

DIAGNOSTIC DES COMPOSANTES DE LA SALINITE ET DE LA FERTILITE DES SOLS DE LA PALMERAIE DU KSAR DE OUARGLA

OMEIRI N.

1. Université de Ouargla - Département Agronomie Route de Ghardaïa, BP 163, Ouargla (30000), Algérie

Résumé : La palmeraie du ksar de Ouargla fut considérée par le passé comme un des groupes d'oasis les plus prospères du pays grâce aux vieilles pratiques communautaires du système traditionnel traduisant l'ingéniosité et le labeur de l'ancien agriculteur ouargli

Aujourd'hui, l'ensablement, le rabattement de la nappe, la remontée de la nappe phréatique salée mais aussi la perte considérable de la fertilité de ses sols en absence d'une prise en compte suffisante de la spécificité oasienne dans les domaines de la recherche agricole, sont en partie à l'origine de son déclin.

Une prise en charge par la mise en œuvre d'un plan d'action pour une gestion intégrée de la fertilité de ses sols réputés de salés est devenue aujourd'hui plus qu'urgente

L'étude que nous proposons s'inscrit dans cette mouvance, elle permet d'examiner les conditions d'évolution du niveau de fertilité du sol dans cet agro- écosystème oasien spécifique et fragile, confronté à une baisse continue de la fertilité des sols et menacé constamment par les risques de salinité à cause des nouvelles pratiques culturales paysannes non adaptées aux conditions agro- écologiques du milieu.

Cela devrait passer impérativement par une caractérisation analytique de ces sols portant sur ces deux composantes à savoir : la salinité et la fertilité par des méthodes classiques couramment utilisées dans les laboratoires de chimie et biologie du sol. Une lecture et analyse de ces résultats marquent les points saillants à développer dans cet article.

Mots clés: Agro- écosystème oasien, Sol, Salinité, Fertilité, Pratiques paysannes

Diagnostic components of salinity and soil fertility of the palm of the Ksar of Ouargla

Abstract: The date grove located in the region of ksar Ouargla is, since the past, considered as one of the most prosperous oasis groups due to the community practices linked to the traditional system characterizing the ingenuity and the labor efforts mad by the Ouargli farmer.

Currently, the accumulation of sands, the rise of salt water tables and the huge loss of soils fertility and the absence of specificity considerations in the agricultural researches are the main grounds of such decline.

One supported by the implementation of an action plan for an integrated management of the fertility of its soils has now become more than urgent.

The study, which we are proposing, makes an integral part of such movement having as a purpose the examination of the progress of soils fertility within the oasis weak and fragile agro-ecosystem, which is confronted to continuous soil fertility degradation as well as salinity problems due to the new irrational farming practices.

This should be done absolutely by an analytical characterization of the soils on these two components, namely: salinity and fertility by conventional methods commonly used in laboratories chemistry and soil biology. Reading and analysis of these results mark the highlights to develop in this article. foliar content on Nitrogen, Potassium and Phosphorus compared to the control and the mineral fertilizer.

Keywords: Salinity, Organic Fertilization, Potatoes, Yield, Arid Regions.

Introduction

La dégradation du sol, incluant l'érosion, la salinité et la perte de nutriments, est en train de détruire, à long terme, la capacité de production alimentaire d'un grand nombre de systèmes agricoles représentant près de 40% des sols agricoles du monde [1].

A ce titre, les enjeux et défis qui se présentent à l'Algérie, notamment en ce qui concerne le capital naturel, a atteint un niveau de gravité qui risque non seulement de compromettre une bonne partie des acquis économiques et sociaux mais également de limiter les possibilités de gains de bien-être des générations futures [2].

Cette tendance a affecté plus particulièrement la durabilité des systèmes oasiens engendrée par les mauvaises pratiques anthropiques sur la dégradation entre autres des ressources édaphiques

Ainsi, pour redresser la situation, la mise en œuvre d'un plan de gestion intégrée, s'impose.

De ce point de vue est engagé notre travail réalisé dans la palmeraie du Ksar de Ouargla et dont deux thèmes phares le structurent :

- Evaluation des ressources en sols et en eaux de l'espace oasien car à notre sens, seule une connaissance synthétique des composantes naturelles des milieux peut ouvrir la voie à une agriculture rentable et viable utilisant au mieux les ressources biotiques, organiques et minérales de l'environnement.

