

Valorisation agricole des boues résiduaires: Valeur fertilisante et leur Impact sur les sols

JEMALI A.⁽¹⁾ SOUDI B.⁽²⁾ & BERDAI H.⁽¹⁾

(1) Administration du Génie Rural, SEEN, 461, Avenue Hassan II - Rabat (Maroc).

(2) Département des sciences du sol, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II
B.P. 6202- Rabat-Instituts (Maroc).

- Edité : In Proceeding of 13th International Congress on Agricultural Engineering. Vol I: Land and Water Use. Rabat, Maroc, 1998.

Résumé

Cette étude a consisté à examiner les possibilités de valorisation agricole des boues résiduaires issues de la station d'épuration par lagunage des eaux usées domestiques de la ville d'Ouarzazate. Elle a visé comme objectif spécifique l'évaluation de la valeur fertilisante organique et azotée de ces boues résiduaires, et d'apprécier le rythme de libération de l'azote minéral. La méthodologie adoptée consistait en deux niveaux de perception : des incubations au laboratoire sous des conditions contrôlées (Test de Stanford et Smith, 1972) et, des expérimentations sous serre sous une culture de Ray Grass d'Italie. Deux types de sols et différentes doses de boues ont été testés. Les résultats obtenus ont montré que ces boues résiduaires présentent un potentiel important en matière organique et en éléments fertilisants facilement minéralisable, ainsi qu'une quantité d'azote potentiellement minéralisable variant de 74 à 185 mg/Kg de sol et demeure croissant avec la dose de boues apportées. Il a été montré également que l'effet type de sols et la dose des boues résiduaires incorporées ont influencé la production de la matière sèche et l'azote prélevé par le Ray Grass d'Italie. Les taux moyens de minéralisation de l'azote organique de boues résiduaires estimés sont de 51% en conditions optimales du laboratoire (112 jours) et 49% sous serre (200 jours). Ces taux ont une grande utilité dans l'estimation des fournitures d'azote minéral assimilable après incorporation d'une dose donnée des boues résiduaires. Un enrichissement en matière organique non humifiée des sols a été observé pour les différents traitements des boues résiduaires, de même une légère salinisation a été enregistrée.

Mots clés: Boues résiduaires, azote potentiellement minéralisable, taux de minéralisation, ray grass d'Italie, matière sèche, azote prélevé.

Abstract

In this study, we have studied the possibilities of the use in agriculture of the sewage sludge produced at the treatment plant of wastewater in Ouarzazate by lagoons. The objective were the evaluation of fertilizing value (organic and nitrogen) of these sewage sludge and the estimation of the magnitude of mineral nitrogen release. Two methodological approaches were adopted: the first one consists of laboratory incubation under optimal conditions (Test of Stanford and Smith,1972). The second concerns an experiment under greenhouse where we planted a Italian ryegrass. Two soils types and different rates of sewage sludge have been tested. The results showed that the sewage sludge presents an important potential of mineralizable organic matter and fertilizing elements. The potentially mineralizable nitrogen varies from 74 to 185 mg/Kg, it increased with the rate of the sewage sludge applied. The soils types and rates tested also have a significant effect on the dry matter production and nitrogen uptake. The mean of the mineralization rate of the organic matter is 51% in laboratory conditions (112 days) and 49 % in under greenhouse (200 d.). These rates permit to estimate the supply of assimilable mineral nitrogen depending on the rate of sewage sludge for the different treatments, an increase of the non-humified organic matter and a slight salinization of the soil have been observed.

Key words: Sewage sludge - potentially mineralizable nitrogen - mineralization rate - Italian ryegrass - dry matter - nitrogen uptake.

Introduction

La croissance démographique surtout dans les villes, l'accroissement de la production et de la consommation des unités industrielles, engendrent des quantités considérables de sous-produits et de déchets qui, s'accumulent sans être recyclés et qui peuvent manifestement provoquer une pollution de l'environnement. Toutefois, certains rejets d'origine urbaine ou industrielle, sont susceptibles d'être valorisés après traitement préalable à travers la réutilisation à des fins agricoles, c'est notamment, le cas des ordures ménagères, des écumes et des boues résiduares. Les boues d'épuration sont le résidu obtenu lors des stations de traitement des eaux usées. Le taux spécifique d'accumulation de ces boues dans une station d'épuration sur la base d'un volume quotidien de 100 l/hab/jour conduit à une valeur de 0,03 à 0,04 m³ de boues/hab/an soit 80 à 115 g MS/hab/jour). Soit pour une petite communauté de 30000 habitants, une accumulation de 3 à 3,5 tonnes/jour.

