



Effet de la décomposition des résidus de sulla (*Hedysarum coronarium L.*) sur l'évolution des caractéristiques chimiques de deux types de sol en climat aride Tunisien (Decomposition's Effect of sulla residues (*Hedysarum coronarium L.*) on the chemical evolution characteristics of two soil's types under Tunisian arid climate)

Khédiya Bouajila*, Faysal Ben Jeddi, Mustapha Sanaa

Département des Sciences de Production végétale de l'Institut National Agronomique de Tunisie (INAT),
Université de Carthage. Adresse: 43, Avenue Charles Nicolle-Tunis- Mahrajène TUNISIE.

Received 28 Oct 2013, Revised 27 Nov 2013, Accepted 30 Nov 2013

* Corresponding author: Bouajila khédiya, Email: bouajilakhediya@yahoo.com; Tél: +21699418029

Abstract

To investigate the potential of crop residues sulla (*Hedysarum coronarium L.*) variety Bikra 21, soil fertilization, the effect of its decomposition on the evolution of the chemical characteristics of clay and sandy soils of Tunisia was evaluated by tracking incubation jars under natural conditions. The incubation was carried out under aerobic conditions and at a constant temperature of 28 °c during 90 days with moisture adjusted to 2/3 Θcc. Carbon mineralization through the CO₂ released and the evolution of chemical soil parameters were observed at regular dates. Sulla residues and soil texture influenced significantly (P <0.05) carbon mineralization and chemical soil parameters (cation exchange capacity CEC, the sum of exchangeable bases, the saturation levels bases TSB), with higher for clay soils (CEC =9.90 méq/ 100 g ; the sum of exchangeable bases = 10.43 méq/ 100 g ;TSB=76 %) than in sandy soils values. The study showed that the residues of the Fabaceae (sulla) are a source of organic matter that could be used in the fertilization of degraded soils Tunisia.

Keywords: Crop residues, animal manure, incubations, Tunisian soil.

Résumé

Pour étudier le potentiel des résidus de culture de sulla (*Hedysarum coronarium L.*), variété Bikra 21, dans la fertilisation des sols, l'effet de leur décomposition sur l'évolution des caractéristiques chimiques de deux types de sol: argileux et sableux sous climat aride de la Tunisie a été évalué par un suivi en bocaux d'incubation dans des conditions naturelles. L'incubation a été réalisée en aérobie à une température constante de 28 °c pendant 90 jours avec une humidité ajustée à 2/3 de la capacité au champ. La minéralisation du carbone à travers le CO₂ dégagé et l'évolution des paramètres chimiques des sols ont été observées à des dates régulières. L'étude a montré que les résidus de sulla et la texture du sol ont influencé significativement (P<0.05) la minéralisation du carbone et les paramètres chimiques des sols (capacité d'échange cationique CEC, les sommes des bases échangeables, les taux de saturation en bases TSB), avec des valeurs plus élevées pour les sols argileux (CEC = 9.90 méq/ 100 g ; Base échangeable= 10.43 méq/ 100 g ; TSB=76 %) comparativement aux sols sablonneux. De fait, les résidus de cette fabacée (sulla) constituent une source de matière organique qui pourrait être utilisées dans la fertilisation des sols dégradés de la Tunisie.

Mots-clés : Résidus de culture, fumier de ferme, incubations, sols tunisiens.

Introduction

En Tunisie, pays méditerranéen majoritairement à climat semi-aride, les réserves organiques des sols ont subi plusieurs transformations sous la contrainte de changement d'usage des sols et de l'intensification de l'utilisation des ressources naturelles [1]. Ainsi, les systèmes de culture actuels basés largement sur la

monoculture, ont accentué l'érosion des terres marneuses les plus fragiles et ont contribué à leur appauvrissement en matière organique; affaiblissant leur fertilité et augmentant leur sensibilité aux irrégularités climatiques [2].

Les sols de culture de la Tunisie présentent des teneurs en matière organique très faibles dépassant rarement 1% [3] avec des propriétés physicochimiques médiocres. En plus d'une restitution très faible de résidus de cultures et de faible utilisation des amendements organiques, le travail du sol, l'utilisation de diverses sortes de fertilisants minéraux et l'irrigation des terres ont contribué à augmenter les vitesses de minéralisation des matières organiques du sol provoquant aussi bien une dilution de la matière organique et une accélération du processus fermentaire. En effet, chaque année l'équivalent de 5000 à 10000 ha de terre sont perdus [1].

