

Changement d'utilisation des terres et dégradation des sols en zone aride. Cas du sud du Hodna, Algérie

[Land use change and soils degradation in arid area. A case study of south Hodna, Algeria]

Salah ABDESSELAM et Amor HALITIM

Laboratoire LAPAPEZA, Département d'agronomie, ISVSA Université Hadj Lakhdar Batna, Algérie

Copyright © 2014 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

RESUME: Depuis quelques décennies, la zone du Hodna, zone aride de l'Algérie, est soumise à une mise en culture en irrigué en utilisant les eaux souterraines. Le problème de la dégradation des sols au sud du Hodna a été abordé en étudiant les sols de surface de quatre sites et des témoins non cultivés. L'utilisation des analyses statistiques (ANOVA, ACP et test de conformité de moyenne) a permis de caractériser les sols, d'étudier la variation des paramètres pédologiques et de déterminer les facteurs influençant l'évolution des sols.

Les sols en surface sont peu calcaires et non gypseux. Ils sont influencés par la fraction grossière et sont, par voie de conséquence, perméables. Les sols présentent un pH alcalin et sont pour la plupart non ou légèrement salés. L'analyse en composante principale indique clairement que la morphogenèse hydrique et éolienne constitue le principal facteur qui influence les sols de la zone d'étude. La salinité et le gypse sont des facteurs secondaires. Les résultats montrent aussi que les sols, où l'intensité de la mise en valeur en irrigué est la plus intense notamment le site D et B, sont soumis au processus d'ensablement. L'évaluation de l'efficacité des aménagements hydro agricoles dans cette région exige, ici plus qu'ailleurs, un suivi de la qualité des sols et des eaux sans oublier, dans ce contexte, l'intérêt de la vulgarisation agricole.

MOTS-CLEFS: Hodna, paramètres pédologiques, analyses statistiques, ensablement, dégradation.

ABSTRACT: In recent decades, Southern Hodna, an arid region of Algeria, is subject to an agricultural development with irrigation using groundwater. The problem of land degradation in this area has been studied by the characterization of surface soils at four sites and uncultivated control samples. The use of statistical analysis (ANOVA, PCA and comparing a mean to a standard) was used to characterize the soil, to study the variation of soil parameters and to determine the factors affecting soils evolution. Generally, the surface soils have a low proportion of limestone and the gypsum is almost absent. They are influenced by the coarse fraction and are, consequently, permeable. The soils have an alkaline pH and are mostly not or lightly saline. The principal component analysis indicates that the water and wind morphogenesis is the main factor influencing the soils of the study area. Salinity and gypsum are secondary factors. The results also show that soils, where the intensity of development in irrigation is the most intense particular site D and B, are subject to silting process. The evaluation of efficiency of hydro-agricultural requires, here more than elsewhere, monitoring water quality and soil and not forgetting, in this context, special importance to agricultural extension.

KEYWORDS: Hodna, soil parameters, statistical analysis, siltation, degradation.

1 INTRODUCTION

Dans les milieux steppiques, suite à l'accroissement démographique et à la sédentarisation d'une partie croissante de la population, on assiste actuellement à une extension rapide de l'agriculture au détriment des meilleures zones pastorales dont la végétation naturelle est détruite par des moyens mécaniques de plus en plus puissants. Cette destruction est également aggravée par l'accroissement de la pression animale sur les surfaces pastorales et par le prélèvement des produits ligneux destiné à la satisfaction des besoins en combustibles. Plusieurs travaux menés sur les milieux steppiques en Algérie ont révélé une amplification de la dégradation de cet écosystème [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8].

Le sud du Hodna, appelée aussi zone du R'mel (zone de sable), est une zone pastorale qui a connu, depuis quelques décennies, des changements importants de l'utilisation des ressources en eau et en sol [9], [10], [11], [12]. Depuis le début des années 1970 une mise en culture en irrigué s'est développée dans cette région faisant rupture avec sa vocation pastorale. Ce milieu steppique, marqué par des conditions physiques sévères, a subi une évolution importante en matière d'utilisation des ressources en eau et en sols en relation avec les politiques agricoles adoptées [9], [13], [14]. Les surfaces agricoles ont connu une extension aux dépens de parcours, et l'utilisation des potentialités en eau souterraine a permis le développement des superficies irriguées. L'évolution rapide d'usage des terres et les différentes pressions exercées sur l'environnement (d'ordre naturel et anthropique) exigent de faire un constat et d'établir un bilan de l'évolution du milieu. Depuis quelques décennies, on assiste dans le Sud du Hodna à une rapide transformation du paysage due principalement à l'ensablement, une des manifestations de la désertification. Ce phénomène constitue un défi majeur auquel les populations sont à l'heure actuelle confrontées.

Dans ce travail, Il s'agit de caractériser les sols de plusieurs zones agricoles et des témoins non cultivés, d'étudier la variation des paramètres pédologiques et de déterminer les facteurs influençant l'évolution des sols. L'objectif est d'aborder l'impact de la mise en culture en irrigué sur la dégradation des sols d'une zone aride de l'Algérie.

2 PHYSIOGRAPHIE

Le Hodna, localisée en zone aride au centre de l'Algérie, est une cuvette de 8500 km², très déprimée et entourée de massifs montagneux. Elle présente en son centre le Chott El Hodna (lac Salé) de 1100 km² qui sert d'exutoire aux Oueds dont les plus importants viennent du Nord.

La zone Sud du Hodna est constituée de dunes de sable, de dépôt alluviaux récents et de collines rocheuses isolées (cas de Djbel Meharga, 900 m). Cette zone est aussi sous l'influence d'une forte érosion éolienne. En effet, constituée de terrains légers sans tapis végétal consistant et constamment ameublés par les labours, le Sud du Hodna est le siège d'une érosion éolienne intense. En outre, il est drainé par de nombreux oueds. Les crues de ces derniers contribuent au lessivage des sels du sol en profondeur et à l'enrichissement du sol par les limons qu'elles transportent.

