

CHANGEMENTS SPATIO-TEMPORELS DES PAYSAGES STEPPIQUES D'ALGÉRIE. CAS DE LA RÉGION DE MÉCHÉRIA

Ratiba HOURIZI^{1*}, Aziz HIRCHE¹, Yamna DJELLOULI² & Dalila NEDJRAOUI¹

¹ Laboratoire d'Écologie Végétale et Environnement (LEVE), Faculté des Sciences Biologiques, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene. BP 32 El Alia, Bab Ezzouar, 16111 Alger, Algérie. Tél/Fax: 00 213 21 24 72 17. Tél: +213 561 547 597. E-mails: hourizi_ratiba@yahoo.fr, a_hirche@yahoo.fr, dnedjraoui@yahoo.com

² Espaces Géographiques et Sociétés (ESO)-UMR, Université du Maine. Avenue Olivier Messiaen. F-72085 Le Mans cedex 9. Tél.: (33) 02 43 83 31 93. Fax: (33) 02 43 83 31 92. E-mail: yamna.djellouli@univ-lemans.fr

*Auteur correspondant.

SUMMARY.— *Spatial and temporal changes in steppic landscapes of Algeria. Case study of the Méchéria region.*— Economic activities in the arid steppes of Algeria are largely based on sheep husbandry using rangelands. The recent "regreening" observed in the arid and semi-arid rangelands surrounding the Sahara desert is challenging the desertification caused by the increasing grazing pressure. To the question about the reality of desertification, this work tries to answer by a diachronic and landscape approach. We compared the land cover map carried out in 2014 to the other two maps performed in 1978 and 2006. The remotely sensed changes in the landscape units show a fragmentation in the preexisting steppe landscapes with various degradation stages. Steppes of *Stipa tenacissima* lost 94 % of their area since 1978; those of *Lygeum spartum* after increasing by 4 % from 1978 to 2006, decreased by 13 % from 2006 to 2014. The *L. spartum* steppe had disappeared from its original places (80 % of cases) but encroached on new lands mainly at the expense of *S. tenacissima* (60 % of the current surface). Currently, two types of steppes dominate 80 % of the total rangelands; those of *L. spartum* with 35 % and of *Atractylis serratuloides* with 33 %. The spreading *A. serratuloides* steppe over 22 % of the total surface during the last 8 years is considered to be an indicator of overgrazing and one of the basic evidences that land degradation is still relevant in these rangelands in spite of their regreening mainly due to a high precipitation amount since 2007.

RÉSUMÉ.— Les activités économiques dans les steppes d'Algérie reposent en grande partie sur l'élevage pastoral. La désertification engendrée par la pression croissante du pâturage est remise en cause par le "reverdissement" observé dans tout le pourtour saharien. À la question sur la réalité du phénomène de désertification, le présent travail tente de répondre par une approche diachronique et paysagère. La carte de l'occupation des terres réalisée en 2014 est comparée à deux autres cartes datant de 1978 et de 2006. L'analyse par télédétection des changements dans les unités paysagères montre une fragmentation des paysages steppiques préexistants en différents stades de dégradation. Les steppes à *Stipa tenacissima* (Alfa) ont perdu 94 % de leur surface depuis 1978. Celles à *Lygeum spartum* (Sparte), après avoir augmenté de 4 % de 1978 à 2006, ont diminué de 13 % de 2006 à 2014. Ces dernières ont disparu de leur emplacement préexistant (80 % des cas) et conquis de nouveaux espaces essentiellement au détriment des steppes d'alfa (60 % de la surface actuelle). Actuellement, deux types de steppes dominent presque 80 % de l'espace ; celles à *L. spartum* et à *Atractylis serratuloides* occupent respectivement 35 et 33 %. L'extension de la steppe à *A. serratuloides*, indicatrice de dégradation, durant les 8 dernières années, est estimée à 22 % de la surface. Cette augmentation est l'un des témoins d'une dégradation toujours d'actualité, notamment sous l'effet du surpâturage qui se poursuit malgré le "reverdissement" lié à une bonne pluviométrie depuis 2007.

