



## **Bilan humique des sols sous intensification agricole: cas des sols du périmètre irrigué des Doukkala au Maroc**

### **Humic balance of soils under intensive farming: the case of soils irrigated perimeter of Doukkala in Morocco**

**Fatima NAMAN<sup>1,\*</sup>, Brahim SOUDI<sup>2</sup>, Chakib El ADLOUNI<sup>3</sup>, Claude Naikan CHIANG<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>*Université Chouaïb Doukkali, Faculté des Sciences, Laboratoire de Biotechnologie Végétale, Ecologie et Valorisation des Ecosystèmes, El Jadida, Maroc*

<sup>2</sup>*Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Département des Ressources Naturelles et Environnement, Rabat, Maroc*

<sup>3</sup>*Université Chouaïb Doukkali, Faculté des Sciences, Laboratoire de Biotechnologies Marine et Environnement, El Jadida, Maroc*

<sup>4</sup>*Université Catholique de Louvain, Unité de microbiologie, Louvain-La-Neuve, Belgique*

*Received 1 Sept 2015, Revised Nov 2015, Accepted Nov 2015*

*\*Corresponding author : E-mail : [namanfatima@yahoo.fr](mailto:namanfatima@yahoo.fr)*

#### **Résumé**

Au Maroc, dans le périmètre irrigué des Doukkala, les sols sont soumis à une intensification agricole qui est accompagnée d'une fertilisation minérale excessive couplée à la non restitution des résidus de récolte ; ce qui contribue à un appauvrissement du sol en matière organique. La présente étude vise à évaluer la valeur fertilisante de sept résidus de récolte et leur composition biochimique et à déterminer le bilan humique global des sols du périmètre irrigué des Doukkala. Les résultats obtenus montrent que les résidus de récolte sont riches en éléments majeurs. L'azote est surtout apporté par les résidus de soja (37,37 kg/ha) suivi par celui de la betterave à sucre (22,91 kg/ha). Pour les éléments chimiques, la culture de soja est celle qui en apporte le plus avec des quantités de 7,76 ; 11,96 ; 23,52 et 67,66 kg/ha, respectivement pour le P, K, Mg et le Ca. Les résidus de la betterave à sucre apportent les quantités les plus élevées en Na (37,07 kg/ha). Les tissus de ces résidus sont riches en cellulose, en hémicellulose et en fractions solubles et pauvre en lignine. Pour les résidus de blé, le taux de cellulose est plus élevé comparé à celui des autres résidus. Ce taux a atteint 40,63% suivi de celui du sorgho et du maïs avec 30,37% et 28,53%, respectivement. Quant au taux d'hémicellulose, celui-ci varie entre 10,02% (résidus de tomate) et 23,49% (résidus de blé). Pour la lignine, son taux varie entre 4,61% (résidus de tomate) et 9,55% (résidus de sorgho). En matière de fractions solubles, les résidus de tomate présentent la fraction la plus élevée (65,30%) et les résidus de blé la fraction la plus faible (29,78%). Un déséquilibre a été observé au niveau des taux humiques des 4 types de sols étudiés (vertisol, fersiallitique, peu évolué et isohumique). Ce déséquilibre est dû au fort pouvoir minéralisateur de ces sols, en particulier celui du sol fersiallitique et à la faible restitution des résidus de récolte au sol.

*Mots clés* : Résidus de récolte, composition biochimique, sol, bilan humique, périmètre irrigué des Doukkala.

#### **Abstract**

In the irrigated perimeter of Doukkala in Morocco, soils are subjugated to an agricultural intensification and a mineral fertilization coupled to a non restitution of crop residues; which contributes to a depletion of soil organic matter. This study aims to assess the fertilizer value of seven crop residues and their biochemical composition and to determine the overall soil humic balance of the irrigated perimeter of Doukkala.

The results show that the crop residues are rich in major elements. The nitrogen is especially brought by soybean residue (37,37 kg/ha) followed by sugar beet (22,91 kg/ha). For chemical elements, soybean cultivation is the one that brings the most with amounts of 7,76; 11,96; 23,52 and 67,66 kg/ha, respectively for P, K, Mg and Ca. Sugar beet residues provide the highest quantities of Na (37,07 kg/ha). The crop residues are rich in cellulose, hemicellulose and soluble fractions and low in lignin. The wheat residues have the highest rate of

cellulose (40,63%) followed by sorghum and maize with 30,37% and 28,53%, respectively. The hemicellulose rate varies between 10,02% (tomato residues) and 23,49% (wheat residues). The lignin rate varies between 4,61% (tomato residue) and 9,55% (sorghum residues). Tomato residues have the highest soluble fraction (65,30%) and wheat residues have the lowest one (29,78%). An imbalance of humic level was observed for all soils studied (vertisol, fersiallitic, changed little and isohumic). This imbalance is due to the strong mineralizing power of these soils, particularly the fersiallitic one and the low return of crop residues.

