

# Impact de l'intensification agricole sur le statut de la matière organique des sols en zones irriguées semi-arides au Maroc

F. Namam<sup>(1)</sup>, B. Soudi<sup>(2)</sup> et C. Chiang<sup>(3)</sup>

- (1) Auteur correspondant  
Université Chouaïb Doukkali, Faculté des Sciences, Département de Biologie, B.P.20, Km 1,  
Route Ben Maâchou, 24000, El Jadida, Maroc.
- (2) Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Département des Sciences du sol, Rabat, Maroc
- (3) Université Catholique de Louvain, Unité de microbiologie. Louvain-la-Neuve, Belgique.

## RÉSUMÉ

Cette étude a été conduite sur des sols à caractères contrastés et représentatifs du périmètre irrigué des Doukkala. Elle consiste à évaluer les causes de diminution de la matière organique des sols sous intensification agricole. Ces pertes ont été identifiées suite à la détermination des teneurs en matière organique et de sa composante azotée dans des situations contrastées du point de vue du type de sol et de la durée de mise en eau. Les résultats trouvés montrent une perte moyenne en matière organique de 48 % pour une durée de mise en eau de 30 ans. Les pertes pour l'azote total et l'azote hydrolysable sont de l'ordre de 13 % et 40 % respectivement, ceci pour une période de mise en eau de 5 ans, et s'élèvent à 47 % et 69 % de l'azote total et de l'azote hydrolysable pour une période de 30 ans. La totalité de la perte en azote total est sous forme hydrolysable. Quant au type de sol, les pertes en matière organique et en azote se sont avérées plus élevées dans les sols fersiallitiques.

Les quantités de sols collés sur les pivots de la betterave à sucre est aussi une autre voie de perte de la matière organique. Cette perte est d'autant plus importante que la teneur en argile du sol est importante. Les résultats trouvés montrent une perte moyenne annuelle de 30 kg de matière organique de sol par hectare dans le périmètre irrigué des Doukkala.

## Mots clés

Intensification agricole, matière organique, sol, périmètre irrigué, Doukkala, Maroc.

## SUMMARY

### IMPACT OF AGRICULTURAL INTENSIFICATION ON SOIL ORGANIC MATTER STATUS OF IRRIGATION ZONES IN SEMI-ARIDES REGIONS OF MOROCCO

*Intensive cropping under irrigation is a major cause of soil organic matter loss. This study was conducted in the irrigated perimeter of Doukkala on representative soils of contrasted characteristics. Evaluating the causes of soil organic matter loss under agricultural intensification was*

the main objective. These losses were identified following the determination of organic matter content and its nitrogen component in contrasted situations with regard to soil type and duration of irrigation. The results show an average organic matter loss of 48 % for 30 years of irrigation. The losses of total nitrogen and hydrolysable nitrogen are in the order of 13 % and 40 % respectively after 5 years of irrigation, and amount to 47 % and 69 % of total and hydrolysable nitrogen for 30 years of irrigation. The total nitrogen loss is in the hydrolysable form. Nitrogen and organic matter losses were higher in the sandy soils compared to the other soil types.

The soil particles stuck to the pivots of sugar beets is another way of loss of the organic matter. This loss is more important in clayey soils. Our results show an annual organic matter loss of approximately 30 kg per hectare in the Doukkala irrigated perimeter.

**Key-words**

Agricultural intensification, organic matter, soil, irrigated perimeter, Doukkala, Morocco.

**RESUMEN**

**IMPACTO DE LA INTENSIFICACIÓN AGRÍCOLA SOBRE EL ESTADO DE LA MATERIA ORGÁNICA DE LOS SUELOS EN ZONA IRRIGADAS SEMIÁRIDA DE MARRUECOS**

Este estudio fue realizada sobre suelos con caracteres contrastados y representativos del perímetro irrigado de Doukkala. Consiste en evaluar las causas de disminución de la materia orgánica de los suelos bajo intensificación agrícola. Estas pérdidas fueron identificadas después de la determinación de los valores en materia orgánica y de su componente nitrógeno en situaciones contrastadas del punto de vista del tipo de suelo y de su duración de irrigación. Los resultados muestran una pérdida media en materia orgánica de 48% durante 30 años de irrigación. Las pérdidas por el nitrógeno total y el nitrógeno hidrolisable son del orden de 13% y 40% respectivamente, esto por un periodo de irrigación de 5 años, y son de 47% y 69% del nitrógeno total y del nitrógeno hidrolisable por un periodo de 30 años. La totalidad de la pérdida en nitrógeno total es bajo forma hidrolisable. En cuanto al tipo de suelo, las pérdidas en materia orgánica se observaron más elevadas en los suelos arenosos.

Una otra vía de pérdida de materia orgánica fue detectada, que consiste en las cantidades de suelos adheridos sobre los pivotes de la remolacha azucarera. La pérdida es más importante que el contenido en arcilla es elevado. Los resultados muestran una pérdida media anual de 30 kg. de materia orgánica por hectárea en el perímetro irrigado de Doukkala.

**Palabras claves**

Intensificación agrícola, materia orgánica, suelo, perímetro irrigado, Doukkala, Marruecos.

Ces dernières décennies, le principal objectif de l'agriculture était d'atteindre les niveaux de production les plus élevés possibles. Les techniques mises en œuvre (fertilisation, mécanisation, irrigation, traitements phytosanitaires) ont effectivement permis d'obtenir des rendements jamais atteints auparavant dans de nombreuses filières. Cette augmentation s'est souvent faite au détriment du principal outil de production qui est le sol et parfois même au détriment de la qualité de l'environnement (Cheverry, 1994).

