



**HAL**  
open science

# Amélioration de l'état de la végétation et de la fertilité des sols des parcours arides du Maroc par les techniques de restauration et de réhabilitation

Azeddine Hachmi, Karim Andich, Fatima Ezzahra El Alaoui-Faris, Hamid Mahyou

## ► To cite this version:

Azeddine Hachmi, Karim Andich, Fatima Ezzahra El Alaoui-Faris, Hamid Mahyou. Amélioration de l'état de la végétation et de la fertilité des sols des parcours arides du Maroc par les techniques de restauration et de réhabilitation. *Revue d'Écologie*, 2018, 73 (4), pp.401-413. hal-03532546

**HAL Id: hal-03532546**

**<https://hal.science/hal-03532546v1>**

Submitted on 18 Jan 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## AMÉLIORATION DE L'ÉTAT DE LA VÉGÉTATION ET DE LA FERTILITÉ DES SOLS DES PARCOURS ARIDES DU MAROC PAR LES TECHNIQUES DE RESTAURATION ET DE RÉHABILITATION

Azeddine HACHMI<sup>\*1</sup>, Karim ANDICH<sup>2</sup>, Fatima Ezzahra EL ALAOUI-FARIS<sup>1</sup>  
& Hamid MAHYOU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de biotechnologie végétale et microbienne, biodiversité et environnement, Faculté des Sciences, Université Mohammed V- Rabat, 4 Avenue Ibn Battouta, BP 1014 RP, Rabat, Maroc.

<sup>2</sup>Centre Régional de la Recherche Agronomique Oujda. 10 Boulevard Mohamed VI, BP 428, Oujda, Maroc.

\* Auteur correspondant. E-mail: hachmi.azd@gmail.com

**SUMMARY.**— *Improvement of vegetation condition and soils fertility in the arid rangelands of Morocco by restoration and rehabilitation techniques.*— Improving vegetation condition and soil fertility is a major concern for successful rehabilitation in degraded rangelands. This study examines the impact of fencing, water and soil conservation technique (CES) and fodder shrub plantations (*Atriplex nummularia*) on vegetation cover, phytomass, energy value of phytomass (UF.ha<sup>-1</sup>), pH, organic matter (MO), available phosphorus (P), total limestone (CaT), exchangeable potassium (K), exchangeable sodium (Na) and electrical conductivity (EC) in five different sites. Results show that these techniques can restore the rangeland steppe by inducing a positive dynamics of vegetation and soil. Hence, fencing, CES and *Atriplex nummularia* trained an accumulation of organic matter in soils and they improved cover, phytomass and energy value of vegetation until 85 %, 2.84 t.ha<sup>-1</sup> and 931 UF.ha<sup>-1</sup> respectively. On the other hand, the free grazing site is marked by a phytomass less than 0.31 t.ha<sup>-1</sup> corresponding to an energy value less than 46 UF.ha<sup>-1</sup> and a global cover less than 6 %. This site is also marked by high levels of exchangeable sodium (Na) and electrical conductivity (CE) with average values of 463.65 mg.kg<sup>-1</sup> and 4,66 mS.cm<sup>-1</sup> respectively.

**RÉSUMÉ.**— L'amélioration de l'état de la végétation et de la fertilité des sols est une préoccupation majeure pour une réhabilitation réussie dans les parcours dégradés. Cette étude examine l'impact de la mise en repos, de la technique de conservation de l'eau et du sol (CES) et de la plantation fourragère sur le recouvrement de la végétation, la phytomasse, la valeur énergétique de la phytomasse (UF.ha<sup>-1</sup>), le pH, la matière organique (MO), le phosphore assimilable (P), le calcaire total (CaT), le potassium échangeable (K), le sodium échangeable (Na) et la conductivité électrique (CE) dans cinq sites différents. Les résultats montrent que ces techniques permettent de restaurer les parcours steppiques en induisant une dynamique positive de la végétation et du sol. Ainsi, la mise en repos, la technique de CES et la plantation d'*Atriplex nummularia* ont entraîné une accumulation de la matière organique dans les sols et ont amélioré le recouvrement, la phytomasse et la valeur énergétique de la végétation avec des valeurs allant jusqu'à 85 %, 2,84 t.ha<sup>-1</sup> et 931 UF.ha<sup>-1</sup> respectivement. Par contre, le site en pâturage libre est marqué par une phytomasse inférieure à 0,31 t.ha<sup>-1</sup>, correspondant à une valeur énergétique inférieure à 46 UF.ha<sup>-1</sup>, et par un recouvrement végétal inférieur à 6 %. Ce site est marqué aussi par des taux du sodium échangeable (Na) et de conductivité électrique (CE) élevés avec des valeurs moyennes de 463,65 mg.kg<sup>-1</sup> et 4,66 mS.cm<sup>-1</sup> respectivement.

---

Au Maroc, les terres de parcours couvrent une superficie de 53 millions d'hectares soit 74 % du territoire national. Ces terres s'étendent sur dix grands ensembles écologiques qui se distinguent les uns des autres par des attributs climatiques, édaphiques et floristiques (MARA, 1992 ; Mahyou *et al.*, 2010). La végétation dans ces parcours joue un rôle important dans l'alimentation du bétail et constitue la principale ressource fourragère pour les ovins et les caprins. Ces écosystèmes fragiles sont très vulnérables au surpâturage et à la mise en culture combinés aux variations climatiques (Hoffman & Todd, 2000 ; Solomon *et al.*, 2007 ; Schultz & Prasad, 2009 ; Al-Karablieh, 2010). Leur dégradation est un phénomène qui entraîne une diminution persistante de leur productivité et menace les moyens de subsistance de millions de personnes (Gillson & Hoffman, 2007).

Les études récentes sur la dynamique de la végétation naturelle au Maroc ont montré une réduction de l'étendue des parcours naturels, une modification de leur composition floristique et une baisse de leur productivité (De Waroux & Lambin (2012) ; Bechchari *et al.*, 2014 ; Mahyou *et al.*, 2016).

Face à cette situation, et grâce à l'appui de l'état, de nombreuses actions d'aménagement pastoral ont été initiées pour restaurer et réhabiliter ces terres de parcours. La mise en repos, les plantations d'arbustes fourragers et la technique de conservation de l'eau et du sol (CES) sont les actions les plus utilisées.

La mise en repos est basée sur l'exclusion temporelle du pâturage dans les terres dégradées en vue d'une restauration passive (Aerts *et al.*, 2009). Ce mode de gestion pastorale est largement utilisé en Afrique pour améliorer la végétation et le sol des parcours arides (Kotzé *et al.*, 2013). Il est également connu traditionnellement chez les communautés pastorales par des noms différents : Gogo et Maasai en Tanzanie, Borana en Ethiopie, Himba en Namibie et Agdal ou Lghorm au Maroc. Une mise en repos d'un espace donné est comparable à un écosystème qui évolue en étroite relation avec les caractéristiques propres du milieu naturel qui l'abrite (Floret & Pontanier, 1982 ; Noy Meir, 1974).

Les arbustes fourragers sont largement utilisés dans les régions arides pour atténuer l'effet de la sécheresse, de la désertification et pour améliorer la productivité dans les parcours dégradés (Le Houérou *et al.*, 1991). Au cours des dernières décennies l'*Atriplex nummularia* a été l'un des arbustes fourragers les plus utilisés dans diverses régions du monde (Aganga *et al.*, 2003 ; Mulas & Mulas, 2007 ; Ben Salem *et al.*, 2010 ; Zucca *et al.*, 2013).

La technique de conservation des eaux et du sol (CES) est une méthode inspirée de la tradition paysanne des zones arides. Elle consiste à assurer la protection des terres de parcours dégradées, par la mise en place de sillons antiérosifs en vue de recueillir l'eau de pluie, de freiner l'érosion par ruissellement et de permettre l'infiltration d'eau dans le sol (Zhao *et al.*, 2013 ; Mcdonagh *et al.*, 2014). Cette technique a permis de restaurer les sols dégradés et de protéger la diversité biologique en Tunisie et au Maroc (Achouri, 1995 ; Laouina, 2010).