*Key words* : Crop residues, biochemical composition, soil, humic balance, irrigated perimeter of Doukkala.

## **1. Introduction**

La matière organique des sols (MOS) fournit aux plantes et aux micro-organismes des éléments fertilisants et favorise les propriétés physiques et chimiques du sol. Depuis longtemps l'apport de matière organique (MO) est considéré comme le seul moyen de préserver et de restaurer les capacités nutritives du sol. Les cultures fourragères furent même introduites dans la rotation en vue d'accroître la masse des restitutions par la production de fumier [1].

Le développement de la pratique d'usage des engrais minéraux qui a caractérisé l'agriculture moderne a fait perdre aux MO une part de leur caractère indispensable. De nombreuses études montrent de manière pertinente les actions de certaines fractions des MO sur les propriétés physiques du sol [2, 3].

Une pratique courante consistait à associer au système cultural, un système d'élevage et des successions culturales pour assurer le recyclage des éléments minéraux. L'alimentation minérale des cultures reposait uniquement sur les apports organiques et le comportement physique du sol.

Aujourd'hui, l'agriculture se singularise par une spécialisation des systèmes de production et de culture. Beaucoup d'exploitations n'ont plus de système d'élevage associé. Ceci a comme conséquence une diminution du taux de MOS[4].

Au Maroc, l'intensification agricole des sols, en zones irriguées, est accompagnée d'une fertilisation minérale excessive et d'une mauvaise gestion de la MO des résidus de récolte. Dans le périmètre irrigué des Doukkala, le taux moyen de MOS est de 1,3% [5]. La gestion de ce patrimoine humique est sujet à des pertes importantes dues à la mauvaise gestion des résidus de récolte, au phénomène d'érosion et à d'autres pratiques non rationnelles. Selon Rahali[6], dans la plupart des exploitations agricoles pratiquant des grandes cultures (betterave à sucre, céréales) dans ce périmètre, l'apport de fumure organique est faible ou nul avec des doses qui n'excèdent pas 50 t/ha et peu de résidus de récolte sont restitués aux sols car les feuilles et les collets de betterave à sucre servent d'alimentation au bétail. De là, résulte une chute appréciable de la MOS [7]. Ces pertes sont amplifiées par le processus de minéralisation assez intense, compte tenues des conditions hydriques et thermiques favorables pour la microflore minéralisatrice dans cette région. L'ensemble de ces phénomènes concourt à un déséquilibre du bilan global de la MOS.

La présente étude a pour objectif de déterminer la valeur fertilisante de sept résidus de récolte et le bilan global de l'humus des sols du périmètre irrigué des Doukkala.

## **2. Matériel et Méthodes**

### *2.1. Caractéristiques de la zone d'étude*

Le périmètre irrigué des Doukkala est l'un des plus grands périmètres irrigués du Maroc. Il correspond à une vaste plaine située au sud de la ville d'El Jadida sur la côte atlantique. Son climat est de type semi-aride et il est irrigué à partir de l'oued Oum Er -Rbia. Il possède une importance stratégique pour la production agricole nationale, notamment la betterave sucrière (38%). Il comprend deux sous-ensembles, le périmètre Bas-service d'une superficie irriguée de 61 000 ha et le périmètre haut-service dont 35 000 ha sont actuellement aménagés et mis en eau pour une superficie totale prévu de 64 000 ha [8].

### *2.2. Caractéristiques physico-chimiques des sols étudiés*

Le choix des sols étudiés a été basé sur deux critères essentiels : leur représentativité en terme de superficie dans la région considérée et le contraste dans leurs propriétés physico-chimiques. Quatre types de sol (les sols isohumiques, les vertisols, les sols peu évolués et les sols fersiallitiques) ont été échantillonnés sur une profondeur de 20 cm d'épaisseur.