- Gestion optimisée des pratiques agricoles, en mettant en évidence le lien entre les choix stratégiques de l'agriculteur et les conditions de mise en œuvre de ces pratiques permettant d'utiliser d'une façon rationnelle et effective les ressources édaphiques et hydriques pour une exploitation durable. La dégradation des sols peut en effet être limitée ou évitée par la mise en œuvre des techniques d'utilisation des sols compatibles avec la durabilité des écosystèmes quel que soit leur degré d'anthropisation [3]. Aussi, l'usage sage de ces ressources exige plus de recherches fondamentales aptes à prendre en compte les dynamiques d'un monde en changement rapide [4].

1. Matériel et méthodes

Partant des éléments de réflexion exprimés en introduction et dans le sens d'une caractérisation analytique du niveau de fertilité et de salinité des sols oasiens portant sur les aspects physiques, chimiques et biologiques, nous avons adopté une démarche qui repose sur deux principales phases :

1.1 Phase I: Exploration du milieu

Cette étape nous a permis de recueillir des informations sur les réalités de l'organisation des exploitations traditionnelles oasiennes et les pratiques paysannes.

Durant cette phase on a programmé aussi :

- Le choix des sites d'intervention de l'étude basé sur le critère du niveau de dégradation du sol défini par rapport à l'état physique des jardins et le niveau statique de la nappe phréatique. Ainsi sont retenues trois stations représentée chacune par trois jardins : la première présente un état de sol très dégradé c'est-à-dire où le niveau de la nappe est élevé et les eaux affleurent à la surface, la deuxième moyennement dégradé avec un niveau de la nappe moyennement profond et la dernière avec un sol de bon état qui n'est pas soumis à l'action de la nappe qu'est dans ce cas très profonde

- Une description morphologique des profils type réalisés dans les sols des trois stations

- Prélèvement au niveau de chaque jardin et le long des profils réalisés suivant les différents horizons, des échantillons de sol pour analyse au laboratoire. De même l'analyse chimique des eaux phréatiques et les eaux d'irrigation s'avère indispensable pour notre étude.

1.2 Phase II : Expérimentation

Caractérisation analytique du niveau de salinité et de fertilité du sol portant sur :

- L'aspect physique : granulométrie selon le protocole standardisé des fractionnements granulométriques AFNOR [5]; calcaire total par acidimétrie grâce au calcimètre de BERNARD ; le gypse par la méthode conductimétrique proposée par RICHARD (in AUBERT) [6].

- L'aspect chimique : la réaction du sol (pH) par la méthode électrométrique à

l'aide d'un pH-mètre à électrode de verre étalonné avec une solution tampon de pH connu ; la CE par conductimètre en fonction de la température de la constante de la cellule, détermination des sels solubles (chlorures par la méthode argentométrique de MOHR (norme 90 – 0140) ; sulfates par la méthode gravimétrique (norme BS 1377 (199)) ; carbonates et bicarbonates par acidimétrie avec de l'acide sulfurique (norme NFP 15-461, 1964 ; ISO 9963-1)) ; détermination des cations solubles et bases échangeables (Na et K par spectrophotométrie d'émission de flamme à l'aide du PFP7 ; Ca et Mg par le spectrophotomètre d'adsorption atomique) ; les éléments fertilisants (phosphore (P₂O₅) par la méthode OLSEN (extraction au bicarbonate de sodium) – Norme AFNOR X 31-116 ; le potassium (K₂O) par extraction avec l'acétate d'ammonium – Norme AFNOR X 31-108 ; les oligo-éléments : par les méthodes de mise en solution par HF+HClO₄

- L'aspect biologique : le taux de la matière organique (M.O%) déduit par le taux de carbone selon la méthode ANNE (norme AFNOR X 31-109) ; l'azote total par la méthode de KJELDAHL ; la biomasse microbienne du sol par des méthodes respirométriques.