3 CLIMAT

Le climat du sud du Hodna est aride. La caractéristique essentielle du climat du Hodna est l'extrême variabilité des précipitations dans l'espace et dans le temps [9]. Selon les données de la station météorologique de Ain Diss (Sud du Hodna), la pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 172 mm répartie sur 57 jours pluvieux venant souvent sous forme d'averse, la température moyenne annuelle est de 19,4 °C et l'évapotranspiration potentielle d'environ 1422 mm/an. Les vents sont relativement fréquents dans cette région. On enregistre 59,7 jours de sirocco et 69,4 jours de vent de sable au cours de l'année. L'humidité relative moyenne est faible, elle est plus élevée en hiver qu'en été. Elle varie d'environ 27% en Juillet à 59% en Janvier. La moyenne annuelle est de l'ordre de 43 %. La radiation solaire est importante dans la région car l'atmosphère présente une grande clarté durant toute l'année. La durée d'insolation moyenne est de 8,2 heures par jour.

4 SOLS

Les sols, en majorité sableux, présentent des caractères salins, calcaires ou gypseux ou soumis à l'effet de la nappe phréatique ou à l'érosion éolienne. D'une manière générale, à cause de leur texture et leur faible teneur en matière organique, le niveau de fertilité est faible (faibles capacités d'échange ionique et de rétention en eau) ; le recours à la fertilisation et aux amendements organiques est indispensable pour assurer des rendements acceptables. Toutefois, la fertilisation est pratiquée d'une manière empirique.

En se référant à la carte pédologique du Hodna [15], La zone soumise à la mise en valeur agricole en irriguée présente les principaux types de sols suivants selon la CPCS 1967 [16] :

- sols minéraux bruts non climatiques d'apport alluvial et minéraux bruts xérique inorganisés d'apport.
- sols peu évolués non climatiques d'apport alluvial et éolien,

- sols hydromorphes minéraux ou peu humifères à redistribution de calcaire ou gypse à encroûtement gypseux.
- sols halomorphes à structure non dégradée et/ou dégradée, salins à alcalis.

5 MISE EN CULTURE EN IRRIGUE ET CHANGEMENT DE L'OCCUPATION DES SOLS

La mise en culture en irriguée a commencé en 1976 environ dans le cadre de la révolution agraire avec comme objectif d'irriguer 300 ha à partir de la nappe en charge sous jacente [9]. Après une trentaine d'années, on a constaté une progression des surfaces cultivées, une diminution des zones de parcours et une augmentation de l'ensablement [17]. La réduction des superficies des parcours et leur dégradation est due non seulement à des causes climatiques mais aussi et surtout au surpâturage et à l'extension des surfaces agricoles ayant comme résultat une érosion éolienne [13] avec formation de surfaces dunaires.

L'agriculture s'est développée là où les potentialités en eau ont été mises en évidence. C'est à dire dans la zone sableuse du sud du Chott. Selon les données de la Direction des services agricoles (DSA), la superficie agricole utile (SAU) avoisine 42 000 ha. Les superficies irriguées ont enregistré une extension considérable depuis la mise en valeur en irrigué. Ainsi, les superficies irriguées avoisinent 21 000 ha ce qui représente approximativement 50% de la SAU.

6 MATERIEL ET METHODES

Après un examen des documents disponibles relatifs à la zone d'étude, des prospections de reconnaissance ont été faites au préalable dont le but de prendre connaissance du degré de complexité du terrain et du milieu dans son ensemble. Au terme de cette phase préliminaire, nous avons choisi la zone d'étude en se basant, d'une part, sur la diversité du paysage et de son aspect morphologique (zones d'accumulation de sable, zones affectées par les crues des oueds et la zone chotteuse), et d'autre part, sur la localisation de la zone affectée par la mise en culture en irrigué.

Nous nous sommes intéressés à la couche arable influencée par le travail du sol. L'objectif est de vérifier les changements des caractéristiques de sol suite à la mise en culture en irrigué. Quatre sites présentant des diversités morphologiques ont été retenus (figure 1). Le site A est constitué de terres marginales destinées aux parcours ; la mise en valeur est récente. Le site B est une zone agricole de fertilité moyenne. Le site C est une zone affectée par la nappe phréatique, les sels et même par le sable et enfin le site D est une zone d'expansion des crues ou zone inondable. Il constitue les meilleures terres fertiles et favorables à l'agriculture.

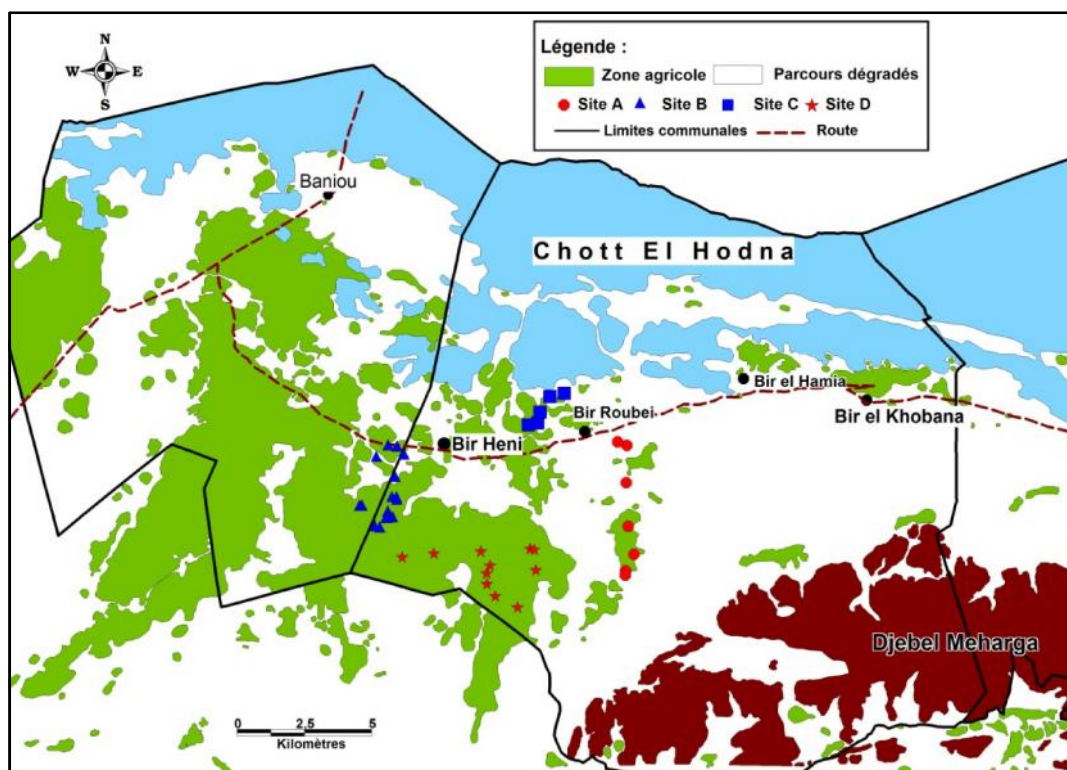


Fig. 1. Localisation des sites d'échantillonnage de sol

Pour chaque site, un témoin non irrigué, constituant l'état de référence, a été également échantillonné de la même manière. Au total, les sols de 40 parcelles irriguées, ayant des superficies inférieures à 5 ha, ont été échantillonnés sur une

profondeur de 0 à 30 cm. Les parcelles échantillonnées ont été irriguées durant des périodes variables. Les cultures pratiquées sont les céréales, l'arboriculture et le maraîchage. Il est cependant important de signaler qu'au sud du Hodna, où les sols sont dominés par la texture grossière, la pratique de l'irrigation par planche est généralisée et les quantités d'eau apportées semblent être au-delà des besoins des cultures et du lessivage.