Le carbone organique et l'azote total des sols étudiés ont été déterminés, respectivement, par la méthode de Walkley-Black et la méthode de Kjeldhal [9].

### 2.3. Caractéristiques physico-chimiques et biochimiques des résidus de récolte

Les résidus de culture (blé, betterave à sucre, maïs, tomate, soja, bersim et sorgho) ont été prélevés séparément sur 20 carrés de 1 m<sup>2</sup> chacun par parcelle. Un tamis de 2 mm à mailles carrées a été utilisé pour séparer les résidus de culture de la MOS. La proportion moyenne des résidus qui en a été déduite a été appliquée à une surface d'un hectare.

Les éléments chimiques (P, K, Mg, Ca, Na) sont extraits par la méthode de digestion à l'acide fluorhydrique concentré [10]. Leurs teneurs ont été déterminées par spectroscopie d'émission atomique (Thermo JARRELL ASH, Iris Axial).

L'analyse biochimique des résidus de culture a été déterminée par la méthode de Van Soest et Wine[11]. Le carbone organique et l'azote total des résidus de culture ont été déterminés par la méthode de Walkley-black et la méthode de Kjeldhal, respectivement [9].

Trois répétitions d'analyses du sol et des résidus de culture ont été effectuées. L'analyse statistique des résultats a été réalisée avec le logiciel STATITCF. Au cas où les différences entre les moyennes sont significatives, nous avons utilisé le test de NEWMAN et KEULS pour la comparaison des moyennes. Tout en se fixant un seuil de probabilité de 5% pour l'acceptabilité ou le rejet de l'hypothèse d'égalité des moyennes.

## 3. Résultats et discussion

### 3.1. Caractéristiques physico-chimiques des sols étudiés

Le tableau 1 montre les caractéristiques physico-chimiques des quatre sols étudiés. Il ressort que les taux d'argile, de limon et de sable varient entre 125 et 436 g/kg de sol, entre 89 et 206 g/kg de sol et entre 357 et 785 g/kg de sol, respectivement. Pour tout type de sol confondu, les teneurs en carbone organique varient entre 4,98 et 7,89 g/kg de sol, celles en azote total varient entre 0,53 et 0,79 g/kg de sol et les rapports C/N varient entre 7,8 et 10. Leurs pH sont légèrement alcalins et leurs densités apparentes varient entre 1,3 et 1,5.

**Tableau 1 : Caractéristiques physico-chimiques des sols étudiés**

Type de sol	Matière organique (g/kg sol)			Granulométrie (g/kg sol)			pH eau	Densité apparente
	C	N	C/N	Sable	Limon	Argile		
Vertisol	7,89	0,79	10,0	357	206	436	7,9	1,5
Isohumique	5,63	0,65	8,7	648	169	162	7,2	1,4
Peu évolué	5,34	0,53	10,0	785	89	125	7,8	1,4
Fersialltique	4,98	0,64	7,8	672	164	163	7,7	1,3

### 3.2. Caractéristiques physico-chimiques des résidus de récolte

#### 3.2.1. Valeur fertilisante des résidus de récolte

L'humus est avant tout une source de carbone et d'azote [8, 12]; constituants essentiels de la plante. Sa minéralisation lente libère en plus des constituants majeurs indispensables à la croissance de la plante d'autres éléments mineurs. Tous ces constituants proviennent des végétaux ou sont empruntés au sol par les micro-organismes. Cette décomposition progressive est doublement intéressante, d'une part, elle s'étale sur la quasi-totalité de la période de végétation, ce qui correspond bien au souci d'une alimentation régulière et continue évitant les pertes des éléments nutritifs par lessivage ou par insolubilisation. D'autre part, elle apparaît complète dans le sens où la décomposition microbienne des débris végétaux enfouis libère aussi bien des éléments majeurs que des éléments mineurs.

Le tableau 2 montre les teneurs et les apports des résidus de cultures en éléments majeurs. Il apparaît que les résidus de soja renferment le taux le plus élevé en N (20,20 g/kg MS) suivi de ceux de la betterave à sucre avec un taux de 17,90 g/kg MS, les autres résidus renferment des teneurs intermédiaires. Pour le P, les teneurs les plus élevées correspondent aux résidus de maïs (2,88 g/kg MS). Pour les éléments chimiques, ce sont les résidus de tomate qui en contiennent le plus et ceci avec des teneurs de 8,66, 16,93 et 41,92 g/kg MS, respectivement

pour le K, Mg et Ca. Les autres résidus présentent des teneurs moyennes à faibles. Les résidus de betterave à sucre sont les plus riches en sodium (29,02 g/kg MS) suivi de ceux de bersim.