Au Maroc, l'intensification de la mise en valeur agricole des sols en zones irriguées, arides et semi-arides, s'est fortement accentuée ces dernières années. Elle a généré une détérioration de la qualité des sols et des eaux souterraines. Les processus de dégradation les plus saillants et les plus communs, résident dans la salinisation des terres (Laudelout et Chiang, 1995; Badraoui *et al.*, 1998 et Lahlou *et al.*, 1998) et la pollution nitrique des eaux (Dakak, 1996). De plus, une perte significative des stocks organiques des sols accentue les processus de détérioration de la qualité des sols.

Dans les périmètres irrigués du Maroc, la restitution des résidus de récolte au sol est presque nulle et particulièrement durant les années de sécheresse où les feuilles et les collets de betterave à sucre par exemple sont exportés des parcelles pour l'alimentation du bétail. Il en résulte une chute appréciable des quantités de matières organiques du sol. Ces pertes sont amplifiées par (i) une minéralisation intense compte tenu des conditions hydriques et thermiques favorables pour la microflore minéralisatrice, (ii) des phénomènes d'érosion, et (iii) des pertes de matière organique à cause des terres qui restent collées sur les pivots de la betterave sucrière au moment de la récolte.

Dans la plaine des Doukkala se trouve l'un des plus anciens périmètres irrigués du Maroc. Dès 1952, le casier de Faregh a été aménagé pour l'irrigation gravitaire. Les autres secteurs de la région ont été progressivement mis en eau au cours des 46 dernières années. Cette transformation de type d'agriculture ne s'est pas faite sans effet sur l'état structural et sur le taux de matière organique des sols (Naman et Soudi, 1999; Rahoui *et al.*, 1999). Ces effets, seraient d'autant plus marqués que la date de mise en eau est ancienne (Naman et Soudi, 1999). De même, les diverses pratiques agricoles et les propriétés intrinsèques du sol détermineraient la tendance et la cinétique de cette évolution.

L'objet de ce travail est d'étudier l'impact de l'intensification agricole des sols sur la dynamique de la matière organique (MO) et de sa composante azotée dans différents sols contrastés sous irrigation dans le périmètre des Doukkala. Dans cette optique, et afin de faire ressortir certains éléments explicatifs des pertes de matières organiques des sols, des comparaisons des teneurs en matière organique ont été effectuées dans différents contextes agro-pédologiques.

En plus, une autre voie de perte de matière organique du sol a été détectée dans le périmètre irrigué des Doukkala, à vocation

betteravière. Il s'agit de la matière organique des sols collés aux pivots de la betterave sucrière durant la récolte. Pour cela, nous avons déterminé les quantités de sol et de leur contenu en matière organique perdues lors de l'arrachage de la betterave à sucre.

## MATERIELS ET METHODES

La région des Doukkala fait partie du Maroc atlantique. C'est une vaste plaine inclinée régulièrement du SE au NW (figure 1). Le climat est du type méditerranéen semi-aride, avec des hivers tempérés et doux et des étés généralement chauds et secs, quelque peu adoucis par la proximité de l'océan atlantique. La pluviométrie moyenne annuelle varie de 400 mm le long des côtes à 250-300 mm à l'intérieur des terres. Une moyenne de 330 mm est enregistrée en moyenne entre octobre et mai. La température moyenne annuelle est 18,5 °C. Les principaux types de sol appartiennent à six classes selon la classification française (CPCS, 1967; Badraoui *et al.*, 1993); les sols peu évolués; les vertisols, les sols calcimagnésiques, les sols isohumiques, les sols fersiallitiques et les sols hydromorphes.

Dans le périmètre irrigué des Doukkala, les modes d'irrigation, largement utilisés, sont de deux types: gravitaire dans les casiers de Faregh et de Sidi Bennour et aspersion dans les casiers de Zemamra et Gharbia. Dans ce périmètre, les cultures sont très variées: céréales (blé dur, blé tendre, maïs), cultures industrielles (betterave sucrière, coton, soja, tabac), cultures fourragères (luzerne, bersim, fourrages d'été) et cultures maraîchères (tomate, aubergine...).

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 contrastés et représentatifs de la région d'étude ont été échantillonnés sur une profondeur de 80 cm divisée en 4 horizons de 20 cm d'épaisseur. Les caractéristiques du niveau de profondeur 0-20 cm de ces sols sont indiquées dans le tableau 1.

Les sols ont été séchés à l'air puis tamisés à 2 mm. L'analyse granulométrique a été faite par la méthode de la pipette (Day, 1965); le pH a été mesuré dans une suspension sol: eau de 1/2,5; le carbone organique et l'azote organique sont analysés respectivement par la méthode Walkley-Black (Jackson, 1958a) et la méthode Kjeldhal (Jackson, 1958b). L'azote hydrolysable a été déterminé par la méthode de Bremner (1965) et modifiée par Stevensen (1982). Cette méthode consiste à hydrolyser l'azote en présence de HCl 6N. L'azote hydrolysable constitue la fraction d'azote total facilement biodégradable.

Le taux de la matière organique du sol est estimé en multipliant le pourcentage du carbone organique par le facteur 1,724 (Nelson et Sommers, 1982)

À la récolte, sur une centaine de betteraves à sucre par type de sol, le sol collé sur les pivots a été pesé puis analysé pour sa

Figure 1 - Situation géographique de la zone d'étude dans le périmètre irrigué des Doukkala.

