

Fractionnement granulométrique de la matière organique de la terre collée aux pivots de la betterave à sucre dans les sols du périmètre irrigué des Doukkala au Maroc

Comparaison avec le sol en place

F. Naman⁽¹⁾, B. Soudi⁽²⁾, N.C. Chiang⁽³⁾ et D. Zaoui⁽¹⁾

(1) 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

L'intensification agricole couplée à la non-restitution des résidus de culture contribue à un appauvrissement du sol en matière organique. Au Maroc, dans le périmètre irrigué des Doukkala, l'exportation des terres collées aux pivots de la betterave à sucre hors des parcelles lors de la récolte constitue une autre voie de perte de la matière organique du sol. Le but de cette étude est de quantifier cette perte en évaluant la teneur en matière organique dans les différentes fractions granulométriques du sol en place et de la terre collée aux pivots de la betterave à sucre. Cette étude a été menée sur quatre types de sol contrastés et représentatifs de ce périmètre.

Les résultats obtenus montrent que, pour tous les types de sol, le carbone organique et l'azote total des fractions sableuse, limoneuse et argileuse représentent respectivement 15 à 37 %, 19 à 40 et 24 à 66 % du carbone total et 10 à 24 %, 13 à 34 % et 42 à 78 % de l'azote total de l'échantillon. La fraction argile du Vertisol présente des contenus en carbone organique et en azote total plus élevés que ceux de la fraction argile des autres types de sol.

Les terres collées aux pivots sont plus riches en fraction argileuse et limoneuse et plus pauvres en fraction sableuse que les sols en place. La matière organique liée aux terres collées aux pivots représente 69 kg/ha pour le Vertisol, 57 kg/ha pour le Sol peu évolué, 52 kg/ha pour le Sol isohumique et 16 kg/ha pour le Sol fersiallitique. La matière organique perdue est majoritairement liée à la fraction argileuse pour le Vertisol, le Sol peu évolué et le Sol isohumique, représentant respectivement 68, 59 et 54 % du total perdu, mais minoritairement pour le Sol fersiallitique (29 %). Dans le périmètre irrigué des Doukkala, la perte annuelle de matière organique liée à la fraction argileuse est de 611 tonnes, soit l'équivalent de 30 kg de matière organique par hectare et par an.

Mots clés

Matière organique, sol, terre collée aux pivots, betterave à sucre, distribution granulométrique, périmètre irrigué, Doukkala, Maroc.

SUMMARY

SIZE FRACTIONATION OF SOIL ORGANIC MATTER STUCK TO THE PIVOTS OF SUGAR BEET IN THE DOUKKALA IRRIGATED PERIMETER OF MOROCCO: a comparison with the soil in situ

Agricultural intensification and the no incorporation of crop residues are recognized as the major causes of soil organic matter loss. In the large scale irrigated Doukkala perimeter, soil organic matter loss can also be attributed to the soil which is attached to the sugar beets at harvest. The objective of this study was to evaluate the organic matter content in the different particle size fractions of the soil stuck to the beets and the soil in situ. At harvest time, the soil attached to the beets was collected in plots representing the four representative soil types of the Doukkala region. Organic carbon and total nitrogen were analyzed in the sand, silt, and clay fractions.

The results show that, for all soil types, the organic carbon and the total nitrogen contained in the different particle-size fractions represent 15 to 37 %, 19 to 40 % and 24 to 66 % of the total carbon and 10 to 24 %, 13 to 34 % and 42 to 78 % of the total nitrogen, respectively for sand, silt and clay fractions. The clay fraction of the Vertisol had higher organic carbon and total nitrogen contents than those of the clay fractions of the other soil types. Compared to the whole soil, the soil fraction stuck to the beets had higher clay and silt contents. The amount of organic matter bound to the beets was evaluated to 69 kg/ha for the Chromoxerert, 57 kg/ha for the Xerocept, 52 kg/ha for the Haploxeroll, and 16 kg/ha for the Palexeralf. The loss organic matter by the clayey fraction represents 68, 59 and 54 %, respectively for the Chromoxerert, the Xerocept and the Haploxeroll, and only 29 % for Palexeralf. In the irrigated perimeter of Doukkala, the annual loss of organic matter bound to the soil clay fraction is evaluated to 611 tons, which represent the equivalent of 30 kg of organic matter per hectare.

Key-words

Organic matter, sugar beet, particle size distribution, irrigation, Doukkala, Morocco

RESUMEN

FRACCIONAMIENTO GRANULOMÉTRICO DE LA MATERIA ORGÁNICA DE LA TIERRA PEGADA A LOS PIVOTES DE REMOLACHA AZUCARERA EN LOS SUELOS DEL PERÍMETRO IRRIGADO DE DOUKKALA, MARRUECOS: comparación con los suelos en lugar

La intensificación agrícola ligada a la no-restitución de los residuos de cultivos contribuye a un empobrecimiento del suelo en materia orgánica. En Marruecos, en el perímetro irrigado de Doukkala, la exportación de la tierra pegada a los pivotes de remolacha azucarera fuera de las parcelas durante la cosecha constituye una otra vía de pérdida de la materia orgánica del suelo. La finalidad de este estudio es cuantificar esta pérdida evaluando el contenido en materia orgánica de las diferentes fracciones granulométricas del suelo en lugar y de la tierra pegada a los pivotes de remolacha azucarera. Este estudio fue realizado sobre cuatro tipos de suelos contrastados y representativos del perímetro.

Los resultados obtenidos muestran que, para todos los tipos de suelo, el carbono orgánico y el nitrógeno total de las fracciones arenosas, limosas y arcillosas representan respectivamente 15 a 37 %, 19 a 40 % y 24 a 66 % del carbono total y 10 a 24 %, 13 a 34 % y 42 a 78 % del nitrógeno total de la muestra. La fracción arcilla del Vertisol presenta contenidos en carbono orgánico y en nitrógeno total más elevados que los de la fracción arcilla de los otros tipos de suelo.