Les parcours steppiques arides et semi-arides en Algérie constituent une transition entre les espaces sahariens désertiques et ceux, moins arides, du Tell au Nord. Dans ces parcours, *Stipa tenacissima* (Alfa), espèce emblématique de ces steppes se partageait l'espace, soit en formations pures, soit en mélange avec *Lygeum spartum* (Sparte) et *Artemisia herba-alba* (Armoise blanche). L'économie locale repose essentiellement sur l'élevage et subsidiairement sur l'agriculture. Ces exploitations, y compris la cueillette d'Alfa, destinée à la papeterie (Djebaili, 1978), ont contribué à la dégradation de ces parcours, voire à leur désertification (Nedjraoui & Bédrani, 2008), décrite également dans tout le Nord de l'Afrique et le Sahel (Delwaulle, 1973 ; Mainguet, 1990 ; Bernus

et al., 1993). Cette dégradation, souvent intense et rapide, due aux activités humaines est appréhendée à un niveau paysager (Kindlmann & Burel, 2008) dont l'un des thèmes centraux est la dynamique (McGarigal *et al.*, 2002 ; Burel & Baudry, 2003). Des travaux, utilisant pour la plupart la télédétection tout autour du Sahara (Herrmann & Tappan 2013 ; Helldén 1984, 1991 ; Helldén & Tottrup, 2008 ; Rasmussen *et al.*, 2001 ; Eklundh & Olsson 2003), ont conclu à un « reverdissement » qui semble remettre en question la dégradation des terres et la désertification.

La description des changements de la structure des systèmes écologiques et des liens entre ces derniers permet d'évaluer l'évolution des paysages, ce qui constitue une nécessité pour définir des modes de gestion nouveaux ou de les améliorer dans une optique de durabilité à la fois environnementale et économique. La végétation constitue l'un des indicateurs fondamentaux des conditions écologiques (Godron, 1965 ; Long, 1974 ; Phipps *et al.*, 1986). La végétation est immédiatement perceptible au sol et fréquemment utilisée pour la description de la mosaïque des paysages (Loireau & D'Herbes, 1994). Très utile dans la compréhension des changements observés dans les écosystèmes et les paysages, la dynamique de la végétation est souvent abordée par l'approche dite synchronique, basée sur les séries de végétation au sens de Clements (1916). La végétation évoluerait par stades successifs, en passant de structures simples vers des structures plus complexes (Guinochet, 1973). Selon cette approche et sur une base phytosociologique, la dégradation des communautés végétales steppiques en Algérie a été décrite par plusieurs auteurs (Le Houérou, 1969 ; Djebaili, 1978 ; Aidoud-Lounis, 1997 ; Kadi-Hanifi, 1998 ; Aidoud *et al.*, 2006). La mosaïque qui en découle forme le « complexe Alfa-Armoise-Sparte » (Aidoud-Lounis, 1984). Ce dernier auteur a dressé dans le Sud-Oranais, un modèle dynamique prédictif définissant les stades de régression observés à partir de la steppe à *S. tenacissima* en tant que stade dominant historique indigène (*sensu* Aronson *et al.*, 1995). La deuxième approche, dite par « surveillance continue », ne se fait en général qu'en sites permanents. Le suivi à long terme dans le Sud-Oranais a permis de vérifier une grande partie du modèle précédent (Aidoud & Touffet, 1996 ; Slimani *et al.*, 2010). Une approche intermédiaire, objet du présent travail, est dite diachronique et permet un suivi à la fois spatial et temporel des changements de la végétation à l'échelle du paysage (Finlayson & Mitchell, 1999). Nous avons réalisé une carte de l'occupation des terres au 1/200 000^e en y intégrant la physionomie de la végétation. Cette approche est diachronique et basée sur les éléments paysagers. Elle consiste à comparer, à une même échelle et selon une même procédure, l'état actuel des steppes évalué par cette carte, à leurs états antérieurs. La première évaluation (Achour *et al.*, 1983) a duré quatre ans et a été achevée en 1978 dans le Sud-Oranais sur près de 4 millions d'hectares. Une partie correspondant à la région de Méchéria a été réévaluée en 2006 par Hirche *et al.* (2011) puis par le présent travail (2014). L'approche consiste à étudier la fragmentation des unités paysagères comme l'une des expressions de la dégradation des terres.