Outre, les problèmes écologiques et environnementaux qu'elle cause, la fertilisation minérale seule ne permet pas de maintenir la fertilité des sols [4]. Son utilisation exclusive entraîne une augmentation de l'acidité, une dégradation du statut physique et une baisse de la matière organique du sol [5].

Dans un tel contexte, la fertilisation organique devrait constituer une solution appropriée pour la restauration de la fertilité des sols. De nombreux travaux ont montré que les amendements jouent un rôle important sur diverses propriétés biologiques et physico-chimiques des sols, ce qui permet de justifier leur utilisation ([6], [7-9]). Ayanlaja et al. (1991) [10] ont montré que la décomposition des résidus végétaux permet d'améliorer considérablement le niveau des nutriments et de la matière organique dans les sols.

Ben Jeddi, (2005) [2] a montré que l'introduction de cultures fourragères, en particulier des fabacées, dans les systèmes de culture permet une production de matières organique et azotée qui restent dans le sol à la fin du cycle cultural. Le sulla (*Hedysarum coronarium L.*) est une fabacée fourragère bisannuelle à pérenne, endémique des sols argilo-calcaires de la région semi-aride du bassin méditerranéen [11]. Cette espèce est appréciée pour son fourrage de qualité mais intervient aussi dans la réduction de l'érosion hydrique des sols en pente [12]. Le sulla contribue de même à l'amélioration du rendement, et qualité des céréales [2] et joue un rôle floristique et agronomique fondamental dans l'amélioration de la fixation biologique et la fertilité organo-chimique du sol ([13-15]).

L'étude a été réalisée dans des conditions contrôlés au laboratoire avec sur des sols tunisiens dégradés argileux et sableux en vue d'évaluer l'intérêt de l'utilisation des résidus de cultures Sulla du nord (*Hedysarum coronarium L.*) dans une perspective de gestion durable de la fertilité des sols. De façon plus spécifique, la décomposition des résidus de sulla, à travers la minéralisation du carbone, et leurs effets sur l'évolution des caractéristiques chimiques des sols argileux et sableux de la Tunisie, ont été étudiés en fonction des quantités apportées et de la texture du sol.

2. Materials and methods

2. Matériel et méthodes

2.1. Sols utilisés

L'expérience a porté sur des horizons de surface (0- 30cm) de deux sols non cultivés évoluant dans des conditions pédoclimatiques différentes : Un sol de type peu évolué d'apport alluvial hydrique à caractère vertique (CPCS 1967[16]- FLUVIOSOL vertique (référentiel pédologique-AFES, 2009[17]) - *Vertic Xero Fluvent (Soil Taxonomy)*). Il représente environ 50% des terres cultivées dans le Nord de la dorsale tunisienne [6], soit plus d'un million d'hectares. C'est un sol profond à profil homogène de type A/C de texture argileuse (Arg) dont les principales caractéristiques physico-chimiques avant la conduite de l'expérimentation, sont présentées dans le tableau 1. Le prélèvement d'échantillon en ce type de sol a été effectué dans une parcelle expérimentale de l'Institut National Agronomique de la Tunisie (INAT), située dans la région de Mornag (36° 41 N 10° 19 E), 20 km au sud de Tunis situé au Nord de la Tunisie. Le climat est de type semi-aride supérieur à hiver doux. Il se caractérise par une distribution irrégulière des précipitations durant toute l'année avec une moyenne annuelle de 500 mm. La température moyenne annuelle est de 18°C. Le deuxième sol est peu évolué surtout des sols loessiques (*Regosols*) : des loess à texture limono-sableuse (Sab), la profondeur des loess est variable, elle peut atteindre à certains endroits une dizaine de mètres, en général ce sont des sols profonds [18,19].

Le prélèvement d'échantillon en ce type de sol a été effectué dans une parcelle expérimentale, situé à la région de Ksar Jouamaa - Béni Khédache (33°15'03" N 10°13'47" E), appartenant au gouvernorat de Médenine situé au sud-est de la Tunisie. Le climat de ce site est de type aride inférieur à hiver généralement doux.

Il se caractérise par une distribution irrégulière des précipitations durant toute l'année avec une moyenne annuelle varie entre 130 et 190 mm. La température moyenne annuelle est de 19.3°C.

Les échantillons des sols ont été tamisés à 2mm. Les caractéristiques physico-chimiques des sols utilisés ont été déterminées au Laboratoire d'Eremologie et Lutte Contre la Désertification de l'Institut des Régions Arides Médenine/ Tunisie, et sont présentées dans le tableau 1.