La réussite de ces techniques pour la restauration des terres de parcours est primordiale pour le développement de l'élevage dans les pays africains, et surtout dans les pays menacés par la désertification. Aussi, le développement de méthodes d'analyse pour évaluer ces actions est considéré comme un sujet crucial par la communauté scientifique (Reynolds *et al.*, 2007).

Cependant, la rareté des travaux de surveillance continue et surtout les travaux expérimentaux sur l'impact de ces techniques sur l'amélioration du sol et de la végétation au Maroc, nous a menés à proposer des hypothèses selon lesquelles les paramètres des sols et de la végétation seraient affectés par le gradient d'intensité de pâturage et par les trois techniques d'aménagement pastoral. C'est dans ce contexte que s'insère cette étude dont le principal objectif est de déterminer la variation, sous l'effet de ces techniques, des paramètres physico-chimiques du sol et de la végétation des terres de parcours.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### CADRE D'ÉTUDE

La zone d'étude est située dans l'est du Maroc (1,57° - 1,50° E et 34,00°-34,04° N) à une altitude de 1062 m (Fig. 1). Cette région est caractérisée par une pluviométrie annuelle faible et irrégulière de l'ordre de 194 mm avec un minimum de 77 mm et un maximum de 299 mm enregistrés durant 1998 et 2009 respectivement. La température moyenne est de 15,5°C, le mois d'août est le plus chaud de l'année et le mois de janvier le plus froid. L'évapotranspiration potentielle est de l'ordre de 1153 mm/an. Les sols de la zone sont des sols battants limoneux à argilo-limoneux, peu évolués, peu perméables, de profondeur variable (20 à 50 cm), pauvres en matière organique, et très vulnérable à l'érosion hydrique et éolienne (Ruellan, 1966 ; Bechchari *et al.*, 2014).

Dans le cadre de cette étude, et pour répondre à nos objectifs, cinq sites ont été choisis (Fig.2).

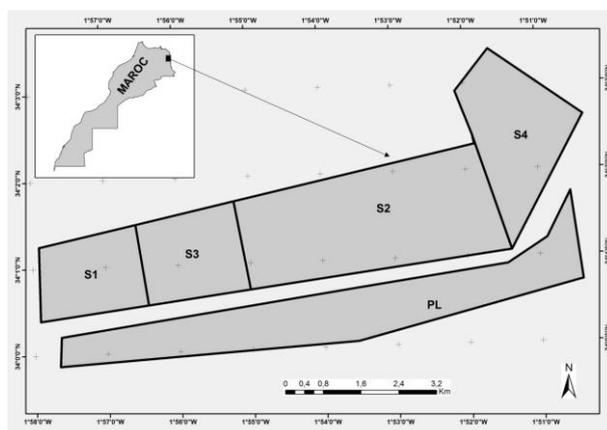


Figure 1.— Localisation de la zone d'étude. S1 : mise en repos dominée par l'Armoise ; S2 : mise en repos associée à la plantation d'*Atriplex* ; S3 : mise en repos avec la technique de CES ; S4 : site non pâturé et dominé essentiellement par *Stipa tenacissima*. PL : pâturage libre.

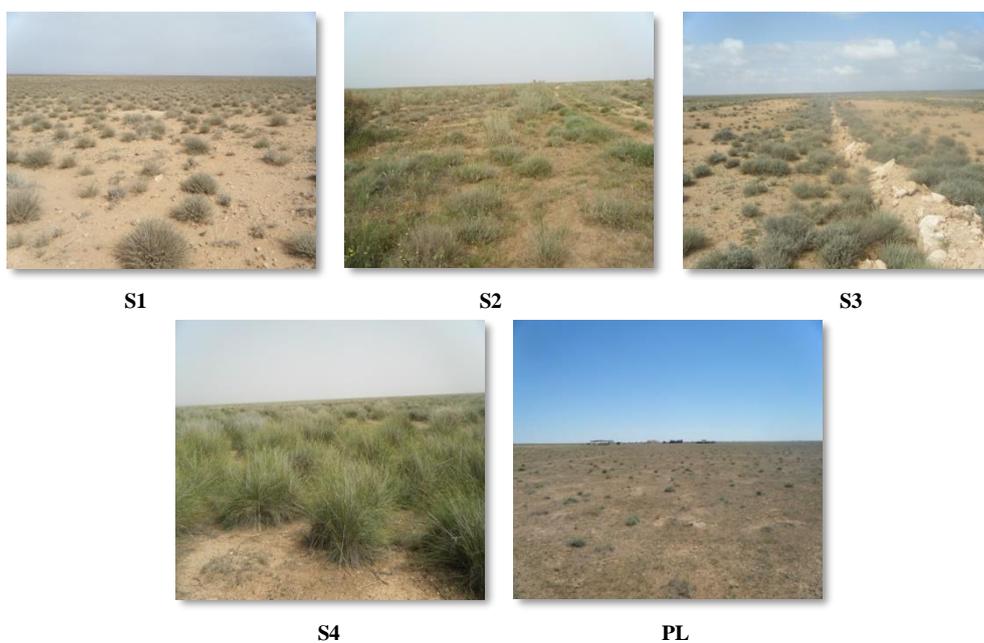


Figure 2.— Photos des 5 sites étudiés. S1 : mise en repos dominée par l'Armoise ; S2 : mise en repos associée à la plantation d'*Atriplex* ; S3 : mise en repos avec la technique de CES ; S4 : site non pâturé et dominé essentiellement par *Stipa tenacissima* ; PL : pâturage libre.

1. Le site (S1) d'une superficie de 370 ha, dominé principalement par *Artemisia herba-alba* et mis en repos dès 2010.
2. Le site (S2) est un faciès mixte d'une superficie de 1730 ha, caractérisé par *Stipa tenacissima* et *Artemisia herba-alba*. Ce site a été mis en repos dès 1991 puis a été planté en *Atriplex nummularia* en 2010 avec une densité de 1000 pieds/ha.
3. Le site (S3) d'une superficie de 400 ha, dominé principalement par *Artemisia herba-alba* avec une faible fréquence de *Stipa tenacissima*, ce site a été mis en repos dès 1991, puis il a été amélioré par la technique de conservation des eaux et du sol (CES) en 2010.
4. Le site (S4) d'une superficie de 562 ha, il s'agit d'une formation naturelle steppique non pâturée et dominée essentiellement par *Stipa tenacissima*. Ce site a été choisi dans le but de faire une étude comparative entre les sites aménagés et ceux non aménagés.

5. Le site en pâturage libre (PL) d'une superficie de 1042 ha, dominé par *Atractylis serratuloides*, *Peganum harmala* et *Noaea mucronata*. Ce site a été choisi dans un parcours libre où la charge animale peut atteindre 4,13 têtes par hectare.

L'exploitation et la gestion des sites S1, S2 et S3 sont confiées à la population locale organisée en coopérative pastorale nommée « Mataf », avec une assistance technique assurée par des agents de développement de l'agriculture. Ainsi, et selon les conditions pluviométriques de l'année, les trois sites sont ouverts au pâturage en rotation avec environ 2830 têtes d'ovins pendant trois à quatre mois entre décembre et mars (année 2016). L'accès à ces sites aménagés se fait moyennant des redevances estimées à environ 5 dirhams marocains (0,54 €) par animal pour la durée de pâturage.

Les investigations de terrain ont été réalisées aux mois d'avril et de mai 2016 correspondant à la période de croissance de la végétation. En plus de la description visuelle des espèces dans chaque site, des enquêtes sur la végétation et les modes de gestion ont été réalisées auprès des éleveurs et des membres de la coopérative pastorale « Mataf ».