Las tierras pegadas a los pivotes son más ricas en fracción arcillosa y limosa y más pobres en fracción arenosa que el suelo en lugar. La materia ligada a las tierras pegadas a los pivotes representa 69Kg/ha para el Vertisol, 57 Kg/ha para el suelo poco desarrollado, 52 kg/ha para el suelo isohúmico y 16 kg/ha para el suelo fersialítico. La materia orgánica perdida es mayoritariamente ligada a la fracción arcillosa para el Vertisol, el suelo poco desarrollado y el suelo isohúmico, representando respectivamente 68, 59 y 54 % del total perdido, pero minoritariamente para el suelo fersialítico (29 %). En el perímetro irrigado de Doukkala, la pérdida anual de materia orgánica ligada a la fracción arcillosa es de 611 toneladas, o sea el equivalente de 30 kg de materia orgánica par hectárea y por año.

Palabras claves

Materia orgánica, suelo, tierra pegada a los pivotes, remolacha azucarera, distribución granulométrica, perímetro irrigado, Doukkala, Marruecos.

La matière organique (MO) joue un rôle essentiel dans le maintien des propriétés physiques du sol. En effet, de nombreux travaux font apparaître des corrélations fortes et positives entre teneur en MO et taux d'agrégats stables (Goldberg *et al.*, 1988; Dutartre *et al.*, 1993). Or, de la stabilité structurale dépendent la porosité, le ruissellement et l'érodibilité du sol (Duchaufour, 1997; Le Bissonnais et Arrouays, 1997).

Au Maroc, dans le périmètre irrigué des Doukkala, en plus de l'érosion éolienne (Soudi, 1997), la mise en culture intensive des sols provoque une diminution du stock organique du sol et affectent sa stabilité structurale (Rahoui *et al.*, 1999; Naman *et al.*, 2001). Mais, une autre voie de perte de la MO a été aussi mise en évidence : il s'agit de la MO liée à la terre collée aux pivots de la betterave à sucre (Naman *et al.*, 2001).

Parmi les méthodes mises en œuvre pour caractériser la MO des sols, celles basées sur des fractionnements granulométriques ont été utilisées avec succès. Elles permettent de séparer des compartiments organiques différents par leur morphologie, leur origine (Tiessen et Stewart, 1988; Feller *et al.*, 1991a), leur composition et leur dynamique (Desjardins *et al.*, 1994; Golchin *et al.*, 1995).

Les méthodes de fractionnement granulométrique de la matière organique ont été utilisées, aussi bien en zones tempérées (Elliot et Cambardella, 1991; Christensen, 1992) qu'en zone tropicale (Feller, 1993, 1995, Feller et Beare, 1997). Dans les régions tempérées, la perte de la matière organique suite à la mise en culture intensive se trouve souvent liée aux fractions grossières (Dalal et Mayer, 1986; Christensen, 1996). Dans les régions tropicales, la répartition des pertes (ou des gains) paraît fonction de la texture du sol : pertes dans les fractions grossières pour les sols sableux et dans les fractions grossières et fines pour les sols argileux (Feller et Beare, 1997).

Jusqu'à présent, aucune étude sur la répartition granulométrique de la matière organique des sols marocains n'a été faite.

Le présent travail consiste à étudier la distribution granulométrique de la MO de différents sols cultivés en betterave à sucre dans le périmètre irrigué des Doukkala au Maroc et d'analyser la nature de la MO perdue par exportation de la terre collée aux pivots de la betterave à sucre.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

La région des Doukkala fait partie du Maroc atlantique. C'est une vaste plaine inclinée régulièrement du SE au NW. Le climat est du type méditerranéen semi-aride, avec des hivers tempérés et doux et des étés généralement chauds et secs. La pluviométrie moyenne annuelle est de 400 mm le long des côtes et de 250 à 300 mm à l'intérieur des terres. La température moyenne annuelle est de 18,5 °C. Les principaux types de sol de la région sont répartis en six classes selon la classification française (CPCS, 1967; Badraoui *et al.*, 1993) : les Sols peu évolués, les Vertisols, les Sols calcima-

gnésiques, les Sols isohumiques, les Sols fersiallitiques et les Sols hydromorphes.

Les quatre sols étudiés ici (Vertisol, Sol isohumique, Sol peu évolué et Sol fersiallitique) ont été prélevés dans le périmètre irrigué des Doukkala. Le choix de ces sols est basé sur deux critères essentiels : leur représentativité en terme de superficie et le contraste dans leurs caractéristiques minéralogiques et physico-chimiques. Pour chaque type de sol, dix échantillons ont été prélevés sur une profondeur de 20 cm d'épaisseur, profondeur moyenne des pivots de la betterave à sucre, et sont mélangés pour constituer un échantillon composite prêt à être analysé. Jusqu'en 1952, dans ce périmètre l'agriculture était de type pluvial. Puis, ce périmètre a été mis en irrigation. Les cultures pratiquées y 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). Concernant la betterave à sucre, il a été montré que l'exportation de terre hors du périmètre est liée à l'abandon de la terre collée aux pivots de la betterave à sucre dans des bassins de sucrerie. Aussi, pour chaque situation pédologique, une centaine de betteraves à sucre (10 répétitions de 10 pivots) ont été choisies au hasard à la récolte. La terre collée aux pivots a été séparée par brossage minutieux sans altérer les racines de la plante puis pesée.