2. Résultats et discussion

2.1 Caractérisation de la salure des sols d'oasis

Pour la caractérisation de la salure des sols des trois stations nous avons obtenus les résultats suivants:

2.1.1 Station n° 1 (jardins dégradés) pH

Le pH est généralement inférieur à 8.4 (7. 26 à 8.36), il est donc légèrement alcalin dans tous les horizons. Ceci est dû probablement à la faible teneur de la fraction fine et la présence des sels alcalins [7]. Il est à remarquer qu'aux fortes valeurs de CE correspondent des faibles valeurs de

pH. En effet, les fortes concentrations de chlorures tendent à faire baisser le pH [7]

Conductivité électrique

La conductivité électrique mesurée dans l'extrait au 1/5 des sols de cette station située en bordure du chott, est très élevée. En règle générale, cette conductivité est d'autant plus grande en surface qu'en profondeur (figure n°1). Ces variations, dans l'espace de la C.E peuvent être expliquées par plusieurs facteurs, entre autres on peut citer :

- La nature et la concentration des ions présents dans le sol : la conductivité électrique va de paire avec une augmentation du SAR et de l'ESP, avec une diminution de Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺ au profit de Na⁺ et avec une augmentation du rapport Cl⁻/SO₄⁻⁻

- D'autre part, la CE augmente avec la concentration ionique de la solution saline, elle-même liée à la teneur en eau du sol. Sur ce plan, les travaux de CARTER et al ont montré que l'augmentation de la concentration en sels et donc de la CE est proportionnelle à la teneur en eau [8].

Le faciès géochimique

Les résultats indiquent une grande richesse en sels solubles notamment en surface. Les quantités de chlorures et de sulfates sont très élevées, alors que celles des bicarbonates sont très faibles (absence de carbonates). Parmi les cations solubles, le sodium est toujours le plus abondant avec une concentration moyenne assez élevée (262.53 meq/l en surface). L'ion Ca⁺⁺ est en quantité très variable avec une tendance à une concentration faible vers la profondeur. L'ion Mg⁺⁺ est toujours en quantité plus faible que celle du Na⁺ et Ca⁺⁺. K⁺ est peu représenté

Ces données analytiques indiquent donc que le faciès chimique est généralement de type chloruré sodique

Le complexe adsorbant

L'analyse des bases échangeables montre une forte fixation du calcium sur le complexe adsorbant par rapport aux autres cations. Mais on note également une richesse en sodium échangeable (ESP supérieur à 15%) dans les horizons supérieurs (30.81%). Cela indique une forte concentration des solutions du sol en sodium soluble. En effet, pour que l'influence de l'ion Na^+ puisse se manifester, la concentration des solutions en sodium doit dépasser la valeur limite de l'ordre de 70% [9]. Le taux de magnésium en pourcent est faible et presque constant dans l'espace. Le potassium est pratiquement absent pour tous les échantillons de sols de cette station.

La capacité d'échange cationique (CEC) est très faible dans tous les sols de cette station, ceci est dû à la teneur très faible en matière organique et en argile et probablement à la nature minéralogique de cette dernière. Ainsi la CEC semble être liée pour une grande partie à la teneur du sol en limon. La CEC des fractions limoneuses peut ne pas être complètement négligeable [10]. Les résultats analytiques montrent également que la CEC est presque toujours égale à la somme des bases échangeables traduisant donc un taux de saturation de 100%. Cependant, pour les échantillons gypseux, la validité des résultats semble douteuse ($S > T$). Selon les travaux de FAKNOUS [11], pour le cas des échantillons gypseux, l'écart observé par rapport à la valeur de référence de la CEC, reste encore important, le principal problème pour ces échantillons, est la dissolution des sels peu solubles de calcium qui empêche la saturation totale des sites d'échange par le cation utilisé. Ainsi, la détermination de la CEC et

l'explication des résultats obtenus deviennent très complexes

Ajoutons aussi que les travaux de JOB [12], réalisés sur les sols des zones arides ont permis de montrer que pour les sols à forte teneur en gypse, le pourcentage d'erreur en ce qui concerne la CEC peut atteindre 51%

2.1.2 Station n° 2 (jardins moyennement dégradés) pH

Le pH est faiblement alcalin (7.55 à 7.65). Cette oscillation du pH autour de la neutralité est un facteur favorable en agriculture. En effet, la plupart des plantes cultivées présentent leur développement optimum au voisinage de la neutralité. [13]

Aussi, la faiblesse du pouvoir tampon, liée à la texture à faible CEC influencerait sur les fluctuations du pH. L'amplitude des variations moyennes du pH entre l'hiver et l'été en zone méditerranéenne peut atteindre une unité. Les plus faibles valeurs étant observées en été [14]. Ces variations sont en effet liées à l'état hydrique du sol. DEMOLON [13], de son côté, explique ces variations saisonnières du pH par la variation de la concentration en électrolytes du sol : en hiver, la diminution de la concentration des sels est suivie d'une élévation du pH, pendant l'été au contraire, la concentration en électrolytes étant élevée, le pH est minimum.