Figure 1 - Geographic situatio, of studied region in the irrigated perimeter of Doukkala.

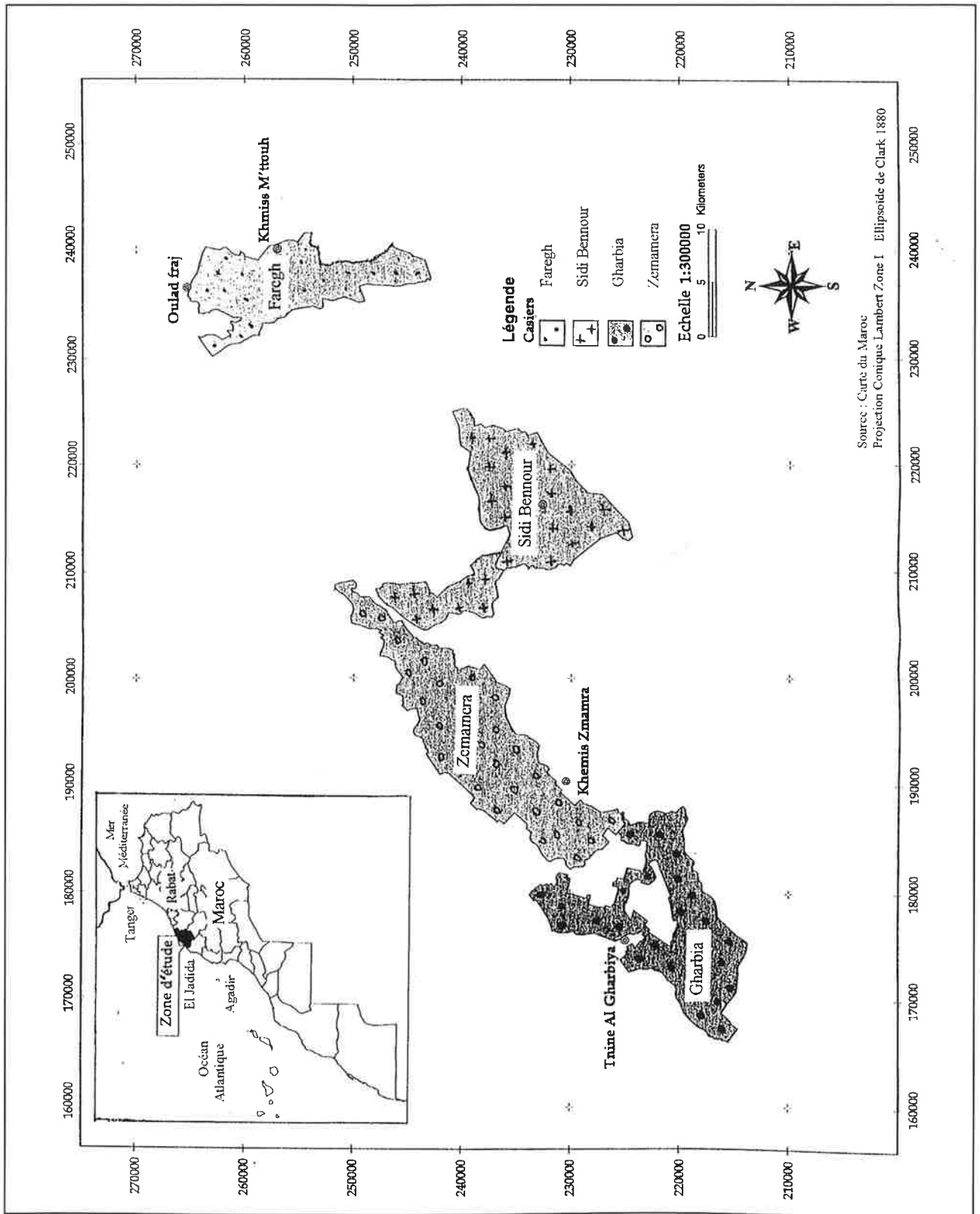


Tableau 1 - Principales caractéristiques de l'horizon 0-20 cm des sols étudiés.

Table 1 - Principal characteristics of the surface horizon (0-20 cm) of the studied soils.