Les terres collées aux pivots de la betterave à sucre et le sol de l'horizon 0-20 cm ont été séchés à l'air puis tamisés à 2 mm. Une analyse granulométrique a été faite par la méthode de la pipette (Day, 1965) avec destruction de la MO par l'eau oxygénée (Analyse mécanique : AnMe); le pH a été mesuré dans une suspension sol : eau (w/v; 1/2,5).

Le fractionnement granulométrique de la matière organique (FGMO) des sols en place et des terres collées aux pivots de la betterave à sucre a été effectué par la méthode de dispersion avec Résine-Na (Feller *et al.*, 1991a). Trois répétitions de FGMO ont été faites par type de sol, aussi bien pour le sol en place que pour la terre correspondante collée aux pivots. La résine utilisée est une Amberlite IRN77 (H⁺) sodique placée dans un double sachet fermé par un élastique. Le premier sachet est un polyamide (NYTREL T145)^(R) de maille 40 µm. Le second sachet est de maille 65 µm (NYTREL T160)^(R). Le double sachet est une précaution pour éviter la contamination du sol par la résine si l'un des deux sachets se déchirait.

Le carbone organique et l'azote total du sol non fractionné et des différentes fractions granulométriques des sols en place et des terres collées aux pivots ont été déterminés sur analyseur élémentaire (analyseur NA 1500 Carlo Erba).

Les teneurs en carbone organique soluble ont été dosées sur une partie aliquote de la suspension 0-2000 µm après filtration, précipitation à SrCl₂ et centrifugation à 10000 t/mn de la charge solide. Les solutions ont été dosées par analyseur de carbone Dohrman DC 180.

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

Tableau 1 - Quelques caractéristiques physico-chimiques des sols en place et de la terre collée aux pivots de la betterave à sucre.**Table 1** - Some characteristics of the soil stuck to the pivots of sugar beet and the soil in situ.

Echantillon	Sol	MO			S	Granulométrie			pH eau
		C	N	C/N		L	A	Total	
		g/kg sol			g/kg sol				
Sol en place (0-20 cm)	Vertisol	8,65	0,86	10,0	357	206	436	999	7,9
	Isohumique	8,24	0,94	8,7	648	169	162	980	7,2
	Fersiallitique	5,00	0,50	10,0	785	89	125	999	7,8
	Peu évolué	7,82	1,00	7,8	672	164	163	999	7,7
Terre collée au pivot	Vertisol	9,22	1,23	7,5	234	202	563	999	7,8
	Isohumique	9,80	0,97	10,1	537	192	250	980	7,3
	Fersiallitique	5,30	0,43	12,4	695	135	172	1003	7,8
	Peu évolué	12,82	1,20	10,7	572	238	186	996	7,6

C : Carbone organique; A : Argile; L : Limon; S : Sable

Les résultats obtenus sont analysés statistiquement à l'aide du logiciel STATITCF. Pour la comparaison des moyennes, nous avons utilisé le test de Newman et Keuls. Pour l'acceptabilité ou le rejet de l'hypothèse d'égalité des moyennes, le seuil de probabilité a été fixé à 5 %.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Caractéristiques physico-chimiques des sols étudiés

Quelques caractéristiques physico-chimiques des sols en place et des terres collées aux pivots de la betterave à sucre sont présentées dans le *tableau 1*.

Pour les sols en place, les taux d'argile, de limon et de sable varient de 125 à 436 g/kg de sol, de 89 à 206 g/kg de sol et de 357 à 785 g/kg de sol respectivement ; leurs teneurs en carbone organique varient de 5 à 8,6 g/kg de sol et leurs rapports C/N de 7,8 à 10. Par comparaison au sol de la couche 0-20 cm, les terres collées aux pivots de la betterave à sucre présentent des différences sensibles de texture, les taux d'argile sont plus élevés et les taux de sable sont plus faibles ; les teneurs en carbone organique sont aussi plus élevées, mais on n'observe pas de variations systématiques des rapports C/N.

Les pH du sol en place et de la terre collée aux pivots de la betterave à sucre sont similaires et légèrement alcalins.

Bilans de masse, de carbone et d'azote après fractionnement granulométrique de la matière organique des sols

Les résultats de l'analyse granulométrique des sols et les contenus en carbone organique et en azote total des différentes fractions granulométriques sont présentés dans les *tableaux 2* et *4* respectivement.

Tous échantillons de sol confondus, les bilans de récupération après fractionnement, varient, pour les masses, de 96 à 101 % (*tableau 2*), pour le carbone organique de 99 à 101 % et pour l'azote de 94 à 107 % (*tableau 4*).

Qualité de la dispersion des éléments fins

La dispersion des éléments fins est appréciée en comparant la répartition des masses minérales des fractions obtenues par le FGMO (valeurs du *tableau 2* diminuées des masses des matières organiques associées aux fractions) à celle obtenue par analyse mécanique (Analyse mécanique). Les résultats obtenus sont présentés dans la *figure 1*. Tous échantillons confondus, on constate que la dispersion de la fraction sable grossier peut être considérée comme excellente, avec des valeurs égales ou inférieures à celles de l'analyse mécanique. Les fractions sable fin (50-200 μm) et limon grossier (20-50 μm) apparaissent incomplètement dispersées. La partie non dispersée de l'ensemble des fractions 20-200 μm représente environ 4,3 % du poids total de l'échantillon.

La dispersion incomplète des fractions sable fin et limon grossier a pour conséquence un déficit en masse des fractions argile et limon fin.

Composition chimique des fractions granulométriques des sols

Les teneurs en carbone organique (g C/kg fraction), et en azote

Figure 1 - Différences entre les masses minérales des fractions obtenues après fractionnement granulométrique de la matière organique (FGMO) et après traitement à l'eau oxygénée (AnMe).