2.1.1. Méthodes d'analyses physico-chimiques

La granulométrie a été réalisée par la méthode de sédimentation (pipette de Robinson). Le pH a été mesuré par la méthode électrométrique avec un rapport terre/eau de 1/ 2.5. La conductivité électrique (CE) a été mesurée dans une suspension de sol et d'eau de rapport 1/ 5. La méthode à l'acétate d'ammonium 1 M à pH 7 [20] a été utilisée pour déterminer la capacité d'échange des cations (CEC) et les teneurs en bases échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ et Na^+). Ces derniers ont été dosés respectivement par un spectrophotomètre et un photomètre à flamme Le carbone organique total a été déterminé selon la méthode de Walkley-Black (1934) [21] et l'azote organique total (NT) a été mesuré par la méthode kjeldhal.

2.2. Le produit organique

L'échantillonnage des résidus de sulla a été effectué à l'été 2009 sur des parcelles de la ferme expérimentale de l'INAT à Mornag (Gouvernorat de Ben Arous). Les résidus (racine et paille ou fanes) sont représentés pour un mélange homogène de cinq échantillons ramassés chacun à partir de quatre parcelles correspondantes. Les résidus de sulla utilisés ont été séchés à l'air libre pendant sept jours, ensuite finement broyés et tamisés ($\phi < 2$ mm) avant leur utilisation dans cette étude. Les caractéristiques chimiques des broyats de ces amendements utilisés ont été déterminées au Laboratoire de Production Animale de l'Institut des Régions Arides de Médenine/Tunisie et consignées dans le tableau 2.

2.3. Incubations des mélanges

L'essai d'incubation a été conduit au Laboratoire d'Eremologie et Lutte Contre la Désertification de l'Institut des Régions Arides Médenine/ Tunisie. La méthode a été basée sur celles utilisées par [22] Abiven (2004) et Annabi (2005) [23]. Les incubations, en conditions contrôlées, ont été réalisées dans des bocaux de 1 litre, fermés hermétiquement, à une humidité proche de la capacité au champ ($2/3 \theta_{cc}$) et à une température constante

($28^\circ\text{C} \pm 2$) dans l'obscurité. Les différentes quantités de broyats de résidus de sulla de 0.115 g ; 0.345 g équivalents à 5 t ha^{-1} (D5) et 15 t ha^{-1} (D15) ont été apportées 100 g de sol sec limono-argileux de Mornag ($d_a = 1.45$) situé au Nord de la Tunisie et des quantités de 0.159 g ; 0.476 g équivalents à 5 t ha^{-1} et 15 t ha^{-1} ont été apportées 100 g de sol sec limono-sablonneux de Benikhdech ($d_a = 1.05$) situé au sud de la Tunisie. Ces traitements ont été comparés à un témoin non amendé (D0) pour chacun des deux sols tunisiens de textures différentes. Pour chaque traitement, trois répétitions ont été réalisées.

L'atmosphère dans les bocaux a été renouvelée à chaque date de mesure de minéralisation du carbone, afin de maintenir les sols dans des conditions d'aérobic. L'humidité a été contrôlée constamment par pesée et ajustée au besoin. L'essai a comporté 20 durées d'incubation différentes pour le suivi de la minéralisation et 6 durées pour le suivi des paramètres chimiques du sol.

2.4. Mesures de la minéralisation du carbone

La minéralisation du Carbone C a été mesurée par piégeage du CO_2 dans la soude [24]. Les quantités (Q en mg C.kg^{-1}) ont été calculées sur la base de 1 ml de HCl 0.1 M équivalent à 2.2 mg de CO_2 à l'aide de la formule suivante [20] :

$$Q = [(V_{bl} - V_{éch}) \times 2.2 \times 1000] / 100.$$

Où V_{bl} = volume moyen de HCl utilisé pour le contrôle, $V_{éch}$ = volume de HCl utilisé pour l'échantillon et 100 = poids de sol en g.

Le taux de minéralisation du carbone a été calculé et équivaut au ratio de la quantité du carbone minéralisé sur la quantité totale du carbone du sol (celle du sol augmentée de celle apportée).

2.5. Analyse statistique des données

Les données recueillies ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) à l'aide du logiciel SPSS (version 20). Le test de Newman-Keuls a été utilisé pour la comparaison des moyennes lorsque des différences significatives entre les traitements ont été révélées au seuil de probabilité de 5 %.