#### MESURES DES PARAMÈTRES DU SOL

Dans la zone d'étude, 34 échantillons du sol ont été choisis. Chaque échantillon correspond à 5 prélèvements réalisés entre 0 et 20 cm de profondeur et répartis selon la figure 3. Les 5 prélèvements ont été mélangés pour obtenir un échantillon moyen représentatif (Baize, 1995). Le nombre des échantillons varie d'un site à l'autre : 3 dans (S1), 9 dans (S2), 8 dans (S3), 9 dans (S4) et 5 dans le site (PL).

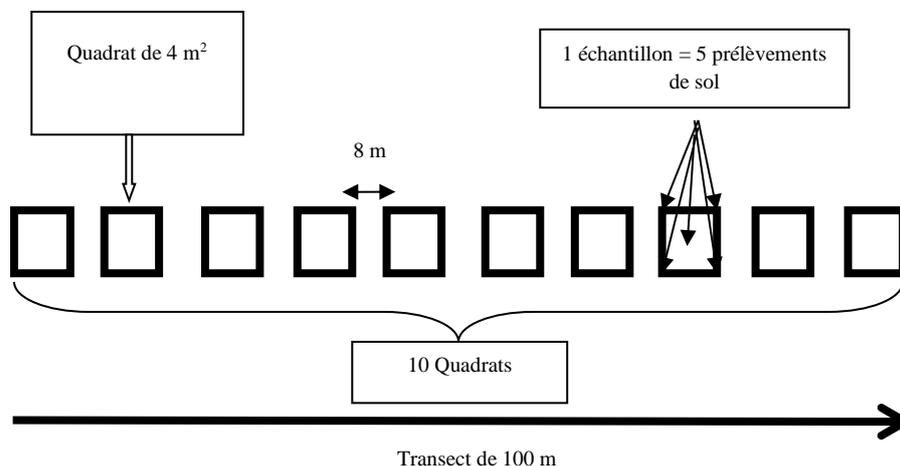


Figure 3.— Schéma descriptif de la méthodologie utilisée pour l'échantillonnage du sol et de la végétation.

Les échantillons moyens représentatifs obtenus ont été séchés à l'air libre dans des bacs pendant une semaine. Ensuite, ils ont été tamisés afin de séparer la terre fine (< 2 mm). Les paramètres analysés sont :

- le pH, déterminé à l'aide d'un pH-mètre (Skoog *et al.*, 2004) ;
- la matière organique (MO), évaluée selon la méthode Walkley & Black (1934) ;
- le phosphore assimilable (P), déterminé par la méthode d'Olsen (Olsen *et al.*, 1954) ;
- le calcaire total (CaT) mesuré par la méthode de Bernard décrite par Chamley (1966) ;
- le potassium échangeable (K) et le sodium échangeable (Na) déterminés au moyen d'un photomètre à flamme (Blanchet, 1959) ;
- la conductivité électrique (CE) mesurée à l'aide d'un conductimètre (USSL, 1954).

#### MESURE DES PARAMÈTRES DE LA VÉGÉTATION

La méthode utilisée pour mesurer le taux de recouvrement et la phytomasse est inspirée des techniques phytoécologiques basées sur l'utilisation des transects et des quadrats (Braun-Blanquet *et al.*, 1951 ; Brown, 1954). Le nombre de transects utilisés a été de 3, 9, 8, 9 et 5 respectivement dans les sites S1, S2, S3, S4 et PL. Le long de chaque transect de 100 m, des quadrats de 4 m<sup>2</sup> espacés de 8 m ont été utilisés pour mesurer les paramètres de la végétation. Chaque quadrat est divisé en 64 carrés élémentaires de 25 x 25 cm (Fig. 3). Ainsi, les différents transects ont été placés dans le sens du gradient de variation du terrain (la pente et la densité de végétation) (Le Houérou, 1969).

## RECOUVREMENT DE LA VÉGÉTATION

Le recouvrement général aérien (RGA) et le recouvrement spécifique aérien (RSA) correspondent au pourcentage du sol couvert par la canopée des plantes. Le RSA de chaque espèce est estimé par le nombre des carrés élémentaires couverts par l'espèce végétale divisé par le nombre total des carrés élémentaires (64) exprimé en pourcents.

Par contre, l'estimation des recouvrements de *Stipa tenacissima* et d'*Atriplex nummularia* a été basée sur les rayons perpendiculaires  $r_1$  et  $r_2$  de la canopée de ces deux espèces (Gaddes, 1978). Ainsi, la surface  $S$  couverte par chaque plante en  $m^2$  est :  $S = [(r_1+r_2)/2]^2 \times 3.14$ .

Le RSA est évalué par  $RSA (\%) = (\sum S)/4 \times 100$  et le RGA par  $RGA (\%) = \sum RSA (\%)$

## ESTIMATION DE LA PHYTOMASSE

L'estimation de la phytomasse d'*Artemisia herba-alba*, *Stipa tenacissima*, *Stipa parviflora*, *Noaea mucronata*, *Atractylis serratuloides*, *Peganum harmala* et *Atriplex nummularia* s'est basée sur la méthode de l'unité de référence (UR) (Kirmse & Norton, 1985). Cette méthode consiste à couper une plante entière moyenne représentative (ou de référence) d'une espèce donnée. À l'intérieur de chaque quadrat est compté le nombre de fois où l'UR se reproduit pour chaque espèce donnée (NUR). Les UR des différentes espèces ont été séchées à l'étuve puis pesées. Ainsi, la phytomasse moyenne (PM) en gramme est calculée en multipliant le nombre de fois où l'UR a été recensée par son poids en MS (PUR en g de matière sèche MS). La phytomasse obtenue est relative à un quadrat de  $4 m^2$  ( $2 \times 2 m$ ).

$PM (\text{grammes MS par } 4 m^2) = NUR \times PUR (\text{grammes MS par } 4 m^2)$ .

L'estimation de la phytomasse des plantes annuelles à l'intérieure du quadrat est basée sur la méthode de Floret & Pontanier (1982). Elles sont coupées aux ras du sol, séchées puis pesées.

Le séchage a été fait au laboratoire dans l'étuve jusqu'à poids constant à une température de  $65^\circ C$ . Le poids de MS obtenu en gramme par  $4 m^2$  est converti en tonnes de matière sèche par hectare ( $t \cdot ha^{-1}$ ).

## ESTIMATION DE LA VALEUR ÉNERGÉTIQUE

La valeur énergétique de la phytomasse totale dans chaque site est exprimée en unités fourragères (UF). L'UF est l'équivalent énergétique d'un kilogramme d'orge dont l'énergie nette est évaluée à 1880 kcal pour les ruminants (Soltner, 1976). Ainsi, Aidoud (1989) a utilisé les valeurs énergétiques des espèces en matière sèche comme suit :  $0,45 UF \cdot kg^{-1}$  pour *Atriplex nummularia* ;  $0,25 UF \cdot kg^{-1}$  pour *Stipa tenacissima* ;  $0,45 UF \cdot kg^{-1}$  pour *Artemisia herba-alba* (en été/automne) ;  $0,45 UF \cdot kg^{-1}$  pour *Peganum harmala* (en automne) ;  $0,31 UF \cdot kg^{-1}$  pour *Atractylis serratuloides* et  $0,8 UF \cdot kg^{-1}$  pour *Noaea mucronata* (jeunes pousses). Pour les autres espèces (Hachmi *et al.*, 2015) nous avons eu recours aux travaux effectués au Maghreb (Bouattoura (1973) ; Le Houérou (1975) ; Nedjraoui (1981) ; Günter & Bounejmate, 1997 ; Boussaid *et al.*, 2004 ; Bouallala *et al.*, 2013).

## ANALYSE STATISTIQUE

La comparaison entre les moyennes des paramètres du sol et de la végétation des 5 sites a été réalisée à l'aide de l'analyse de la variance (ANOVA). Les différences significatives entre les moyennes dans chaque site sont testées en utilisant le test de Student (ou test  $t$ ) avec  $\alpha = 0,05$ .