Sols	Casier	Précédent cultural	Type de sol	Mode d'irrigation	Durée de mise en eau	S (%)	L (%)	A (%)	Da (g/cm <sup>3</sup> )	pH eau	pH KCl
Sol 1	Sidi Bennour	Blé dur	Isohumique	Gravitaire	23 ans	38,8	31,1	30,0	1,35	8,1	7,0
Sol 2	-	Blé dur	Vertisol	-	-	46,8	24,0	29,0	1,17	7,9	7,1
Sol 3	-	Betterave	vertisol	-	-	55,8	16,3	27,8	1,58	7,8	7,1
Sol 4	-	Bersim	Peu évolué	-	-	59,8	23,3	16,7	1,52	7,7	6,8
Sol 5	-	Mais fourrage	Peu évolué	-	-	47,1	28,5	24,3	1,44	8,0	7,5
Sol 6	Faregh	Blé dur	Isohumique	-	46 ans	39,8	38,1	22,0	1,43	7,6	7,2
Sol 7	-	Betterave à sucre	Peu évolué	-	-	67,2	16,4	16,3	1,33	7,75	7,3
Sol 8	-	Blé tendre	Isohumique	-	-	39,9	51,5	8,5	1,52	7,2	7,0
Sol 9	-	Betterave à sucre	Fersiallitique	-	-	78,5	8,9	12,5	1,39	7,6	7,0
Sol 10	-	Tomate	Isohumique	-	-	84,8	5,9	9,1	1,31	7,2	7,0
Sol 11	Zemamra	Betterave à sucre	Vertisol	Aspersif	21 ans	39,3	52,1	8,5	1,51	7,4	6,8
Sol 12	-	Blé tendre	Vertisol	-	-	80,0	5,3	14,6	1,58	7,6	7,2
Sol 13	-	Blé tendre	Fersiallitique	-	-	63,2	28,2	8,5	1,44	7,8	6,7
Sol 14	-	Betterave à sucre	Vertisol	-	-	66,4	9,8	23,7	1,33	7,8	6,8
Sol 15	-	Bersim	Vertisol	-	-	10,9	68,5	20,0	1,45	7,7	6,7
Sol 16	Gharbia	Soja	Vertisol	-	16 ans	35,7	20,6	43,6	1,40	7,6	6,4
Sol 17	-	Blé dur	Vertisol	-	-	39,6	21,3	39,1	1,18	7,9	6,6
Sol 18	-	Blé dur	Vertisol	-	-	37,0	43,9	19,0	1,30	7,9	6,7
Sol 19	-	Betterave à sucre	Vertisol	-	-	37,9	39,0	22,9	1,43	7,9	6,7
Sol 20	-	Betterave à sucre	Vertisol	-	-	41,1	51,8	7,0	1,18	7,9	6,7

teneur en matière organique. Ceci pour déterminer les pertes de sol et de matière organique lors de la récolte des betteraves.

Les résultats obtenus sont analysés statistiquement à l'aide du logiciel SAS. Pour la comparaison des moyennes, nous avons utilisé le test LSD (Least Significant Difference). Pour l'acceptabilité ou le rejet de l'hypothèse d'égalité des moyennes, le seuil de probabilité a été fixé à 5 %.

Les barres d'erreurs indiquées sur les histogrammes, représentent les écarts types et ont été calculées sur la base de cinq répétitions (n = 5).

## RESULTATS ET DISCUSSION

### Distribution verticale de la matière organique

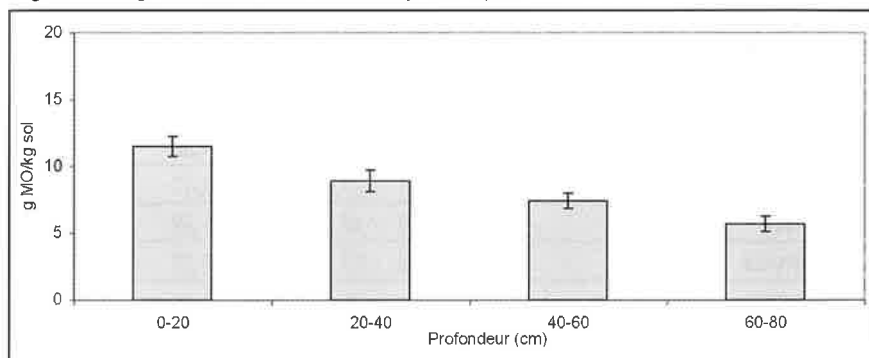
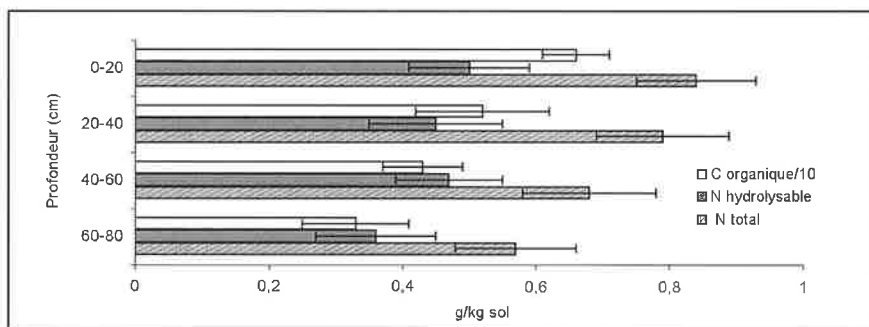
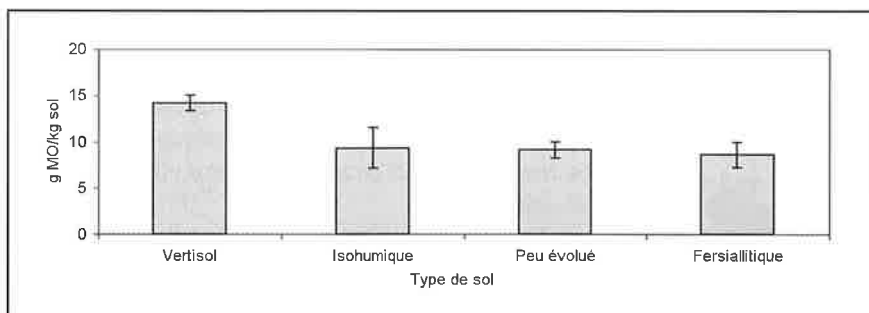
Pour les quatre types de sol (tous types de sol confondus), on constate des diminutions importantes de la teneur en matière organique avec la profondeur du sol (figure 2). Ainsi, par rapport au

niveau de profondeur 0-20 cm, le taux de réduction de la matière organique pour les niveaux de profondeur 20-40, 40-60 et 60-80 cm est de 22,46 % ; 35,34 % et 50,51 %, respectivement. Le profil de distribution de la matière organique dans les différents sols étudiés, montre une accumulation de cet élément près de la surface. Nos résultats sont en accord avec ceux trouvés par Havlin et al., (1990).