Ce paramètre est d'une grande importance en agronomie, notamment en matière de fertilisation azotée. Ainsi, d'après FAVRIE et BARDIN (in HALILAT) [15], une augmentation de pH de 7 à 8 aboutit à des pertes de 10 à 70% de l'apport d'engrais azotés

La conductivité électrique

Les valeurs de la conductivité électrique des sols des jardins de cette

station enregistrées à différents niveaux se rapprochent, mais l'allure générale montre que la CE atteint son maximum dans la partie médiane (6.2 dS/m), le minimum est cependant enregistré dans la couche la plus profonde (5.43 dS/m). La couche superficielle est légèrement moins salée que la couche sous-jacente (6.11 dS/m) (figure n°1). Cela indique, une lixiviation des sels de la première couche vers la deuxième sous l'effet des eaux d'irrigation et probablement celles des pluies hivernales (même si elles sont rares et faibles).

Les résultats analytiques indiquent une composition ionique à prédominance du Na⁺ et SO₄⁻ - notamment dans les couches médianes (Na⁺ = 31.63 meq/l ; SO₄⁻ = 45.19 meq/l)

Les bases échangeables : la capacité d'échange cationique est faible variant entre 2.592 et 3.768 meq/100g. La garniture du complexe adsorbant est déséquilibrée caractérisée par la dominance des cations bivalents (Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺).

2.1.3 Station n° 3 (jardins en bon état)

pH :

Les valeurs obtenues expriment une réaction basique pour tous les sols de cette station allant de 7.76 à 8.43

La conductivité électrique

La salure concerne généralement seulement les deux premiers horizons où la

CE varie de 4.11 à 4.35dS/m avec une légère augmentation dans les horizons de sub-surface.

La concentration en ions solubles s'établit comme suit :

- Anions solubles : les sulfates et les chlorures constituent toujours les anions dominants dans la solution du sol. Au niveau spatial, les chlorures présentent un maximum dans la couche superficielle puis diminuent progressivement vers la profondeur, tandis que les sulfates se concentrent surtout dans la partie médiane. Les bicarbonates, en quantité très faible (0.87 à 1.23meq/l) ne montrent pas de variations significatives d'un horizon à un autre

- Cations solubles : parmi les cations, le sodium est dominant par rapport aux autres, mais les cations alcalino-terreux (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺) représentent aussi une quantité appréciable dans les sols de cette station

Les bases échangeables : la capacité d'échange cationique est faible ($6.19 \leq \text{CEC} \leq 6.58$) et la garniture du complexe adsorbant montre une fixation de calcium sur le complexe adsorbant plus élevée par rapport aux autres cations échangeables

Le taux de sodium échangeable, en pourcent est faible dans les différents niveaux des sols de cette station ($2.89 \leq \text{ESP} \leq 5.6$)

