

Distribution de l'Azote et caractérisation des sols de la Tunisie du Nord

Nitrogen distribution and characterization of soils in Northern Tunisia

DRIDI, I.¹ et GALLALI, T.¹

Abstract: Studies about nitrogen organic matter of soils in the arid and semi-arid regions are rare and constitute today a topical subject. In our research, we have focused on organic matter characterization in selected soils of Northern Tunisia as well as nitrogen distribution in these ones. The studied samples are selected following a broad E-W direction covering most of Northern Tunisia soil types. Soil fractions, below 50 μ m, were analysed for total organic nitrogen, using an Ultrasonic Generator "Sonicator". Humic and fulvic acids quantifications were determined following an alkaline extraction method.

The results of nitrogen organic matter analysis show that the ratio between the total nitrogen content measured in the fine fraction, and the total nitrogen, measured in the whole soil fraction (N<50 μ m/NT %) exceeds 70%, especially within the deep horizons of all the soil types. However, the ratio is the highest within the fine textured soil. On the other hand, the lowest ratios are found within the surface horizons of the humus-rich rendzina and the brown leached fersiallitic soil, with 35.80% and 48.89% respectively.

The humic splitting up analyses indicate that 60% of fine fraction nitrogen content is mainly located within the humin.

Key words: Northern Tunisia, soils, organic matter, nitrogen, humin, fersiallitic soil, vertisol, humus-rich rendzina.

Résumé: Les recherches sur la matière organique des sols des zones arides et semi-arides sont relativement rares et constituent aujourd'hui une thématique d'actualité. C'est dans ce cadre que s'inscrit le présent travail qui propose l'étude de la distribution de l'azote de la matière organique dans quelques sols de la Tunisie du Nord. Les sols étudiés y ont été échantillonnés selon une direction E-W. La distribution de l'azote organique total a été mesurée à l'aide d'un générateur Ultrason (Sonicator) dans la fraction fine, inférieure à 50 μ m et par une extraction alcaline dans les différentes fractions humiques.

Le rapport entre l'azote de la fraction fine et l'azote de la fraction totale (N<50 μ m/NT %) est très important surtout au sein des horizons de profondeur de tous les sols étudiés. Il dépasse les 70 %. C'est dans les sols à texture fine qu'on obtient les rapports les plus élevés. Les rapports les plus faibles sont fournis par les horizons de surface de la rendzine humifère et du sol brun fersiallitique lessivé, avec respectivement 35.80 % et 48.89 %.

La répartition de l'azote dans les différentes fractions humiques montre que pour l'ensemble des sols étudiés, plus de 60 % de l'azote de la fraction fine se trouve localisé dans les humines.

Mots clés: Tunisie du Nord, sols, matière organique, azote, humine, sol fersiallitique, vertisol, rendzine humifère

¹Unité de Recherche de Pédologie, Département de Géologie, Faculté des Sciences de Tunis, Campus Universitaire, 2092 Tunis, Tunisie

INTRODUCTION

L'azote (N) est, après le carbone (C), l'un des principaux éléments constitutifs de la matière organique qui est un composant essentiel de la matière vivante. Son étude révèle un double intérêt, économique et environnemental.

Sur le plan économique, la connaissance de la répartition de l'azote entre les différents compartiments du sol, permet de raisonner la fertilisation azotée. Sur le plan environnemental, l'étude du bilan quantitatif de l'azote évite les pertes par lessivage qui peuvent contaminer les nappes phréatiques ou bien rejoindre le réseau hydrographique.

Face à ces préoccupations énergétiques et environnementales les recherches sur l'azote constituent des thèmes d'actualité et des axes de recherches prioritaires. En effet, parmi les problèmes multiples et complexes posés par l'utilisation de l'azote en agriculture, la dynamique de l'azote dans le sol constitue une problématique environnementale à résoudre. Néanmoins, malgré la diversité des études portant sur ce sujet, de nombreuses interrogations subsistent encore. L'objet essentiel de ces travaux était d'essayer de définir les conditions et les modalités de la libération des réserves organiques du sol, ainsi que d'observer et d'interpréter les nombreuses transformations et les déplacements auxquels sont soumises, en fonction des conditions du milieu, les différentes formes de l'azote dans le sol.

L'objectif du présent travail consiste à étudier la distribution de l'azote dans quelques sols types de la Tunisie du Nord et à les caractériser sur cette base.

MATERIEL ET METHODES

Pour notre étude, nous avons adopté la méthode de fractionnement granulométrique aux ultrasons et la méthode de l'extraction alcaline. La première est basée sur la propriété que possède la matière organique humifiée de se localiser au niveau de la fraction fine du sol. Elle a permis une étude approfondie de la matière organique et de son association avec les particules minérales du sol (ELUSTONDO *et al*, 1990 ; JOCTEUR MONROSIER *et al*, 1991).

Cette même technique a été utilisée par plusieurs auteurs (HEAKAL et HERBILLON, 1976 ; SHAYMUKHAMETOV *et al*, 1984 ; CHRISTENSEN et SORENSEN, 1985 ; CATROUX et SCHNITZER, 1987 ; GREGORICH *et al*, 1988 ; ELUSTONDO *et al*, 1990 ; BALESSENT *et al*, 1991). Dans notre laboratoire, BEN AÏSSA (1987) a pu déterminer le temps nécessaire au générateur ultrason pour développer une énergie égale à celle obtenue par agitation mécanique et permettant d'obtenir les mêmes taux en carbone et en azote. En effet, ce temps de passage à l'ultrason doit être suffisamment important pour détruire les agrégats mais suffisamment court pour ne pas induire une fragmentation secondaire des constituants du sol.