Au regard des apports en kg/ha en éléments majeurs en fonction de la nature des résidus de récolte, l’N est surtout apporté par les résidus de soja (37,37 kg/ha) suivi de la betterave à sucre (22,91 kg/ha). Pour les éléments chimiques, la culture de soja est celle qui en apporte le plus avec des quantités 7,76 ; 11,76 ; 23,52 et 67,66 kg/ha respectivement pour le P, K, Mg, Ca. Ceci est dû à la richesse des résidus de soja en éléments nutritifs majeurs et à la quantité de la matière organique fraîche laissée à la surface du sol par cette culture qui est relativement plus élevée que celles des autres résidus. Les résidus de la betterave à sucre apportent les quantités les plus élevées en Na (37,07 kg/ha). Ceci est dû à la forte tolérance de la culture de la betterave à sucre au sodium de l’eau d’irrigation.

**Tableau 2: Teneurs et apports des résidus de cultures en éléments majeurs**

Précédent cultural	(g/kg de matière sèche)						(kg/ha)					
	N	P	K	Mg	Ca	Na	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	NaO
Blé	7,30	0,87	4,72	0,99	1,76	1,17	16,13	4,36	12,53	3,63	5,46	2,59
Betterave à sucre	17,90	0,86	6,01	5,57	8,87	29,02	22,91	2,54	9,24	11,80	15,87	37,07
Maïs	15,70	2,88	6,54	5,16	6,00	4,43	6,12	2,57	3,06	3,35	3,28	1,73
Sorgho	11,80	1,86	5,30	3,44	6,20	2,52	5,19	1,88	2,79	2,53	3,86	1,12
Bersim	16,20	2,00	1,93	2,02	9,40	7,87	11,66	3,30	1,6	2,44	9,55	5,71
Tomate	13,40	1,91	8,66	16,93	41,92	5,67	10,05	3,29	7,79	21,06	44,00	4,25
Soja	20,20	1,83	5,39	7,67	26,17	1,00	37,37	7,76	11,96	23,52	67,66	1,84

La faible restitution des résidus de récolte au sol, fait que les teneurs en éléments majeurs apportés restent insuffisantes face aux besoins de la plante. Par exemple pour la betterave à sucre, le besoin en NPK est de 240 à 320 kg/ha pour N, 80 à 120 kg/ha pour P et de 260 à 300 kg/ha pour K [13, 14, 15, 16, 17]. Mais le fait que cet apport en résidus de récolte soit à la fois progressif et complet font de l’humus un amendement de sol meilleur que les engrais minéraux. La faible restitution des résidus de récolte au sol est due à leur utilisation comme aliments pour le bétail. Il serait donc important d’augmenter le niveau de production afin d’en avoir suffisamment pour l’amendement des sols.

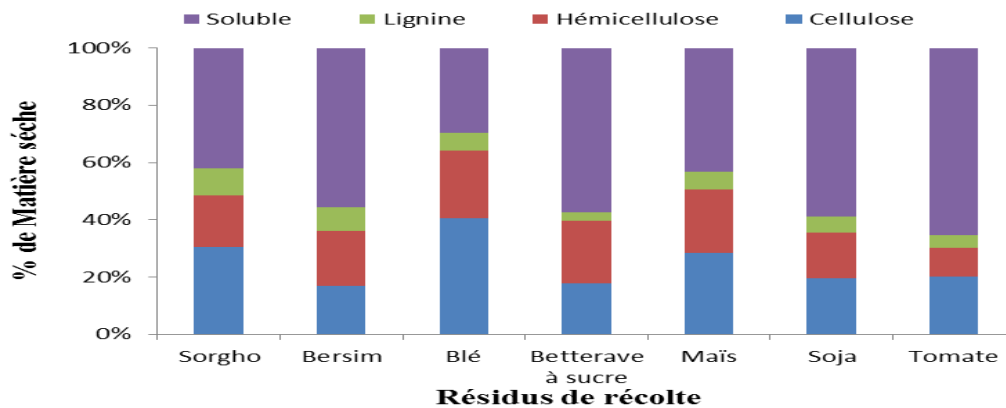
Au nord du Bénin, les gains de productivité réalisés après enfouissement des résidus par rapport à l’application des engrais minéraux sont de 25 kg à 700 kg pour le coton et de 314 à 1 050 kg pour le maïs [18]. Ainsi, Koulibaly *et al.* [19] ont montré que le recyclage des résidus de récolte en compost et en fumier augmente respectivement les rendements de maïs de 45 et 60%, celui du sorgho de 19 et 44% et celui du coton de 13 et 22%. En condition contrôlée de laboratoire sur un sol limono- argileux, l’utilisation des résidus de sula, de blé, de colza, de féverole et de fumier de ferme ont amélioré la fertilité des sols [20].