## RÉSULTATS

### LES PARAMÈTRES DU SOL

#### *pH*, *phosphore (P)* et *potassium échangeable (K)*

Le tableau I illustre les valeurs de  $pH$ ,  $P$  et  $K$  dans les sols des 5 sites étudiés (S1, S2, S3, S4 et PL). L'analyse de la variance des valeurs moyennes de ces paramètres n'a pas montré de différence significative entre les sites. Pour les sites S1, S2, S3 et S4, les valeurs moyennes de  $pH$ ,  $P$  et  $K$  sont respectivement de 7,41, 0,44 et  $729 mg \cdot kg^{-1}$ . Cependant, le site PL a enregistré le minimum des teneurs en  $P$  ( $0,09 mg \cdot kg^{-1}$ ) et des valeurs moyennes de 7,43, 0,31 et  $685 mg \cdot kg^{-1}$  pour  $pH$ ,  $P$  et  $K$  respectivement.

#### *Matière organique (MO)*

Le tableau II présente les valeurs de la MO dans les sites étudiés. La comparaison des moyennes des 5 sites a montré une différence significative. Ainsi, les sites S2 et S4 ont des valeurs moyennes plus élevées que celles des sites S1 et S3. Le site PL montre le taux le plus faible de MO avec une valeur moyenne de 1,54 %.

TABLEAU I

Résultats des analyses effectuées pour K, P et pH dans les sites S1, S2, S3, S4 et PL

Sites	K Moyenne (mg.kg <sup>-1</sup> )	P Moyenne (mg.kg <sup>-1</sup> )	pH Moyenne
S1	677,12 (a)	0,41 (a)	7,33 (a)
S2	728,49 (a)	0,38 (a)	7,44 (a)
S3	752,06 (a)	0,47 (a)	7,43 (a)
S4	726,61 (a)	0,48 (a)	7,38 (a)
PL	684,99 (a)	0,31 (a)	7,43 (a)

Les niveaux non connectés par la même lettre sont significativement différents

TABLEAU II

Résultats des analyses effectuées pour Na, MO, CaT et CE dans les sites S1, S2, S3, S4 et PL

Sites	Na Min (mg.kg <sup>-1</sup> )	Na Moy (mg.kg <sup>-1</sup> )	Na Max (mg.kg <sup>-1</sup> )	Mo Min (%)	MO Moy (%)	MO Max (%)	CaT Min (%)	CaT Moy (%)	CaT Max (%)	CE Min (mS.cm <sup>-1</sup> )	Moy CE (mS.cm <sup>-1</sup> )	CE Max (mS.cm <sup>-1</sup> )
S1	239,24	351,56 (ab)	549,24	1,36	1,81 (b)	2,2	26,04	30,01 (ab)	36,46	1,3	2,49 (ab)	4,47
S2	155	214,15 (bc)	357,17	1,74	2,13 (a)	2,45	25,3	33,4 (a)	42,41	1,06	1,32 (b)	1,48
S3	171,85	244,29 (bc)	347,07	1,56	1,79 (b)	2,12	31,25	36,09 (a)	40,18	1,04	1,62 (b)	4,33
S4	131,41	169,23 (c)	205,54	1,77	2,22 (a)	2,5	19,35	24,22 (b)	30,51	1,08	1,27 (b)	1,37
PL	165,11	463,65 (a)	879,46	1,32	1,54 (b)	1,86	26,79	32,89 (a)	47,62	1,05	4,66 (a)	11,35

Min : minimum ; Max : maximum ; Moy : moyenne. Les niveaux non connectés par la même lettre sont significativement différents.

#### Sodium (Na)

Le tableau II montre les teneurs moyennes en Na dans les cinq sites étudiés. La différence est significative entre les sites aménagés, S4 et le site PL. La plus forte teneur en sodium est enregistrée dans le site PL avec une moyenne de 463,65 mg.kg<sup>-1</sup>. Les teneurs moyennes en Na varient selon les sites. Le site S4 a enregistré la teneur minimale en Na par rapport aux autres sites avec des valeurs qui varient entre 131,41 et 205,54 mg.kg<sup>-1</sup>.

#### Calcaire total (CaT)

Le tableau II illustre les teneurs en CaT des sols dans les cinq sites. La comparaison des valeurs moyennes en CaT a montré une différence significative entre les 5 sites étudiés. Les teneurs élevées sont enregistrées dans les sites S3, S2 et PL correspondant à des valeurs moyennes comprises entre 32 et 36%. Le site S1 a enregistré une valeur moyenne de 30,01% tandis que le taux le plus faible de CaT a été enregistré dans le site S4 (valeur moyenne 24,22 %).

#### Conductivité électrique (CE)

Les résultats obtenus par l'analyse statistique des valeurs de CE montrent une différence significative entre les sites aménagés, S4 et le site PL (Tab. II). La CE la plus élevée est enregistrée dans le site PL avec une valeur moyenne de 4,66 mS.cm<sup>-1</sup>. Dans les sites S1 et S3, on constate que les valeurs de la CE varient respectivement de 1,3 mS.cm<sup>-1</sup> à 4,71 mS.cm<sup>-1</sup> et de 1,04 mS.cm<sup>-1</sup> à 4,33 mS.cm<sup>-1</sup>. Les sites S2 et S4 enregistrent des CE très proches avec des valeurs moyennes de 1,32 et de 1,27 mS.cm<sup>-1</sup> respectivement.

### PARAMÈTRES DE LA VÉGÉTATION

#### Recouvrement

Le tableau III présente les résultats des paramètres de la végétation (recouvrement, phytomasse et valeur énergétique) dans les sites étudiés. Le test de Student appliqué aux valeurs du recouvrement global de la végétation (RGA) a montré une différence significative entre les sites aménagés (S1, S2, S3), S4 et le site PL avec des valeurs moyennes de 35, 63, 38, 43 et 4,6 % respectivement. Le RGA à l'échelle de tous les sites aménagés est en moyenne de 45 % et est très

variable allant de 22 à 85 % selon la densité du peuplement et la dominance de telle ou telle espèce.

TABLEAU III

Résultats de la phytomasse avec la valeur énergétique exprimée en UF et le recouvrement général aérien (RGA) dans les sites S1, S2, S3, S4 et PL

Sites	RGA Min (%)	RGA moyenne (%)	RGA Max (%)	Phytomasse Min (t. ha <sup>-1</sup> )	Phytomasse moyenne (t. ha <sup>-1</sup> )	Phytomasse Max (t. ha <sup>-1</sup> )	Valeurs énergétiques (UF.ha <sup>-1</sup> )
S1	32	35 (b)	39	1,18	1,74 (b)	2,23	624 (b)
S2	49	63 (a)	85	1,69	2,44 (a)	2,84	931 (a)
S3	22	38 (b)	64	1,43	1,87 (b)	2,17	795 (a)
S4	30	43,22 (b)	58	1,28	2,35 (a)	2,84	613 (b)
PL	3	4,6 (c)	6	0,11	0,2 (c)	0,31	46 (c)

Min : minimum ; Max : maximum. Les niveaux non connectés par la même lettre sont significativement différents.

#### *Phytomasse totale*

Le tableau III montre une différence significative entre les valeurs de la phytomasse des sites aménagés, S4 et le site PL. Les sites S2 et S4 sont les plus productifs en valeurs moyennes. Les phytomasses moyennes des sites S1 et S3 sont voisines mais significativement plus faibles que celles de S2 et S4. La phytomasse élevée dans les sites aménagés S1, S2 et S3 indiquerait une amélioration de l'état de la végétation. La phytomasse de site PL est en revanche la plus faible avec des valeurs inférieures à 0,31 t.ha<sup>-1</sup>.