La composition d'une boue résiduaire moyenne pour quelques éléments principaux est la suivante: matière organique (40 à 80% MS), azote total (1,6 à 6 % MS), phosphore (1 à 4 % MS) et potasse assimilable (0,2 à 1 % MS) (1-2). Comparativement aux teneurs moyennes d'un fumier de ferme ou d'ordures ménagères triées et broyées, la présence d'azote et de phosphore est bien supérieure alors la boue reste carencée en potassium, ce qui nécessitera une correction ultérieure.

Outre leur caractère fertilisant, les boues possèdent un pouvoir d'amendement organique lié à la présence de matières organiques qui, en se minéralisant, vont libérer des matières humiques stables assurant ainsi une bonne structure au sol. La vitesse de minéralisation de la matière organique est dépendante de nombreux facteurs extérieurs comme la température, l'humidité, le pH du sol. Selon plusieurs auteurs, 50 % de l'azote organique de boues est minéralisable durant la première année après épandage. D'autres auteurs ont trouvé que ce taux varie entre 16 à 33 % après 12 semaines d'incubation (3), 40 à 42 % après 15 semaines (4).

Les possibilités de réutilisation de ces produits ont suscité l'intérêt de nombreux chercheurs (3-5-6-7). Donc, leur épandage aux sols constitue une méthode de recyclage des nutriments comme engrais, vue son importance en azote organique (50 à 90 % d'azote sous forme organique)(8). Elles constituent un atout qualitatif très important pour la production végétale par le maintien de la fertilité des sols agricoles. En effet, les teneurs en matière organique de nos sols sont en décroissance suite à la mise en culture intensive.

Au Maroc, la réutilisation de ces ressources à des fins agricoles au Maroc, demeure malheureusement inexistante, malgré l'utilisation croissante d'engrais d'une année à l'autre.

Afin de tester la valeur fertilisante de ces boues résiduaires, en tant que matière fertilisante, nous avons choisi de les étudier en accordant un intérêt particulier à leur valeur fertilisante azotée. Ce choix a été motivé par les quantités importantes d'azote des boues résiduaires et par leur potentiel de minéralisation. Ceci contribuerait à l'alimentation azotée des plantes cultivées. La présente étude consiste à examiner les possibilités de valorisation des boues résiduaires en agriculture. Elle vise comme objectifs: i) l'évaluation de la valeur fertilisante organique et azotée des boues résiduaires issus du lagunage dans la station expérimentale d'Ouarzazate, et ii) de suivre la cinétique de minéralisation de l'azote organique des boues résiduaires sous des conditions optimales de laboratoire afin d'évaluer l'azote potentiellement minéralisable suite à des incubations de long durée au laboratoire iii) d'apprécier le rythme de libération sous-serre en vases de végétation sous une culture de Ray-Gras d'Italie (R.G.I) afin de quantifier le taux apparent de minéralisation de l'azote organique apporté par ces boues.

1. Matériel & méthodes

Deux types de sols ont été étudiés : Sol à texture limono-argileuse (SOZ) et un autre à texture sableuse (SRB). Le choix de ces deux types de sols a été basé sur le contraste des teneurs en matière organique. Les principales caractéristiques physico-chimiques de ces types de sols sont rapportées dans le tableau 1.

Après broyage et tamisage à 4 mm, les échantillons sont répartis dans des pots à raison de 5 Kg de sol par pot. Les produits d'amendement ont été bien mélangés. Des sous-échantillons de chaque type de sol ont été stockés à 4°C pour la détermination des indices de minéralisation de l'azote organique.

1-1- Indice de minéralisation de l'azote: Méthode de Stanford et Smith (1972)

Cette méthode consiste à évaluer la quantité d'azote potentiellement minéralisable des boues résiduelles incorporées. Des colonnes contenant des échantillons représentatifs (sol + boues), mélangés avec du sable inerte (1:1; p:p), ont été incubées sous des conditions contrôlées recommandées par Stanford & Smith (1972)(9) et lixiviées à des intervalles de temps 0, 1, 2, 4, 8, 12 et 16 semaines en terme de temps cumulé. Le lavage de ces colonnes est effectué par 100 ml d'une solution de CaCl_2 0.01 M suivi de 25 ml d'une solution nutritive, et sous une pression de 0.08 Mpa. Après chaque intervalle de temps, l'azote minéral produit est dosé dans le percolat.

Le modèle utilisé durant cette étude est celui proposé par Stanford & Smith (1972). Il a pour but de calculer l'azote potentiellement minéralisable (N_0), en partant d'une hypothèse que la minéralisation de l'azote organique obéit à une cinétique de premier ordre formulée comme suit: $dN/dt = - Kt$,

où N : quantité d'azote potentiellement minéralisable,

t : temps de minéralisation en semaine,

K : Constante de vitesse de minéralisation.