### 3.2.2. Composition biochimique des résidus de récolte

D’après Mustin[21], la résistance à la biodégradation de la matière organique est corrélée à la nature biochimique de la paroi des cellules végétales. Pour cela, nous avons procédé à la détermination des teneurs en lignine, hémicellulose, cellulose et fractions solubles des différents résidus de récolte (figure 1).

Le fractionnement biochimique de la MO des sept résidus de culture a décelé que leurs tissus sont significativement plus riches en cellulose, en hémicellulose et en fractions solubles qu’en lignine. Les résidus de blé se caractérisent par le taux de cellulose le plus élevé que le reste des résidus. Ce taux atteint 40,63% suivi de ceux du sorgho et de maïs (figure 1). Quant au taux d’hémicellulose, celui-ci varie entre 10,02% (résidus de tomate) et 23,49% (résidus de blé). Pour la lignine, les taux les plus élevés sont enregistrés pour les résidus de sorgho (9,55%) suivi de ceux des résidus de bersim (8,13%). Les résidus de tomate ont le taux de lignine le plus faible (4,61%). En matière de fractions solubles, les résidus de tomate présentent la fraction la plus élevée (65,30%) et ceux du blé la fraction la plus faible (29,78%). La richesse des résidus de récolte en fibre pourrait augmenter le taux d’humus stable dans le sol. La dégradation ultérieure des tissus végétaux sera d’autant plus facile que les tissus soient peu différenciés, jeunes ou très actifs [22]. Les plantes qui atteignent la maturité physiologique sont proportionnellement plus riches en lignine. Ce composé est très stable dans le sol. Elle lui offre une présence constante de matériel fibreux de plus lente décomposition. Dans le sol, la lignine est

dégradée presque entièrement en composés phénoliques. Ces derniers ont la propriété de se condenser et se polymériser pour donner les substances humiques [23].



**Figure 1 :** Composition biochimique des différents résidus de récolte

### 3.3. Bilan humique des quatre sols étudiés

Le bilan humique est défini comme étant la différence entre la quantité d’humus produite annuellement par la restitution des résidus de culture et la quantité d’humus minéralisée.

#### 3.3.1. Evaluation des pertes de l’humus par minéralisation

La vitesse de décomposition de l’humus ou vitesse de minéralisation ( $V_m$ ) en kg/ha/an a été déterminée par la relation suivante :

$$V_m = k_m \times H_{sol}$$

$k_m$  : Coefficient de minéralisation de l’humus ( $an^{-1}$ )  
 $H_{sol}$  : Stock d’humus stable du sol (kg/ha)

Le coefficient  $k_m$  dépend des conditions d’activité des microorganismes (température et humidité, texture et structure du sol, pH, type de culture, etc.) [24].

La vitesse de minéralisation de l’humus stable des quatre sols étudiés du périmètre irrigué des Doukkala est présentée dans le tableau 3. Dans le cas de nos sols, le coefficient  $k_m$  a été déterminé à partir de la perte moyenne décadaire de la MOS entre 1987 et 1997 [25].