Etant intimement liés aux constituants minéraux, l'extraction des composés humiques de ces derniers constitue l'étape la plus critique au cours de leur étude. Pour ce faire plusieurs protocoles expérimentaux ont été proposés. Ces derniers reposent sur le fait que les composés humiques renferment deux fractions différentes par leur solubilité dans les réactifs alcalins et acides (ANDREUX *et al*, 1984). La première, soluble dans les réactifs alcalins, contient les acides fulviques (AF) et les acides humiques (AH). Les humines (H) constituent le second groupe des composés humiques.

Matériel

Les sols

L'étude porte sur cinq sols de régions écologiquement très différentes de la Tunisie (Fig. 1).

Les deux premiers consistent en un sol brun lessivé d'Aïn Draham (P₁) et un sol brun fersiallitique de Tabarka (P₂). Ils sont situés en Kroumirie, région pluvieuse à végétation forestière constituée de chênaies et à bioclimat de type humide supérieur à hiver tempéré.

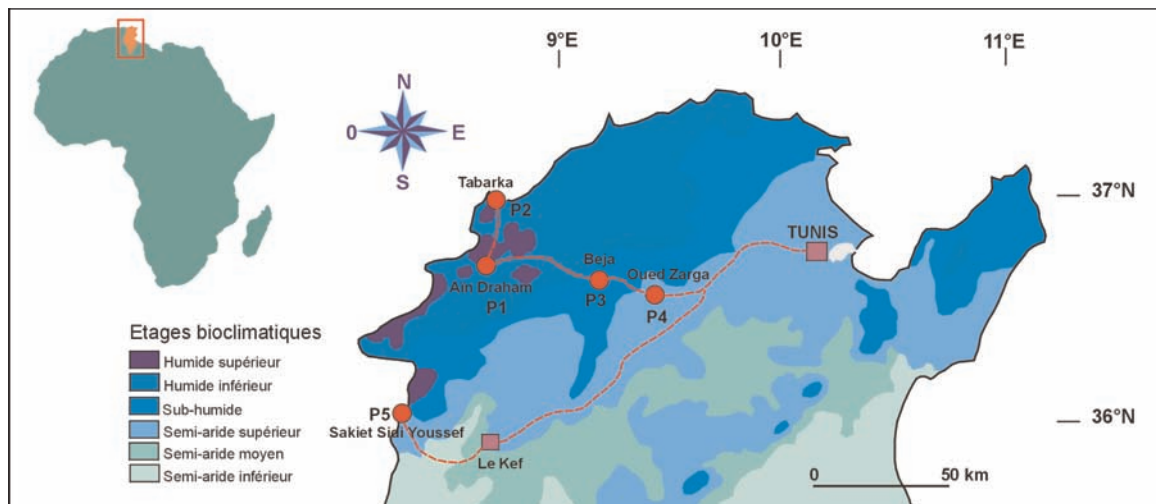


Fig. 1: Carte de localisation des sites d'étude selon les étages bioclimatiques.

Le troisième sol est fersiallitique et encroûté (P₃) alors que le quatrième est un vertisol modal (P₄). Tous les deux sont situés dans la région de Béja (Fig.1). C'est une zone fertile et étroite mais qui présente une variabilité pédologique et bioclimatique très importante allant du bioclimat subhumide méditerranéen à hiver doux au bioclimat semi-aride moyen.

Enfin, le cinquième sol est une rendzine humifère (P₅) située dans la région de Sakiet Sidi Youssef, localité située au Nord Ouest de la Tunisie Septentrionale. Le climat général de la région est humide à semi-aride supérieur à hiver frais ; les essences forestières dominantes y sont le Pin d'Alep et le Chêne vert.

La détermination des principaux caractères analytiques des différents sols étudiés permet de distinguer une discontinuité entre les horizons de surface et ceux de profondeur. Elle apparaît clairement dans les variations verticales des teneurs en matière organique (Tableau.1). En effet, l'horizon de surface constitue généralement le lieu d'accumulation de la

Tableau 1: Principales caractéristiques analytiques et organiques des sols étudiés.