6.1 ANALYSE DES SOLS ET TRAITEMENT DES ECHANTILLONS

Les échantillons de sols ont été séchés à l'air libre puis tamisés à 2 mm. Les méthodes analytiques utilisées sont celles décrites par Mathieu et Pieltain [18], [19]. La granulométrie par la méthode à la pipette Robinson, la perméabilité en utilisant la méthode des colonnes à charge constante et mesure sur échantillons remaniés avec l'application de loi de Darcy. Le calcaire total en utilisant le calcimètre Bernard, la capacité d'échange cationique par la méthode à l'acétate d'ammonium à pH 7, la conductivité électrique (CE) en utilisant une suspension sol/ eau 1:5, le carbone organique par la méthode Walkley-Black, le pH mesuré sur une solution avec un rapport sol-eau de 1:2,5. Enfin, le gypse a été déterminé par la méthode de chauffage proposée par Vieillefon [20].

Le traitement statistique des données a été réalisé par le logiciel Statistica V6. Trois méthodes ont été utilisées :

- Analyse de la variance entre sites (ANOVA).
- Analyse en composantes principales (ACP) des différents paramètres pédologiques.
- Test de conformité d'une moyenne [21]. Il s'agit de la comparaison d'une moyenne observée et d'une moyenne théorique [22].

7 RESULTATS ET DISCUSSION

7.1 ANALYSE GLOBALE DES ECHANTILLONS DE SOL

Dans cette caractérisation des échantillons de surface, on a pris en considération huit paramètres pédologiques : le calcaire, le gypse, la perméabilité, la texture, la capacité d'échange cationique (CEC), la conductivité électrique (CE), le pH et la matière organique. Les statistiques descriptives des résultats analytiques de tous les échantillons et les échantillons classés par site regroupant la moyenne et les valeurs limites sont représentées dans les tableaux (1 et 2).

Selon les résultats obtenus, on peut faire les constatations suivantes :

- Généralement, les sols en surface sont peu calcaires et non gypseux. Ils sont influencés par la fraction grossière et sont, par voie de conséquence, perméables. Les sols présentent un pH alcalin et sont pour la plupart non ou légèrement salés.

Tableau 1. Statistiques descriptives des échantillons de sol

| | N | Moyenne | Médiane | Minimum | Maximum | Ecart-type |
|--|----|---------|---------|---------|---------|------------|
| Argile+ Limon fin (%) | 40 | 21,38 | 19,50 | 0,00 | 52,00 | 13,68 |
| Matière organique (%) | 40 | 0,44 | 0,43 | 0,07 | 0,89 | 0,22 |
| CEC (mé/100 g sol) | 40 | 7,86 | 6,91 | 3,00 | 17,05 | 3,80 |
| CaCO₃ (%) | 40 | 13,30 | 13,72 | 0,99 | 29,11 | 6,96 |
| Gypse (%) | 40 | 0,76 | 0,00 | 0,00 | 22,15 | 3,58 |
| Conductivité électrique CE (µS/m) | 40 | 948,32 | 395,00 | 130,00 | 9770,00 | 1628,93 |
| Limon grossier (%) | 40 | 12,08 | 9,00 | 0,00 | 37,00 | 11,16 |
| perméabilité K (cm/h) | 40 | 6,95 | 5,24 | 1,43 | 35,30 | 5,96 |
| Sables (%) | 40 | 64,50 | 65,50 | 26,00 | 98,00 | 15,84 |
| pH | 40 | 7,81 | 7,82 | 7,06 | 8,41 | 0,29 |

- le site D est une zone relativement fertile en comparaison avec les autres sites. En effet, il bénéficie des crues de petits oueds qui traversent cette région et profite des limons calcaires qu'il transporte. De tels milieux qu'on peut trouver au sud du Hodna, mais qui n'ont pas fait l'objet d'étude dans ce travail, méritent une attention particulière. Compte tenu des possibilités limitées de mise en valeur des terres en irrigué dans cette région et dans la perspective d'une meilleure utilisation de ces terres dans le cadre du développement durable, ces endroits devraient d'être surveillés et protégés et des travaux de recherches doivent être focalisés pour une exploitation raisonnable.

- la salinisation et l'hydromorphie, qui autrefois caractérisent ses sols, sont moins marquants suite au retrait de la nappe phréatique.

- l'analyse statistique (ANOVA) a met en évidence des différences significatives entre les paramètres pédologiques des sites étudiés. Les résultats ainsi obtenus confirment bien les observations faites au cours de la prospection sur le terrain. Ceci traduit, d'une part, une bonne représentativité des sites retenus et, d'autre part, soutient les conclusions qui pourraient être émises à travers ses résultats.

