phase anaerobic digester treating sewage sludge. *J. Bioresource technology.*, 2003 86(2): 177-181.

[25] Adam C, Peplinski B, Michaelis M, Kley G, and Simon F G. Thermochemical treatment of sewage sludge ashes for phosphorus recovery. *J. Waste management.*, 2009,29(3), 1122-1128.

[26] Samaras V, Tsadilas, C D and Stamatiadis S. Effects of repeated application of municipal sewage sludge on soil fertility, cotton yield, and nitrate leaching. *J. Agronomy Journal.*, 2008, 100(3): 477-483.

[27] Vogeler I, Green S R, Mills T and Clothier B E. Modelling nitrate and bromide leaching from sewage sludge. *J. Soil and Tillage Research.*, 2006, 89(2): 177-184.

[28] Albiach R, Canet R, Pomares F and Ingelmo F. Organic matter components, aggregate stability and biological activity in a horticultural soil fertilized with different rates of two sewage sludges during ten years. *J. Bioresource Technology.*, 2001, 77(2), 109-114.

[29] Ozdemir S, Dede O H, and Dede G. Comparison of the composting performance of four different sewage sludge amendments. *J. Compost science & utilization.* 2014, 22(4): 207-215.

[30] Benbelkacem A, Brinis L and Sadli F. La recherche pour la qualité des blés durs en Algérie. *Options Méditerranéennes CIHEAM, Série A, Séminaires Méditerranéen*, 1995, p61-65.

[31] Sampoux J P, Gallais A, and Lefort-Buson M. Intérêt de la valeur propre des descendances S1 associée à la valeur en croisement avec un testeur pour la sélection du maïs fourrage. *Agronomie, EDP Sciences.*, 1989, 9 (5) : pp.511-520.

[32] Feillet P. Le grain de blé. Composition et utilisation. (Eds.), Quae. INRA.2000, pp 305-307.

-
- [33] Coord grosclaude. G. Un point sur l'eau, Tome1, Milieu naturel et maîtrise, (Eds.), Quae, Paris : 1999, pp 189 -200.
- [34] GODON.B. Biotransformation des produits céréaliers. (Eds.), Tec et Doc, Lavoisier, Paris : 1991, pp 218-219.
- [35] Dicko M H, Gruppen H, Traoré A S, Voragen A G and van Berkel W. J. Sorghum grain as human food in Africa: relevance of content of starch and amylase activities. J. African journal of biotechnology., 2006, 5(5), 384-395.
- [36] Goullé, J P, Mahieu L, Castermant J, Neveu N, Laine G, Nouveau M P and Lacroix C. Validation d'une technique de dosage multiélémentaire des métaux par ICP-MS dans les milieux biologiques. In *Annales de Toxicologie Analytique*, EDP Sciences, 2003, 15(4): 271-280.
- [37] Paul M. Planchton C. Ecochard R. Etude des relations entre le développement foliaire, le cycle de développement et la productivité chez le Soja. *Annale amélioration des plantes*, 1979, 29: 479 – 492.
- [38] Troll W, Lindsley J. A photometric method for the determination of proline. J. *Biologie Chémosphère.*, 1955;215:655- 660.
- [39] Mathieu C. Pieltain F et Jeanroy E. *Analyse chimique des sols : Méthodes choisies.* (Eds.) Tec & doc, (2003), Paris: 408p.
- [40] Olsen S R, Watanabe F S, Cospér H R, Larson W E and Nelson L B. Residual phosphorus availability in long-time rotations on calcareous soils. *J. Soil Science.*, 1954, 78(2): 141-152.
- [41] BANAS. D. & LATA J. C. (2006). Nitrates. The White Paper pollutants habitat. 10p.
- [42] Feddes R A, Kowalik P, Neuman S P and Bresler E. finite difference and finite element simulation of field water uptake by plants/Simulation de la différence finie de l'élément fini de l'humidité du sol utilisée par les plantes. *J. Hydrological Sciences Journal*, (1976). 21(1), 81-98.
- [43] Benfetta H, Sahnoun A, Achour B, Ouadja A. Epuration des eaux usées dans la ville de Mascara. *J Larhyss*, (2017), 31, 249-258
- [44] Orman S, Ok H and Kaplan M. Application of Sewage Sludge for Growing Alfalfa, Its

Effects on the Macro-Micronutrient Concentration, Heavy Metal Accumulation and Translocation. *Ekoloji*, 2014, 23(90), 10-19.

How to cite this article:

Boudjabi S, Effect of sewage sludge on soil fertility and on the nutritional quality of durum wheat (*Triticum durum*, waha variety). *J. Fundam. Appl. Sci.*, 2020, 12(3), 1067-1089.