#### *Valeur énergétique*

Le tableau III montre la valeur énergétique (VE) de la phytomasse dans les cinq sites S1, S2, S3, S4 et PL. La différence est significative entre les valeurs moyennes de VE dans les sites S1, S2, S3, S4 et celle du site PL. La VE de la phytomasse la plus élevée est enregistrée dans S2, tandis que celle du site PL est très nettement la plus faible.

## DISCUSSION

L'étude de l'état de la végétation et de la fertilité des sols des parcours aménagés et non aménagés a montré une différence dans les résultats de certains paramètres étudiés. Ainsi, en se référant aux normes d'interprétation de Bruce & Rayment (1982), les résultats obtenus ont montré que les sols des cinq sites ont des pH neutres à faiblement alcalins. Cependant, les valeurs moyennes de pH des cinq sites dépassent les normes de neutralité (6,5 et 7, 3). Aussi, selon la classification de Delaunois (2008), les sols des cinq sites sont pauvres en phosphore et riches en potassium.

Les résultats d'analyse du Na reflètent une teneur très élevée au niveau de tous les sites, par contre le site PL enregistre le taux le plus élevé par rapport aux autres sites. Dans les sites aménagés, la valeur moyenne de Na du site S1 est la plus élevée, ce qui est probablement lié à la courte durée de mise en repos et au pâturage non contrôlé avant 2010. Les taux élevés de Na (Tab. II) ont induit une faible alcalinisation des sols des cinq sites (Tab. I). Selon Ruellan (1970), l'alcalinisation est due à la présence de sodium dans le complexe adsorbant, et le plus souvent avec de fortes proportions de magnésium (30 à 70 %) mais un faible taux de magnésium actif.

La conductivité électrique (CE) est utilisée pour avoir une valeur directe de la conductivité des sites étudiés et pour obtenir une indication sur la teneur en sels hydrosolubles dans les échantillons de sol ; cette CE dépend de la teneur en électrolytes (SO<sub>4</sub>, Cl, K, Na, Mg, Ca, CO<sub>2</sub><sup>-3</sup>, HCO<sup>-3</sup>). Selon la classification de l'AGR (2004), la CE des sites S1, S2, S3 et S4 est placée dans la classe des sols non salins, ce qui nous permet de dire que les sites restaurés et réhabilités sont non salins. À l'inverse, le site PL présente des teneurs de CE supérieures à la norme (4 mS.cm<sup>-1</sup> < CE <

8 mS.cm<sup>-1</sup>), permettant d'attribuer les sols du PL à la catégorie peu saline. En effet, les fortes teneurs en sels existent dans les sols des zones arides et l'alcalisation sodique n'est développée que dans ces zones (Ruellan, 1970). Selon Djebaili (1978), la présence de quantités importantes de sels dans les sols abaisse le potentiel hydrique et réduit fortement la disponibilité de l'eau pour les plantes.

En comparant le site S4 (considéré comme une référence de base) avec le site S2, on remarque une faible valeur de la CE dans le site S2 qui pourrait s'expliquer par la nature de la litière décomposée de l'*Atriplex nummularia* (Osmond *et al.*, 1980). Sharma *et al.* (1973) ont démontré que l'augmentation de la conductivité dans les sites des plantations d'*Atriplex* est liée aux cations de potassium, magnésium, sodium et calcium libérés par la décomposition des feuilles d'*Atriplex* et aux échanges importants de sodium entre l'horizon de surface et l'horizon sous-jacent.

Dans les régions arides (cas de notre étude) et dont les roches sont fréquemment carbonatées (calcaire et dolomie), le calcaire total est une des composantes héritées de la dégradation de la roche-mère (Ruellan, 1976). La richesse en calcaire des sols étudiés est normale (d'où le caractère légèrement basique) et même une caractéristique des sols de la majorité des steppes arides au Maghreb.

La matière organique (MO) est l'un des indicateurs les plus importants de la qualité et de la productivité des sols. Elle joue un rôle important dans la préservation de la qualité de sol et l'amélioration des paramètres de croissance et de développement des plantes (Cannell & Hawes, 1994 ; Robinson *et al.*, 1994). L'amélioration de la MO dans le site S2 serait liée à la présence d'*Atriplex nummularia*, de *Stipa tenacissima* et des jeunes plants d'*Artemisia herba-alba* régénérés qui maintiennent l'humidité édaphique en favorisant l'activité microbienne et en induisant une dégradation de la litière (Prieto *et al.*, 2011). Jia *et al.* (2010) ont confirmé que l'apport de matière organique via les résidus aériens et souterrains entraîne une augmentation de la biomasse microbienne dans le sol, qui se traduit par une meilleure fertilité des sols.

La mise en repos, la plantation d'*Atriplex nummularia* et la technique de conservation de l'eau et du sol dans les sites S1, S2 et S3, semblent avoir permis un niveau correct de la matière organique, du sodium et de la conductivité électrique qui a offert un milieu favorable au développement des espèces pastorales très appétibles telles que *Moricandia suffruticosa*, *Teucrium luteum*, *Teucrium polium*, *Festuca arundinacea*, *Helianthemum virgatum*, *Helianthemum ledifolium*, *Thymus algeriensis*, *Matthiola fruticulosa* et *Stipa parviflora* (Hachmi *et al.*, 2015). D'autre part, dans les sites S1, S2 et S3, la régénération de la flore est améliorée, ce qui améliore la phytomasse et le recouvrement global de la végétation dans ces sites. Ces résultats rejoignent ceux de Kalinina *et al.* (2015). Aussi, les résultats trouvés sur le recouvrement global de la végétation, la phytomasse et la matière organique confirment les travaux de Batjes (1999), Silver *et al.* (2000), Puigdefàbregas (2005) et Traoré *et al.* (2007) qui ont indiqué que la couverture végétale affecte les changements de la matière organique du sol. Cao *et al.* (2008) ont montré une augmentation du carbone organique avec l'augmentation des résidus organiques des plantes ainsi que celles des racines qui se décomposent dans le sol.

En comparant les résultats obtenus en 2014 (Hachmi *et al.*, 2015), il est intéressant de voir que pour des RGA très différents (S1 et S3), les phytomasses obtenues sont très proches, cette différence est liée à la présence d'espèces produisant une faible phytomasse et beaucoup de graines colonisant rapidement les espaces libres et contribuant à l'augmentation du taux de recouvrement (Kadi-Hanifi, 2003). Également, les espèces rencontrées telles que *Savignya parviflora*, *Schismus barbatus*, *Scorzoneroides hispidula*, *Eruca vesicaria*, *Calendula arvensis*, *Hypochoeris radicata* et *Chrysanthemum coronarium* peuvent éventuellement germer immédiatement après la pluie et fleurir jusqu'à trois fois durant la même année (Aidoud, 1989 in Gamoun *et al.*, 2012).

La restauration du site S1 par la mise en repos a permis la dominance d'*Artemisia herba-alba* grâce à son système racinaire superficiel très dense. Cette espèce prometteuse (résistance à divers stress, bonne régénération, valeur énergétique > S4, bonne appétibilité) a permis le maintien des valeurs moyennes de CE et de Na légèrement inférieures à celles enregistrées dans le site PL. Elle a engendré aussi des valeurs moyennes de phytomasse et de RGA significativement différentes par rapport au site pâturé librement (PL). En Ethiopie, Moeyersons *et al.* (2008) ont montré que la mise en repos a eu un impact positif sur la fertilité des sols. En Tunisie, la mise en repos des terres de parcours arides a engendré des effets favorables sur la composition floristique et a contribué à la lutte contre l'érosion du sol (Ould Sidi Mohamed *et al.*, 2002). En Afrique du sud, cette technique a influencé favorablement les propriétés des sols dans les parcours de Thaba Nchu (Kotzé *et al.*, 2013).