Figure 1 - Difference between the weight fraction obtained by particle-size organic matter fractionation (FGMO) and after treatment by oxiginated water (AnMe).

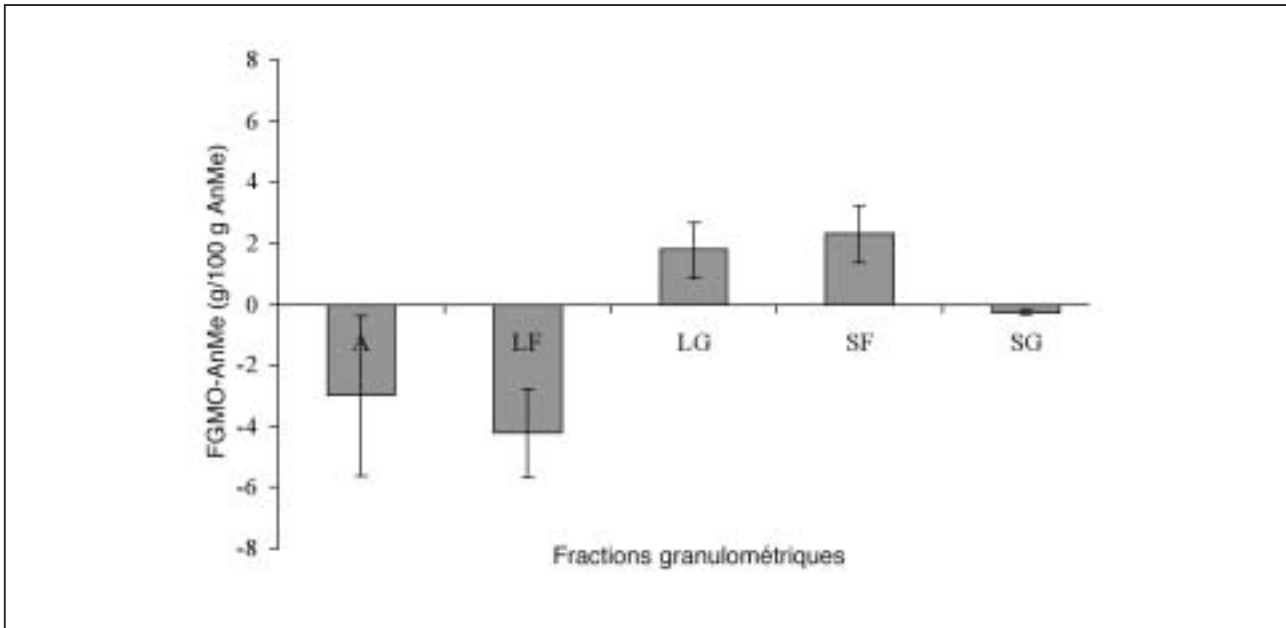


Tableau 2 - Pourcentage des différentes fractions granulométriques pour 100 g de sol (%)

Table 2 - Percentage of the different particle-size fraction for 100 g of soil (%)

Echantillon	Sol	A	LF	LG	SF	SG	Total
Sol en place (0-20 cm)	Vertisol	49,1 b	9,9 c	5,1 b	23,5 f	13,4 d	101
	Isohumique	16,2 d	8,0 c	8,9 a	44,3 d	20,6 c	98
	Fersiallitique	9,2 f	3,0 e	4,4 c	56,2 a	25,1 a	98
	Peu évolué	9,7 f	6,3 d	8,1 a	53,3 b	18,3 c	96
Terre collée au pivot	Vertisol	52,7 a	13,8 a	5,7 c	17,2 g	8,5 e	98
	Isohumique	21,3 c	9,3 c	9,2 a	40,6 e	16,3 d	97
	Fersiallitique	13,1 e	4,5 e	6,9 b	50,6 c	22,8 b	98
	Peu évolué	16,5 d	11,4 b	9,6 a	49,2 c	8,9 e	96

A : Argile ; LF : Limon fin ; LG : Limon grossier ; SF : Sable fin ; SG : Sable grossier

Les moyennes suivies par la même lettre au sein d'une même colonne ne diffèrent pas significativement au niveau de probabilité de 5 %.

total (g N/kg fraction) et le rapport C/N sont présentés dans le *tableau 3*. Les teneurs sont très variables selon les sols et les fractions. Pour le Vertisol, le Sol isohumique et le Sol fersiallitique l'ordre de variation des teneurs en carbone est le suivant : LF ≥ A > LG > SF > SG. Pour le Sol peu évolué, il diffère des trois autres par le fait que A > LF.

Le rapport C/N varie de 5,7 à 9,3 pour la fraction argileuse ; de 10 à 16,5 pour la fraction limoneuse et de 14 à 22,7 pour la fraction

sableuse. Le fait de trouver des rapports C/N élevés pour les fractions SF et LG, en comparaison des C/N des fractions argileuses, montre que la dispersion incomplète observée pour SF et LG est plus due à une contamination par la fraction LF (C/N > 10) que par la fraction A (C/N < 9,3). La diminution du rapport C/N de la fraction sableuse à la fraction argileuse est également trouvée en milieu tempéré (Anderson *et al.*, 1981 ; Tiessen et Stewart, 1983) et tropical (Feller *et al.*, 1983 et 1991 b ; Cerri *et al.*, 1985). Ceci est lié à une

Tableau 3 - Teneur en carbone organique et en azote total des différentes fractions granulométriques du sol en place et de la terre collée aux pivots de la betterave à sucre (g/kg fraction).

Table 3 - Organic carbon and total nitrogen contents of the different particle-size fraction of soil stuck to the pivots of sugar beet and of soil in situ (g/kg fraction).