L'examen de la figure 3 montre que, comme pour le carbone organique, les teneurs en azote total et en azote hydrolysable des sols (tous types confondus) sont élevées à la surface du profil par rapport à celles des couches profondes.

### Répartition de la matière organique à travers les types de sol

L'examen de la figure 4 a permis de faire ressortir la tendance de répartition de la matière organique dans les quatre types de sol sur le niveau de profondeur 0-20 cm. Les teneurs en matière organique enregistrées sont de 14,8 g MO kg<sup>-1</sup> sol pour le vertisol ; 9,3 g MO kg<sup>-1</sup> sol pour le sol isohumique ; 9,1 g MO kg<sup>-1</sup> sol

**Figure 2** - Teneurs en matière organique des sols par niveau de profondeur.**Figure 2** - Organic matter soils contents by soil depth.**Figure 3** - Teneur en carbone organique, en azote total et en azote hydrolysable des sols en fonction de la profondeur.**Figure 3** - Organic carbone, total nitrogen and hydrolysable nitrogen contents by soil depth.**Figure 4** - Teneur en matière organique par type de sol sur le niveau de profondeur 0-20 cm.**Figure 4** - Organic matter content by type of soils on 0-20 cm depth level.

pour le sol peu évolué et 8,6 g MO kg<sup>-1</sup> sol pour le sol fersiallitique. On note que le vertisol présente une teneur en matière organique moyenne plus élevée que les autres types de sol.

La perte de la matière organique varie avec la durée de mise en eau. Ainsi pour une durée de mise en eau de 9 ans, la perte de la MO est de 8 % pour le vertisol. Après 23 ans de mise en eau, la perte de MO est de 12 % pour le sol peu évolué et de 28,5 % pour le sol isohumique. Pour le sol fersiallitique et pour une durée de mise en eau de 25 ans, la perte de matière organique est de 52 %. La forte perte de la MO des sols fersiallitiques peut être expliquée par la faible fraction d'argile susceptible de garantir une protection relative de la matière organique

par des associations entre les colloïdes minéraux argileux et les colloïdes humiques (Van Veen et Kuikman, 1990).

Les teneurs en azote total et en azote hydrolysable dans les quatre types de sol sur le niveau de profondeur 0-20 cm sont illustrées dans le *tableau 2*.

Au niveau de profondeur 0-20 cm, la teneur en azote total du vertisol diffère significativement des autres types de sol. Pour l'azote hydrolysable, sa teneur dans le sol fersiallitique diffère significativement de celle des autres types de sol.

Le facteur type de sol semble être un facteur très important de la distribution de la matière organique du sol. En effet, Campbell et Souster (1982) rapportent que les sols du Canada de texture moyenne à fine ont généralement la plus forte teneur en matière organique. D'autre part, la perte de la matière organique sous l'effet de l'exploitation des terres est importante pour les sols de texture grossière du fait que ces sols sont plus aérés et que la matière organique s'y décompose plus facilement. Ils renferment moins d'argiles et sont alors moins protégés contre la dislocation des agrégats sous l'effet des pratiques culturales. Ce qui pourrait induire une déprotection physique de la matière organique vis-à-vis des processus de minéralisation (Feller et Beare, 1997). Ainsi, la texture du sol demeure un facteur déterminant pour le niveau de la matière organique dans le sol (Johnston, 1986).

### Evolution du taux de matière organique en fonction de la durée de mise en eau

La *figure 5* permet de visualiser l'évolution du taux moyen de MO dans l'horizon (0-20 cm) en fonction de la durée de mise en irrigation pour tous sols confondus des quatre casiers de la région d'étude. Le taux de MO obtenu est de l'ordre de 7,7 g MO kg<sup>-1</sup> sol après 46 ans; 11,1 g MO kg<sup>-1</sup> sol après 23 ans; 12,4 g MO kg<sup>-1</sup> sol après 21 ans et 14,8 g MO kg<sup>-1</sup> après 16 ans de mise en irrigation.

La perte de la matière organique des sols étudiés en fonction de la durée de mise en eau pourrait être attribuée à la mise en valeur intensive qui n'est pas accompagnée d'une gestion adéquate des résidus de culture. En effet, dans la plupart des périmètres irrigués, et particulièrement dans les Doukkala, les résidus de récolte sont généralement exportés des parcelles. Ce phénomène est amplifié par les travaux de sol fréquents qui aug-

mentent l'accessibilité de la matière organique aux micro-organismes décomposeurs (Morel, 1989 ; Goldin et Lavkulich, 1990).

En France, Balesdent (1996) a montré une baisse importante, de plus de 50 % de la MO en 35 ans des sols de terrasses alluviales des gaves pyrénéens mis progressivement en monoculture de maïs. D'après cette étude, la baisse de la réserve organique de ces sols ne semble pas devoir être expliquée par l'érosion des sols, ni par une diminution des apports carbonés au sol, car les restitutions par le maïs sont probablement importantes. La diminution de la MO est due principalement à une modification de sa vitesse de dégradation, ce qui explique la présence de molécules organiques très biodégradables.