Site	Prof. (cm)	PH	Les fractions granulométriques %					CaCO ₃ t %	CaCO ₃ a %	NT ‰	CT%	C/N
			SG	SF	LG	LF	A					
Profil 1 Aïn Draham	0-20	6.15	29.0	33.0	8.00	9.00	21.00	1.00	-	1.68	2.43	14.46
	20-60	6.72	29.0	34.0	9.01	12.0	18.00	6.50	-	0.95	1.00	10.52
	60-130	4.84	13.0	6.00	2.00	8.00	68.00	1.00	-	1.14	0.69	6.05
	130-230	5.09	42.0	21.0	2.00	0.00	33.00	3.20	-	0.68	0.41	6.02
Profil 2 Tabarka	0-23	7.76	15.0	23.0	7.01	21.0	33.00	2.10	0.00	1.45	1.66	11.44
	23-53	7.40	14.0	14.0	6.00	16.0	51.00	1.00	1.13	0.93	0.42	4.51
	53-116	7.60	12.0	17.0	4.00	14.0	51.00	1.00	0.50	0.60	0.33	5.50
Profil 3 Oued Zarga	0-26	7.96	21.0	26.0	3.00	34.0	17.00	2.30	3.25	1.49	1.43	9.59
	26-102	7.83	7.00	11.0	2.00	19.0	60.00	0.00	3.38	1.18	0.50	4.23
	102-222	8.17	23.0	19.0	7.00	27.0	24.00	36.40	16.38	0.54	0.17	3.14
Profil 4 Rendzine Humifère	222-326	7.90	22.0	19.0	3.00	30.0	24.00	51.70	16.75	0.39	0.19	4.87
	0-15	8.30	15.0	11.0	6.00	36.0	29.00	30.50	13.63	7.00	11.10	15.85
	15-25	8.18	19.0	10.0	8.00	41.0	23.00	28.20	13.50	3.10	3.56	11.48
	25-55	8.13	11.0	17.0	4.00	49.0	20.00	77.60	16.13	1.50	2.12	14.13
Profil 5 Béja	55-73	8.12	10.5	14.0	13.0	13.5	45.00	61.30	16.50	1.40	1.80	12.85
	0-15	7.50	10.7	15.7	25.6	12.4	34.80	27.00	14.01	2.14	2.58	12.05
	15-25	8.20	10.8	13.8	14.9	15.9	39.9	42.30	15.20	1.84	1.52	8.26
	25-55	8.40	11.1	13.9	12.2	12.7	36.22	57.90	15.81	0.36	0.24	6.66

abréviations utilisées dans le tableau.1:

SG : Sable Grossiers

SF : Sable Fins

LG : Limons Grossiers

LF : limons fins

A : argiles

CaCO₃ t : Calcaire Total

CaCO₃ a : Calcaire Actif

N: : azote organique total

C: : carbone organique total

matière organique avec des teneurs en azote et en carbone qui chutent considérablement en profondeur. Les teneurs en carbonates suivent une évolution inverse à celle observée pour la matière organique ; l'enrichissement en calcaire total et en calcaire actif s'effectue de la surface vers le bas du profil.

Le pH est de l'ordre de 8 pour tous les sols étudiés. Pour certains, il décroît rapidement avec la profondeur. Les fractions granulométriques sont représentées par la fraction fine, argiles et limons fins qui, par rapport au reste des fractions, présentent les plus fortes teneurs.

Le générateur ultrason

Le générateur utilisé est un « Sonicator » Heat systems ultrasonics, modèle W225R qui peut atteindre 200W avec une fréquence de 20 Khz. On a travaillé sur la position 6.5 qui correspond à une puissance de 100W.

Méthodes

Fractionnement granulométrique

On part de 50g de sol tamisé à 2 mm auquel on ajoute 250 ml d'eau distillée (rapport 1/5) dans un bécher d'un litre. La suspension est soumise aux ultrasons pendant 5mn, l'homogénéisation étant assurée par agitation mécanique.

La suspension est ensuite tamisée à 50 μ m sous un jet d'eau distillée. Les fractions < et > à 50 μ m sont récupérées dans de l'eau distillée. L'excès d'eau est éliminé par siphonage après décantation dans des béchers tarés.

Chaque fraction est séchée dans l'étuve à 50 °C jusqu'à poids constant. Après avoir déterminé leurs masses, les fractions organo-minérales sont finement broyées pour le dosage de l'azote et du carbone organique total.

Extraction alcaline

Pour l'extraction des composés humiques, nous avons adopté les solvants alcalins comme réactifs d'extraction (PICCOLO, 1988).

La fraction fine (< 50 μ m) est soumise à un traitement au pyrophosphate de sodium 0.1M à pH 9.8 jusqu'à épuisement. A partir de ces extraits alcalins, séparés par centrifugation, les colloïdes organo-minéraux dispersés sont refloculés avec KCl 4 % et réunis aux résidus insolubles du sol. Les mêmes résidus sont, ensuite, traités à la soude 0.1N à pH 12 en adoptant le même protocole qu'avec le pyrophosphate de sodium (DABIN, 1976 ; PAOLLO, 1982 ; BEN AÏSSA, 1993).

Toutes les extractions sont faites sous atmosphère inerte pour éviter le recours à la décalcification. Les extraits au pyrophosphate et à la soude sont pris ensemble. Les acides fulviques et humiques sont séparés par acidification à pH 1.5.

RESULTATS ET DISCUSSION

Répartition de l'azote de la fraction fine en fonction de la profondeur du sol

Les résultats obtenus montrent que la distribution de l'azote entre les deux fractions granulométriques inférieures et supérieures à 50 μ m, fournit des rapports $N_{<50\mu m}/N_T$ % très variables. Ces rapports restent importants, surtout au sein des horizons de profondeur (Fig.2).