Dans le site S2, la longue durée de la mise en repos (25 ans) a permis une évolution progressive des recouvrements de *Stipa tenacissima* (multiplication par ramification axillaire et rejets) et d'*Artemisia herba-alba* (multiplication par graines). Ceci, a généré un recouvrement, une phytomasse, une valeur énergétique et une matière organique plus élevés que dans les autres sites aménagés. En effet, à Ouled Dlim et Ouled Nejim (Maroc central) la plantation d'*Atriplex nummularia* a engendré des effets favorables sur la végétation pérenne et sur les paramètres physico-chimiques du sol (Zucca *et al.*, 2013). Cet arbuste a créé des microclimats qui favorisent l'établissement des plantes fourragères autochtones et a offert un abri pour la faune. En outre, la base de l'alimentation des animaux d'élevage, dans les zones arides, est représentée par les parcours naturels. Quand la disponibilité fourragère offerte par les chaméphytes et les herbacées annuelles diminue en raison d'une dégradation des parcours libres, les branches d'*Atriplex nummularia* constituent un apport valable à l'alimentation des bétails.

Dans le site S3, les sillons de CES ont permis l'interception des eaux de pluie et d'infiltration, ce qui semble contribuer au développement des Poacées comme *Bromus rubens*, *Dactylis glomerata*, *Hordeum murinum* et *Schismus barbatus*, engendrant une légère augmentation de la MO. Ces travaux de CES ont rendu aussi les conditions édaphiques favorables (Eau, Na et CE) à la restauration d'*Artemisia herba-alba* et *Stipa parviflora* engendrant une phytomasse moyenne de 1,87 t.ha<sup>-1</sup>. Au Nigeria, la technique de CES a augmenté la teneur en matière organique des sols et a limité le taux de gaz carbonique de l'air (Selbut *et al.*, 2000).

Dans le site PL, les perturbations créées par le surpâturage et les défrichements ont eu des impacts différents sur les teneurs en Na, la CE, la MO, la phytomasse, la VE et le RGA. Dans notre étude, des épisodes de surpâturage (16 fois la charge d'équilibre) durant 25 ans ont réduit le recouvrement de 43 % (S4 : référence de base) à 4 % et la phytomasse de 2,35 (S4) à 0,2 t.ha<sup>-1</sup>. Sabir *et al.* (1992) ont montré que le surpâturage (2 fois la charge d'équilibre) dans un milieu steppique durant deux années a réduit la couverture végétale de 35 à 16 %.

Dans le site PL, la charge pastorale élevée, pouvant atteindre jusqu'à 4 têtes d'ovins par hectare, a augmenté la vitesse de changement des faciès par la disparition des espèces à qualité fourragère élevée et l'apparition d'autres espèces à faible intérêt pastoral. Ce site est caractérisé aussi par la présence des espèces annuelles avec des quantités réduites de feuillage (génèrent une très faible biomasse) dont la plus grande partie est éliminée par le bétail ou autres animaux et par érosion. Les terres laissées ouvertes au pâturage non contrôlé ont vécu une forte dégradation de la végétation appétible, le couvert végétal étant actuellement dominé essentiellement par *Peganum harmala*, *Noaea mucronata*, *Atractylis serratuloides*, *Fagonia cretica* ou d'autres espèces épineuses (Hachmi *et al.*, 2015).

Les actions de mise en repos, de CES et de la plantation pastorale ont amélioré la MO, le RGA, la phytomasse et la valeur pastorale en fournissant des équivalents énergétiques de 624 UF.ha<sup>-1</sup>; 931 UF.ha<sup>-1</sup> et de 795 UF.ha<sup>-1</sup> dans les sites S1, S2 et S3 respectivement. La VE de la phytomasse dans S4 est de 613 UF.ha<sup>-1</sup> contre seulement 46 UF.ha<sup>-1</sup> dans le site PL ; dans la

majorité des steppes pâturées, Aidoud *et al.* (2006) ont montrés que cette valeur oscille entre 10 et 60 UF.ha<sup>-1</sup>.

Finalement, il est à noter que l'amélioration de l'état de la végétation des sites S1, S2, S3 a encouragé les membres de la coopérative pastorale à acheter d'autres têtes d'ovins, ce qui a généré par la suite des retombées économiques (le nombre des têtes est passé de 2000 à 2830 ; Hachmi *et al.*, 2015 ; Rapports annuels de coopérative). Toutefois, il est nécessaire de garder 50% de la phytomasse produite (Take half leave half) sur le sol pour sa protection en vue d'une productivité durable des parcours (Chriyaâ *et al.*, 1998), c'est-à-dire 0,87, 1,22, 0,94 et 1,18 tonnes par hectares dans les sites S1, S2, S3 et S4 respectivement. Ainsi, le disponible fourrager autorisé ne serait que d'environ 312 ; 465,5 ; 347,5 et 306,5 UF.ha<sup>-1</sup> dans les sites S1, S2, S3 et S4 respectivement.

## CONCLUSION

Les techniques de restauration et de réhabilitation des parcours par la mise en repos, la conservation de l'eau et du sol et la plantation d'*Atriplex nummularia* ont considérablement amélioré la matière organique, le recouvrement de la végétation, la phytomasse et la valeur pastorale des parcours arides au Maroc.

Au plan édaphique, les teneurs des sols en sodium échangeable (Na) et la conductivité électrique (CE) dans les parcours non aménagés ont montré une tendance à l'élévation avec des valeurs moyennes de 463,65 mg.kg<sup>-1</sup> et 4,66 mS.cm<sup>-1</sup> respectivement.

En termes de l'état de la végétation, on note une nette amélioration du couvert végétal avec une moyenne de 45 % mesurée dans les sites aménagés contre 4,6 % dans le site en pâturage libre. Pour la phytomasse, elle est globalement importante (2 t.ha<sup>-1</sup>). Elle dépasse nettement celle du site pâturé librement (0,2 t.ha<sup>-1</sup>).

En termes d'offre fourragère, la valeur moyenne obtenue dans les sites aménagés correspondrait en moyenne à 780 UF.ha<sup>-1</sup> vs 46 UF.ha<sup>-1</sup> dans les parcours libres.

Ce travail est certes une évaluation limitée dans le temps mais pourrait être considéré comme le préliminaire permettant de dégager des hypothèses génératrices d'expérimentations plus rigoureuses et/ou un suivi à long terme afin de mieux comprendre les effets des aménagements en vue d'une exploitation durable des ressources pastorales au Maroc.

## REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, nous remercions l'éditeur en chef de la revue et les relecteurs anonymes de ce manuscrit pour leurs remarques et critiques très pertinentes. Il est particulièrement agréable de remercier toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de cette recherche. Aucun remerciement ne saurait être à la hauteur de toute l'aide et de tout le soutien du centre régional de la recherche agronomique d'Oujda, la direction provinciale d'agriculture d'Oujda, la coopérative MATAF et la faculté des sciences de Rabat.

## RÉFÉRENCES

- ACHOURI, M. (1995).— La conservation des eaux et du sol en Tunisie : bilan et perspectives. In : S. Zekri & A. Laajimi (eds). Agriculture, durabilité et environnement. *CIHEAM, Cahiers Options Méditerranéennes*, 9: 35-47.
- AERTS, R., NYSSSEN, J. & HAILE, M. (2009).— On the difference between "exclosures" and "enclosures" in ecology and the environment. *J. Arid Environ*, 73: 762-763.
- AGANGA, A.A., MTHETO, J.K., TSHWENYANE, S., (2003).— *Atriplex nummularia* (Old Man Saltbush): a potential forage crop for arid regions of Botswana. *Pakistan J. Nutrition*, 2: 72-75.
- AGR : AGRINTER (2004).— Analyse d'eau pour fin d'irrigation. Agriculture et Agroalimentaire Canada. In : O. Laadim (ed.) (2013): *Caractérisation de la qualité des sols et des eaux dans la région de Souss-Massa, Secteur privé : El Guerdane*. IAV HASSAN II, Rabat, Maroc.