3. Résultats et discussion

3.1. Caractéristiques initiales des sols

Les caractéristiques des sols utilisés montrent que la teneur en argile du sol de Mornag (36.70 %) est plus élevée que celle du sol de Beni khdach (6.45 %) (Tableau 1). Mais ces deux sols sont des sols basiques (pH > 8) avec des faibles teneurs en C organique (< 1 %) et en N total (< 0.2 %), des CEC inférieur à 15 meq/100 g du sol sablonneux Benikhdech et compris entre 5 et 50 meq/100 g du sol argileux de Mornag. En ce qui concerne les sommes des bases échangeables similaires sont inférieures à 15 méq/ 100g pour les deux types des sols. Par contre, les taux de saturation en bases s'élèvent à 54.9 (Tableau 1).

Tableau 1. Caractéristiques principales des deux sols, tunisiens de la région de Mornag et la région de Beni khedach (prélevés sur une profondeur située entre 0 – 30 cm).

Sol	Mornag (Nord-Tunisie)	Beni khedach (Sud-Tunisie)
Conditions climatiques	Semi-aride supérieur	Aride inferieur
Origine	sol peu évolué, profond	sol peu évolué, profond
Contexte d'alluvion	non climatique,vertique	sol <i>læssique</i> (Regosols)
Pédologique : Texture Structure	Limono- Argileux polyédrique subangulaire	Limono- Sablonneux polyédrique subangulaire
Granulométrie :		
Argile <2 µm (A en %)	36.70± 3.8	6.45± 0.8
Limons totaux, 2-50 µm (L en %)	38.72± 0.7	14.32± 1.8
Sables totaux 50-2000 µm (S en %)	14.61± 1.5	79.81± 1.4
Densité apparente (da)	1.45± 0.2	1.45± 0.2
pH	8.50± 0.4	8.11± 0.2
Matière organique :		
Carbone (C en %)	0.88± 0.15	0.37± 0.4
Azote (N en %)	0.17± 0.02	0.09± 0.03
Rapport C/N	5.09± 3.8	3.1± 2.5
Complexe adsorbant :		
Capacité d'échange cationique (CEC en meq/100g)	24.50 ± 7.1	11.33 ± 1.2
Somme des bases échangeables (SB en meq/100g)	13.40 ± 0.78	4.16 ± 1.4
Taux de saturation	54.69 ± 7.8	36.72 ± 9.0

3.2. Caractéristiques chimiques des produits organiques

Les broyats Sulla Bikra 21 ont présenté un rapport C/N de 48.04 et leur composition chimique, déterminée à partir de la matière sèche, a indiqué une teneur en potassium (1.54 %), des teneurs en calcium et en magnésium et en sodium s'élevant respectivement à 1.34 % et 0.32 % et 0.07% (Tableau 2).

Tableau2. Spécificités chimiques des résidus de Sulla Bikra21

Produit	Sulla
COT%	44.07
NT%	0.95
C/N	48.04
P(%)	0.26
K (%)	1.54
Ca (%)	1.34
Mg (%)	0.32
Na (%)	0.05

Les teneurs en éléments sont données en pourcentage de matière sèche (MS).

3.3. Minéralisation du carbone organique

Les taux de minéralisation du carbone, présentés à la figure 1, ont été significativement différents. Les résidus du sulla Bikra 21 ont influencé de façon significative ($p < 0.05$); ces taux qui ont été plus élevés avec la dose

D15 qu'avec la dose D5, soit 56.4 % pour Mornag (D15) et 36 % pour Benikhdech (D15) contre 45.1 % pour Mornag (D5) et 30 % pour Benikhdech (D15). L'apport des résidus du sulla Bikra 21 entraîne donc une augmentation du taux de minéralisation du carbone du sol et ce, d'autant plus avec la forte dose. L'effet significatif de la texture ($p < 0.05$) apparaît avec les sols non amendés où le taux de minéralisation du sol argileux de Mornag (9.6 % COT) a été, de façon significative, plus élevé que celui du sol sableux de Benikhdech (6.4 % COT).

Les résidus de culture de sulla (*Hedysarum coronarium* L.) ont permis un accroissement de la minéralisation du carbone organique dans les sols dégradés de la Tunisie. Cet accroissement a été aussi mis en évidence dans de nombreuses études ([2], [6], [15], [25], [23]). Il est dû à l'augmentation du carbone labile par l'apport des résidus de sulla, matière organique exogène, support énergétique principal des micro-organismes [26]. Jenkinson (1977) [27] avait déjà montré que l'apport de composés organiques a une action stimulante sur la décomposition des matières organiques préexistantes dans le sol.