Les rapports les plus faibles sont fournis par les horizons de surface de la rendzine humifère et du sol brun fersialitique lessivé, avec respectivement 35.80 %, 48.89 % bien que ces sols renferment des teneurs élevées en matière organique totale. Cette matière organique serait surtout sous une forme fraîche constituée, pour l'essentiel, par des feuilles de résineux

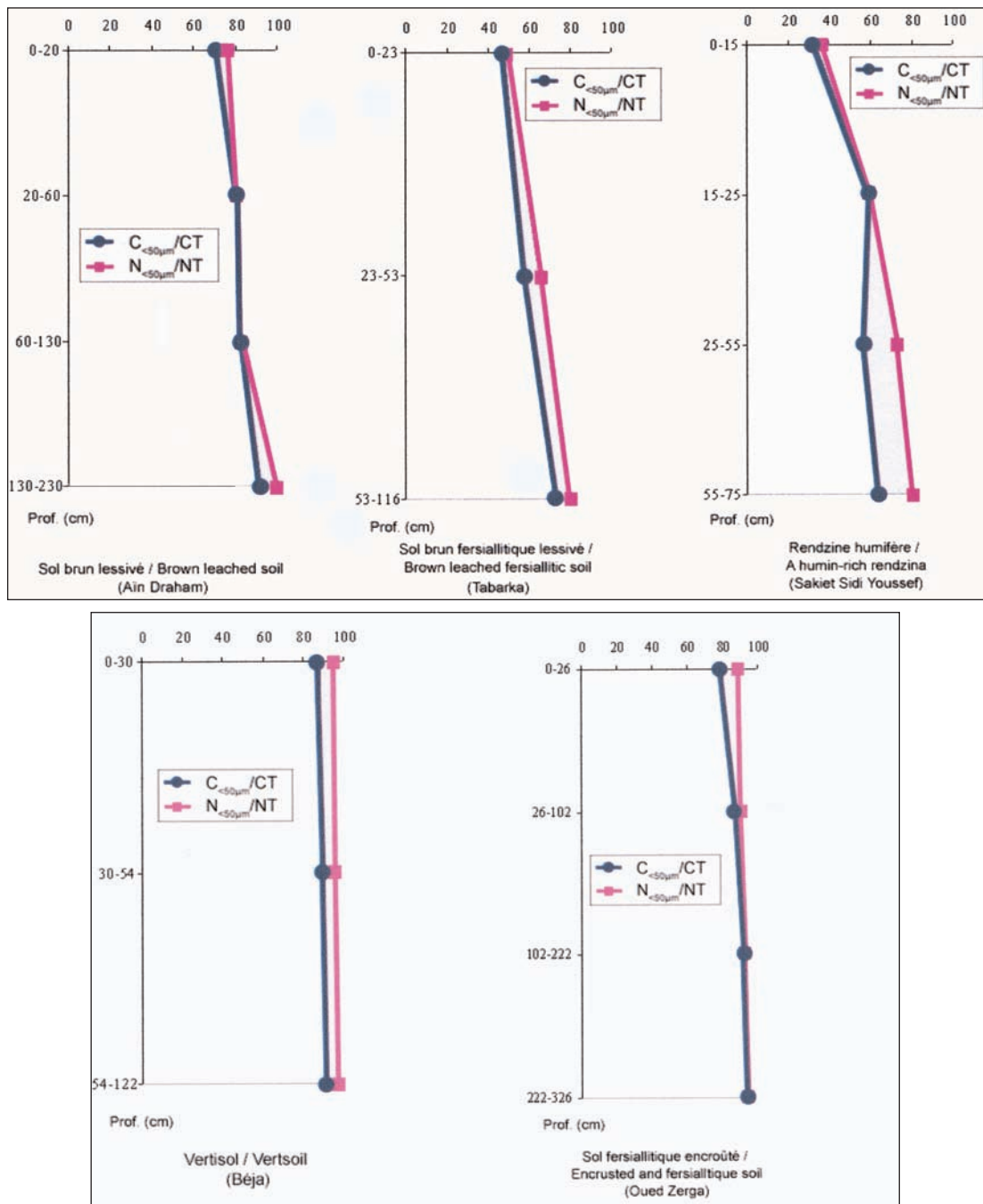


Fig.2: Répartitions de l'azote de la fraction fine en fonction de la profondeur du sol

résistantes à la biodégradation. Dans la majorité des cas, ce rapport ($N_{<50\mu m} / N_T$ %) reste supérieur à celui enregistré pour le carbone ($C_{<50\mu m} / C_T$ %).

Au sein des horizons de profondeur, avec les taux qu'ils renferment et qui dépassent dans la majorité des cas les 60%, la fraction fine constitue le lieu de concentration de la matière organique du sol. Ces taux ($N_{<50\mu m} / N_T$ %) montrent une importante localisation de l'azote dans la fraction fine.

On remarque aussi que c'est au sein des sols à texture fine qu'on a les taux les plus élevés, comme le vertisol et le sol fersiallitique à réserve calcique avec respectivement 97.52 %, et 95.02 %. On a donc établi une corrélation entre les taux d'azote de la fraction fine en fonction des teneurs en argiles et en limons fins de l'ensemble des sols étudiés. D'une manière générale, les résultats (Fig.3) montrent que les fortes teneurs en argiles et en limons fins favorisent l'accumulation de la matière organique au niveau de la fraction fine du sol (ELLIOTT, 1986 ; JOCTEUR MONROSIER *et al*, 1991).