Tableau 2. Moyenne et valeurs limites des analyses du sol des différents sites

| | Moyenne Valeurs limites | Site A (n=6) | Site B (n=19) | Site C (n=5) | Site D (n=10) | ANOVA |
|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|---------|
| Argile +Limon fin (%) | M | 8,6667 | 21,21 | 11,8 | 34,1 | P<0,001 |
| | VL | 2-20 | 0-39 | 2-30 | 15-52 | |
| Matière organique (%) | M | 0,3350 | 0,43 | 0,38 | 0,55 | P=0,2 |
| | VL | 0,07-0,74 | 0,09-0,74 | 0,1-0,76 | 0,26-0,89 | |
| CEC me/100 g sol | M | 3,7817 | 8,87 | 4,23 | 10,22 | P<0,001 |
| | VL | 3-4,81 | 4,15-13,79 | 3-6,11 | 5,69-17,05 | |
| CaCO ₃ (%) | M | 8,8700 | 12,56 | 5,24 | 21,41 | P<0,001 |
| | VL | 3,45-15,39 | 5,33-19,14 | 0,99-12,04 | 15,1-29,11 | |
| Gypse (%) | M | 0,1750 | 0,38 | 4,43 | 0 | |
| | VL | 0-1,05 | 0-5,34 | 0-22,15 | 0-0 | |
| Conductivité électrique (CE μS/m) | M | 948,8333 | 854,63 | 2341,52 | 429,41 | P=0,86 |
| | VL | 203-2710 | 157,2-3080 | 130-98 | 197,1-807,0 | |
| Limon grossier (%) | M | 6,8333 | 13,47 | 16,2 | 10,5 | |
| | VL | 0-27 | 0-35 | 5-37 | 2-29 | |
| Perméabilité K (cm/h) | M | 12,3900 | 4,73 | 12,66 | 5,08 | P=0,001 |
| | VL | 5,6-17,64 | 1,49-9,18 | 4,08-35,3 | 1,43-8,79 | |
| Sables (%) | M | 81,1667 | 63,16 | 70 | 54,3 | P=0,005 |
| | VL | 72-98 | 39-78 | 48-98 | 26-86 | |
| pH | M | 7,8450 | 7,85 | 7,66 | 7,81 | P=0,2 |
| | VL | 7,36-8,4 | 7,5-8,4 | 7,06-8,32 | 7,5-8,2 | |

7.2 ANALYSE EN COMPOSANTE PRINCIPALE (ACP)

L'étude statistique par l'analyse en composantes principales (A.C.P) a été effectuée sur un tableau de 40 individus (observations) et 9 variables. Les variables utilisées sont : Argile+limonfin (Alf), limon grossier (LG), sable fin+sable grossier (S), matière organique (MO), capacité d'échange cationique (CEC), perméabilité (K), calcaire total (Cal), gypse (Gypse) et conductivité électrique (CE). La reconstitution finale de la distribution des paramètres pédologiques (caractéristiques du sol), nous a permis de définir les axes factoriels ou facteurs responsables de cette distribution et par conséquent, faire ressortir les affinités entre les différents paramètres pédologiques (caractéristiques du sol) et déduire les paramètres qui les caractérisent au mieux.

Les trois premiers axes expriment 80% de la variance totale ; avec 48% pour le premier axe ; 19,7% pour le deuxième axe et 12,7% pour le troisième axe. Le tableau 3 exprime les valeurs propres de la matrice des coefficients de corrélation, le pourcentage de variance expliquée ainsi que celui de la variance cumulée pour chacun des axes.

L'observation de la matrice de corrélation des 09 paramètres étudiés (tableau 4) montre les faits suivants :

Tout d’abord, un premier groupe constitué d’éléments texturaux (argile et limon fin), la CEC, la matière organique et le calcaire sont interdépendants et présentent des corrélations positives. Un deuxième groupe formé par les sables et le coefficient de perméabilité K présente une corrélation positive. Ces deux groupes sont négativement corrélés.

Le gypse dans les échantillons de surface est généralement absent (90% de cas). Lorsqu’il est présent, il est corrélé négativement avec le calcaire, relation habituellement présentée dans les travaux relatifs aux sols gypseux [15]. Il est aussi corrélé avec le limon grossier ce qui suggère une individualisation de ce sel dans cette dimension.

La salinité globale, représentée par la conductivité électrique (CE), ne présente aucune corrélation avec les autres paramètres pédologiques sauf avec le coefficient de perméabilité K ($r= 0,66$) ; ce coefficient de corrélation doit être interprété avec précaution. En effet, cette corrélation est induite par l’échantillon sableux ayant la valeur la plus élevée de la CE, et avec l’éliminant de cet échantillon de l’analyse la relation devient non significative avec $r= 0,29$.

Ce premier résultat nous laisse penser que les paramètres pédologiques : gypse, limon grossier et CE ne semblent pas expliquer d’une manière très nette les changements au niveau de la surface du sol, ils ne constituent donc pas des variables essentielles à traiter dans l’ACP.

L’observation des corrélations entre les variables et les axes principaux (Tableau 5) montre que l’axe 1 est très bien corrélé positivement à matière organique, capacité d’échange cationique et Calcaire et négativement avec les sables et la perméabilité. L’axe 2 présente une très bonne corrélation positive avec le limon grossier et le gypse. Par ailleurs, l’axe 3 est corrélé positivement avec la conductivité électrique.

Tableau 3. Distribution des valeurs propres et de la variance selon les différents axes factoriels dans les échantillons de surface.

| Axes | Valeur propre | % variance expliquée | % variance cumulée |
|----------|---------------|----------------------|--------------------|
| 1 | 4,32 | 48,0 | 48 |
| 2 | 1,77 | 19,7 | 68 |
| 3 | 1,14 | 12,7 | 80 |
| 4 | 0,63 | 7,0 | 87 |
| 5 | 0,40 | 4,4 | 92 |
| 6 | 0,33 | 3,6 | 95 |
| 7 | 0,21 | 2,4 | 98 |
| 8 | 0,17 | 1,9 | 100 |
| 9 | 0,03 | 0,3 | 100 |

Tableau 4. Matrice de corrélation

| | Argile+ Limon fin | Limon grossier | Sables | Matière organique | CEC | Perméabilité | Calcaire | Gypse | Conductivité électrique |
|--------------------------------|-------------------------|-------------------|--------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|-------|----------------------------|
| Argile+Limon fin | 1 | | | | | | | | |
| Limon grossier | -0,22 | 1 | | | | | | | |
| Sables | -0,73 | -0,45 | 1 | | | | | | |
| Matière organique | 0,70 | 0,07 | -0,63 | 1 | | | | | |
| CEC | 0,70 | -0,01 | -0,60 | 0,58 | 1 | | | | |
| Perméabilité | -0,54 | -0,18 | 0,63 | -0,44 | -0,53 | 1 | | | |
| Calcaire | 0,81 | 0,03 | -0,69 | 0,63 | 0,68 | -0,54 | 1 | | |
| Gypse | -0,22 | 0,44 | -0,15 | -0,02 | -0,18 | -0,07 | -0,32 | 1 | |
| Conductivité électrique | -0,22 | -0,04 | 0,29 | -0,09 | -0,18 | 0,66 | -0,24 | -0,09 | 1 |

L’observation du graphe de la figure (2) qui est une représentation formée par les deux premiers axes principaux (plan 1x2) fournit 67,68% de l’information contenue dans le nuage de points.