Echantillon	Sol	A		LF		LG		SF		SG						
		C	N	C/N	C	N	C/N	C	N	C/N	C	N	C/N			
Sol en place (0-20 cm)	Vertisol	11,5 a	1,38 a	8,31	12,9 a	0,91 a	14,2	6,47 b	0,39 b	16,5	4,18 a	0,30 a	14,0	1,87 a	0,10 a	19,2
	Isohumique	24,5 a	4,18 a	5,85	26,0 b	2,60 a	10,0	4,94 b	0,30 b	16,3	2,69 a	0,18 a	15,1	1,60 a	0,09 a	18,3
	Fersiallitique	12,9 a	2,13 a	6,04	47,0 a	3,80 a	12,4	12,95 a	1,00 a	12,9	2,51 a	0,16 a	15,7	1,71 a	0,08 a	20,5
	Peu évolué	40,0 b	6,97 a	5,73	18,7 a	1,39 a	13,4	6,99 b	0,50 b	13,9	3,49 a	0,23 a	15,2	1,47 a	0,09 a	16,9
Terre collée au pivot	Vertisol	11,8 a	1,93 a	6,08	13,0 a	1,08 a	11,9	8,52 a	0,69 a	12,2	2,89 b	0,20 a	14,7	2,49 a	0,11 a	22,7
	Isohumique	23,9 a	3,00 b	7,95	28,9 a	2,58 a	11,2	6,81 a	0,50 a	13,7	1,70 b	0,11 a	15,7	1,69 a	0,08 a	20,2
	Fersiallitique	11,2 b	1,37 a	8,17	37,3 b	2,67 a	14,0	11,01 a	0,84 a	13,1	1,80 a	0,09 a	20,2	1,80 a	0,08 a	21,6
	Peu évolué	45,4 a	4,89 b	9,27	18,9 a	1,48 a	12,7	18,55 a	1,39 a	13,3	2,09 b	0,12 b	17,5	1,89 a	0,09 a	20,1

C: Carbone organique; N: Azote total; A: Argile; LF: Limon fin; LG: Limon grossier; SF: Sable fin; SG: Sable grossier
Les moyennes suivies par la même lettre au sein d'une même colonne pour le même type de sol ne diffèrent pas significativement au niveau de probabilité de 5 %.

différence de composition de la MO des différentes fractions (Feller *et al.*, 1991b, Feller, 1995):

- MO amorphe et débris et métabolites microbiens dans la fraction argileuse,
- association de débris végétaux et fongiques et de microagré-gats organo-limono-argileux ayant résisté au fractionnement granulométrique dans les fractions limoneuses,
- débris végétaux à différents degrés de décomposition dans la fraction sableuse.

Contenu en carbone organique et en azote total des fractions granulométriques des sols

Pour les quatre types de sol, les contenus en carbone organique et en azote total des cinq fractions granulométriques des sols sont présentés dans le tableau 4. Pour le Vertisol, le Sol isohumique et le Sol peu évolué, les contenus suivent l'ordre suivant: A (48 à 67 %) > LF + LG (19 à 34 %) > SF + SG (8 à 27 %). Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Balesdent *et al.* (1991) où la fraction argile représente à elle seule 47 % du carbone organique total du sol. Pour le Sol fersiallitique, le sens de variation est différent: LF + LG (39 à 46 %) > SF + SG (25 à 36 %) > A (23 à 27 %).

De manière générale, les variations des contenus en azote total suivent celles du carbone.

Les faibles contenus absolus en carbone organique (1,6 à 2,7 g C/kg sol) et en azote total (0,1 à 0,2 g N/kg sol) des fractions de tailles supérieures à 20 µm (LG, SF et SG) sont probablement dus à l'effet de l'intensification agricole (Elustondo *et al.*, 1990) et au faible niveau des restitutions organiques. Toutefois, si on analyse la distribution du carbone en fonction de la texture des quatre sols en place étudiés, on note que la fraction 20-2000 µm représente 18,1 et 23,8 % respectivement pour les deux sols les plus argileux, le Vertisol avec 44 % d'argile et le Sol isohumique avec 16 % d'argile. A l'opposé, pour les sols sableux, Fersiallitique et Peu évolué, avec des teneurs en argile de 12 et 16 %, la fraction 20-2000 µm contribue pour 34 à 48 % du C total %. Ces distributions relatives du C selon la texture sont en accord avec celles présentées par Feller et Beare (1997) pour une collection de sols tropicaux, et illustrent l'importance de la fraction 20-2000 µm pour ces sols sableux. En ce sens, ces sols méditerranéens se rapprocheraient plus des sols tropicaux que des sols tempérés où la fraction sableuse, indépendamment de la texture, représente généralement moins de 10 % du C total (Christensen, 1996).

Par ailleurs, le faible contenu en C du Sol fersiallitique (5,1 g C/kg sol) s'explique par le faible contenu de la fraction argileuse (1,2 g C/kg sol), lui-même dû à une teneur (g C/kg fraction) anormalement faible de cette fraction (12,9 g C/kg fraction) pour un sol à texture grossière (Feller, 1995). Ces résultats pourraient s'expliquer par l'histoire passée de la parcelle; celle-ci pourrait avoir perdu une partie de son horizon humifère, soit par nivellement des sols par des travaux agricoles, soit par érosion éolienne ou hydrique, ceci conduisant à l'affleurement d'un horizon de profondeur plus pauvre en MO.

Tableau 4 - Contenu absolu (g/kg sol) et relatif (% C et N somme) en carbone organique et en azote total des différentes fractions granulométriques des terres collées aux pivots de la betterave à sucre et du sol en place.

Table 4 - Absolute (g/kg soil) and relative (% C and N total) organic carbon and total nitrogen contents of the different particle-size fractions of soil stuck to the pivots of sugar beet and soil in situ.