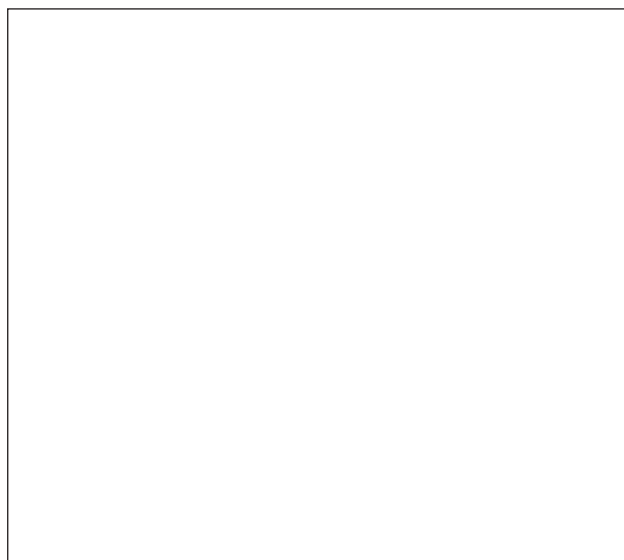


Fig.3: Corrélacion entre les taux d'azote de la fraction fine en fonction des teneurs en argiles et limons fins.

Répartition de l'azote des différentes fractions humiques en fonction de la profondeur du sol.

D'après les résultats de séparation des composés humiques, on note que l'azote de la fraction fine se localise généralement dans l'humine. Elle constitue la réserve la plus importante de la fraction fine du sol. Cet enrichissement des sols en azote des humines s'effectue de la surface vers le bas du profil. Ramenées à la teneur en azote organique total (N_H/N_T %), les humines deviennent plus abondantes, surtout au niveau des horizons de profondeurs (Fig.4). Elles constituent le réservoir de l'azote le plus important.

Dans les horizons de profondeur et dans les horizons enrichis, l'azote se localise préférentiellement dans l'humine, il constitue 50 à 90 % de l'azote de la fraction fine. Dans les horizons appauvris, ce taux ($N_H/N_{<50\mu m}$) atteint des valeurs relativement faibles, 30% à peu près pour le sol brun lessivé de Aïn Draham et le sol brun fersiallitique lessivé de Tabarka.

L'enrichissement en azote des humines résulte de l'accumulation préférentielle des matériaux protéiques microbiens dans les fractions fine à surface spécifique élevée (BARRIUOSO, 1985). Ceci montre l'influence de la qualité de la matière organique totale sur l'abondance relative des différentes fractions organiques au sein des horizons du sol. En effet, les horizons de surface reçoivent de manière continue les restitutions végétales aériennes alors qu'au sein des horizons de profondeur l'influence de la matière organique fraîche s'estompe, elle est relayée par une matière organique de plus en plus humifiée ayant une concentration relative d'azote.

Dans le cas du sol brun lessivé de Aïn Draham et du sol brun fersiallitique lessivé de Tabarka, le taux d'extraction de l'azote aux réactifs alcalins est faible. Ils diminuent en fonction de la profondeur. En effet, l'azote des alcalino-solubles (N_{AS}) rapporté à celui de la fraction fine ($N_{AS}/N_{<50\mu m}$) chutent de 47.09 % à 22.78 % pour le sol brun lessivé et de 56.23 % à 31.54 % pour le sol brun fersiallitique lessivé. Les rapports C/N des alcalino-solubles (C_{AS}/N_{AS}) sont très élevés. On peut dire que ces composés sont de faible degré de polymérisation et peu pourvus en structures aromatiques.

En ce qui concerne le sol fersiallitique encroûté, Les rapports C/N des humines (C_H/N_H) sont faibles tout le long du profil exception faite pour l'horizon encroûté où on atteint la valeur 20. Ceci nous permet de supposer que cet horizon, contrairement aux autres, contient des humines héritées et peu évoluées. L'étude de l'évolution des composés humiques de ce type de sol montre que les extraits obtenus renferment des taux d'azote supérieurs à ceux obtenus