Tableau 1. Principales caractéristiques physico-chimiques de la couche 0-20cm des sols étudiés

Paramètres	SOZ	SRB
Argile (%)	31.5	4.0
Limon (%)	46.0	5.3
Sable (%)	32.4	90.5
Humidité équivalente (%)	22.1	10.3
Matière organique (%)	1.86	0.98
Azote total (%)	0.092	0.051
Calcaire total (%)	11.1	0
Azote minéral (mg/Kg)	67.8	31.8
P ₂ O ₅ assimilable (mg/Kg)	69.3	13.6
K ₂ O assimilable (mg/Kg)	390.1	65.8
CE extrait 1/5 (mmhos/cm)	1.43	0.21
pH eau	8.2	7.1
Capacité d'échange: CEC	14.73	2.85

SOZ : Sol d'Ouarzazate de la vallée du Draâ
 SRB : Sol de Rabat de la zone côtière de Rabat
 CE : Conductivité électrique.

1-2- Essai sous serre

L'expérimentation a été conduite en pots de végétation sous serre. Le dispositif expérimental adopté consiste en un bloc aléatoire avec 6 traitements et trois répétitions. Les traitements appliqués sont: une fertilisation organique représentée par des doses croissantes de boues résiduelles (N0, N10, N20, N40, N60 tonnes/ha et une fertilisation minérale (FM) jugée optimale pour la culture (100 Kg N/ha, 100 unités de P₂O₅ et 100 unités de K₂O) (Malki A, 1988). La plante test choisie est le Ray-Gras d'Italie (R.G.I). C'est une graminée fourragère; caractérisée par un cycle long et par la possibilité de réaliser des coupes régulières pouvant servir aux dosages des teneurs en azote prélevé au cours du temps. Elle permet également de suivre la cinétique de libération de l'azote à partir des boues par voie de minéralisation. 30 graines ont été semées par pot. Après la levée, les pots sont éclaircis pour ne laisser que 20 plantules par pot. Durant la période d'expérimentation, les pots arrosés journalièrement pour ramener l'humidité du sol à 80 % de la capacité au champ. Le contrôle des pertes a été fait par

pesée directe des pots. Dans le but de suivre une cinétique de libération de l'azote, une coupe de la partie aérienne a été effectuée à la fin de chaque mois, soit au total 6 coupes. Le sol ainsi que les boues résiduaires ont été soumis à une caractérisation initiale. A chaque coupe, la matière sèche produite est déterminée après étuvage pendant 48 heures à 70°C. L'azote prélevé a été déterminé par la méthode Kjeldhal. A la dernière coupe, des échantillons de sol issus de tous les pots ont été prélevés et analysés.

2- Résultats & discussion

2-1- Caractérisation des boues résiduaires

Les boues résiduaires expérimentées proviennent du bassin anaérobie de la station d'épuration des eaux usées domestiques par lagunage naturel de la ville d'Ouarzazate, et sont épandues sur des lits de séchage avant d'être utilisées pendant une durée de 9 mois. Les principales caractéristiques de ces boues sont regroupées dans le tableau 2. Elles contiennent des quantités appréciables en éléments nutritifs comme l'azote, le phosphore, le potassium et des teneurs en métaux lourds acceptables comparées à celles des directives européennes (CEE, 1982). Donc, elles peuvent être utilisées comme amendement organique du fait qu'elles ne posent aucun problème lié à la contamination métallique des cultures et du sol.

Tableau.2. Caractéristiques des boues résiduaires

Paramètre	Teneur
pH extrait 1/10	6.86
CE extrait 1/10 (mmhos/cm)	0.76
CEC méq/100g MS	27.2
Corg. (% M.S)	19.3
M.O (% M.S)	38.6
NTK (% M.S)	1.47
P ₂ O ₅ (% M.S)	0.76
K ₂ O (% M.S)	0.28
MgO (% M.S)	1.26
CaO (% M.S)	6.71
Na (% M.S)	0.15
Fe (% M.S)	1.25
Al (% M.S)	1.24

Tableau.2. Caractéristiques des boues résiduaires (suite)

Paramètre	Teneur
N-NH ₄ ⁺ (mg Kg ⁻¹ MS)	313.0
N-NO ₃ ⁻ (mg Kg ⁻¹ MS)	51.0
Zn (mg Kg ⁻¹ MS)	1743.1
Cu (mg Kg ⁻¹ MS)	93.8
Ni (mg Kg ⁻¹ MS)	33.4
Co (mg Kg ⁻¹ MS)	17.4
Mn (mg Kg ⁻¹ MS)	224.9
Pb (mg Kg ⁻¹ MS)	172.1
Cd (mg Kg ⁻¹ MS)	2.6

2-2 Evolution de l'azote minéralisé au cours de l'incubation

Les courbes cumulées de minéralisation de l'azote en fonction du temps et sont rapportées dans les figures 1 et 2. Ces courbes peuvent être séparées en deux phases. La première phase d'une semaine, est caractérisée par une augmentation brutale durant la première semaine d'incubation appelée flush-effect ou surminéralisation. Ce flush est attribué principalement à la décomposition de l'azote organique labile dans les sols et les boues résiduaires apportées, facilement biodégradables entre 0 et 7 jours. Cette fraction labile est constituée essentiellement de cadavres des micro-organismes morts, résultant de la dessiccation dès que le sol se réhumidifie. Les quantités résultantes de cette surminéralisation varient de 37 à 122 Kg N/ha et de 54 à 149 Kg N/ha respectivement pour les sols SRB et SOZ.