Sans apport de résidus du sulla Bikra 21, les micro-organismes ont donc été plus actifs dans le sol argileux de Mornag (D0) que dans le sol sableux de Benikhdech (D0). Ce qui prouve que l'effet de la texture a été significatif sur les taux de minéralisation du carbone en absence des résidus de culture de sulla (*Hedysarum coronarium* L.). Ces taux, qui traduisent l'efficacité des micro-organismes, ont été plus élevés dans les sols argileux du fait de l'effet de l'argile dans la décomposition des matières organiques. Cet effet a été profondément étudié ([6, 28-30]). Les processus microbiens se déroulant en grande partie à la surface des particules [31], la teneur de 36 % d'argile aurait créé un contexte favorable à l'activité microbienne, grâce au pouvoir de rétention de l'eau et l'effet protecteur de l'argile [32] sur la biomasse microbienne [33].

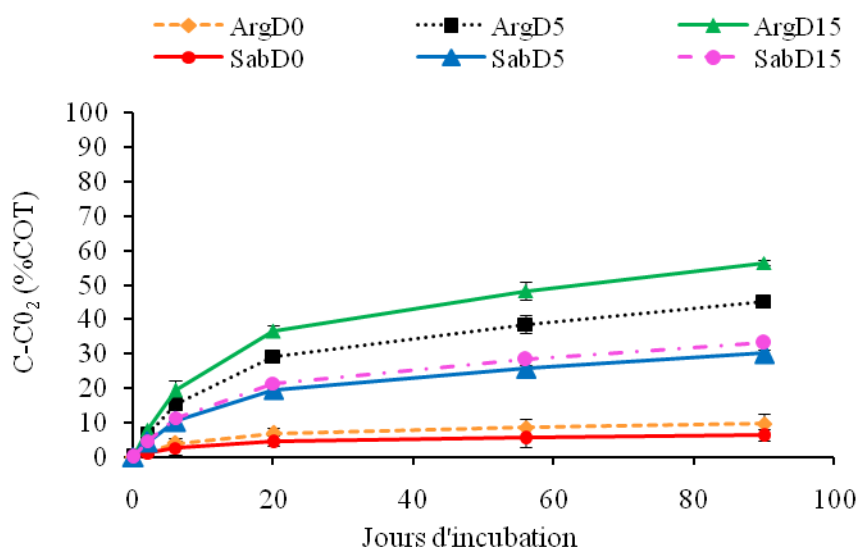


Figure 1. Évolution des taux de minéralisation du carbone en fonction des traitements et du temps d'incubation pour les sols argileux de Mornag et sabloneux de Benikhdech.

ArgD0 : sol argileux sans amendement; ArgD5 : sol argileux + 0.115 g de résidus de sulla Bikra21 ; ArgD15 : sol argileux + 0.345 g de résidus de sulla Bikra21; SabD0 : sol sableux sans amendement ; SabD5 : sol sableux + 0.159g de résidus de sulla Bikra21; SabD15 : sol sableux + 0.476 g de résidus de sulla Bikra21.

3.4. Évolution des paramètres chimiques des sols

3.4.1. Évolution des CEC.

Les CEC des sols amendés ont été supérieures à celles des témoins de façon significative ($p < 0.05$), Figure 2. Sur les sols amendés, l'augmentation des CEC a varié selon la dose appliquée, elle a été de + 2.67 à + 5.50 méq/ 100 g des sols avec D5 et de + 6.86 à + 9.90 méq/ 100 g des sols avec D15. Les résidus de sulla Bikra 21 ont donc amélioré de façon positive les CEC et plus la quantité apportée a été élevée, plus l'amélioration a été importante.

L'effet significatif de la texture sur l'évolution des CEC a été également révélé ($p < 0.05$). Les CEC des sols argileux ont été supérieures à celles des sols sableux tout au long des incubations (Figure 2).

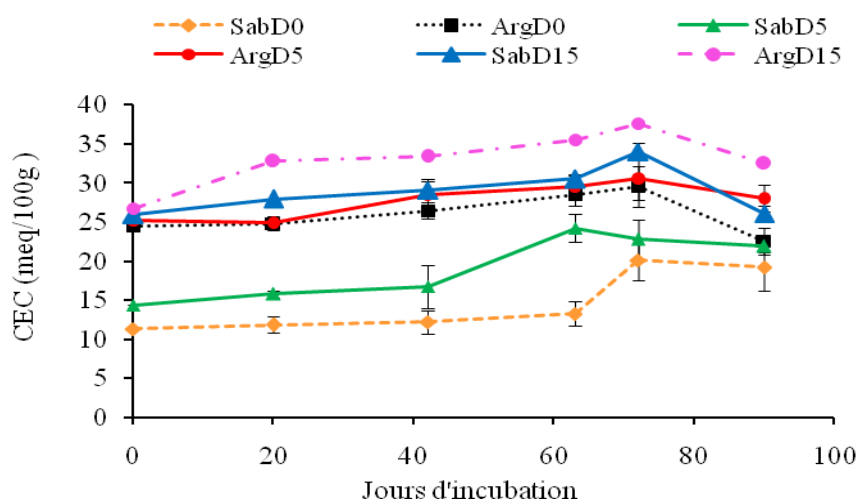


Figure 2. Évolution des CEC en fonction des traitements et du temps d'incubation. Pour l'explication des types de sol, voir figure 1.