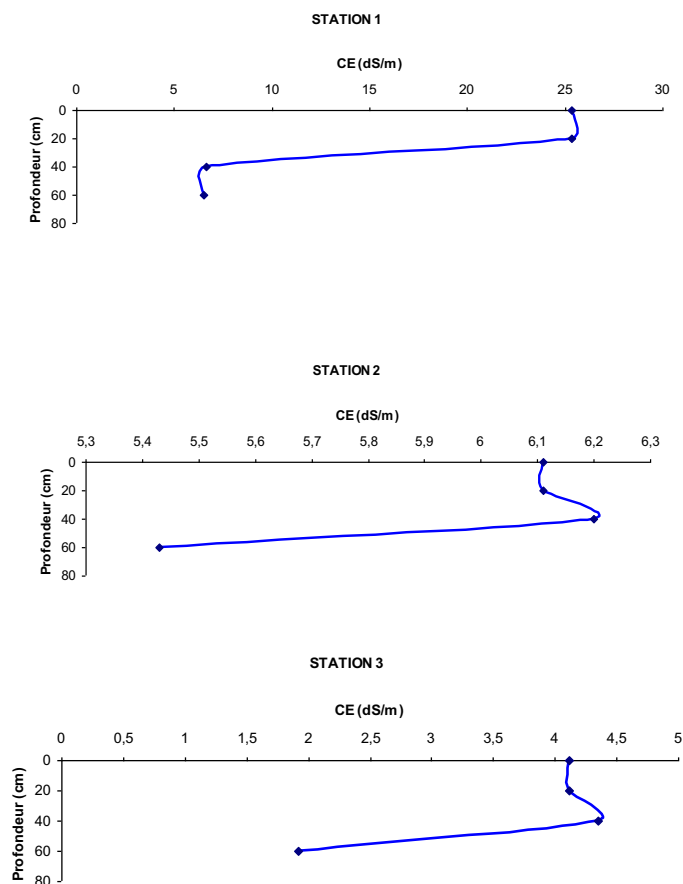


Figure 1: Evolution spatiale de la conductivité électrique dans les sols des stations d'étude

2.2 Les comportements physiques des sols étudiés

L'examen analytique des caractéristiques physiques des sols des trois stations d'étude fait ressortir les données suivantes :

2.2.1 Station n° 1 (jardins dégradés)

Physiquement les sols de cette station sont caractérisés par une composition granulométrique limono-sableuse qui varie peu dans le profil. Cette texture confère aux sols une densité réelle estimée de 2.65 à 2.7 et une densité apparente variant de 1.2 à 1.25 [16].

La capacité de rétention de l'eau varie de 24.17 à 32.03%

Le profil de répartition du calcaire et du gypse : la quantité du CaCO_3 est

négligeable dans tous les sols de cette station. Ceci est lié à la faible teneur de ces sols en carbonates mais aussi à l'action du CO_2 . En effet, le gaz carbonique très légèrement acide dissout une certaine proportion de CaCO_3 [17].

Pour le gypse les teneurs globales sont appréciables, notamment dans les horizons de surface (42.6%) où l'accumulation se réalise sous forme de fins cristaux. En profondeur, l'accumulation de gypse est moins importante qu'en surface, mais elle se réalise en grandes cristallisations. En effet dans l'espace, la variation et la teneur globale en gypse entre la surface et la profondeur dans le même sol, peut être reliée à la taille moyenne des cristaux : plus ces sols sont riches en gypse, plus les cristaux sont de petite taille

La dégradation structurale : Il vaut la peine de rappeler que les conditions physiques présentes dans le sol sont conditionnées en différente mesure par l'ESP, toute fois, sur le terrain, il ne nous a pas été possible de lier les forts taux de Na^+ échangeable mesurés dans les sols de cette station, à des dégradations de structure. Nous attribuons cela à quatre raisons essentielles :

En raison de la forte concentration saline qui règne en toute saison, l'influence de la saturation partielle du complexe adsorbant en sodium n'a que des effets atténués : la structure de l'horizon A est conservée [7].

- Le risque de sodicité n'existe que pour les sols dont la capacité d'échange est suffisamment grande pour avoir un effet sur la structure. Dans le cas du sable et du sable limoneux la fraction d'argile est si faible que le risque de sodicité ne joue pas [18].
- La présence d'une quantité appréciable du gypse qui joue un rôle non seulement physico-chimique mais aussi physique dans la stabilisation de la structure [19].
- En plus, la richesse relative du complexe adsorbant en Ca^{++} donne une structure favorable et une meilleure perméabilité de l'air et de l'eau [20].

2.2.2 Station n° 2 (jardins moyennement dégradés)

Les analyses granulométriques précisent que les sols de cette station font partie de la classe des sols sableux marquée par la présence dominante des sables fins. On observe cependant différentes tendances selon la profondeur : les horizons de surface ont une texture sableuse moins grossière que celle des horizons profonds. La densité réelle pour cette classe texturale varie de 2.67 à 2.7, la densité apparente étant de 1.5 à 1.80 [16].