Le premier plan factoriel représente (47,98+19,70) de la variance, ce qui est considérable ; le premier axe reflète près de la moitié de la variance.

Dans ce plan (axe1x2), on constate tout d'abord que les variables éléments fins (argile+ limon fin), CEC, Calcaire, matière organique se trouvent en abscisses positives alors que le sable grossier et perméabilité en abscisses négatives. Le limon grossier et le gypse se localisent en ordonnées positives.

Tableau 5. Corrélations variables/axes principaux

| | Axe 1 | Axe 2 | Axe 3 |
|-----------------------------------|----------------|---------------|---------------|
| Limon grossier | 0,1102 | 0,8111 | 0,3478 |
| Matière organique | 0,7728 | -0,0511 | 0,3179 |
| CEC | 0,8082 | -0,1706 | 0,1043 |
| Perméabilité K | -0,7650 | -0,2887 | 0,4291 |
| Calcaire total | 0,8729 | -0,2214 | 0,0865 |
| Gypse | -0,1130 | 0,8106 | 0,1199 |
| Conductivité électrique CE | -0,4125 | -0,3146 | 0,8096 |
| Sables | -0,8600 | -0,3291 | -0,2108 |
| Argile+Limon fin | 0,8865 | -0,2941 | 0,0572 |

Cette disposition des variables permet de repérer un premier groupe homogène formé des éléments fin, de la CEC et de la matière organique qui évoluent dans le même sens témoignant d'une morphogenèse hydrique, et s'opposant aux éléments grossiers (sables) et la forte perméabilité du sol caractérisant une morphogenèse éolienne.

Le premier axe représente les deux phénomènes majeurs qui marquent l'évolution des sols de cette région. Il s'agit des zones qui bénéficiés des crues des oueds qui favorisent la régénération de la fertilité du sol par les apports des limons calcaires et les zones soumis aux effets des apports éoliens qui favorise la dégradation des sols sous l'action éolienne. Ces deux processus constituent donc le mécanisme principal de l'évolution de ces sols.

Le second axe représente l'individualisation du gypse qui semble se produire dans la fraction limon grossier mais qui reste un phénomène secondaire dans l'évolution des échantillons de surface dans cette région.

L'observation du graphe de la figure (3) qui est une représentation formée par les axes principaux 1 et 3 (plan 1x3) fournit 60,67% de l'information contenue dans le nuage de points.

Dans ce plan (axe1x3), on observe tout d'abord en abscisse les mêmes variables représentées dans la figure précédente, tandis que la salinité globale, représentée par la conductivité électrique (CE), se trouve en ordonnée positive.

Cette disposition nous permet de faire les mêmes constatations que précédemment. En effet, on retrouve les mêmes éléments expliquant la fertilité et la dégradation des sols portés sur le premier axe.

Le troisième axe représente la salinité globale qui constitue un phénomène secondaire dans l'évolution des échantillons de surface dans cette région.

Selon la figure (4), on constate que l'agencement horizontal des individus indique la fertilité des sols et dans le sens opposé la dégradation des sols. Par ailleurs, si on considère ces individus selon leur agencement vertical, on remarque que leur arrangement se fait selon leur teneur en gypse. Selon la figure (5), on constate que l'agencement horizontal des individus se fait de la même manière que dans la figure (4). Cependant, si on considère ces individus selon leur agencement vertical, on remarque que leur arrangement se fait selon leur salinité.

En conclusion, on peut dire que de l'approche statistique il faut retenir une opposition entre éléments : Ceux qui favorise la fertilité des sols dont l'évolution est liée à la présence des éléments fins (CEC, calcaire, matière organique) et ceux qui favorise la dégradation des sols dont l'évolution est lié au sables (perméabilité) ; l'individualisation du gypse et la salinité ne semble pas avoir un effet important sur l'évolution des sols en surface dans la zone d'étude.

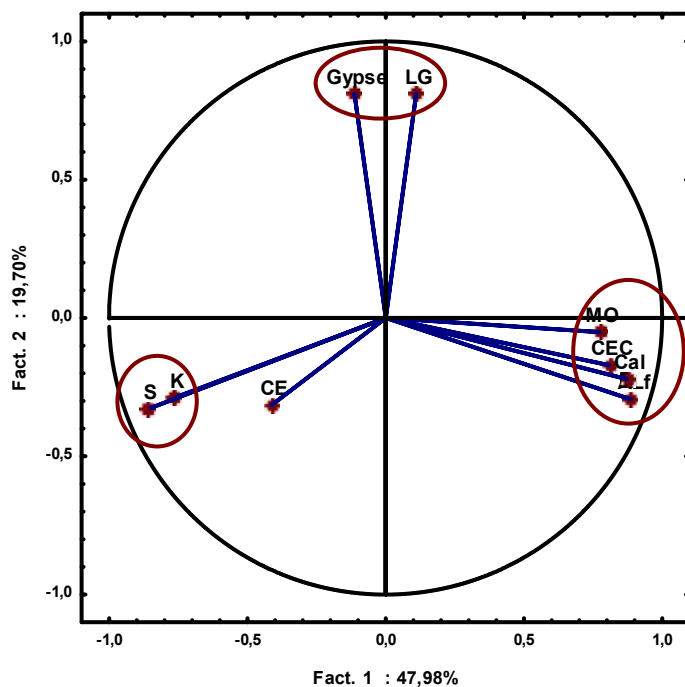


Fig. 2. ACP des sols en surface, représentation des variables dans le plan 1x2

(S : Sables, Alf : Argile+limon fin, LG : Limon grossier, K : Coefficient de perméabilité, Cal : Calcaire total, MO : Matière organique, CEC : Capacité d'échange cationique).