3.4.2. Évolution des sommes des bases échangeables.

Les sommes des bases échangeables ont été significativement différentes sous l'effet des doses à toutes les dates de mesure ($p < 0.05$). Elles ont été accrues sur les sols amendés comparativement aux témoins (Figure 3). La dose D15 a permis un accroissement de + 4.77 à + 10.43 méq/ 100 g plus élevé que celui de la dose D5 (+ 1.78 à + 4.55 méq/ 100 g).

La texture du sol a aussi influencé significativement l'évolution des sommes des bases échangeables au cours des incubations ($p < 0.05$). Les sommes des bases échangeables des sols argileux ont été supérieures à celles des sols sableux tout au long des incubations. Les résidus de sulla Bikra 21 ont donc amélioré de façon positive les sommes des bases échangeables dans les deux sols testés. Les résultats les plus importantes ont été obtenus avec le sol Argileux de Mornag.

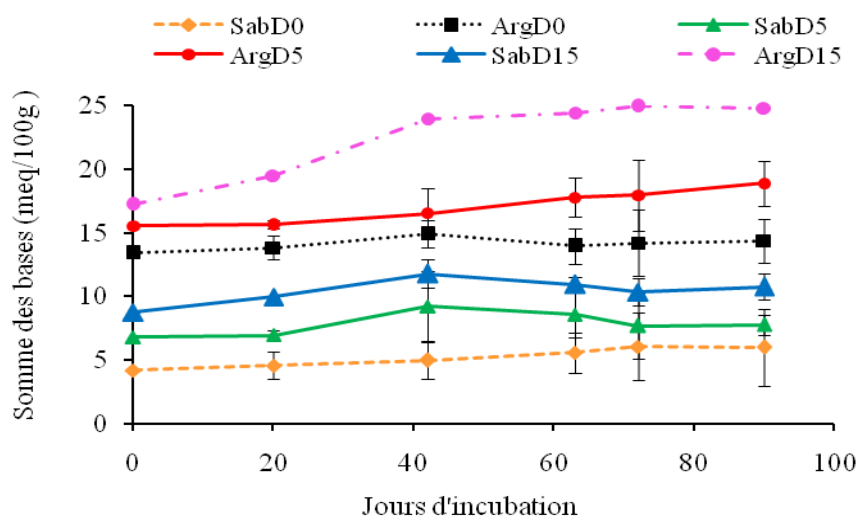


Figure 3. Évolution des sommes de bases échangeables en fonction des traitements et du temps d'incubation. Pour l'explication des types de sol, voir figure 1.

3.4.3. Évolution des taux de saturation en bases.

Des différences significatives ont été révélées entre les taux de saturation en bases (TSB) présentés à la figure 4, sous l'effet des résidus de sulla Bikra 21 ($p < 0.05$). Les TSB des témoins ont été plus faibles que ceux des sols amendés, ceux obtenus avec la dose D15 (41 à 76 %) ont été plus élevés que ceux obtenus avec la dose D5 (35 à 67 %). Ceci dénote un accroissement des TSB des sols avec l'apport des résidus de sulla Bikra 21 en fonction des doses appliquées.

L'évolution des TSB des sols a été également influencée par la texture du sol. Les TSB des sols argileux ont été significativement supérieur à ceux des sols sableux ($p < 0.05$), tout au long des incubations pour les sols non amendés et au début des incubations pour les sols amendés (Figure 4).