La capacité de rétention d'eau: d'après la classe texturale la capacité de rétention ne peut être que faible, notamment en profondeur où la charge en éléments grossiers est plus importante (19.42%)

Le profil de la répartition du CaCO_3 et du CaSO_4 : d'après les appréciations proposées par le GEPPA les résultats d'analyses montrent que tous les horizons sont peu calcaires, voire non calcaires pour certains [21]. Les teneurs varient de 0.36 à 1.2%

Le taux de gypse est beaucoup moins important dans les sols de cette station que ceux de la première station. Cependant la répartition spatiale du gypse dans les profils de cette station ressemble à celle des profils de la station 1 dans le sens où on note la plus grande concentration de gypse en surface (10.64%) qui diminue au fur et à mesure en profondeur (3.46%)

L'érosion éolienne : Ce problème caractérise particulièrement les sols de cette station située à proximité d'une zone dunaire sans aucun dispositif efficace de protection contre les tempêtes de sable qui se manifestent souvent en saisons printanières et automnales

2.2.3 Station n° 3 (jardins en bon état)

Les résultats analytiques indiquent une texture sablo- limoneuse avec une dominance du sable fin (36.02 à 48.05%). Grâce aux apports humifères dont procèdent régulièrement les agriculteurs de cette station la densité apparente dans ces sols est estimée de 0.75 à 1 [16].

La capacité de rétention de l'eau est moyennement faible (32.72 à 36.03%)

Comme pour les sols de la station 2, les taux de calcaire sont faibles (mais plus importantes) variant dans ce cas entre 1.4 et 4.05%.

Le gypse par contre est mieux représenté notamment en profondeur avec des teneurs allant de 20.11 à 32.33%

2.3 Les aspects nutritionnels

2.3.1 Les matières organiques des sols étudiés

Dans les sols de notre aire d'étude le taux des matières organiques est généralement très bas, ceci est dû à l'aridité du climat qui favorise la minéralisation très rapide du moindre débris organique (figure 2).

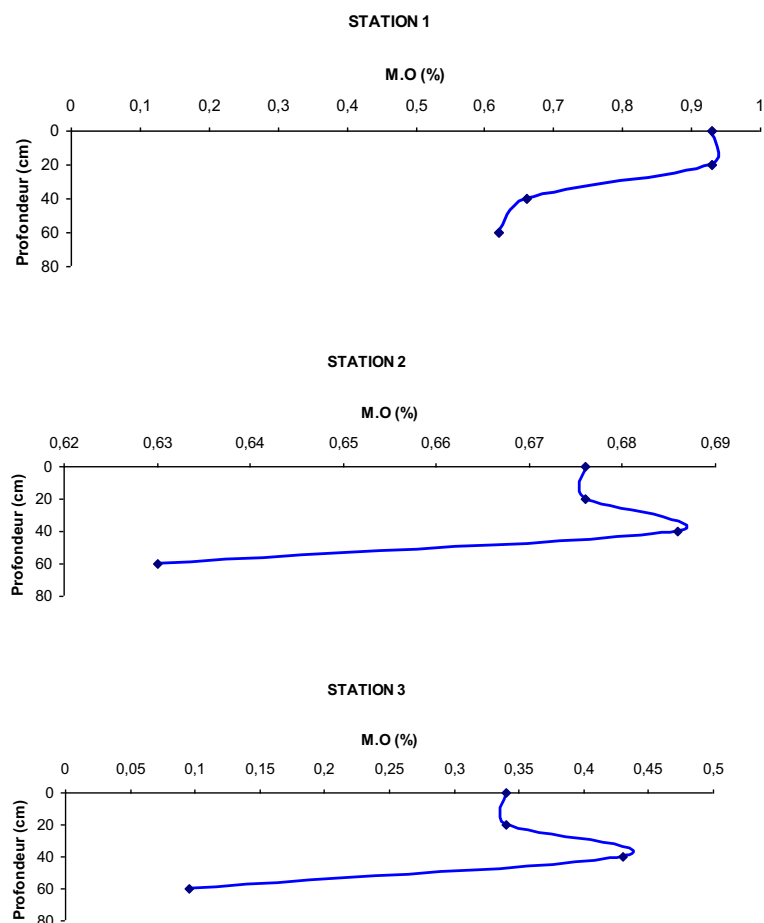


Figure 2 : Evolution spatiale du taux de la matière organique dans les sols des stations d'étude