**Tableau 3 :** Vitesse de minéralisation de l’humus stable des quatre sols étudiés sur une profondeur de 20 cm

Type de sol	MO (g/kg sol)	$H_{sol}$ (kg/ha)	$k_m$ ( $an^{-1}$ )	$V_m$ (kg/ha/an)
Vertisol	13,6	40800	0,038	1550 a
Isohumique	9,7	27200	0,032	869 d
Peu évolué	9,2	25700	0,040	1030 c
Fersialltique	8,6	22400	0,055	1230 b

De ces résultats, il ressort que la perte d’humus stable dépend de la quantité d’humus déjà existante et de son coefficient de minéralisation. L’analyse de la variance a montré que les différences entre les différents types de sol sont significatives ( $P < 0,05$ ). Sur les 4 types de sols étudiés, le sol fersiallitique présente le coefficient de minéralisation de l’humus stable le plus élevé. Ceci pourrait être dû à la faible fraction d’argile de ce type de sol qui a une influence physique sur la stabilité et la protection de la MO. En effet, la MO emprisonnée dans les micro-agrégats dont le taux augmente dans les sols à texture fine, non accessible aux micro-organismes et reste donc protégée physiquement [26]. En plus de ce phénomène, s’ajoute l’adsorption de la MO à la surface des argiles [27].

### 3.3.2. Evaluation des gains en humus stable ou restitutions

Afin de maintenir un bon état humique des sols du périmètre irrigué des Doukkala, nous avons cherché à déterminer la quantité de matière organique fraîche restante à la surface du sol après différents précédents culturaux.

Etant donné que la totalité de la MOF apportée au sol sert à la synthèse de l'humus, la vitesse d'humification (Vh) est égale à :

$$Vh = kh \times MOF \quad (\text{kg/ha/an})$$

kh : coefficient d'humification ou coefficient isohumique ( $\text{an}^{-1}$ )  
 MOF : Quantité de Matière Organique Fraîche

Le coefficient kh dépend de la nature de la MOF enfouie au sol et des conditions édaphiques qui règlent les processus biologiques : aération, humidité, température, etc. Ce coefficient représente la part de la matière organique fraîche qui se transforme en humus (en poids sec).

Si on considère que la totalité des résidus est enfouie dans le sol et tenant compte du coefficient d'humification qui est de 15 à 25% selon la nature des résidus de culture [23, 28, 29, 30], la quantité d'humus produite calculée par type de résidus est indiquée dans le tableau 4. De ce tableau, il ressort que pour les différents précédents culturaux, la quantité d'humus produite après restitution des résidus soja est la plus élevée. Elle est suivie de celles produites par les résidus de blé, de betterave à sucre, de bersim et de tomate. Les quantités d'humus produites après restitution des résidus de sorgho et du maïs restent les plus faibles. L'analyse de la variance a montré que les différences entre les différents résidus de récolte sont significatives ( $P < 0,05$ ). Cette différence dans la production d'humus est due au coefficient d'humification et à la quantité de MOF restituée au sol. Ceux-ci varient selon le type de résidus enfouis.

### 3.3.3. Stock d'humus

La variation annuelle de la teneur en humus,  $\frac{dH}{dt}$  est donnée par la somme algébrique des vitesses de synthèse et de minéralisation, soit:

$$\frac{dH}{dt} = kh \times MOF - km \times H_{\text{sol}}$$

Le tableau 5 montre les quantités d'humus stockées annuellement par type de sol et par précédent cultural.

**Tableau 4 :** Quantité d'humus produite annuellement après restitution des différents précédents culturaux

Précédent cultural	kh	MOF (kg MS/ha)	Vh (kg/ha/an)
Blé	0,15	2130 a	319 b
Betterave à sucre	0,20	1200 c	240 c
Maïs	0,17	390 f	66 g
Tomate	0,20	770 d	154 e
Bersim	0,25	690 e	172 d
Sorgho	0,17	430 f	73 f
Soja	0,20	1830 b	366 a

**Tableau 5 :** Bilan humique apparent des 4 types de sols après enfouissement des résidus des différents précédents culturaux (kg/ha/an)

Précédent cultural	Vertisol	Isohumique	Peu évolué	Fersiallitique
Blé	- 1231	- 550	- 711	- 911
Betterave à sucre	- 1310	- 629	- 790	- 990
Maïs	- 1484	- 803	- 964	- 1164
Tomate	- 1396	- 715	- 876	- 1076
Bersim	- 1378	- 697	- 858	- 1058
Sorgho	- 1477	- 796	- 957	- 1157
Soja	- 1184	- 503	- 664	- 864

En comparant la restitution avec la perte en humus, on constate qu'il y a un déficit en humus à hauteur de 503 à 1484 kg/ha. Cette perte est due à la minéralisation et à la faible restitution des résidus de culture [25]. En plus de l'abandon progressif des pratiques de polyculture-élevage dans la région des Doukkala qui a conduit à un appauvrissement des sols en MO, une partie de celle restante se trouve perdue sous forme de terre collée aux pivots de la betterave à sucre. Cette perte est d'autant plus importante que la teneur en argile est importante. Elle représente en moyenne 61 kg de MO/ha/an dont 30 kg de MO proviennent de la seule fraction argileuse [31].