Deux objectifs sont poursuivis dans ce travail : (i) évaluer l'état de la végétation et la répartition des paysages en 2014 ; (ii) déterminer les changements dans ces paysages durant les quatre dernières décennies, en évaluer l'importance et les interpréter au plan dynamique.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

CADRE D'ÉTUDE

D'une superficie de près de $385 \cdot 10^3$ ha, la région de Méchéria se situe dans le Nord-Ouest de l'Algérie (Fig. 1) et fait partie des Hautes Plaines steppiques du Sud-Oranais. La forme de relief dominante est le glacis subhorizontal du quaternaire qui inclut des dépressions fermées endoréiques comme le « Chott-Ech-Chergui » et « Sebkhât-Enâama ». Les bordures à halophytes de ces dépressions mises à part, la végétation était dominée en 1978 par les nappes à *S. tenacissima* (Alfa), Poacée couvrant de grandes étendues prenant l'allure d'une « mer d'Alfa » comme décrit par de nombreux auteurs depuis le XIX^e siècle. Les autres steppes sont celles de *L. spartum* (Sparte) et des steppes à chaméphytes ligneuses telles que *A. herba-alba* (Armoise blanche).

Le climat de la région est méditerranéen semi-aride à aride. La pluviométrie annuelle moyenne enregistrée dans la station de Méchéria de 1907 à 2013 (Fig. 2) est de 265 mm.an⁻¹ avec une variabilité interannuelle importante (coefficient de

variation de 42 %). La deuxième moitié du siècle a été marquée par d'importantes périodes de sécheresse (Hirche *et al.*, 2007). Durant la période d'étude en particulier, la sécheresse la plus longue et la plus intense à l'échelle du siècle (Fig. 2) a été enregistrée. À partir de 2008, une série d'années relativement pluvieuses a été observée, attestée également par l'état de la végétation. La moyenne des vitesses maximales des vents est de 17,7 m/s, enregistrée en juillet, de 2008 à 2013, (source ONM : Office National de Météorologie). Les vents de sable sont fréquents avec 43 jours par an (moyenne de 1992 à 2013, source ONM).

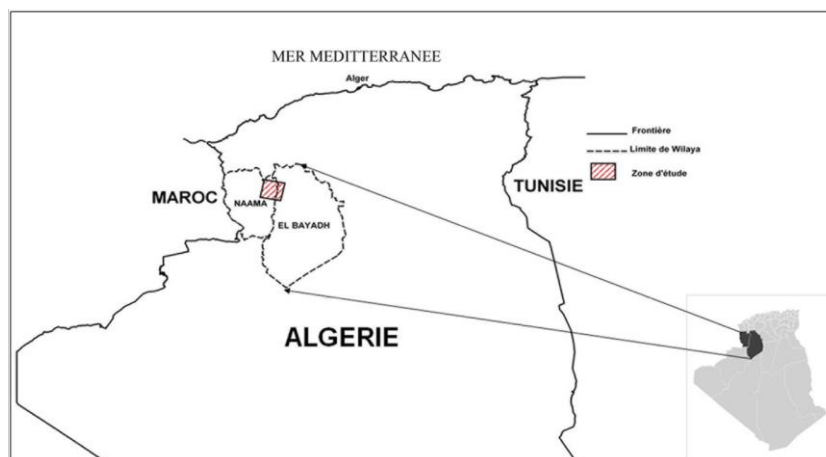


Figure 1.— Localisation du cadre d'étude.