**Tableau 2** - Teneurs en azote total et en azote hydrolysable par type de sol sur le niveau de profondeur 0-20 cm.

**Table 2** - Total nitrogen and hydrolysable nitrogen contents by type of soils on 0-20 cm depth level.

Type de sol	N-Total (g kg <sup>-1</sup> sol)	NHT (g kg <sup>-1</sup> sol)
Vertisol	0,88 a	0,54 a
Isohumique	0,61 b	0,43 a
Peu évolué	0,60 b	0,39 a
Fersiallitique	0,54 b	0,24 b

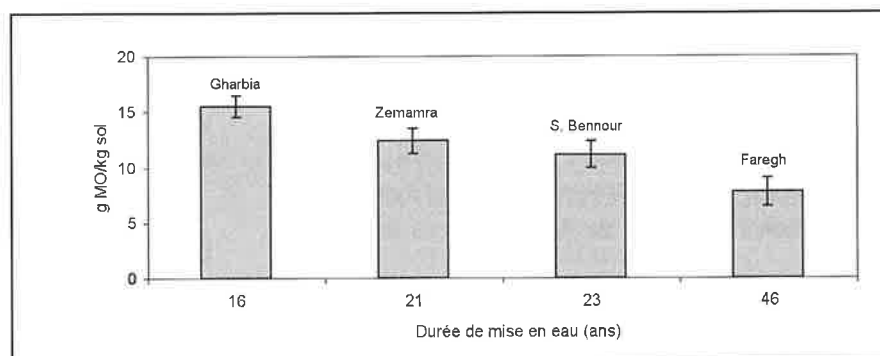
N-Total: Azote Total; NHT: Azote Total Hydrolysable avec HCl 6N.  
Les moyennes suivies par la même lettre au sein d'une colonne ne diffèrent pas significativement au niveau de probabilité 5 % (n = 5).

Les teneurs en azote total et en azote hydrolysable des sols exprimées en g kg<sup>-1</sup> sol pour différentes périodes de mise en eau sur le niveau de profondeur 0-20 cm, tous types de sols confondus de la région d'étude sont présentées dans le *tableau 3*.

La perte en azote hydrolysable dépasse celle de l'azote total. Ainsi, entre les durées de mise en eau de 5 ans (entre les périodes 16 et 21 ans) et 30 ans (entre les périodes 16 et 46 ans), le niveau de perte en azote total passe de 13 % à 47 % et celui de l'azote hydrolysable passe de 40 % à 69 %. Par conséquent le pourcentage de l'azote sous forme hydrolysable représenté par le rapport NHT/NT diminue avec la période de mise en eau (*tableau 3*). Après une période de mise en eau de 30 ans, ce rap-

**Figure 5** - Teneur en matière organique des sols par durée de mise en eau sur le niveau de profondeur 0-20 cm.

**Figure 5** - Organic matter content of soils by period of irrigation on 0-20 cm depth level.



**Tableau 3** - Teneurs en azote total et en azote hydrolysable des sols sur le niveau de profondeur 0-20 cm en fonction des périodes de mise en eau.

**Table 3** - Total nitrogen and hydrolysable nitrogen contents of soils on 0-20 cm depth level for different periods of irrigation.

Période de mise en eau	N-Total (g kg <sup>-1</sup> sol)	NHT (g kg <sup>-1</sup> sol)	NHT/N-Total (%)	CO (g kg <sup>-1</sup> sol)	C/N
16 ans	0,93a	0,75a	80,6	6,0a	6,45
21 ans	0,81b	0,39b	48,1	5,4b	6,66
23 ans	0,65c	0,34b	52,3	4,7c	7,23
46 ans	0,49d	0,24b	48,9	3,1d	6,32

N-Total: Azote Total; NHT: Azote total Hydrolysable avec HCl 6N; CO: Carbone Organique  
Les moyennes suivies par la même lettre au sein d'une colonne ne diffèrent pas significativement au niveau de probabilité 5 % (n = 5).

port passe de 80,6 % à 48,9 %. En d'autres termes la perte en azote au cours de l'intensification agricole se fait essentiellement dans la fraction hydrolysable qui correspond à la fraction d'azote total facilement biodégradable. La perte en azote hydrolysable a été également trouvée dans les sols du périmètre irrigué de Tadla au Maroc par Soudi (1988).

Les pertes en azote total restent comparables à celles du carbone organique et par conséquent le rapport C/N n'évolue pas avec l'intensification agricole (tableau 3).

Au nord du Colorado, Bowman et al., (1990) ont montré que la perte en azote total est de 55 % pour une durée de mise en culture de 60 ans. Dans le même ordre d'idée, Campbell et Souster, (1982) ont rapporté une perte de 56 % de l'azote total suite à une mise en culture de longue durée. La perte d'azote total trouvée lors de ces deux études reste moins importante que celle trouvée dans nos sols étudiés. Cette différence de perte est probablement due à une mauvaise gestion des résidus de culture et à une accélération de la minéralisation de la matière organique des sols marocains.

### Autre voie de perte de la matière organique dans le périmètre irrigué des Doukkala

Dans les régions à vocation betteravière, les sols collés sur les pivots de la betterave à sucre constituent une autre voie de perte de sol et de son contenu en matière organique. Sur la base d'un peuplement de 90 000 pieds/ha, la quantité de ces deux éléments par type de sol dans le périmètre irrigué des Doukkala est présentée dans le tableau 4.