Les taux de compensation de l'humus détruit par type de sol et après restitution des différents résidus de culture sont présentés dans le tableau 6. L'analyse de la variance a montré que les différences entre les différents résidus de récolte sont significatives ( $P < 0,05$ ). On remarque que le taux de compensation de l'humus détruit est plus élevé dans le sol isohumique pour les résidus de soja (42%) suivi par ceux de blé (36%) et de ceux de betterave à sucre (27%), les autres cultures présentent des taux allant de 4 à 20% suivant le type de sol. Cette faible restitution des résidus de culture aux sols a comme conséquence une baisse de fertilité des sols [18].

Si le sol ne reçoit pas d'autres MO, son taux en humus baisse très lentement. Pour contrecarrer cette chute, il est indispensable d'augmenter les restitutions afin de maintenir le bon potentiel de production du sol. Pour y parvenir différents moyens peuvent être appliqués tels que:

- restitution de la totalité des résidus de culture,
- culture d'engrais verts,
- apport de fumier (40 t de fumier apportent environ 4 t d'humus stable [24]).
- utilisation de sources externes d'humus, tel le compost des déchets verts et du fumier.

L'emploi du fumier comme amendement au sol est non recommandé car il véhicule des graines de mauvaises herbes et de germes pathogènes. C'est une des raisons pour encourager son compostage. Cependant l'application du fumier composté doit tenir compte de sa valeur fertilisante, du rythme et du taux de sa décomposition et du pouvoir minéralisateur du sol en azote et du rapport C/N du compost. Selon une étude menée par Soudi et al. [32], l'application de 30 tonnes de fientes de volailles apporterait 236 mg N/kg, soit environ 710 kg N/ha sur 20 cm d'un sol de densité 1,5. D'après El Herradi et al. [33], les substances humiques extraites de déchets ménagers augmentent le rendement en poids frais du Ray Gras d'Italie.

**Tableau 6 :** Taux de compensation de l'humus détruit par type de sol et après restitution des différents résidus de culture (%)

Précédent cultural	Vertisol	Isohumique	Peu évolué	Fersiallitique
Blé	20,5a	36,7 b	30,9 a	25,9 a
Betterave à sucre	15,5b	27,6 c	23,3 b	19,5 b
Maïs	4,2e	7,6 e	6,4 d	5,3 d
Tomate	9,9d	17,7 d	14,9 c	12,5 c
Bersim	11,1c	19,8 d	16,7 c	13,9 c
Sorgho	4,7e	8,4 e	7,1 d	5,9 d
Soja	23,6 a	42,1 a	35,5 a	29,7 a

## Conclusion

Il ressort de cette étude que les tissus des résidus utilisés sont riches en cellulose, en hémicellulose et en fractions solubles et pauvres en lignine. Un déséquilibre du niveau humique des sols du périmètre irrigué des Doukkala est observé. Il est dû au fort pouvoir minéralisateur des quatre sols, en particulier le sol fersiallitique, à la faible restitution des résidus de culture et au pouvoir humificateur des résidus restant à la surface du sol.

Dans le périmètre irrigué des Doukkala, les moyens dont dispose l'agriculture pour contrôler les réserves organiques sont limités. Il s'agit soit d'augmenter les apports de carbone soit d'en limiter les sorties. Pour le contrôle des apports, les choix possibles sont ceux de la restitution totale des résidus de culture et la répartition du fumier sur les parcelles pour les exploitants en disposant. Pour les exploitants sans élevage, l'achat de fumier ou de compost étant l'handicap. Augmenter les intrants carbonés peut aussi passer par les pratiques qui augmentent la production primaire restituée au sol, telles que les pratiques de cultures non récoltées (engrais vert, jachère).