Echantillon	Sol	A		LF		LG		SF		SG		HS		Total		Sol NF		Total (%sol NF)		
		C	N	C	N	C	N	C	N	C	N	C	N	C	N	C	N	C	N	
Sol en place (0-20 cm)	A - Contenu absolu	5,65 b	0,68 c	1,28 c	0,09 c	0,33 e	0,02 d	0,98 d	0,07 b	0,25 c	0,01 b	0,13 c	8,62	0,87	8,65	0,86	100	101		
		3,98 c	0,68 c	2,08 a	0,21 a	0,44 d	0,03 d	1,19 c	0,08 b	0,33 b	0,02 a	0,21 b	8,23	1,01	8,24	0,94	100	107		
		1,19 e	0,20 d	1,41 c	0,11 c	0,57 c	0,04 c	1,41 b	0,09 a	0,43 a	0,02 a	0,06 d	5,07	0,47	5,00	0,50	101	94		
		3,90 c	0,68 c	1,18 c	0,09 c	0,57 c	0,04 c	1,86 a	0,12 a	0,27 c	0,02 b	0,06 d	7,84	0,95	7,82	1,00	100	95		
B - Contenu relatif	65,5	78,2	14,8	10,3	3,8	2,3	11,4	8,0	2,9	1,5	1,5									
	48,4	67,3	25,3	20,6	5,3	2,7	14,5	7,8	4,0	1,8	2,5									
	23,5	42,5	27,8	24,2	11,2	9,4	27,8	19,1	8,5	4,5	1,2									
	49,7	71,6	15,0	9,7	7,3	4,3	23,7	12,8	3,4	1,7	0,8									
Terre collée au pivot	A - Contenu absolu	6,20 a	1,02 a	1,79 b	0,15 b	0,49 d	0,04 c	0,50 f	0,03 d	0,21 d	0,01 c	0,02 e	9,21	1,25	9,22	1,23	100	102		
		5,09 b	0,64 c	2,69 a	0,24 a	0,63 b	0,05 c	0,69 e	0,04 c	0,28 c	0,01 b	0,32 a	9,70	0,98	9,80	0,97	99	101		
		1,47 d	0,18 d	1,68 b	0,12 b	0,76 b	0,06 b	0,91 d	0,04 c	0,41 a	0,02 a	0,12 c	5,35	0,42	5,30	0,43	101	98		
		7,51 a	0,81 b	2,16 a	0,17 b	1,79 a	0,13 a	1,03 d	0,06 c	0,17 e	0,01 c	0,13 c	12,78	1,18	12,82	1,22	100	97		
B - Contenu relatif	67,3	81,6	19,4	12,0	5,3	3,2	5,4	2,7	2,3	0,7	0,2									
	52,5	65,3	27,7	24,5	6,5	4,7	7,1	4,5	2,9	1,4	3,3									
	27,5	42,9	31,4	28,6	14,2	13,8	17,0	10,7	7,7	4,5	2,2									
	58,8	68,6	16,9	14,4	14,0	11,4	8,1	5,0	1,3	0,7	1,0									

C: Carbone organique; N: Azote total; A: Argile; LF: Limon fin; LG: Limon grossier; SF: Sable fin; SG: Sable grossier; Sol NF: Sol non fractionné; HS: Hydrosoluble. Les moyennes suivies par la même lettre au sein d'une même colonne ne diffèrent pas significativement au niveau de probabilité de 5 %.

Tableau 5 - Perte moyenne annuelle en terre et en matière organique pour les quatre sols étudiés (Naman *et al.*, 2001).**Table 5** - Average annual soil and organic matter losses for the four studied soils (Naman *et al.*, 2001).

Sol	Masse de la terre collée au pivot de la betterave à sucre (t/ha)	Quantité de MO de la terre collée aux pivots de la betterave à sucre	
		(g/kg sol)	(kg/ha)
Vertisol	4,35 ± 0,05	15,9 ± 2,70	69,2
Isohumique	3,23 ± 0,10	16,9 ± 6,70	54,6
Fersiallitique	1,96 ± 0,05	9,2 ± 0,51	18,0
Peu évolué	2,63 ± 0,05	22,1 ± 0,21	58,1

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

Comparaison entre les masses, les teneurs et les contenus en carbone organique et en azote total du sol en place et de la terre collée aux pivots de la betterave à sucre

Du *tableau 2*, il ressort que pour les quatre types de sols, les terres collées aux pivots sont relativement enrichies en fractions A, LF et LG et donc appauvries en fractions SF et SG par rapport aux sols en place. En conséquence, au moment de l'arrachage de la betterave à sucre, les sols en place s'appauvrissent en fractions A, LF et LG. Pour les quatre types de sol, les contenus (*tableau 4*) en carbone organique et en azote total de la fraction argile, limon fin et limon grossier des terres collées aux pivots de la betterave à sucre sont plus importants que dans ceux des fractions des sols en place.

Toutefois, les teneurs (g C/kg fraction) en C et N des différentes fractions granulométriques des terres collées et des sols en place (*tableau 3*) ne diffèrent pas statistiquement. Ceci indique que le supplément de MO des terres collées est uniquement dû à un enrichissement massique en argile et limon, et non à une autre cause, comme par exemple, (i) une contamination des particules de terres collées par des exsudats ou débris organiques arrachés au pivot lors de la séparation de la terre collée, (ii) un « collage » sélectif en certaines particules fines du sol plus riches en MO que l'ensemble des particules fines du sol.

Le facteur type de sol semble être un facteur très important dans la distribution de la MO du sol. En effet, la quantité de MO collée aux pivots est élevée quand la betterave à sucre est cultivée sur le Vertisol (69,2 kg/ha), moyenne sur le Sol isohumique (54,6 kg/ha) et le Sol peu évolué (58,1 kg/ha) et faible sur le Sol fersiallitique (18,0 kg/ha) (Naman *et al.*, 2001). Par contre, les rapports C/N de la terre collée au pivot des différents types de sol ne présentent pas de variations systématiques et varient de 7,5 à 12,6.