Le vertisol, le sol isohumique, le sol peu évolué et le sol fersiallitique représentent respectivement 30 %, 36 %, 16,5 % et 6,7 % de la superficie irriguée des Doukkala. Sachant que la superficie betteravière annuelle dans cette région est de 20 000 ha, les pertes moyennes annuelles des sols par type de sol sont de

**Tableau 4** - Perte moyenne annuelle de sol et de son contenu en matière organique par type de sol.

*Table 4 - Annual average soil loss and its organic matter content by soil type.*

Type de sol	Poids du sol collé aux pivots de la betterave à sucre (t/ha)	MO du sol collé aux pivots de la betterave à sucre (g kg <sup>-1</sup> sol)
Vertisol	4,35±0,048	15,9±2,7
Isohumique	3,23±0,097	16,9±6,7
Peu évolué	2,63±0,054	22,1±0,21
Fersiallitique	1,96±0,046	9,2±0,51

Les valeurs sont exprimées par la moyenne et l'intervalle de confiance et calculées au risque de (5 %).

l'ordre de 26 100 tonnes pour le vertisol, 23 256 tonnes pour le sol isohumique, 8 679 tonnes pour le sol peu évolué et 2 626 tonnes de sol pour le sol fersiallitique.

Lors de l'arrachage de la betterave à sucre, ce sont généralement les particules les plus fines qui restent collées sur les pivots. Pour cela, nous avons procédé à une détermination des teneurs en matière organique dans les fractions granulométriques situées entre 0,05 et 2 mm. La répartition de la matière organique dans ces fractions en courbes cumulatives est montrée dans la figure 6. On constate que 60 % de MO est concentré dans des particules de sol de diamètre inférieur à 0,25 mm pour tous types de sols confondus. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Turchenek et Oades (1979).

L'évolution dans le même sens de toutes les courbes de la figure 6 confirme la réalité de cette tendance à travers les types de sol de la région.

Sur la base du taux moyen de matière organique calculé pour chaque type de sol (tableau 4) et d'une proportion de 60 % de MO dans les particules fines, les pertes moyennes annuelles de matière organique par type de sol sont de 249 ; 236 ; 115 et 14,5 tonnes pour le vertisol, le sol isohumique, le sol peu évolué et le sol fersiallitique, respectivement. Ainsi, la perte annuelle de MO dans les sols du périmètre irrigué des Doukkala est de 614,5 tonnes soit l'équivalent de 30 kg par hectare et par an. Cette valeur reste faible par rapport aux pertes causées par minéralisation, sachant que le taux annuel de minéralisation de la matière organique estimé à partir des pertes moyennes décennales varie de 1,81 à 3,26 % selon les types de sols (Naman et Soudi, 1999). Ce phénomène devrait être quantitativement plus important dans les régions tempérées ou la récolte de la betterave sucrière s'opère sous des conditions de sol humide.

## CONCLUSION

À la lumière de ces résultats, on remarque pour tous les types de sol, une diminution de la matière organique à travers le profil de sol.

Les analyses statistiques ont montré un effet très hautement significatif de la durée de mise en eau sur les teneurs des sols en matière organique et en azote total avec une perte moyenne de 48, 47 et 69 % respectivement pour la matière organique, l'azote total et l'azote hydrolysable pour une durée de mise en eau de 30 ans.

Le type de sol a montré un effet significatif sur la diminution du taux de carbone organique et d'azote total.

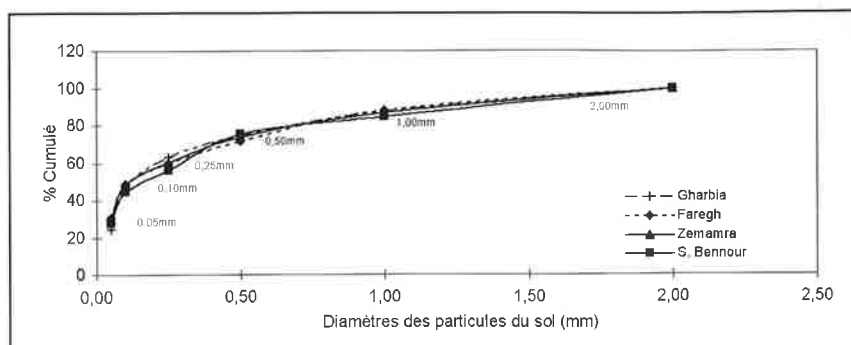
Les pertes en matière organique et en azote se sont avérées plus élevées dans les sols fersiallitiques.

Les quantités de terre collée sur les pivots de la betterave à sucre constituent une autre voie de perte de la matière organique. Cette perte est d'autant plus importante que la teneur en argile est importante. Les résultats trouvés montrent une perte moyenne



**Figure 6** - Evolution du pourcentage cumulé de la matière organique du sol selon le diamètre des particules.

**Figure 6** - Development of the cumulative ratio of soils organic matter according to particle diameter.



annuelle d'environ 30 kg de matière organique de sol par hectare dans le périmètre irrigué des Doukkala, valeur qui reste faible par rapport aux pertes causées par minéralisation. Il ressort de cette étude que la teneur en matière organique dans les sols soumis à l'intensification de la mise en valeur agricole, particulièrement dans le périmètre irrigué des Doukkala, subit une perte importante. Ceci se traduit par une détérioration de la fertilité physique et chimique des sols quelle que soit leur texture. Ainsi, des efforts de sensibilisation des organismes de développement agricole et des agriculteurs méritent d'être déployés.