Le pourcentage de minéralisation engendré par l'effet flush varie entre 17 et 27 % de l'azote minéralisé après 16 semaines d'incubation. D'autres chercheurs ont trouvé que ce taux varie entre 16 et 33 % (Lerch et al. (1992)) après 12 semaines d'incubation, 4-48 % après 16 semaines (Rayan et al.(1973)), 14 à 25 % après 13 semaines (Magdoff & Chromc (1977); 40-42 % après semaines (Epstein et al.(1978)). L'évaluation de ce flush est d'une grande importance dans les études de la fertilisation azotée. De même, il permet de déterminer l'azote susceptible d'être minéralisé au début de la campagne agricole.

L'analyse de la variance a révélé un effet significatif du type de sols et de la dose des boues résiduaires apportées. Après cette minéralisation explosive, une deuxième phase de minéralisation graduelle commence. Elle correspond à une réduction de l'intensité de l'activité biologique due à la diminution des quantités facilement biodégradables. Elle est

caractérisée par une production graduelle de l'azote minéral à partir d'une fraction d'azote organique plus ou moins humifiée en fonction du temps d'incubation.

La comparaison entre les deux courbes de minéralisation montre une production d'azote minéral plus importante dans le substrat sol + boues; ceci témoigne que les boues sont plus riches en azote organique facilement biodégradable que le sol seul.

Fig 1. Azote minéralisé cumulé (mg/Kg sol) en fonction du temps d'incubation (SRB)

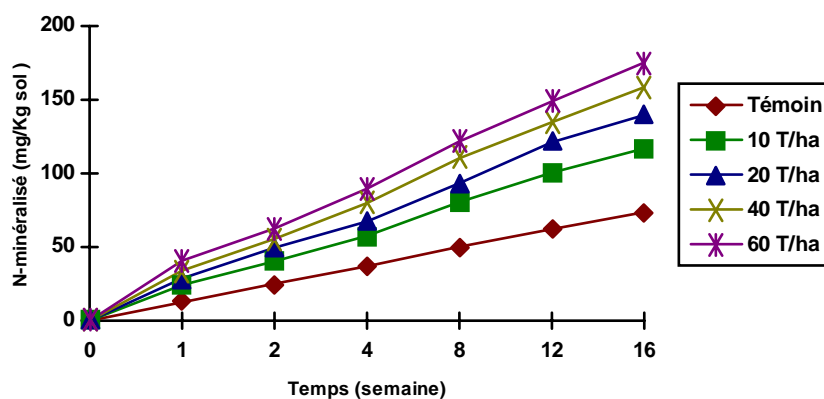
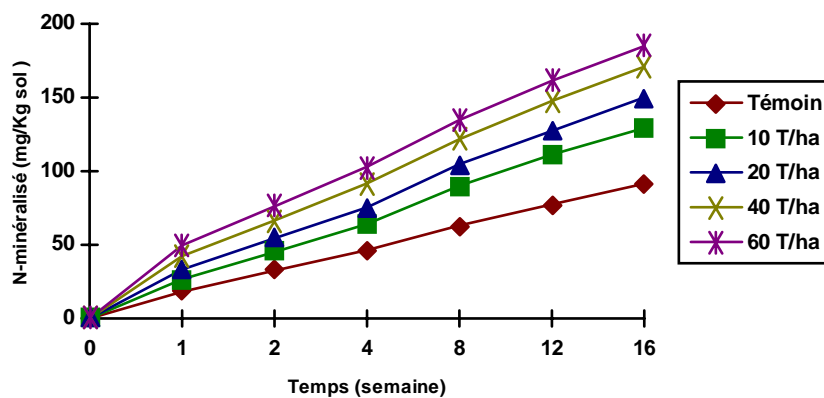


Fig 2. Azote minéralisé cumulé (mg/Kg sol) en fonction du temps d'incubation (SOZ)



En appliquant à nos données expérimentales, les méthodes de calcul proposées par Stanford & Smith (1972), les valeurs caractéristiques des cinétiques de minéralisation recherchées ont été déduites:

- les valeurs calculées de l'azote potentiellement minéralisable «No » se rangeaient entre 92 et 189 mg/Kg , ces valeurs sont comparables à celles trouvées par Lindemann & Cadenas (1984),
- les valeurs de No/Nt trouvées constituent une fraction importante des réserves organiques du sol et du sol amendé par les boues résiduaire, variant entre 11.6 à 23.8 %. Donc, elles peuvent contribuer à la libération d'une quantité d'azote minéral disponible pendant la période de croissance de la plante.
- les valeurs de la constante de vitesse de minéralisation K obtenues ont pris des valeurs allant de 0.070 à 0.181 sem⁻¹. Elles varient en fonction du type du sol et elle croit avec la dose des boues apportées.
- le rapport N₁/No varie entre 13.6 à 26.3 %, cette variabilité est due à la quantité d'azote produite durant la première semaine d'incubation.
- le taux apparent de minéralisation de l'azote organique des boues varie 25 à 57 % et de 28 à 74 % respectivement pour SOZ et SRB. Il est en moyen de 49.1 % durant la période d'incubation (16 semaines). Selon Lindemann & Cadenas (1984), il est de 28.4 %, 19.3 % et de 36.6 %, 24.1 % respectivement pour un sol argileux et un autre sol limono-sableux et pour deux doses de boues différentes (15 et 30T/ha). On constate qu'il y a diminution du taux apparent de minéralisation de l'azote organique malgré l'accroissement des doses des boues apportées, ceci pourrait être à une nitrification incomplète durant cette durée d'incubation (16 semaines) et aussi à des pertes d'azote par volatilisation, par dénitrification, par immobilisation ou fixation.

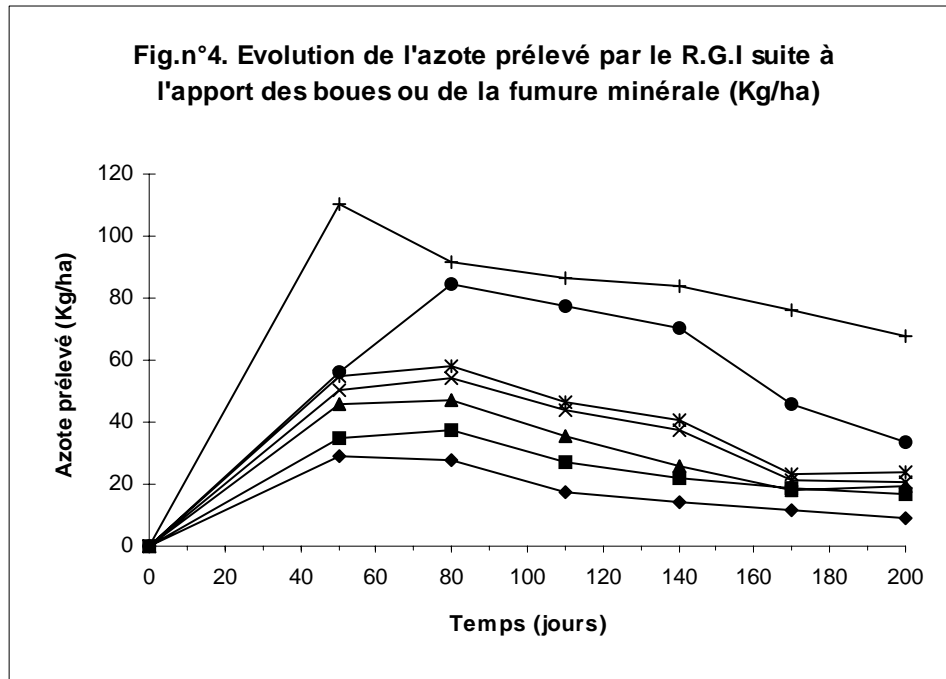
En conclusion, l'étude analytique de l'évolution de la minéralisation de l'azote organique des boues résiduaire et l'incidence des apports croissants en azote organique des boues résiduaire sur la minéralisation permet de tirer les conclusions suivantes :

- les boues résiduaire d'Ouarzazate constituent une source non négligeable en azote organique facilement minéralisable. Ceci à une conséquence positive certaine quand à son utilisation dans les sols.
- présence d'un effet flush de minéralisation durant la première semaine d'incubation.
- le taux apparent de minéralisation de l'azote organique des boues résiduaire est environ de 49.1 % durant la période d'incubation au laboratoire (16 semaines à 35°C).

2-3- Réponses du Ray Gras d'Italie aux différents apports des boues

2-3-1- Matière sèche produite

Les résultats relatifs à l'évolution du rendement en matière sèche produite par le R.G.I en fonction du temps sont rapportés dans les figures 3 et 4.



Ces courbes présentent deux phases: une phase quasi-linéaire du rendement en matière sèche produite par le R.G.I jusqu'à la 3^e coupe (110j), suivi d'une phase de. Cette dernière pourrait être coïncidé avec la phase de ralentissement de croissance du R.G.I.