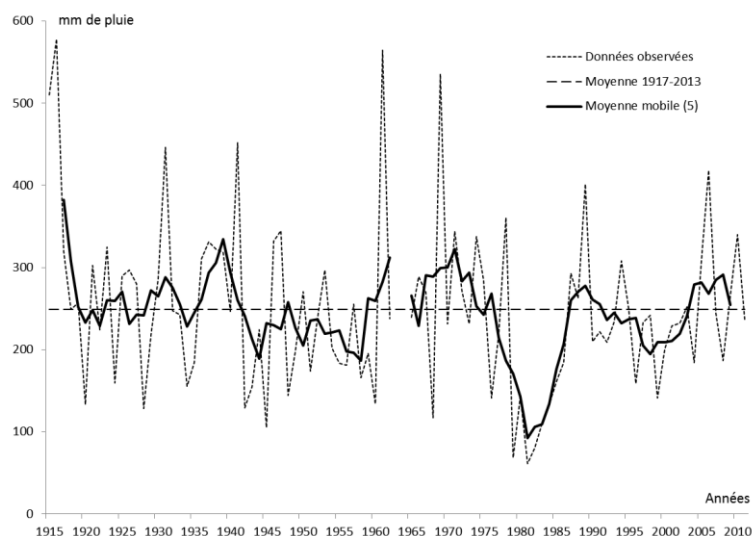


Figure 2.— Variabilité des cumuls pluviométriques annuels dans la station météorologique de Méchéria. Les données manquantes (1944-1947 et 1951-1954) sont extrapolées par régression ($p < 0.01$) de la station d'El Bayadh située à 120 km dans des conditions climatiques proches.

La végétation est une steppe au sens physionomique qui, d'après Ionesco & Sauvage (1962), est « une formation naturelle herbacée très ouverte et très irrégulière ». La définition que nous adoptons ici est celle donnée par Aidoud (1998) : la steppe aride « est une formation basse et ouverte, dominée par des xérophytes en touffes, laissant paraître le sol nu dans des proportions variables, en fonction du végétal dominant, qui peut être herbacé ... ou ligneux (sous-arbrisseaux) ». En fonction du végétal dominant qui imprime leur physionomie sont identifiés différents types de steppes (Le Houérou, 1969,

1995) parmi lesquelles sont distinguées les steppes graminéennes à *S. tenacissima*, à *L. spartum* et à *Aristida pungens* et les steppes à ligneux bas tels que *A. herba-alba*, *Atractylis serratuloides* et *Thymelaea microphylla*.

MÉTHODES

Une carte de l'occupation des terres (COT) représente toutes les formes d'occupation des terres (Long, 1974). Dans le présent travail, l'unité physionomique de végétation y est fondamentale. Elle représente une unité de paysage et est définie comme une portion de territoire caractérisée par une certaine homogénéité écologique (Fourneau *et al.*, 1991). Des facteurs de changements, naturels ou anthropiques, peuvent modifier une unité en la transformant soit en une (ou plusieurs) autre(s) unité(s) physionomique(s) en tant que stades dynamiques, soit en unités physionomiques artificialisées (reboisement, terrain agricole), soit encore en des unités d'occupation entièrement artificielles telles que infrastructures et aménagements hydrauliques, urbains, routiers, etc.

La COT de 2014 a été réalisée en utilisant une image satellite Landsat de Mai 2014 du capteur « *Operational Land Image* » (OLI). Ce travail a nécessité les étapes suivantes :

- Prétraitement de l'image : l'ensemble des prétraitements numériques a été réalisé par le logiciel « *Environment for Visualizing Images* » (ENVI). L'image OLI, ayant un niveau de prétraitement géométrique satisfaisant n'a nécessité qu'un allongement du contraste pour une meilleure qualité visuelle et la trichromie en couleurs naturelles faisant correspondre la bande spectrale de chaque canal à sa couleur spécifique (bleu, vert ou rouge).