Quantités de sol et de matière organique perdues dans les fractions granulométriques des terres collées aux pivots de la betterave à sucre.

A partir de la perte moyenne annuelle du sol et de son contenu en MO (*Tableau 5*, Naman *et al.*, 2001), nous avons calculé les quantités de sol et de MO perdues par chacune des 5 fractions granulométriques des terres collées aux pivots de la betterave à sucre. Les résultats obtenus sont présentés dans le *tableau 6*.

Pour les quatre types de sol, les pertes en terre sont généralement plus importantes dans les fractions A, LF, LG et SF que dans la fraction SG alors que les pertes en MO sont plus importantes dans la fraction A et LF que dans les fractions LG et S. La perte de la MO liée à la fraction argile seule par rapport à la quantité totale perdue est de l'ordre de 67 % pour le Vertisol, 54 % pour le Sol isohumique, 59 % pour le Sol peu évolué et 29 % pour le Sol fersiallitique. Ces fortes pertes pourraient avoir à long terme, comme conséquence une fragilisation de la structure du sol, processus accroissant les risques de compactage, de ruissellement et d'érosion (Duchaufour, 1997).

Puisque, le Vertisol, le Sol isohumique, le Sol peu évolué et le Sol fersiallitique représentent respectivement 30 %, 36 %, 17 % et 7 % de la superficie irriguée des Doukkala (61 000 ha) dont le tiers est réservé chaque année à la culture de la betterave à sucre, la perte annuelle de MO dans ces sols est de l'ordre de 420, 383, 235 et 196 t respectivement. Ainsi, la perte annuelle de MO dans le périmètre irrigué des Doukkala est de 61 kg/ha. Comme dans le Vertisol, le Sol isohumique et le Sol peu évolué, la MO perdue se trouve essentiellement liée à la fraction argile, la perte moyenne annuelle en MO dans cette fraction est de l'ordre de 283 t pour le Vertisol ; 208 t pour le Sol isohumique ; 113 t pour le Sol peu évolué. Dans le Sol fersiallitique, la perte en MO liée à la fraction argileuse est de seulement 6,6 t. Ainsi, la perte annuelle de MO de la fraction argileuse dans le périmètre irrigué des Doukkala est de 611 tonnes, soit l'équivalent de 30 kg MO/ha/an, soit près d'une tonne en 30 ans, l'équivalent de 0,7 à 1,2 ‰ de la MO de l'horizon de surface des sols étudiés. Cette perte reste inférieure à celle causée par minéralisa-

Tableau 6 - Perte moyenne annuelle en terre (t/ha) et en matière organique (kg/ha) pour chaque fraction granulométrique des terres collées aux pivots de la betterave à sucre.**Table 6** - Mean annual soil (t/ha) and organic matter (kg/ha) losses by particle-size fractions of soil stuck to the pivots of sugar beet.

Sol	A	LF	LG	SF	SG	Total
Perte en terre (t/ha/an)						
Vertisol	2,29 a	0,60 c	0,25 e	0,75 b	0,36 d	4,25
Isohumique	0,69 b	0,30 d	0,30 d	1,31 a	0,53 c	3,13
Fersiallitique	0,25 b	0,09 d	0,13 c	0,96 a	0,17 c	1,60
Peu évolué	0,43 b	0,30 c	0,25 d	1,29 a	0,23 d	2,50
Perte en MO (kg/ha/an)						
Vertisol	46,43 a	13,42 b	3,67 c	3,74 c	1,54 d	68,8
Isohumique	28,42 a	14,96 b	3,52 c	3,84 c	1,54 d	52,3
Fersiallitique	4,83 b	5,66 a	2,47 c	2,97 c	0,53 d	16,5
Peu évolué	33,63 a	9,75 b	7,99 c	4,65 d	0,75 e	56,8

Les moyennes suivies par la même lettre au sein d'une même ligne ne diffèrent pas significativement au niveau de probabilité de 5 %.

tion qui est de l'ordre de 480 à 990 kg/ha/an selon les types de sols (Naman et Soudi, 1999). Dans les régions tempérées ou la récolte de la betterave sucrière s'opère sous des conditions de sol humide, la perte en terre et en MO devrait être quantitativement plus importante.

CONCLUSION

La comparaison, par fractionnement granulométrique de la MO de divers types de sols en place (0-20 cm) et de la terre collée au pivot de la betterave à sucre et exportée hors du périmètre irrigué a permis de montrer que :

- la terre exportée est enrichie en particules argileuses et limoneuses,
- l'essentiel de la matière organique exportée est associé à ces particules,
- l'exportation représente en moyenne 61 kg MO/ha/an dont 30 kg MO proviennent de la seule fraction argileuse.

Cette matière organique exportée vers les bassins sucriers industriels, n'est pour raisons financières, jamais restituée au sol. Cette quantité annuelle qui peut paraître relativement faible, n'est pas négligeable sur le long terme.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier vivement le Professeur B. Delvaux et son équipe de l'Université Catholique de Louvain-La-Neuve (Unité de Pédologie) en Belgique, pour avoir mis à notre disposition tout le matériel nécessaire à la réalisation de ce travail.