On constate également que la production de matière sèche dans le cas du traitement minéral dépasse largement celle obtenue aux différentes doses d'apport des boues (Fig 5). Mais, malgré cette différence notable, les boues résiduelles par leurs valeurs fertilisantes minérale et organique présentent l'avantage d'améliorer les propriétés physiques du sol (Chahbouni, 1986; Bahri, 1988) et, elles ont un effet résiduel sur la culture le long de la campagne suivante.

L'analyse de la variance a montré que le sol, les différents apports de boues et de la fumure minérale, ont un effet hautement significatif sur la production de matière sèche de la partie aérienne, pour les différents traitements.

De ce fait, la comparaison des moyennes par le test de Newman et Kewls à 5% pour les rendements en matière sèche de la partie aérienne, a permis de faire les constatations suivantes:

- la différence entre les deux types de sols témoins est très marquée. Ceci peut être attribuée à la capacité de minéralisation de l'azote qui diffère d'un sol à l'autre. En effet, la production de matière sèche est très importante dans le sol SOZ, qui a un pouvoir minéralisateur important ($N_o = 107.6 \text{ mg/Kg}$) contrairement au sol SRB ($N_o = 92.5 \text{ mg/Kg}$);

- les deux types de sol n'ont pas répondu de la même façon à l'apport de boues.

- la fertilisation minérale a augmenté la production de matière sèche de manière significative par rapport aux différents traitements.

- les plus faibles rendements en matière sèche produite sont obtenus pour le témoin soit 5.10 et 4.50 T/ha de M.S, tandis que les plus élevés ont été obtenus dans le cas d'un apport d'une dose de boues résiduaires de 60 T/ha soit 15.06 et 13.53 T/ha de M.S respectivement pour SOZ et SRB.

- le classement général des groupes en terme de rendements moyens est le suivant: $FM > 60 > 40 > 30 > 20 > 15 > 10 > 5 > 0 \text{ T/ha}$.

- l'augmentation du rendement en matière sèche produite par le R.G.I, va de 40.6 à 241.8 % et 41.3 à 263.3 % respectivement pour le SOZ et celui de SRB. Elles augmentent de manière très marquée de la dose appliquée.

A dose constante de boues résiduaires appliquées, l'augmentation du rendement en matière sèche produite par le R.G.I dans le cas le cas du sol SOZ dépasse celui obtenu dans le sol SRB, on attribue ceci principalement à la différence du pouvoir minéralisateur du sol et également à la disponibilité de l'azote minéral présent dans le sol.

En conclusion, l'épandage des boues résiduaires a conduit à une augmentation de la matière sèche produite du R.G.I sous -serre par rapport au témoin. Ceci a été confirmé par de nombreuses études sur différentes cultures (Xanthoulis & al.1978; Lerch and al.1990; Michelin et al.1990).

Les figures 4 et 5 illustrent l'évolution des quantités d'azote exportées par le R.G.I en fonction des apports et du temps, pour les deux types de sol étudié. Ces courbes montrent également la présence de deux phases: une première phase d'exportation maximale coïncidant généralement avec une production de matière sèche maximale jusqu'à la 3^e coupe (110 j), qui peut être attribuée à l'augmentation de la quantité d'azote libérée par les boues au cours du temps. La deuxième phase est caractérisée par un ralentissement des exportations et coïncide avec la

phase de croissance lente, ceci peut être expliqué par une baisse de la capacité du R.G.I à prélever l'azote.

Pour les différents traitements, les résultats obtenus montrent une augmentation très importante des exportations en azote par rapport au témoin (sans apport), au cours du temps. Comparativement à la production de matière sèche, l'analyse globale de la variance a montré que le type de sol et la dose de boues ont un effet hautement significatif sur la teneur en azote exportée. Donc, le R.G.I a répondu aux différentes doses d'apport par l'augmentation de sa teneur en azote exportée par rapport au témoin (fig.6).

De ce fait, la comparaison des moyennes des quantités d'azote pour les différentes doses apportées (les deux sols confondus) par le test de Newman et Keuls à 5 %, a permis de faire les constatations suivantes :

- * il y a une différence significative de réponse du R.G.I;
- il y a présence de différents groupes;
- l'apport d'azote de ces boues, pour toutes les doses, a augmenté les exportations;
- au niveau de chaque type de sol, l'apport de la fumure minérale a un effet hautement significatif sur la quantité d'azote exportée par la partie aérienne du R.G.I, par rapport à l'apport des boues.
- le classement général des groupes en terme d'exportations d'azote est le suivant :