2.3.2 Les éléments minéraux des sols étudiés

Les sols de la station 1 sont insuffisamment pourvus en éléments nutritifs majeurs tels que le phosphore et l'azote. Le rapport C/N (8.66 à 11.8) indique une richesse relative du carbone organique par rapport à l'azote. Ceci peut être liée au processus de minéralisation de la M.O réduit dans les conditions de

salinité excessivement marquées notamment dans les horizons de surface

De même les sols de la station 2 sont insuffisamment pourvus en éléments nutritifs majeurs notamment l'azote qui présente des valeurs très faibles mais presque constantes (0.03-0.036%). Le rapport C/N variant entre 11.02 et 12.44 implique la richesse relative du carbone organique par rapport à l'azote

Les sols de la station 3 sont aussi pauvres en ces éléments. Le rapport C/N très bas (1.13 - 3.65) indique une richesse relative de la masse azotée de ces sols par rapport à la masse du carbone expliquant une grande vitesse de minéralisation de la matière organique apportée

Enfin dans les sols étudiés certains micro-éléments tels que le zinc, le cuivre,

le fer et le manganèse peuvent faire l'objet de déficiences.

2.4 Le statut biologique des sols étudiés

Pour les sols de nos trois stations d'étude les potentialités microbiologiques sont médiocres (figure n°3).

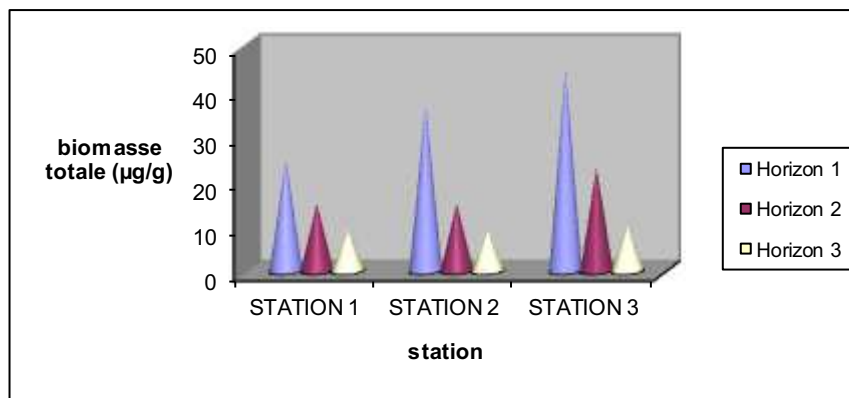


Figure 3 : Répartition spatiale de la biomasse microbienne totale dans les sols des stations d'étude

Cela dit dans la lecture des résultats analytiques des caractéristiques biologiques des sols des stations d'étude, il est à remarquer que la biomasse microbienne totale est plus faible dans les sols extrêmement salins de la station 1 que ceux des autres stations. Cela tient nous l'estimons bien non pas à des différences quantitatives mais plutôt à des différences qualitatives. Autrement dit c'est la diversité du nombre d'espèces (et non le nombre d'individus) qui a marqué la différence

Enfin, nous constatons d'une manière générale que la biomasse microbienne totale dans les différentes parcelles des stations d'étude se concentre beaucoup plus dans les couches supérieures par rapport aux couches profondes où l'on note une diminution progressive. Cela est en fait lié aux conditions du milieu et ses facteurs

particulièrement la baisse de la tension en O_2 , l'élévation de la teneur en CO_2 défavorable aux microorganismes et à la diminution du taux de la matière organique [22].

Conclusion

Le diagnostic de la situation des systèmes de cultures traditionnels ainsi établi à travers cette étude dans l'oasis du Ksar de Ouargla et qui a porté notamment sur la fertilité des sols réputés de « salés », nous a permis de bien évaluer la durabilité de ce système de culture dans le sens où la qualité du sol constitue vu son intérêt écologique et agronomique un critère d'une grande importance

La caractérisation analytique des sols de cette palmeraie devra nous permettre à travers un plan de gestion intégrée de la fertilité des sols, d'identifier

d'une part les problèmes majeurs, en recherchant leurs causes, et de mettre d'autre part à la disposition des agriculteurs un éventail de solutions techniques sous formes de systèmes de cultures améliorés, motivants et adaptés aux conditions de leur milieu et à leurs possibilités et enfin de proposer aux responsables de développement des solutions évitant déséquilibre ou situations sans issue et d'entreprendre des études correspondant aux besoins très divers de l'agriculture régionale, particulièrement ceux des exploitations agricoles traditionnelles. Cela devrait passer prioritairement par une analyse des relations que l'homme tisse avec son milieu naturel dans les processus de production agricole durable.