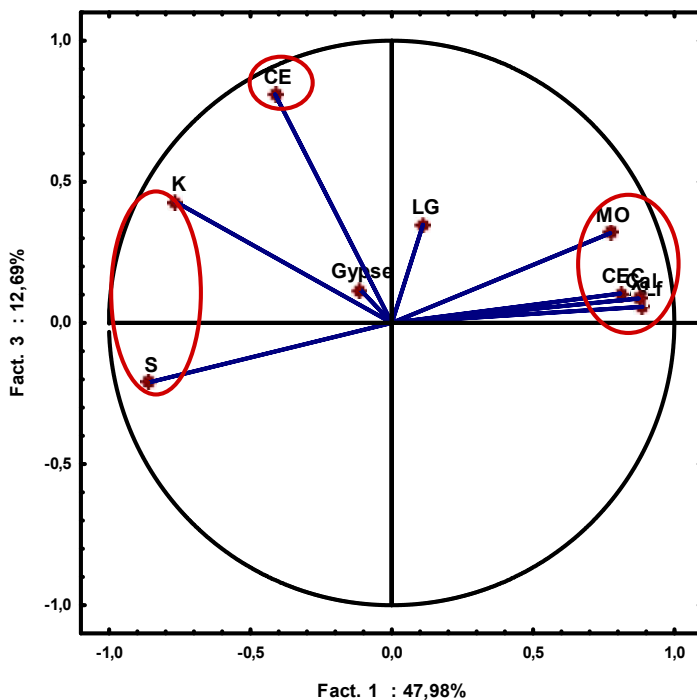


Fig. 3. ACP des sols en surface, représentation des variables dans le plan 1x3

(S : Sables, Alf : Argile+limon fin, LG : Limon grossier, K : Coefficient de perméabilité, Cal : Calcaire total, MO : Matière organique, CEC : Capacité d'échange cationique).

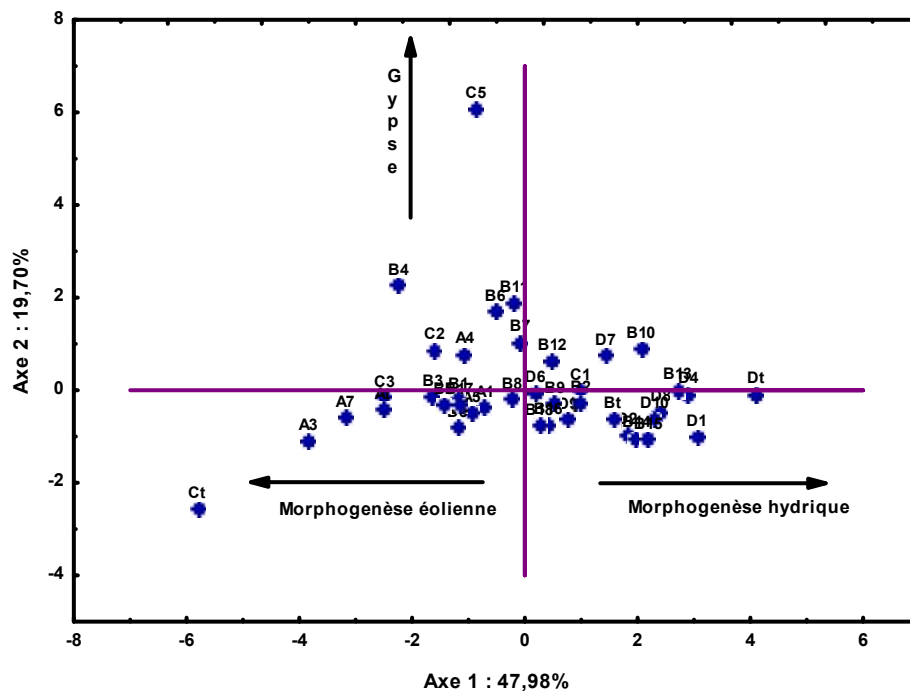


Fig. 4. ACP des sols en surface, représentation des individus dans le plan 1x2.
(A, B, C, et D : les sites d'échantillonnage).

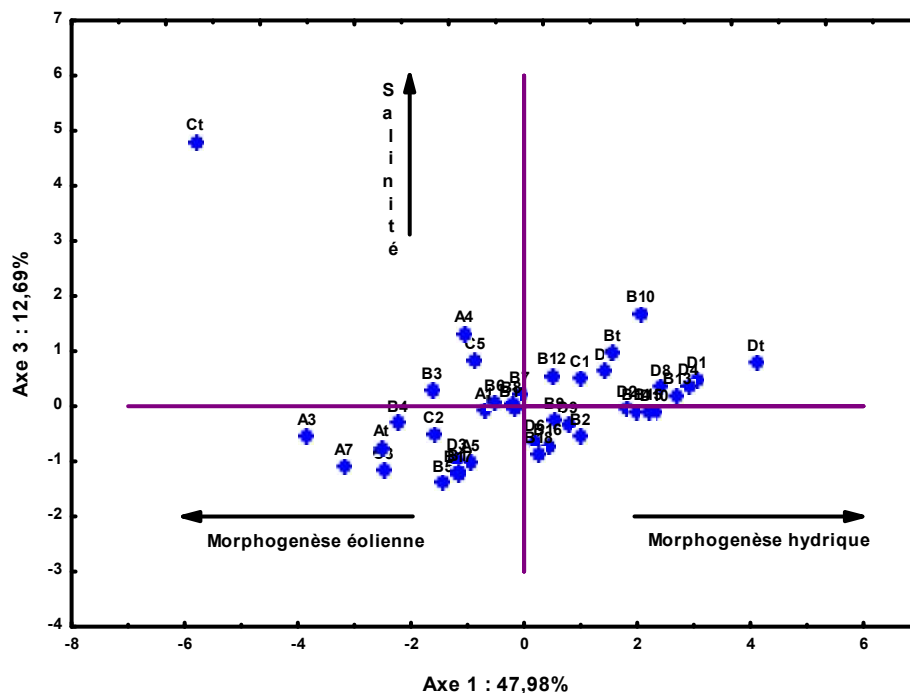


Fig.5. ACP des sols en surface, représentation des individus dans le plan 1x3.
(A, B, C, et D : les sites d'échantillonnage).