$$FM > 60 > 40 > 30 > 20 > 15 > 10 > 5 > 0 \text{ T/ha}$$
- le taux de minéralisation varie entre 36.6 et 69.3 %, il est en moyen de 49.4 % pendant la période d'expérimentation (200j). Donc, on peut dire que le taux de minéralisation de l'azote organique contenu dans les boues est très variable. Il dépend de la teneur en azote organique, minéral, de l'azote facilement et potentiellement minéralisable par les boues résiduaires, du mode d'épandage et des conditions du milieu (température, pH,...). Ceci est confirmé par de nombreux chercheurs que, la proportion d'azote organique qui se minéralise durant la première année après épandage, a été estimée à 15 % par Kenney (1975), à 20 % par Pratt (1973), Sims and al.(1980), à 35 % par Sommers (1976) et de 8 à 40 % en fonction de la nature des boues (Parker and Sommers,1983).
- le coefficient apparent d'utilisation de l'azote(C.A.U) par le R.G.I est nettement plus faible pour les pots fertilisés par les boues (21.0 % à 58.1 %) par rapport aux pots fertilisés par de l'azote minéral (67.9 % à 75.6 %). Il est en moyen de 28.6 % pour les pots fertilisés par les boues résiduaires, par contre, il est de 71.7 % pour les pots fertilisés par la fumure minérale durant la durée d'expérimentation (200 jours). Les quantités d'azote prélevées différent d'un sol

à l'autre et d'une dose à l'autre. Ceci pourrait être due principalement à la présence d'une importante quantité d'azote organique dans les boues d'une part, et peut être du également aux pertes par lessivage ou par réorganisation de l'azote minéral, d'autre part.

De même, il semble difficile de faire la part entre l'azote provenant réellement de l'azote minéral des boues et celui issu de la minéralisation de l'azote organique des boues. Donc, la plante a puisé l'azote minéral du sol qui résulte de la minéralisation.

2.4 -Effets résiduels des produits d'amendement

L'effet résultant de l'apport de boue et la fumure minérale sur le rendement en matière sèche et sur les exportations d'azote du R.G.I, ont été étudiés sur une période de 200 jours. Cette période sépare l'état initial avant apport, et l'état final, après enlèvement du R.G.I.

Les résultats d'analyses des échantillons du sol après la 6^e coupe du Ray Gras d'Italie sont rapportés dans le tableau 6, nous remarquons que :

- le taux de matière organique dans le sol recevant les boues, varie en fonction de la dose apportée. Il varie de 1.97 à 2.28 % et de 1.07 % à 1.31 % respectivement pour le dose 10 T/ha et 60T/ha pour le SOZ et le SRB. Dans tous les cas, nous observons un accroissement du taux de matière organique par rapport à l'état initial.

- Le sol non enrichi (témoin) a connu une diminution du taux de matière organique grâce à une activité microbienne importante, le taux de diminution est de 13.4 % , tandis que la fertilisation minérale a montré également une légère diminution de l'ordre de 4 % du taux de MO dans le sol.

- Le pH a subi une légère augmentation dans le sol après l'apport des boues.

3- CONCLUSION

Les résultats exposés durant cet essai, ont permis de montrer :

- le Ray-Gras d'Italie a répondu positivement aux différentes doses d'apport des boues résiduelles de la station d'épuration des eaux usées d'Ouarzazate. En effet, l'épandage de ces boues s'est traduit par une augmentation du rendement en matière sèche et de la teneur en azote exportée.

- des différences hautement significatives en terme de matière sèche produite par le R.G.I. ont été observées entre les différentes doses de boues apportées. Ceci peut être expliqué par une

différence de la cinétique de minéralisation et de décomposition des boues incorporées dans le sol.

- les quantités d'azote minéralisées des sols ont fourni des meilleures corrélations avec les rendements relatifs et les prélèvements de l'azote par le Ray-Gras en condition sous serre.

- l'apport des boues a permis d'accroître le taux de matière organique, la teneur en azote minéral, le pH et la conductivité électrique du sol après récolte. En plus, elles constituent une réserve importante en carbone et en azote pour les micro-organismes, ce qui induit une activation biologique du sol et elles conduisent également à l'amélioration des propriétés physiques car elles permettent une amélioration de la stabilité du sol (Page et al.,1983; Wei et al.,1985) pour assurer et maintenir la fertilité

Cet essai nous a permis également de mettre en évidence par le biais d'une méthode simple de minéralisation, que l'application des boues a stimulé la minéralisation de l'azote. Le taux apparent de décomposition des boues varie entre 26 et 98 % de l'azote organique de boues apporté. Ce taux moyen obtenu sous-serre est de 49.4 % pendant une durée de 200 jours d'expérimentation.

4- Références citées

Bahri A (1988) Utilisation des eaux usées et des boues résiduaires en agriculture- Séminaire Maghrébin sur la réutilisation des eaux usées après traitement en agriculture. 23-26 Avril 1986- Tunis,19p.

Chahbouni Z (1986) Caractéristiques physiques des sols et leur évolution sous l'effet d'eaux usées traitées et des boues résiduaires- Cas de station de la Skoura et Oued Souhil, Séminaire maghrébin sur la réutilisation des eaux usées après traitement en agriculture,23-26 Avril 1986, Tunis, 26p.