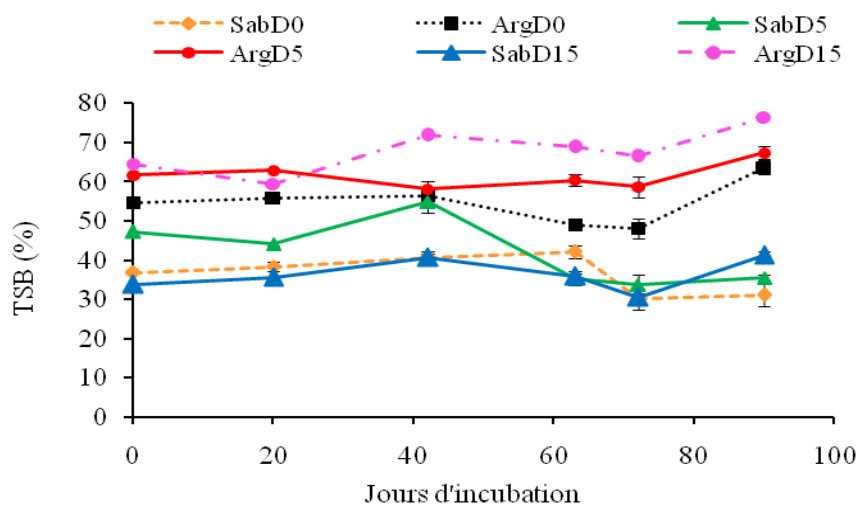


Figure 4. Évolution des taux de saturation en bases (TSB) en fonction des traitements et du temps d'incubation. Pour l'explication des types de sol, voir figure 1.

Les résidus de sulla ont apportés des effets significatifs sur les paramètres chimiques des sols dégradés de la Tunisie par l'amélioration des CEC, des sommes des bases échangeables, des taux de saturation en bases des sols amendés et ce, d'autant plus avec la forte dose. Nos résultats sont en accord avec ceux de Ben Jeddi et al. (1998) [34]; Ben Jeddi (2005) [2]; Bouajila *et al.*, 2012 [15]; Slim et Ben Jeddi F. (2011) [12]; Slim (2011) [35]; Slim et al., 2012 [36] et Ayanlaja et al. (1991) [37] qui ont montré, tous, que l'apport de sulla a permis l'augmentation de la fertilité organique des sols et la fixation biologique des terres en pente, et que la décomposition des résidus végétaux a relevé les niveaux de nutriments du sol.

Les effets significatifs de la texture du sol sur l'évolution de la CEC et des sommes des bases échangeables et des taux de saturation en bases ont été attestés aussi par nos résultats qui montrent que les valeurs ont été plus élevées dans les sols argileux que dans les sols sableux au cours de la décomposition des résidus de culture de sulla (*Hedysarum coronarium* L.).

Conclusion

Cette étude, réalisée sur les sols alluviaux argileux et sablonneux dégradés de la Tunisie, a montré que l'utilisation des résidus de sulla comme amendement organique, demeure une voie dans la résolution des problèmes de fertilité des sols dégradés.

Les résidus de sulla ont contribué à l'amélioration de la minéralisation du carbone organique. Au plan de la fertilité, les CEC, les sommes des bases échangeables, les taux de saturation en bases des sols amendés ont été accrus par rapport aux sols non amendés et ce, d'autant plus que la dose est élevée. Les résidus de sulla constituent ainsi un réservoir d'éléments chimiques. Par ailleurs, la texture du sol a influencé sur la minéralisation du carbone et sur l'évolution des caractéristiques chimiques du sol ; les sols argileux ayant été plus favorables que les sols sableux. Toutefois, l'apport des résidus de sulla s'est révélé bénéfique pour les deux types de sol. La valorisation agronomique des résidus des fabacées et en particulier le sulla (*Hedysarum coronarium* L.) mérite d'être approfondie car leur utilisation pourrait être une solution dans la gestion de la fertilité du sol pour une agriculture durable.

Références

1. Mhiri A., Bousnina H., *Ann. INAT*. 16 (1998) 228.
2. Ben Jeddi F., *Hedysarum coronarium* L. : Variation génétique, création variétale et place dans les rotations tunisiennes. Thèse de doctorat en sciences biologiques appliquées. Faculté des sciences en bio-ingénierie. Université de Gen Belgique. (2005) 216.
3. Ben Achicha W., Gabteni N., Lakhdar A., Du Laing G., Verloo M., Jedidi N., Gallali T., *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 130 (2009)156-163.
4. Bado B.V., Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéennes et soudaniennes du Burkina Faso. Thèse de doctorat : Université de Laval Québec. (2002).