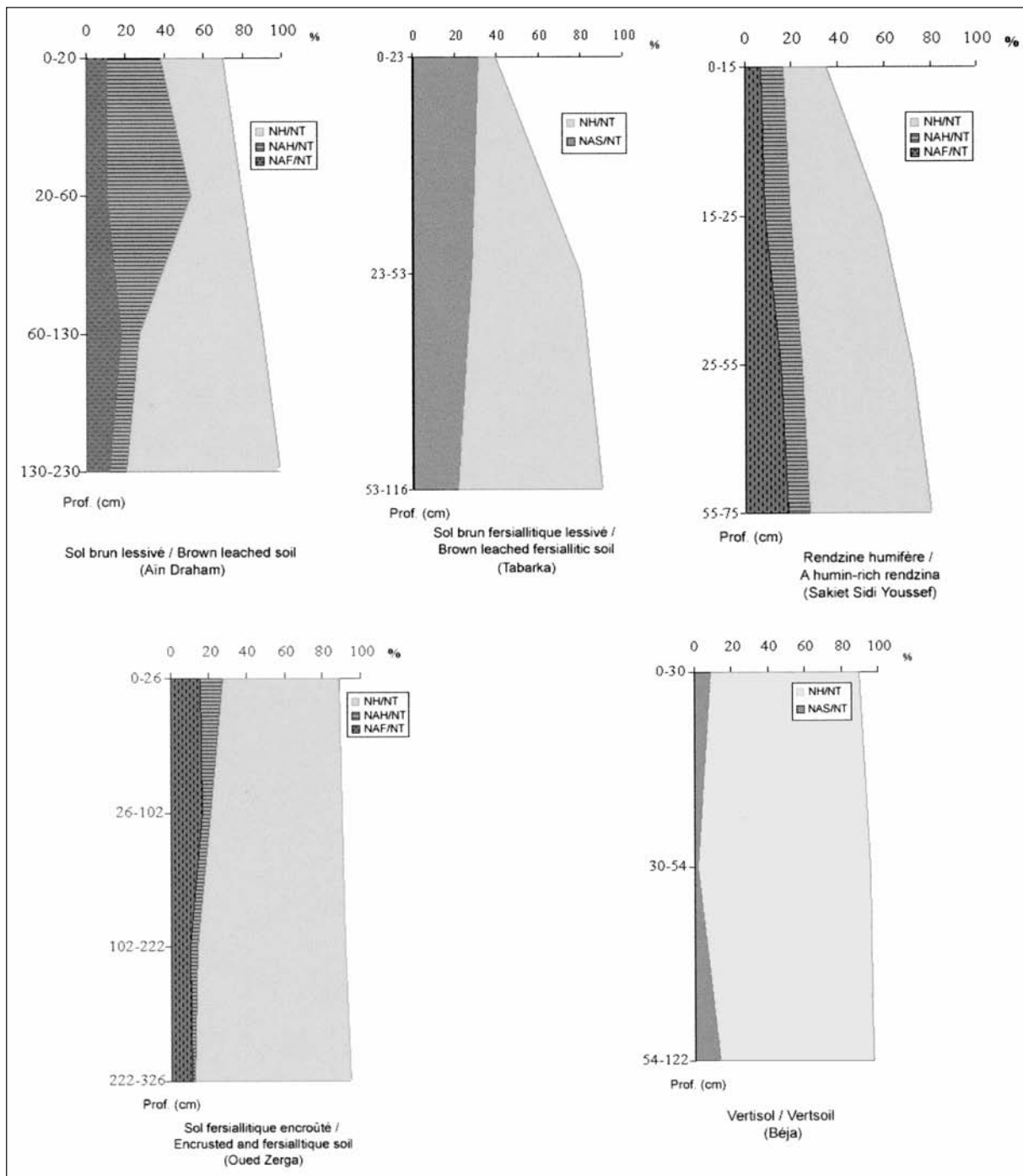


Fig.4 : Répartition de l'azote des différentes fractions humiques en fonction de la profondeur

NT : azote total

NH : azote de l'humine

NAF : azote des acides fulviques

NAH : azote des acides humiques

NAS : azote des alcalino-solubles

pour le carbone avec des rapports C_{AS}/N_{AS} très faibles. Ceci se traduit probablement par une prépondérance des acides humiques sur les acides fulviques contrairement aux sols développés en milieu acide.

Le vertisol présente un taux de matière organique relativement homogène dans tout le profil. Les taux $N_H/N_{<50\mu m}$ sont presque tous supérieurs à 90 %. Contrairement aux humines, les teneurs en azote des alcalino-solubles sont assez faibles tout le long du profil.

Dans le cas de la rendzine humifère, les rapports C_H/N_H sont relativement faibles avec un maximum pour l'horizon de surface. Les taux $N_{AS}/N_{<50\mu m}$ régressent à partir de l'horizon de surface pour passer de 47.20 % à 30.25 %, par conséquent ils présentent des rapports CAS/NAS assez élevés avec un maximum 16.66 pour l'horizon Cca. Ceci dénote leur faible degré d'évolution, qui a été bloquée par enrobage avec $CaCO_3$. Cependant la décarbonatation totale des sols limite l'action des Ca^{2+} sur les composés humiques. Ces derniers, essentiellement les acides fulviques et humiques peu condensés vont interagir avec les autres constituants minéraux par l'intermédiaire de nouveaux cations tels que le fer, l'aluminium ou le magnésium qui participent à leur stabilisation et leur résistance aux réactifs alcalins (SCHNITZER, 1991). Ces complexes organo-minéraux néoformés sont susceptibles de migrer en profondeur (SCHOENAU et BETTANY, 1987). Ainsi, les valeurs obtenues pour les rapports CAS/NAS des sols carbonatés témoignent de la présence de composés extractibles assez évolués à faible teneur en chaîne aliphatique, comparés à ceux obtenus au niveau des sols non carbonatés. Les extraits des sols décarbonatés présentent des degrés de polymérisation plus importants surtout au sein des horizons de profondeur où les acides humiques perdent la structure aliphatique et deviennent plus aromatiques (KÖGEL *et al*, 1991).