7.3 EVOLUTION DES PARAMETRES PEDOLOGIQUES

Dans le but de mettre le point sur l'état de la dégradation des sols suite à la mise en culture en irrigué dans les sites choisis en s'appuyant sur l'utilisation de tests statistiques, on a comparé, pour chaque paramètre pédologique étudié, la

moyenne du site à un témoin (référence) du même site qui a été échantillonné de la même manière et qui reflète le sol naturel non perturbé par l'action humaine. L'objectif est aussi de vérifier les paramètres qui contribuent le plus à la dégradation des sols dans cette région suite au changement d'utilisation des terres. Les paramètres pédologiques pris en considération sont ceux qui présentent une forte corrélation et dont l'analyse en composante principale a révélé une interdépendance sur le terrain. Les résultats obtenus (Tableau 6) permettent de faire les remarques suivantes :

-**Pour le site D**, le test t indique une différence significative entre la moyenne et le témoin pour les paramètres pédologiques fraction fine, sables et calcaires (Tableau 6). Ces résultats confirment que le changement de l'utilisation des terres par mise en culture en irrigué des zones autrefois consacrées au parcours dans ce site à engendrer une dégradation des terres qui se manifeste par :

- Une variation texturale se traduisant par une augmentation des sables et une diminution de la fraction fine favorisant ainsi un processus d'ensablement dans les zones agricoles de ce site.
- Une augmentation de la salinité globale dans les zones irriguées quoique toujours inférieure au seuil critique mais pouvant induire à la longue une salinisation secondaire.

-**Pour le site de B**, le test t montre une différence significative entre la moyenne et le témoin pour les paramètres pédologiques suivants :

Fraction fine, sables, calcaire, perméabilité et CEC (Tableau 6). De même, le test non paramétrique indique une différence significative de la CE ($Z=3,72$ et $p<0,01$).

Ces résultats nous permettent de faire les mêmes observations que pour le site de D. De plus, on enregistre une différence significative avec la CEC et la perméabilité qui semble être en relation avec les teneurs en argile et limon fin dans la fraction fine considérée et du taux des sables fins et des sables grossiers.

-**Pour le site A**, on n'a pas observé de différence significative entre les paramètres pédologiques et leurs témoins.

-**Pour le site C**, le test t montre uniquement une différence significative entre le limon grossier et son témoin.

Tableau 6. Test statistique de la comparaison d'une moyenne avec un témoin.

| | Variable | Moyenne | Valeur de « t » | P |
|--------|-------------------|---------|-----------------|------------------|
| Site D | CaCO ₃ | 20,70 | 4,47 | 0,002 |
| | Sables | 57,44 | 6,99 | <0,001 |
| | Argile+Limon fin | 32,11 | 6,31 | <0,001 |
| Site B | CEC | 8,65 | 6,22 | <0,001 |
| | Perméabilité K | 4,85 | 4,30 | <0,001 |
| | CaCO ₃ | 12,33 | 4,38 | <0,001 |
| | Sables | 64 | 6,30 | <0,001 |
| | Argile+Limon fin | 20,33 | 6,15 | <0,001 |
| Site C | Limon grossierG | 11 | 6.47 | <0,001 |

Les valeurs en gras indiquent une différence significative au seuil 5%.

Des résultats du test de conformité de la moyenne, on peut faire les constatations suivantes :

-Il ressort clairement que les sols, où l'intensité de la mise en valeur en irrigué est la plus intense notamment le site de D et B, sont soumis au processus d'ensablement. L'érosion éolienne constitue un phénomène qui menace l'environnement. Dans notre région, cette dégradation se manifeste par un changement textural qui s'exprime par une augmentation des sables et une diminution des éléments fin.

-Les sites de D et B, où l'action anthropique est la plus ancienne, malgré le passage des eaux des crues sur ces terres et l'utilisation des eaux de nappe profonde de qualité meilleure que celle de la nappe phréatique, présentent des signes de salinisation secondaire.

En surface, la comparaison des échantillons de sols irrigués avec des témoins révèle un changement textural. Les résultats obtenus indiquent une augmentation des sables contre une diminution de la fraction argile+limon. Ce résultat mérite une attention particulière car cet aspect est insuffisamment traité dans la littérature [25]. Par contre, les changements des propriétés du sol, dans les milieux steppiques, causés par le surpâturage ont été rapportés dans plusieurs travaux [26], [27], [28].

La cartographie de la sensibilité à la désertification de la région steppiques en Algérie [23], [5] démontre une évolution phénoménale de ce fléau naturel qui s'accélère selon un rythme d'environ 40 000 ha/an. Les études menées dans la steppe témoignent d'une forte vitesse de dégradation du milieu avec comme conséquences la réduction du couvert végétal, l'ensablement, la désertification et leur impact sur le plan socio-économique de ces régions [1], [23], [5], [24]. La zone sud du Hodna n'échappe pas à ce problème, elle est confrontée elle aussi à un problème d'ensablement très inquiétant.

Les causes de cet ensablement sont liées à des périodes de sécheresse parfois prolongées mais surtout à l'action anthropique qui se manifeste dans cette région par le défrichement des terres pour l'agriculture et le surpâturage [13]. En effet, l'extension de l'ensablement au sud du Hodna est en relation directe avec l'extension des surfaces irriguées aux dépens des parcours. Les labours et la jachère prolongée exposent le sol à l'érosion éolienne et la réduction des parcours aux dépens de l'évolution des surfaces irriguées favorise la surexploitation des maigres parcours déjà dégradés dans cette steppe sableuse. A l'état actuel, l'ensablement constitue le principal problème de dégradation rencontré qui menace la durabilité des aménagements hydro-agricoles.

8 CONCLUSION

Cette étude porte sur les changements d'utilisation des terres et son impact sur la dégradation des ressources en sols au Sud du Hodna, zone aride de l'Algérie. Cette région steppique, marquée par des conditions physiques sévères, a subi une évolution importante en matière d'utilisation des ressources en eau et en sols en relation avec les politiques agricoles adoptées. Les surfaces agricoles ont connu une extension au dépend des surfaces des parcours, et l'utilisation des potentialités en eau souterraine a permis le développement des superficies irriguées.

L'étude des paramètres pédologiques de l'horizon de surface de quatre sites et des témoins a été réalisée. L'application de tests statistiques (ANOVA, ACP et test de conformité de moyenne) a permis d'aborder l'évolution des sols et le problème de leur dégradation. Les résultats obtenus montrent que cette région est sous la dépendance d'une morphogénèse hydrique et éolienne ; la salinité et le gypse sont des facteurs secondaires. Les sites, où l'intensité de mise en culture en irrigué est intense sont le siège d'ensablement ce qui peut compromettre la durabilité des aménagements hydro-agricoles si des mesures ne sont pas prises. A cet effet, la mise en place d'un système expert de suivi de la qualité des sols et des eaux parallèlement à un dispositif de vulgarisation des agriculteurs serait indispensable.