## Références

1. Vilain M., *La production végétale*, "la maîtrise technique de la production", 2<sup>ème</sup> Ed. 2 (5)(1989) 125-195.
2. Angers D.A., Edwards L.M., Sanderson J.B., Bissonnette N., *Can. J. Sci.*, 79(3)(1999) 411-417.
3. Dragon S., Icard C., *Echo-MO*, 81(2010) 4-8.
4. Autfray P., Sissoko F., Falconnier G., Ba A., Dugué P., *Cahiers Agricultures*, 21(4) (2012).
5. Soudi B., Naman F., Chiang C.N., *Séminaire 'Intensification agricole et qualité des sols et des eaux'*, Rabat, 2-3 Novembre 2000.
6. Rahali H., *Mémoire de 3<sup>ème</sup> cycle Agronomie*, (1997) I.A.V. Hassan II, Rabat, Maroc.
7. Naman F., Soudi B., Chiang N.C., *Etude et Gestion des sols*, 8(4)(2001) 269-277.
8. Naman F., Soudi B., EL Herradi E.H., *J. Mater. Environ. Sci.*, 6(9) (2015), 2647-2654.
9. Jackson M.L., *Soil Chemical Analysis*, Prentice-hall, Englewood Cliffs, N.J., Library of Congress, Catalog Card Number 58-6932, (1958) 498p.
10. Voinovitch I.A., Debras-Guedon J., Louvrier J., *L'analyse des silicates*, (1962) 511 pp. First Edition N° de réf. du libraire A23827-487
11. Van Soest P.J., Wine R.H., *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, 51(1967)780-785.
12. Tahiri A., Destain J., Druart P., Thonart P., *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 18(3) (2014) 436-445.
13. Lahlou A., Bouirman A., *Al Awamia*, 64 (1988) 187-188.
14. Agbani M., Dadi A., Hachimi L., *Sucrierie Maghrébine*, 42 et 43 (1990) 32-44.
15. Hachimi L., *Sucrierie Maghrébine*, 42 et 43(1990) 14-19.
16. Guermah M., Oulahcen B., Zerouali M., *Sucrierie Maghrébine*, 42 et 43 (1990) 149-160.
17. Naman F., Ouaaka A., Zaoui D., *Sucrierie Maghrébine*, 61(1994) 21-29.
18. Djenontin J.A., Amidou M., Baco N.M., Wennink B., *Actes du colloque international UmrSagert*, 25-27 février (2003), Montpellier, France
19. Koulibaly B., Traoré O., Dakuo D., Zombré P.N., Bondé D., *Tropicultura*, 28, 3(2010) 184-189.
20. Bouajila K., Benjeddi F., Taamallah H., Jedidi N., Sanaa M., *J. Mater. Environ. Sci.*, 5(1) (2014) 159-166.
21. Mustin M., *Le compost*, «gestion de la matière organique». Ed. François Dubux. Chap. 12(1987) 743-765.
22. Duthil J., *Les amendements humiques*, « Eléments d'écologie et d'agronomie » (1973) Ed. Baillière J.B. Tome II, 144-180, Paris.
23. Soltner D., *Les bases de la production végétale*. Tome I : le sol et son amélioration, (2003) 23<sup>ème</sup> Edition, Collection sciences et techniques agricoles.
24. Eliard J.L., *Manuel d'agriculture générale*, (1987). Ed. J.B. Baillière, nouvelle Edition, Paris.
25. Soudi B., Chiang C.N., Berdai H., Naman F., *Revue H.T.E.*, 127 (2003) 1-31.
26. Hassink J., *Biol. Fert. Soils*, 14(1992) 126-134.
27. Hassink J., *Eur. J. Agron.*, 3, 4(1994) 257-265.
28. Diehl R., *Agriculture générale*. Encyclopédie agricole. Ed. J.B. Baillière. (1975) 2<sup>ème</sup> Ed., Paris.
29. Mary B., Guéris J., *Cahiers Agriculture*, 3(1994) 247-257.
30. Bouthier A., Duparque A., Mary B., Sagot S., Trochard R., Levert M., Houot S., Damay N., Denoroy P., Dinh J.L., Blin B., Ganteil F., *Innovations Agronomiques*, 34 (2014) 125-139.
31. Naman F., Soudi B., Chiang N.C., Zaoui D., *Etude et Gestion des sols*, 9(2)(2002) 127-136.
32. Soudi B., Chiang C.N., Stitou M., Hachouma S.A., Sbati A., *Actes Inst. Agron. Vet.*, 12(3) (1992) 5-15.
33. El Herradi E., Soudi B., Naman F., *J. Mater. Environ. Sci.*, 5 (5) (2014) 1382-1389.

(2015) ; <http://www.jmaterenvirosci.com>