- AIDOU, A. (1989).— *Contribution à l'étude des écosystèmes pâturés (Hautes Plaines Algéro-Oranaises, Algérie)*. Thèse de Doctorat d'État, Université des Sciences et Techniques H. Boumediene.
- AIDOU, A., LE FLOCH, E., & LE HOUÉROU H.N. (2006).— Les steppes arides du nord de l'Afrique. *Sécheresse*, 17: 19-30.
- AL-KARABLIEH, E.K. (2010).— Effects of socioeconomic factors on rangeland institutional options on the semi-arid regions in Jordan. *J. Agric. Sci.*, 6: 387-410.
- ASSOCIATION DES FABRICANTS D'ENGRAIS DU QUÉBEC (1987).— *Guide de fertilisation*. 2<sup>ème</sup> édition. Montréal.
- BAIZE, D. (1995).— *Guide pour la description des sols*. INRA, Paris.
- BATJES, N.H. (1999).— *Management options for reducing CO<sub>2</sub> concentrations in the atmosphere by increasing carbon sequestration in the soil*. ISRIC, Wageningen, Netherland.
- BECHCHARI, A., EL AICH, A., MAHYOU, H., BAGHDAD, B. & BENDAOU, M. (2014).— Étude de la dégradation des pâturages steppiques dans les communes de Maâtarka et Béni Mathar (Maroc oriental). *J. Mater. Environ. Sci.*, 5: 2572-2583.
- BEN SALEM, H., NORMAN, H.C., NEFZAOU, A., MAYBERRY, D.E., PEARCE, K.L. & REVELL, D.K. (2010).— Potential use of Oldman Saltbush (*Atriplex nummularia* Lindl.) in sheep and goat feeding. *Small Ruminant Res.*, 91: 13-28.
- BLANCHET, R. (1959).— Énergie d'absorption des ions minéraux par les colloïdes du sol et nutrition minérale des plantes. *Ann. Agron.*, 10: 267-307.
- BOUALLALA, M., CHEHMA A. & HAMEL, F. (2013).— Évaluation de la valeur nutritive de quelques plantes herbacées broutées par le dromadaire dans le Sahara nord algérien. *Lebanese Sci. J.*, 14: 33-39.
- BOUATTOURA, N. (1973).— *Principes et méthodes d'amélioration des pâturages en zone aride (steppe)*. Sém. Internl. Pastor., Algérie.
- BOUSSAID, M., BEN FADH, E.N., ZAOUALI, Y., BEN SALAH, A. & ABDELKEFI, A. (2004).— Plantes pastorales en milieux arides de l'Afrique du Nord. In: A. Ferchichi (comp.), A. Ferchichi (collab.). Réhabilitation des pâturages et des parcours en milieux méditerranéens. *CIHEAM, Cahiers Options Méditerranéennes*, 62: 55-59.
- BRAUN-BLANQUET, J., ROUSSINE, N. & NÈGRE, R. (1951).— *Les groupements végétaux de la France méditerranéenne*. CNRS édition, Paris.
- BROWN, D. (1954).— *Methods of surveying and measuring vegetation*. Commonwealth agricultural bureau. Farnham Royal, Bucks, England.
- BRUCE, R.C. & RAYMENT, G.E. (1982).— *Analytical methods and interpretations used by the agricultural chemistry branch for soil and land use surveys*. Queensland department of primary industries Bulletin.
- CANNELL, R.Q. & HAWES, J.D. (1994).— Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates. *Soil Tillage Res.*, 30: 245-282.
- CAO, C., JIANG, D., TENG, X., JIANG, Y., LIANG, W. & CUI, Z. (2008).— Soil chemical and microbiological properties along a chronosequence of *Caragana microphylla* Lam. plantations in the Horqin sandy land of Northeast China. *Appl. Soil Ecol.*, 40: 78-85.
- CHAMLEY, H. (1966).— *Guide des techniques du laboratoire de Géologie Marine de Luminy*.
- CHRIYAA, A., LAAMARI, A. & EL M'ZOURI, H. (1998).— *Elaboration du schéma de gestion des parcours au niveau du périmètre de la commune rurale d'Oulad Femane*. Document de synthèse. Marché 1/96/DERD/SA ; INRA-DERD Rabat (Maroc). Settat : Inra Maroc.
- DELAUNOIS, A., FERRIE, Y., BOUCHÉ, M., COLIN, C. & RIONDE, C. (2008).— *Guide pour la description et l'évaluation de la fertilité des sols*. Chambre d'agriculture, Tarn.
- DE WAROUX, Y.P. & LAMBIN, E.F. (2012).— Monitoring degradation in arid and semi-arid forests and woodlands: The case of the Argan woodlands (Morocco). *Appl. Geogr.*, 32: 777-786.
- DJEBAILI, S. (1978).— *Recherches phyto-sociologiques et écologiques sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'Atlas saharien algérien*. Thèse Doct. Univ. Sc. Tech. Languedoc, Montpellier.
- FLORET, C. & PONTANNIER, R. (1982).— *L'aridité en Tunisie présaharienne, climat, sol, végétation et aménagement*. ORSTOM.
- GADDES, N. (1978).— *Étude des relations végétation-milieu et effet biologique de la mise en défens notamment sur l'alfa (Stipa tenacissima L.) dans le bassin versant dans l'Oued Gabès*. Thèse écologie générale, U. S. T. L. Montpellier.
- GAMOUN, M., OULED BELGACEM, A., HANCHI, B., NEFFATI, M. & GILLET, F. (2012).— Effet du pâturage sur la diversité floristique des parcours arides du Sud Tunisien. *Rev. Écol. (Terre Vie)*, 67: 271-282.
- GILLSON, L. & HOFFMAN, M.T. (2007).— Rangeland ecology in a changing world. *Science*, 315: 53-54.
- GÜNTER, J. & BOUNEIMATE, M. (1997).— *Production et utilisation des cultures fourragères au Maroc*. Édition de l'Institut national de la recherche agronomique, Rabat, Maroc.
- HACHMI, A., EL ALAOUI-FARIS, F.E., ACHERKOUK, M. & MAHYOU, H. (2015).— Parcours arides du Maroc : restauration par mise en repos, plantations pastorales et conservation de l'eau et du sol. *Geo-Eco-Trop*, 39: 185-204.