5. Boli Z., Roose E., *La jachère en Afrique tropicale*. Paris : John Libbey Eurotext. (2000) 149-154.
6. Jedidi, N., Minéralisation et humification des amendements organiques dans un sol limono-argileux tunisien. Thèse Ph.D en Sciences Biologiques Appliqués à l'université de GENT, Belgique. (1998) 180.
7. Yaduvanshi N. P. S., *Journal Indian Society Soil Science*. 49 (2001) 714 -719.
8. Ming-Kui Z., Li-ping F., *Soil and Tillage Research*. 93 (2007) 87- 93.
9. Bram G., Mariela F., Monica M., Julie M.N., Jozef D., Jorge D.E., Ben jamin F.S., Ken D.S., *Soil Tillage Research*. 94 (2007) 209-219.
10. Ayanlaja S.A., Sanwo J.O., *Soil Technol*. 4 (1991) 265-279.
11. Gutierrez-Mas J.C., La Zulla. La reina de las forrajeiras de secano. *Agricultura*. 11 (1983) 576- 677.
12. Slim S., Ben Jeddi F., *Revue Sécheresse*. 22 N°2 (2011) 8.
13. Trifi-Farah N., Baatout H., Boussaïd M., et al., Evaluation des ressources génétiques des espèces du genre *Hedysarum* dans le bassin méditerranéen. *Plant Gen Res Newsl*. 130 (2002) 1-6.
14. Slim S., Ben Jeddi F., Belghith A., Zouaghi M., *Revue de l'INAT*. 23 N°1 (2008) 199-206.
15. Bouajila K., Sanaa M., Taamallah H., Ben Jeddi F., *Revue des Régions Arides*. 27 N°1 (2012) 105-122.
16. Commission de Pédologie et de Cartographie des sols (CPCS). Classification des sols. Grignon, France. (1967) 96.
17. Association Française pour l'étude du sol – AFES. Référentiel Pédologique 2008. BAIZE D. and GIRARD C.M., Eds. Paris, Editions Quae. (2009) 432.
18. Moussa M., Estudio Edafológico de la Cuenca del Ségui (Mareth – sur de Túnez), bases para mejorar los usos del suelo; Gestion des ressources naturelles en milieu aride tunisien: Contribution à l'étude de la dynamique du milieu dans le bassin versant de l'Oued Ségui–Mareth, sud Tunisien. Thèse PhD, (2007) 296.
19. Chahbani, B., Contribution à l'étude de la destruction des jessours dans le Sud tunisien, in: *Revue des régions arides, Publications de l'IRA, Médenine*. N°1(1990).
20. Anderson J.M., Ingram J.S.I., *Tropical soil biology and fertility. A handbook of methods*. Wallingford, UK: CAB International. N°2 (1993).
21. Walkley A., Black I.A., *Soil Sci*. 37 (1934) 29-38.
22. Abiven S., Menasseri S., Angers D.A., Leterme P., *European Journal of Soil Science*. 58 (2007) 239.
23. Annabi M., Stabilisation de la structure d'un sol limoneux par des apports de composts d'origine urbaine : relation avec les caractéristiques de leur matière organique. Thèse de doctorat : Institut National Agronomique Paris-Grignon, France. (2005) 280.
24. Freijer J.I., Bouten W., *Plant Soil*. 135 (1991) 133-142.
25. Tejada M., Gonzalez J.L., *Eur. J. Agron*. (2002)1-12.
26. Barry Y., *La transformation des apports organiques dans le sol (modèle TAO) : cas des apports riches en azote*. Master Recherche CGSE : Université Henri Poincaré UHP, INLP, Nancy, France. (2006).
27. Jenkinson D.S., *J. Soil Sci*. 28 (1977) 417-423.
28. Ladd J. N., Foster R. C., Skjemstad J. O., Soil structure: carbon and nitrogen metabolism. *Geoderma*. 56 (1993) 401-434.
29. Mathieu D. D., Pascal K. T. A., Justin Y. K., Décomposition des broyats de coques de cacao dans les sols ferrallitiques de la zone d'Oumé, centre-ouest de la Côte d'Ivoire : effets sur les caractéristiques chimiques des sols. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*. 15 (2011)109-117.
30. Bouajila K., Sanaa M., *J. Mater. Environ. Sci*. 2 (S1) (2011) 485-490.
31. Robert M., Chenu C., *Soil Biochemistry*. 7 (1992) 307-404.
32. James P.M., Korand H., *Soil Sci. Soc. Am*. 17 (1996) 283-302.
33. Saggiar S., Parshotam A., Hedley C., Salt, G., *Soil Biol. Biochem*. 31(1999) 2025-2037.
34. Ben Jeddi F., Sanaa M., Behaeghe T., *Revue de L'INAT*. 13 N°1(1998) 95-109.
35. Slim S., Les systèmes fourragers des zones montagneuses: contraintes et intérêts des fabacées dans la fixation des sols et l'accroissement des ressources herbagères des petites exploitations. *Thèse de doctorat INATunisia*. (2011) 210.
36. Slim S., Ben Jeddi F., Marouani A., Bouajila K., *J. Animal & Plant Sci*. 13 N°3 (2012) 1831.
37. Ayanlaja S.A., Sanwo J.O., *Soil Technol*. 4 (1991) 265-279.