REFERENCES

- [1] MARA, "La steppe Algérienne". Statistique agricole n°14, Ministère de l'Agriculture et de la Révolution Agraire, 383 p. 1974.
- [2] Bedrani et Bensouiah, "La relation homme - environnement dans la steppe algérienne : cas de la région de Djebel Amour". Communication au séminaire international *MEDENPOP 2000*. Jerba, Tunisie du 25 au 28 octobre. 2000
- [3] Mouhous, "Les causes de la dégradation des parcours steppiques". Thèse de Magister, INA El-Harrach 126 p. 2005
- [4] Bensaïd A., Barki M., Talbi O., Benhanifia Kh., et Mendas A., "L'analyse multicritère comme outil d'aide à la décision pour la localisation spatiale des zones à forte pression anthropique : le cas du département de Naâma en Algérie". *Revue Télédétection*, 2007, vol. 7, n° 1-2-3-4, p. 359-371. 2007
- [5] Benslimane, M., Hamimed A., El Zerey W., Khaldi A. et Mederbal Kh., "Analyse et suivi du phénomène de la désertification en Algérie du nord". *Vertigo*, Vol.8, n°3, pp : 1-9. 2008
- [6] Hadeid, M., "Approche anthropique du phénomène de désertification dans un espace steppique : le cas des hautes plaines occidentales algériennes", *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* Volume 8 n° 1. [Online] Available : <http://vertigo.revues.org/5368> . 2008
- [7] Nedjraoui D. et Bedrani S. "La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte", *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* Volume 8 Numéro 1 [Online] Available : <http://vertigo.revues.org/5375>. 2008
- [8] Bouchetata T. B. et Bouchetata A. A., "Dégradation des écosystèmes steppiques et stratégie de développement durable. Mise au point méthodologique appliquée à la Wilaya de Nâama (Algérie)", *Développement durable et territoires*. Varia. pp : 1-17. [Online] Available : <http://developpementdurable.revues.org/1339>. 2011
- [9] Sebhi, S., "Mutation du monde rural algérien. Le Hodna. (Algérie)", Ed. OPU Alger. 252 p.1987 ;

- [10] Abdesselam S., Merabet Y. et Halitim A., "Vulnérabilité du fonctionnement d'un écosystème agro-pastoral face aux changements climatiques (Cas du Sud du Hodna)", Journées internationales organisée par le CRSTRA (l'impact des changements climatiques sur les régions arides et semi arides). Biskra du 15 au 17 décembre. 2007
- [11] Abdesselam S. et Halitim A., "Anthropisation et dégradation des ressources naturelles en milieu aride. Cas du sud du Hodna, Algérie", World Congress for Middle Eastern Studies, Barcelona, July 19th – 24th. 2010
- [12] Hadjab M., "Impact de la mise en valeur et désertification dans la zone sud du Hodna « le Rmel »", Séminaire International sur "La Préservation et la Mise en Valeur de l'Ecosystème Steppique". Université Mohamed Boudiaf de M'sila. 14-16 mars, 2010
- [13] Mimoune, S., "Gestion des Sols Salés et Désertification dans une Cuvette endoréique d'Algérie (Sud du Chott El Hodna)", Thèse Doctorat, Université Aix-Marseille I, France, 209 p 1995
- [14] Abdesselam S., "Impact de la mise en culture en irrigué sur les sols et les eaux dans un bassin endoreique en zone aride. Cas du sud du Hodna (Algérie)", Thèse de Doctorat, Université de Batna, 202 p. 2013
- [15] Boyadgiev, T. G., "Les sols du Hodna", Rapport FAO. Algérie 9, Rome 141 p. 1975
- [16] C.P.C.S., "Classification des sols". Association Française pour l'étude du sol. I.N.A.P.G., 96 p. 1967
- [17] Abdesselam S, Amor Z, et Halouan R., "Dynamique de l'occupation des sols en milieu aride. cas du sud du Hodna", Séminaire international sur "La protection et préservation des écosystèmes sahariens". Université Kasdi Merbah Ouargla 13, 14 et 15 Décembre 2009
- [18] Mathieu C. et Pieltain F., "Analyse chimique des sols, méthodes choisies" Edition Lavoisier, coll. Tec et Doc, Paris, 389 p. 2003.
- [19] Mathieu C. et Pieltain F., "Analyse physique des sols, méthodes choisies", Edition Lavoisier, coll. Tec et Doc, Paris, 277 p., 1998
- [20] Vieillefon J., "Contribution à l'amélioration de l'étude analytique des sols gypseux". Cah. ORSTOM. Sér. Pédol. Vol. XVII, 3 pp 195-223. 1979.
- [21] Dagnélie, P., "Théorie et méthodes statistiques : applications agronomiques", vol. II, les méthodes de l'inférence statistiques, 2^{ème} édition, les presses agronomiques de Gembloux, Belgique, 463 p.1975
- [22] Boeuf F. et Vessereau A., "Recherche et expérimentation en agriculture", Tome II : Méthodes statistiques en biologie et en agronomie. Ed. J-B BAILLIERE et fils, Paris, 538 p. 1960
- [23] Oussedik A., Iftène T., et Zegrar A., "Réalisation par télédétection de la carte d'Algérie de sensibilité à la désertification", Sécheresse. Vol.14, n°3, pp : 195-201. 2003 ;
- [24] Haddouche I., Saidi S., and Mederbak KH., "Remote Sensing and Dynamic Landscapes in Arid and Semi Arid Area in Algeria: Cases of the Region of Nâama", FIG Working Week. Bridging the Gap between Cultures. TS08D - Regional and Local Structure Planning. Marrakech, Morocco, 18-22 May. 2011
- [25] Ha-Lin Zhao, Rui-Lian Zhou, Tong-Hui Zhang, Xue-Yong Zhao, "Effects of desertification on soil and crop growth properties in Horqin sandy cropland of Inner Mongolia, north China", Soil & Tillage Research 87, pp : 175–185. 2006
- [26] Shifang Pei, Hua Fu, and Changgui Wan., "Changes in soil properties and vegetation following enclosure and grazing in degraded Alxa desert steppe of Inner Mongolia", China Agriculture, Ecosystems and Environment 124, pp : 33–39. 2008
- [27] Slimani H., Aidoud A., and Roze F., "30 Years of protection and monitoring of a steppic rangeland undergoing desertification", Journal of Arid Environments 74, pp : 685–691. 2010
- [28] Gan Lei, Peng Xin-Hua, Peth S. and Horn R., "Effects of Grazing Intensity on Soil Water Regime and Flux in Inner Mongolia Grassland, China", Pedosphere 22(2) pp : 165–177. 2012