BIBLIOGRAPHIE

- Anderson D.W., Saggart S., Bettany J.-R. et Stewart J.W.B., 1981 – Particle size fractions and their use in studies of soil organic matter: I. The nature and distribution of forms of carbon, nitrogen and sulfur. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45, 767-772.
- Badraoui M., Bouaziz A. et Kabassi M., 1993 – Contraintes physiques et potentialités du milieu. Cas des Doukkala. Vol. 1, tome II, I.A.V. Hassan II, Rabat, 1993.
- Balesdent J., Petraud J.-P. et Feller C., 1991 – Effet des ultrasons sur la distribution granulométrique des matières organiques des sols. *Science Sol*, 29, 95-106.
- Cerri C., Feller C., Balesdent J., Victoria R. et Plenecassagne A., 1985 – Application du traçage isotopique naturel en ^{13}C à l'étude de la dynamique de la matière organique dans les sols. *C. R. Acad. Sci., Paris, Sér.*, 9, 423-428.
- Christensen B.T., 1992 – Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Adv. Soil Sci.*, 20, 1-19.
- Christensen B.T., 1996 – Carbon in primary and secondary organomineral complexes. In *Structure and organic matter storage in agricultural soils*: Martin R. Carter and B.A. Stewart (eds.), 97-165. *Advances in soil Science* CRC Press, Boca Raton, Florida.
- CPCS, 1967 – Commission de pédologie et de cartographie des sols. Classification des sols. Grignon, France, 96p.
- Dalal R.C. et Mayer R.J., 1986 – Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. II distribution and kinetics of soil organic carbon in particle-size fractions. *Aust. J. Soil Res.*, 24, 293-300.
- 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.
- Desjardins T., Andreux F., Volkoff B. et Cerri C.C., 1994 – Organic carbon and ^{13}C contents in soils and soil size-fractions, and their changes due to deforestation and pasture installation in eastern Amazonia. *Geoderma*, 61, 103-118.
- Duchaufour P., 1997 – Abrégé de pédologie: sol, végétation, environnement. 5^e Ed. (Masson).
- Dutartre P., Bartoli F., Andreux F. et Portal J.M., 1993 – Influence of content and nature of organic matter on the structure of some sandy soils from West

- Africa. *Geoderma*, 56, 459-478.
- Elliot E.T. et Cambardella C.A., 1991 – Physical separation of soil organic matter. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 34, 407-419.
- Elustondo J., Angers D.A., Laverdiere M.R. et N'Dayegamiye A., 1990 – Etude comparative de l'agrégation et de la matière organique associée aux fractions granulométriques de sept sols sous culture de maïs ou en prairie. *Can. J. Soil. Sci.*, 70, 395-402.
- Feller C., Bernhardt-Reversat F., Garcia J.L., Pantier J.J., Roussos S. et Van Vliet-Lanoe B., 1983 – Etude de la matière organique de différentes fractions granulométriques d'un sol sableux tropical. Effet d'un amendement organique (compost). *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, 20, 3, 223-238.
- Feller C., Burtin G., Gerard B. et Balesdent J., 1991a – Utilisation des résines sodiques et des ultrasons dans le fractionnement granulométrique de la matière organique des sols. Intérêts et limites. *Science Sol*, 29, 2, 77-93.
- Feller C., François C., Villemin G., Portal J.M., Toutain F. et Morel J.L., 1991b – Nature des matières organiques associées aux fractions argileuses d'un sol ferrallitique. *Compte-Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 2, 1491-1497.
- Feller C., 1993 – Organic inputs, soil organic matter and functional soil organic compartments in low activity clay soils in tropical zones. In: *Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture*, K. Mulongoy, et R. Merckx (eds.) pp77-88. J. Wiley-Sayce, Chichester.
- Feller C., 1995 – La matière organique dans les sols tropicaux à argile 1:1. Recherche de compartiments organiques fonctionnels. Une approche granulométrique. Editions ORSTOM, Collection ORSTOM TDM n° 144, Bondy, France.
- Feller C. et Beare M.H., 1997 – Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*, 79, 69-116.
- Golchin A., Oades J.M., Skjemstad J.O. et Clarke, P., 1995 – Structural and dynamic properties of soil organic matter as reflected by ¹³C natural abundance, pyrolysis mass spectrometry and solid-state ¹³C NMR spectrometry in density fractions of oxisol under forest and pasture. *Aust. J. Soil Res.*, 33, 59-76.
- Goldberg J., Suarez D.L. et Glaubig R.A., 1988 – Factors affecting clay dispersion and aggregate stability of arid zone soils. *Soil Sci.*, 146, 317-325.
- Le Bissonnais Y. et Arrouays D., 1997 – Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: II. Application to humic loamy soils with various organic carbon contents. *Eur. J. Soil Sci.*, 48, 39-48.
- Naman F. et Soudi B., 1999 – Problématique de gestion de la matière organique des sols en zones irriguées. 4th Crop African Crop Science Conference (11-14 October 1999, Casablanca, Morocco). *Proceeding*, 4, 161-165.
- Naman F., Soudi B. et Chiang N.C., 2001 – Impact de l'intensification agricole sur le statut de la matière organique des sols en zones irriguées semi-arides au Maroc. *Etude et Gestion des Sols*, 8, 4, 269-277.
- 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. *Géoobservateur*, 10, 213-233.
- Soudi B., 1997 – Etude de l'impact de l'intensification de la mise en valeur agricole sur la qualité des sols et des eaux : Propositions de pratiques rationnelles. *Rapport annuel sur le projet d'Initiatives propres : convention AGCD-UCL (Administration Générale de la Coopération au Développement-Université Catholique de Louvain)*.
- Tiessen H. et Stewart J.W.B., 1983 – Particle-size fractions and their use in studies of soil organic matter. II. Cultivations effects on organic matter composition in size fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47, 509-514.
- Tiessen H. et Stewart J.W.B., 1988 – Light and electron microscopy of stained microaggregates : the role of organic matter and microbe in soil aggregation. *Biogeochemistry*, 5, 312-322.