Évolution des rapports C/N et $C_{<50\mu m}/N_{<50\mu m}$

Les rapports $C_{<50\mu m}/N_{<50\mu m}$ fournis par la fraction fine sont pour la plupart inférieurs à ceux enregistrées pour le total C/N (Fig.5). Les horizons de surface présentent les rapports les

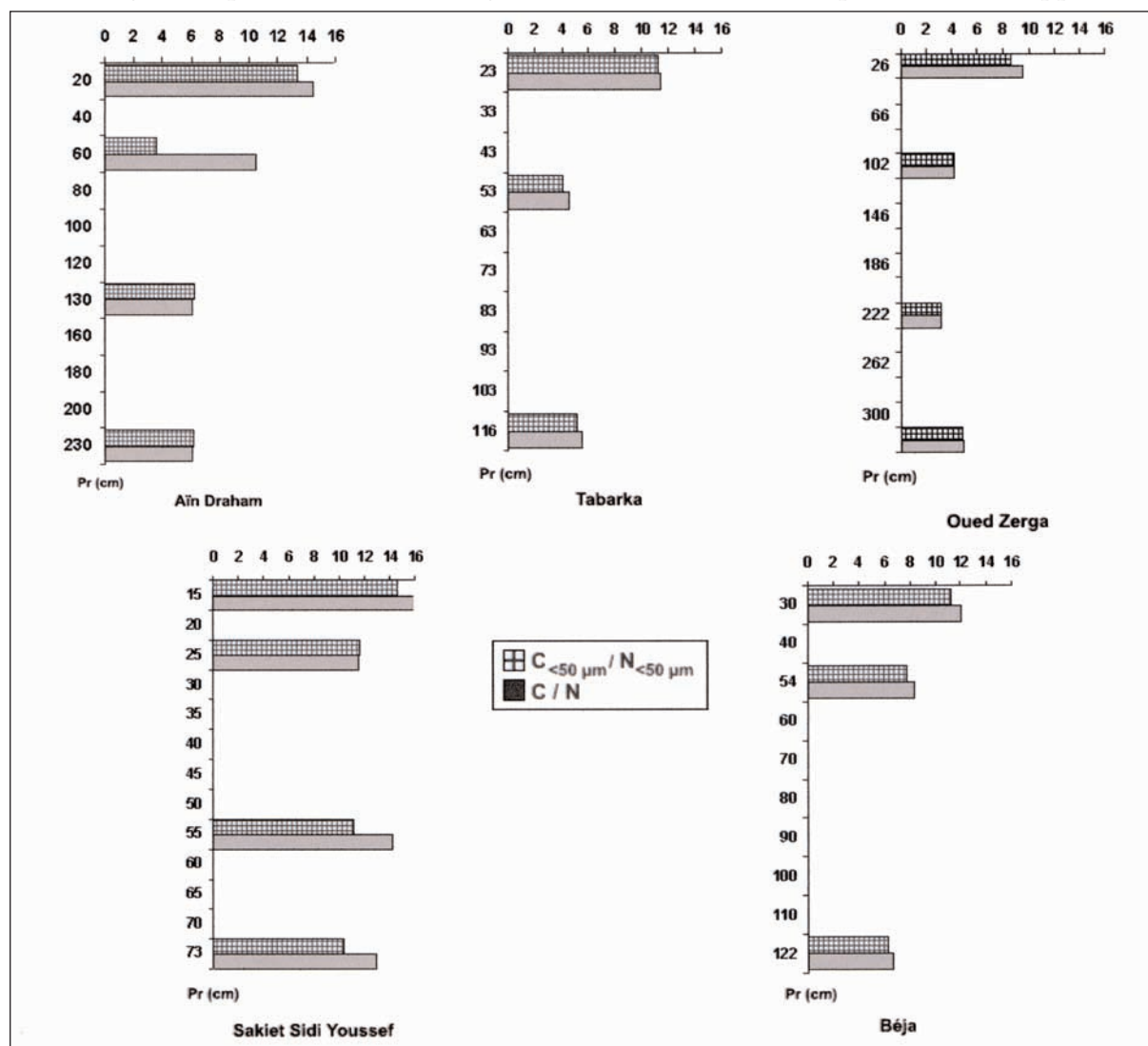


Fig. 5 : Evolution des rapports C/N et $C_{<50\mu m}/N_{<50\mu m}$ des sols étudiés

plus élevés qui varient de 8.57 à 14.64. Mis à part le vertisol et la rendzine humifère, les autres sols ne montrent pas des rapports $C_{<50\mu m}/N_{<50\mu m}$ des horizons profonds proches de ceux retrouvés au sein des horizons de surface (Fig.5). On peut noter, cependant, l'exemple du sol fersiallitique encroûté de Oued Zarga où les rapports $C_{<50\mu m}/N_{<50\mu m}$ chutent de 8.57 à 4.81. Les horizons intermédiaires de ces deux sols (le vertisol et la rendzine humifère) présentent une légère augmentation de ces rapports ($C_{<50\mu m}/N_{<50\mu m}$) comparés à ceux fournis par les autres horizons.

Dans le cas du sol brun fersiallitique lessivé de Tabarka, du sol brun lessivé de Aïn Draham et de la rendzine humifère de Sakiet Sidi Youssef, la matière organique a tendance à se localiser en surface. Celle-ci serait surtout sous une forme fraîche. Par contre dans le cas du vertisol de Béja, la matière organique imprègne tout le profil. Dans ce dernier cas, le gradient isohumique est favorisé par les mouvements vertiques qui consistent en l'ouverture de fentes de retrait pendant la saison sèche. Ces fentes accueillent les produits de la surface et se referment pendant la saison humide provoquant ainsi un brassage des horizons du haut vers le bas du profil et entraînant une profonde incorporation de la matière organique.