Il conviendrait aussi d'émettre des recommandations concrètes à travers des essais de démonstration chez les agriculteurs permettant de bien gérer les résidus de récolte et de faire appel à d'autres produits d'amendements organiques comme les résidus de récolte et le fumier composté avec les déchets verts, pour améliorer la fertilité physique et chimique des sols.

## BIBLIOGRAPHIE

- Badraoui M., Soudi B., Merzouk A., Farhat A. et Mhamdi A., 1998 - Changes of soil qualities under pivot irrigation in bahira region of morocco : salinization. *Advances in Geoeecology* 31, 503-508.
- Badraoui M., Bouaziz A. et Kabassi M., 1993 - Contraintes physiques et potentialités du milieu. Cas des Doukkala. Vol. 1, tome 2, I.A.V. Hassan II, Rabat, 1993.
- Balesdent J., 1996 - Un point sur l'évolution des réserves organiques des sols en France. *Etude et gestion des sols*, 3, 4, 245-260, Numéro spécial.
- Bowman R.A., Reeder J.-D. et Lober R.W., 1990 - Changes in soil properties in a central plains rangeland soil after 3, 20 and 60 years cultivation USA. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 150, 851-857.
- Bremner J.-M., 1965 - Organic forms of nitrogen. In C.A. Black et al. (ed.) *Methods of Soil analysis. Part2. Agronomy* 9, 1238-1255.
- Campbell C.A. et Souster W., 1982 - Loss of Organic Matter and Potentially Mineralizable Nitrogen from Saskatchewan Soils due to Cropping. *Can. J. Soil Sci.* 62, 651-656.
- Chevry C., 1994 - La dégradation chimique des sols en Bretagne. *Etude et gestion des sols*, 1, 7-21.
- CPCS, 1967 - Commission de pédologie et de cartographie des sols. *Classification des sols*. Grignon, France, 96p.
- Dakak H., 1996 - Etude de la pollution nitrique des eaux souterraines du périmètre de Tadla : vulnérabilité des aquifères et impact des activités agricoles. Thèse de 3<sup>e</sup> cycle, Géologie appliquée- environnement. Université Mohammed V, Rabat, Maroc.
- Day P.R., 1965 - Particle fractionation and particle size analysis. In C.A. Black et al. (ed.) *Methods of soil analysis. Part 1. Agronomy* 9, 545-567.
- Feller C. et Beare M.H., 1997 - Physical control of soil organic matter dynamic in the tropics. *Geoderma*, 79, 69-116.
- Goldin A. et Lavkulich L.M., 1990 - Effects of Historical land clearing on Organic matter and nitrogen levels in Soils of the Fraser lowland of British Columbia, Canada and Washington, USA. *Can. J. Soil Sci.* 70, 583-592.
- Havlin J.-L., Kissel D.E., Maddux L.D., Claassen M.M. et Long J.H., 1990 - Crop Rotation and Tillage Effects on Soil Organic Carbon and Nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54, 448-452.
- Jackson M.L., 1958a - Organic matter determination for soils, p. 205-266. In *soil chemical analysis* Prentice-hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Jackson M.L., 1958b - Nitrogen determinations for soils and plant tissue, p. 183-204. In *soil chemical analysis*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Johnston A.E., 1986 - Soil organic matter, effects on soils and crops. *Soil use and management*, 2, 97-104.
- Lahlou M., Badraoui M. et Soudi B., 1998 - SMSS : un logiciel de simulation du mouvement de sels dans le sol. *Etude et Gestion des sols*, 5, 4, 247-256.
- Laudelout H. et Chiang N.C., 1995 - Modélisation du mouvement des sels dans les sols du Maroc. *Homme Terre et Eaux*, vol. 25, 100, 57-61.
- Morel R., 1989 - Les sols cultivés, techniques et documentations. *Dynamique générale de la matière organique*. Ed. Lavoisier, 310-325.
- Naman F. et Soudi B., 1999 - Problématique de gestion de la matière organique des sols en zones irriguées. 4<sup>th</sup> Crop African Crop Science Conference (11-14 October 1999, Casablanca, Morocco). *Proceeding*, 4, 1-10.
- Nelson D.W. et Sommers L.E., 1982 - *Methods of soil analysis, part 2. Chemical and microbiological properties*. Agronomy monograph, n° 9 (2nd edition), 539-579.
- Rahoui M., Soudi B., El Hadani D. et Benzakour M., 1999 - Evaluation de l'indice de la qualité des sols en zones irriguées : cas des Doukkala. *Géobioscience*, 10, 213-233.
- Soudi B., 1988 - Etude de la dynamique de l'azote des sols marocains : caractérisation et pouvoir minéralisateur. Thèse de Doctorat d'état es-science agronomiques. I.A.V. Hassan II, Rabat.
- Stevenson F.J., 1982 - Organic forms of soil Nitrogen. In F.J. Stevenson et al. (ed.) *Nitrogen in agricultural soils*. *Agronomy* 22, 67-122.
- Turchenek L.W. et Oades J.-M., 1979 - Fractionation of organo-mineral complexes by sedimentation and density techniques. *Geoderma*, 21, 311-343.
- Van Veen J.A. et Kuikman P.J., 1990 - Soil structural aspects of decomposition of organic matter. *Biogeochemistry*, 11, 213-233.