Références bibliographiques

- [1].- **LEMIEUX G., Germain D., 2001** - Le bois raméal fragmenté: la clé de la fertilité, Département des Sciences du Bois e de la Forêt, Université Laval, Québec, Canada, 26p
- [2].- **MATE., 2002** - Plan national d'action pour l'environnement et le développement durable (PNA.E-DD), RADP, 139p
- [3].- **CALVET R., 2003** - Le sol, propriétés et fonctions, phénomènes physiques et chimiques, applications agronomiques et environnementales, Tome 2, édit France Agricole, DUNOD, 511p
- [4].- **DENT D., HARTEMINK A., KIMBLE J., 2005** - La connaissance et la bonne gestion des sols, brochure éditée par planetearth, Pays Bas, 5p
- [5].- **AFNOR., 2002** - Dictionnaire de l'environnement, 3^{ème} édition, 262p
- [6].- **AUBERT G., 1973** - Méthodes d'analyse des sols, CRDP, Marseille, 191p
- [7].- **DEKKICHE B., 1974** - Contribution à l'étude des sols du Hodna et corrélation géochimique des eaux de la nappe Thèse Doct, Univ. Gand, 210p
- [8].- **BERRAFA S., 1984** - Essai méthodologique de caractérisation de la solution des sols salés, mémoire d'Ing, INA, Alger, 80p
- [9].- **DUCHAUFOR PH., 1977** - Pédogenèse et classification, édit Masson, Paris, 477p
- [10].- **BAIZE D., 1988** - Guide des analyses courantes en pédologie, INRA, Paris, 172p
- [11].- **FAKNOUS N., 1984** - Essai méthodologique sur la détermination de la CEC et des bases échangeables pour les sols contenant des sels peu solubles, mémoire d'ing, INA, Alger, 71p
- [12].- **JOB J.O., 1981** - Some problems in analysis of soils in arid areas, ACSAD, Damascus, pp 219-237
- [13].- **DEMOLON A., 1966** - Dynamique du sol, Tome I, édit DUNOD, Paris, 520p
- [14].- **DOGAR M., 1992** - Les processus d'altération, cours polycopié, Chapitre III, INESA, Batna, 20p
- [15].- **HALILAT M.T., 1993** - Etude de la fertilisation azotée et potassique sur le blé dur (variété aldura) en zones sahariennes (région de Ouargla), thèse de Magister, université de Batna, 130p
- [16].- **RABIA S., 1992** - Caractérisation physique et hydrique des sols sableux de Gassi Touil, mémoire d'Ing, INA/El Harrach, 75p
- [17].- **BARTHELEMY G., 1984** - La terre et ses secrets, édit ENAL n° 1708/84, Alger, 71p
- [18].- **VAN HOORN J.W., VAN ALPHEN J.G., 1998** - Maîtrise de la

salinité, bilan de sels et besoins de lessivage des sols irrigués, Cours d'irrigation, IAM/Bari, 95p

[19].- HALITIM A., 1988 - Les sols des régions arides d'Algérie, édit OPU, Alger, 384p

[20].- KAOURITCHEV I., 1980 – Manuel pratique de pédologie, édit Mir, Moscou, 278p

[21].- BENBRAHIM F., 2006 – Evaluation de la durabilité de la céréaliculture sous pivot par l'étude de la salinisation du sol dans la région de Ouargla (cas de Hassi Ben Abdellah), Thèse de Magistère, université de Ouargla, 111p

[22].- AMIR H., BENNACEUR M., LAOUFI Z., AMIR A., BOUNAGA N., 1985 – Contribution à l'étude de l'écologie microbienne du sol de deux palmeraies sahariennes atteintes de bayoud, Revue, Ecol. Biol. Sol, Paris, Vol 22, n° 3, PP 313-330.