CONCLUSION

D'après nos résultats, nous remarquons que la distribution de l'azote dans les différentes fractions organiques des sols de la Tunisie n'est pas aléatoire. Elle est la réponse logique des caractéristiques morphologiques, des conditions physico-chimiques et biologiques des sols. Par exemple, on a vu que sous des propriétés physiques liées à la vertisolisation, les proportions de l'azote des différentes fractions organiques du sol sont réparties d'une façon homogène le long du profil. Nous avons remarqué aussi que les horizons de profondeur des différents sols étudiés s'identifient nettement par une matière organique polymérisée mais relativement riche en azote. Cet azote s'intègre dans la fraction fine du sol, essentiellement dans l'humine.

L'azote est donc présent sous une forme organique stable non utilisable par la plante et difficilement minéralisable. Donc l'utilité de l'engrais, dans le cas de ces sols, est incontournable, mais son application n'est pas sans danger sur les eaux de surface et les eaux souterraines.

Pour minimiser conjointement le coût énergétique et le risque de contamination de la nappe sans aucune baisse remarquable du rendement, il est nécessaire d'établir un bilan prévisionnel au niveau des sols de la Tunisie qui consiste à quantifier l'azote disponible, en tenant compte de la cinétique de la minéralisation de l'azote organique existant dans ces sols.

BIBLIOGRAPHIE

- BALESDENT, J., PETRUAD, J.P., & FELLER, C. 1991. Effets des ultrasons sur la distribution granulométrique des matières organiques des sols. *Science du sol*. Bul. A.F.S. 29, 2 : 95-106.
- BARRIUOSO BENITO, E. 1985. Caractérisation des fractions organo minérales et des constituants humiques d'un sol de pelouse subalpine. Thèse Doc. Univ. Nancy I. 163p +Bib. +Annexes.
- BEN AÏSSA, N. 1987. Formes et répartition du carbone et de l'azote dans deux séquences de sols développés sur matériaux calcaires et sur matériaux gréseux en Tunisie Nord Orientale. D.E.A. Fac. Sci. Tunis : 88 p+Annexes.
- BEN AÏSSA, N. 1993. Rôle de la matière organique dans la pédogenèse des sols de la Tunisie Septentrionale. Thèse. Fac. Sci. Tunis. 150 p + Annexes.
- CATROUX, G. & SCHNITZER, M., 1987. Chemical, spectroscopy and biological characteristic of the organic matter in partial size fraction separated from an aquoll. *Soil. Soc. Am. J.*, 51: 1200-1207.
- CHRISTENSEN, B.T., & SORENSEN, L.H. 1985. The distribution of native and carbon between soil partial size fractions isolated from long term incubation experiments. *J. Soil Sci.* 36 : 219-229.
- DABIN, B. 1976. Méthode d'extraction et de fractionnement des matières humiques du sol. Application à quelques études pédologiques et agronomiques dans les sols tropicaux. *Cah. O.R.S.T.O.M. Pédol.* XIV, 4 : 287-297.

- ELLIOTTE, E.T. 1986. Aggregate structure and carbon, nitrogen and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 627-639.
- ELUSTONDO, J., ANGERS, M.R., LAVERDIERE, M.R., & N'DAYEGAMIYE, A. 1990. Etude comparative 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.
- HEAKAL M.S. & HERBILLON, A.J. 1976. Use of flocculated fraction of calcareous soil suspensions after ultrasonic treatment for mineralogical study. *Clay Minerals.* 11: 101-116.
- GREGORICH, E.G., KACHANOSKI, R.G., & VORONEY, R.P., 1988. Ultrasonic dispersion of aggregates: distribution of organic matter in size fractions. *Can.J. Soil Sci.* 68: 395-403.
- JOCTEUR MONROSIER, L., LADD, J.N., FITZPATRICK, R.W., FOSTER, R.C., & RAUPACH, M. 1991: Components and microbial biomass content of size fractions in soils of contrasting aggregation. *Geoderma.* 49: 37-62.
- KÖGEL-KNABNER, I., HATCHER, P.G., & ZECHW. 1991. Chemical structural studies of forest soil humic acids: aromatic carbon fraction. *Soil Sci. Am. J.* 55: 241-247.
- PAOLLO, F. 1982. Comparaison des caractères physico-chimiques de la matière organique de trois pédonos cultivés et vierges situés entre Fada N'Gourma et Piega (Haute-Volta). Thèse de troisième cycle : Univ de droit d'Eco. et des Sci. Aix Marseille. 175 p.
- PICCOLO, A. 1988. Characteristics of soil humic matter addition by caulescent Andean rosettes on surficial soil. *Geoderma.* 54:151-171.
- SCHOENAU, J.J., & BETTNY, J.R. 1987. Organic matter leaching as component of carbon, nitrogen, phosphorus and sulfur cycles in a forest grassland and gleyed soil. *Soil Sci. Soc. Am.* 51: 646-651.
- SCHNITZER, M. 1991. Organic matter characterization. I.N.A.L. Page et al (ed). *Methods of analysis, part 2 2nd Agronomy.* 9: 581-594.
- SHAYMUKHAMETOV, S.Sh., TITOVA, N.A., TRAVNIKOVA, L.S., & LABENETS, Ye.M. 1984. Use of physical fractionation methods to characterize soil organic matter. *Soviet Soil Sci.* 16, 4: 117-128.