- HOFFMAN, M. & TODD, S. (2000).— A national review of land degradation in South Africa: the influence of biophysical and socio-economic factors. *J. South. Afr. Stud.*, 26: 743-758.
- JIA, G.M., LIU, B.R., WANG, G. & ZHANG, B. (2010).— The microbial biomass and activity in soil with shrub (*Caragana korshinskii* K.) plantation in the semi-arid loess plateau in China. *Eur. J. Soil Biol.*, 46: 6-10.
- KADI-HANIFI, H. (2003).— Diversité biologique et phytogéographique des formations à *Stipa tenacissima* L. de l'Algérie. *Sècheresse*, 14: 169-179.
- KALININA, O., GORYACHKIN, S.V., KARAVAEVA, N., LYURI, D., NAJDENKO, L. & GIANI, L. (2015).— Self-restoration of post-agrogenic soils of Calcisol-Solonetz complex: Soil development, carbon stock dynamics of carbon pools, *Geoderma*, 237-238: 117-128.
- KIRMSE, R.D. & NORTON, B. (1985).— Comparison of the reference unit method and dimensional analysis for two large shrubby species in Caatinga woodlands. *J. Range Manage.*, 38: 425-428.
- KOTZE, A., SANDHAGE-HOFMANN, J., MEINEL, A., DU PREEZ, C.C. & AMELUNG, W. (2013).— Rangeland management impacts on the properties of clayey soils along grazing gradients in the semi-arid grassland biome of South Africa. *J. Arid Envir.*, 97: 220-229.
- LAOUINA, A. (2010).— Conservation des eaux et des sols au Maroc: prise en compte de la diversité géographique, *Revue Norois*, 214.
- LE HOUÉROU, H.N. (1969).— *La végétation de la Tunisie steppique (avec références aux végétations analogues au Maroc, en Algérie et en Libye)*. INRA, Tunisie.
- LE HOUÉROU, H.N. (1975).— *The nature and causes of desertification*. Cambridge Conf. Desert.
- LE HOUÉROU, H.N. (1991).— The role of salt bushes (*Atriplex* spp.) in arid land rehabilitation in the Mediterranean basin: a review. *Agrofor. Syst.*, 18: 107-148.
- MAHYOU, H., TYCHON, B., BALAGHI, R., LOUHAICHI, M. & MIMOUNI, J. (2016).— A knowledge-based approach for mapping land degradation in the arid rangelands of North Africa. *Land degradation & development*, 27.
- MAHYOU, H., TYCHON, B., BALAGHI, R., MIMOUNI, J. & PAUL, R. (2010).— *Désertification des parcours arides au Maroc* [<http://orbi.ulg.ac.be/bitstream>].
- MARA : MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE LA RÉFORME AGRAIRE (1992).— *Stratégie de développement des terres de parcours au Maroc. Situation actuelle des terres de parcours. Vol. I. Inventaire des ressources fourragères des parcours*. Rabat: direction de l'élevage.
- MCDONAGH, J., LU, Y. & SEMALULU, O. (2014).— Adoption and adaptation of improved soil management practices in the Eastern Ugandan Hills. *Land degradation & development*, 25: 58-70.
- MOEYERSONS, J., NYSSSEN, J., POESEN, J., DECKERS, J. & MITIKU, H. (2008).— *Efficacité de la gestion conservatoire des eaux et des sols au Tigré*. Éditions des archives contemporaines, Ethiopie.
- MULAS, M. & MULAS, G. (2007).— Potentialités d'utilisation stratégique des plantes des genres *Atriplex* et *Opuntia* dans la lutte contre la désertification. In: D. Bellavite, C. Zucca, O. Belkheiri & H. Saidi (eds), *Études techniques et scientifiques à l'appui de l'implémentation du projet démonstratif SMAP de lutte contre la désertification*. Université de Sassari, Italie.
- NEDJRAOUL, D. (1981).— *Teneurs en éléments biogènes et valeurs énergétiques dans les principaux faciès de végétation des Hautes Plaines steppiques de la Wilaya de Saïda*. Thèse 3ème Cycle, Univ. Sci. Technol. H. Boumediene, Algérie.
- NOY MEIR, I. (1974).— Stability in arid ecosystems and the effects of man on it. Pp 220-225 In: A.I. Cove (ed.). *Structure, functioning and management of ecosystems*. Proc of the first international congress of Ecology, Wageningen.
- OLSEN, S.R., COLE, C.V. & WATANABE, F.S. (1954).— *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate*. Cir. U.S Dep. Agr.
- OSMOND, C.B., BJORKMAN, O. & ANDERSON, D.J. (1980).— *Physiological processes in plant ecology*, Springer-Verlag, Berlin.
- OULD SIDI MOHAMED, Y., NEFFATI, M. & HENCHI, B. (2002).— Effet du mode de gestion des phytocénoses sur leur dynamique en Tunisie présaharienne : cas du parc national de Sidi Toui et de ses environs. *Sècheresse*, 13: 195-203.
- PRIETO, L.H., BERTILLER, M.B., CARRERA, A.L. & OLIVERA, N.L. (2011).— Soil enzyme and microbial activities in a grazing ecosystem of Patagonian Monte, Argentina. *Geoderma*, 162: 281-287.
- PUGDEFABREGAS, J. (2005).— The role of vegetation patterns in structuring runoff and sediment fluxes in dry lands. *Earth surface processes and landforms*, 30: 133-147.
- REYNOLDS, J.F., STAFFORD SMITH, D.M., LAMBIN, E.F., TURNER, B.L., MORTIMORE, M., BATTERBURY, S.P.J., DOWNING, T.E., DOWLATABADI, H., FERNÁNDEZ, R.J., HERRICK, J.E., HUBER-SANNVALD, E., LEEMANS, R., LYNAM, T., MAESTRE, F.T., AYARZA, M. & WALKER, B. (2007).— Global desertification: building a science for dryland development. *Science*, 316: 847-851.
- ROBINSON, C.A., CRUSE, R.M. & KOHLER, K.A. (1994).— *Soil management*. In: J.L. Hatfield & D.L. Karlen (eds.). *Sustainable agriculture systems*. Lewis Publishers, USA.
- RUPELLAN, A. (1966).— *Les sols iso-humiques subtropicaux au Maroc*. Conf. Sols médit, Madrid.

- RUELLAN, A. (1970).— *Contribution à la connaissance des sols des régions méditerranéennes: les sols à profil calcaire différencié des plaines de la basse Moulouya (Maroc oriental)*. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences de l'Université de Strasbourg, France.
- RUELLAN, A. (1976).— *Morphologie et répartition des sols calcaires dans les régions méditerranéennes et désertiques*. Annales de l'I.N.A.
- SABIR, M., QARRO, M., BERKAT, O. & MERZOUK, A. (1992).— Effets de la charge animale sur le développement de la végétation dans un milieu steppique : Aarid, Haute Moulouya. *Ann. Rech. For. Maroc*, 26: 59-67.
- SCHULTZ, B. & PRASAD, K. (2009).— Development and management of drylands: the need for adapted education and knowledge-sharing. Pp 699-718 In: C. Lee & T. Schaaf (eds), *The future of drylands*. Springer, Netherlands.
- SELBUT, R., LONGTAU, A.C. & ODUNZE, B.A. (2000).— *La conservation de l'eau et des sols au nord du Nigeria: rapport de l'étude de cas préparé par l'Edo (Eco-System development organisation)*. Londres, Royaume-Uni.
- SHARMA, M.L. & TONGWAY, D.J. (1973).— Plant induced soil salinity patterns in two saltbush (*Atriplex* spp.) communities. *J. Range Manage.*, 26: 121-125.
- SILVER, W.L., OSTERTAG, R. & LUGO, A.E. (2000).— The potential for carbon sequestration through reforestation of abandoned tropical agricultural and pasture lands. *Restor. Ecol.*, 8: 394-407.
- SOLOMON, T., SNYMAN, H. & SMIT, G. (2007).— Cattle-rangeland management practices and perceptions of pastoralists towards rangeland degradation in the Borana zone of southern Ethiopia. *J. Environ. Manage.*, 82: 481-494.
- SOLTNER, D., 1976.— *Alimentation des animaux domestiques*, 9<sup>e</sup> éd.. Collect. Sci. Tech. Agric., Le Clos Lorelle (Fr.).
- SKOOG, A.D., WEST, M.D., HOLLER, F.J. & CROUCH, R.S. (2004).— *Fundamentals of analytical chemistry*. 8<sup>ème</sup> édition. Thomson.
- TRAORE, S., THIOMBIANO, L., MILLOGO, J.R. & GUINKO, S. (2007).— Carbon and nitrogen enhancement in Cambisols and Vertisols by *Acacia* spp. in eastern Burkina Faso: relation to soil respiration and microbial biomass. *Appl. Soil Ecol.*, 35: 660-669.
- USSL (UNITED STATES SALINITY LABORATORY) (1954).— *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. United States Department of Agriculture.
- WALKLEY, A., BLACK, I.A. (1934).— An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.*, 37: 29-38.
- ZHAO, G., MU, X., WEN, Z., WANG, F. & GAO, P. (2013).— Soil erosion, conservation and eco-environment change in the loess plateau of China. *Land degradation & development*, 24: 499-510.
- ZUCCA, C., PULIDO-FERNÁNDEZ, M., FAVA, F., DESSENA, L. & MULAS, M. (2013).— Effects of restoration actions on soil and landscape functions: *Atriplex nummularia* L. plantations in Ouled Dlim (Central Morocco). *Soil and Tillage Res.*, 133: 101-110.