Février D (1979) Les boues de stations d'épuration. Leur utilisation agricole dans le Pas-de-Calais. Agence de Bassin Artois-Picardie, Chambre d'Agriculture,101p.

Gabteni N. & Gallali T (1988) Etude expérimentale des interactions entre éléments métalliques et la minéralisation de la matière organique d'une boue résiduaire ajoutée à un sol. Cah.ORSTOM, sér. Pédol., vol.XXIV, n°3, 1988 :255-261.

Keeney D.R.; K.W.Lee and L.M.Walsh (1975) Guidelines for the Application of Wastewater Sludge to Agricultural Land in wiscosin. Bull.88 Wiscosin DNR, Madison WI.

- Lerch R.N.; K.A.Barbarick; D.G.Westfall; R.H.Follett; T.M.Mc Bride and W.F. Owenv (1990)** Sustainable Rates of Sewage Sludge for Dryland Winter Wheat Production. I. Soil Nitrogen and Heavy Metals. *J. Prod. Agric.* 3:60-65.
- Lerch R.N.; K.A.Barbarick; D.G.Westfall; R.H.Follett; T.M.Mc Bride and W.F. Owenv (1990)** Sustainable Rates of Sewage Sludge for Dryland Winter Wheat Production. II. Production and Income. *J. Prod. Agric.* 3:66-71.
- Lerch R.N.; K.A.Barbarick; L.E.Sommers and D.G.Westfall (1992)** Sewage Sludge Proteins as Labile and Nitrogen Sources. In *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:1470-1476.
- Michelin J. & Bourgeois S (1990)** Conséquences de la valorisation des boues liquides de station d'épuration urbaine dans la fertilisation azotée. Nitrate-Agriculture-Eaux-International Symposium-Paris INRA, 7-8 Novembre 1990. p487-492.
- Parker C.F. & L.E.Sommers (1983)** Mineralization of Nitrogen in Sewage Sludges. *J. Environ. Qual.* 12: 150-156.
- Sims J.T (1980)** Nitrogen Mineralization and Elemental Availability in Soils Amended with Co-composted Sewage Sludge. In *J. Environ. Qual.* 19: 669-675.
- Sommers L.E. & D.W. Neilson (1976)** Analyses and their interpretation for sludges and Wastewaters on Agricultural Land B.D. Knezek and R.H. Miller (eds) *Ohio Agric. Res. et Dev. Centre Res. Bull.* 1090 pp2.1-2.7.
- Wei Q.F., B.Lowery and A.E.Peterson (1985)** Effect of Sludge Application on Physical Properties of a Silty Clay Loam Soil. *J. Environ. Qual.* 14: 178-180.
- Xanthoulis D. & A.Falisse (1978)** Utilisation des boues résiduaires en grandes cultures. *Annales de Gembloux-1978.* 84: 101-109.
- Epstein E. ; D.B. Keane; J.J. Meisinger and J.O.Legg (1978)** Mineralization of Nitrogen from Sewage Sludge and Sludge Compost . *J. Environ. Qual.* 7: 217-221.
- Lerch R.N; K.A.Barbarick; D.G.Westfall; R.H.Follett; T.M.Mc Bride and W.F.Owenv(1990)** Sustainable Rates of Sewage Sludge for DryLand Winter Wheat Production. I. Soil Nitrogen and Heavy Metals. *J. Prod. Agric.* 3 : 60-65.
- Lerch R.N; K.A.Barbarick; L.E. Sommers and D.G.Westfall(1992)** Sewage Sludge Proteins as Labile and Nitrogen Sources. in *Soil Sci.Soc.Am.J.* 56 : 1470-1476.
- Lindemann W.C. and M.Cardenas(1984)** Nitrogen Mineralization Potential and Nitrogen Transformations of Sludge-Amended Soil. *Soil Sci.Soc.Am.J.* 48 : 1072-1077.

- Magdoff F.R & F.W.Chromc(1977)** Nitrogen Mineralization from Sewage Sludge. J.Environ.Sci.Health A12 : 191-201.
- Stanford G.; & S.J.Smith (1972)** Nitrogen Mineralization Potentials of Soils. Soil Sci. Am. Proc. 35 : 465-472.
- Sommers L.E(1977)** Chemical Composition of Sewage Sludges and Analysis of their Potential use as Fertilzers.J.Environ.Qual.Vol.6, n° 2, p.225-232.
- Sommers L.E.; D.W.Nelson and D.J.Silviera(1979)** Transformations of Carbon, Nitrogen, and Metals in Soils treated with Waste Materials.J.Environ.Qual.8 : 287-297.
- Ryan J.A.; D.R.Keeney and Walsh L.M (1975)** Nitrogen Transformations and Availability of an Anaerobically Digested Sewage Sludge in Soil.J.Environ.Qual.Vol.2., n°2, February 1975.