- Classification de l'image : nous avons effectué une classification analogique en délimitant des classes thématiques et en y appliquant des critères classiques d'interprétation (forme du relief, tonalité et couleurs, régularité des limites, etc.). Cette méthode a été utilisée par similitude à celle de la photo-interprétation utilisée pour la réalisation de la COT de 1978 afin de rendre les cartes comparables.

- Acquisition des données de terrain : dans chaque classe thématique, des points à renseigner ont été choisis dans les espaces qui paraissent les plus représentatifs. La COT de 2006 a été utilisée également pour le choix des points de relevés. Des itinéraires d'accès à ces points ont été tracés et transférés sur GPS. 200 relevés de végétation ont été réalisés (2013-2014) dans les principales steppes zonales avec évaluation du recouvrement de la végétation et des éléments à la surface du sol, à l'aide de la méthode d'analyse linéaire (Daget & Poissonet, 1971). Les renseignements recueillis nous ont permis d'améliorer la classification analogique.

- Renseignant des classes thématiques : après renseignement des classes thématiques à partir des données de terrain et généralisation au laboratoire, une vérification de terrain a été effectuée pour la légende définitive. Ainsi, sur la carte finale, ont été représentées les unités de végétation steppique, les steppes arborées, les reboisements, les cultures et l'habitat aggloméré (urbain). L'échelle du 1/200 000^e ne permet pas de représenter les éléments difficilement perceptibles comme les points d'eau, les habitations et campements nomades éparés, les petites exploitations agricoles et les micro-variations de la végétation naturelle et de formes de relief telles que les petites dépressions (dayas). Les unités physionomiques de la végétation steppique ont été représentées par une ou deux espèces dominantes (Ionesco & Sauvage, 1962) ainsi que le recouvrement global de la végétation (RGV). Ce dernier a été évalué selon trois classes : A : $\leq 25\%$; B : 26 à 50 % et C : $> 50\%$.

ANALYSE PAYSAGÈRE

Deux entités paysagères ont été considérées : l'unité paysagère et la tache paysagère dont la définition dépend de l'échelle retenue (Desfontaines, 1973 ; Roche, 2007).

- l'unité paysagère (UP) correspond à la physionomie générale imprimée par la première espèce dominante qui donne le nom à l'UP dans le cas de la végétation spontanée (steppe).

- la tache paysagère ou *patch* (TP) correspond à une sous-unité paysagère définie par deux espèces, quand une deuxième espèce dominante accompagne la première et contribue à la physionomie, exemple : l'unité à *L. spartum* peut inclure une TP à *L. spartum* et *A. serratuloides*. Une sous-unité avec une seule espèce dominante a été considérée en même temps UP et TP. Les taches sont, dans notre cas, noyées dans une matrice et ne présentent que très peu de connexions ou corridors comme décrit par Burel & Baudry (2003). Les unités de dunes vives, cultures, reboisement, sol nu, urbain ont été considérées à la fois comme UP et TP.

Indices paysagers

L'hétérogénéité du paysage peut être étudiée à travers le nombre, la taille et la connectivité des taches ainsi que leurs répartitions spatiales. D'après Burel & Baudry (2003), cette hétérogénéité croît avec la fragmentation des UP donnant au départ une multitude de TP qui peuvent s'individualiser ensuite en UP nouvelles. L'évaluation des changements paysagers s'est basée sur des indices paysagers qui permettent de rendre compte de cette fragmentation. Le choix des indices paysagers a été difficile dans le cas de notre travail du fait du manque de travaux sur les paysages steppiques. Le choix d'indices pertinents est largement tributaire des types de fonctionnement de l'écosystème et/ou du type d'information recueillie (Dumas *et al.*, 2005). Les cartes qui ont servi de base à cette étude sont de type vecteur, ce qui limite l'utilisation d'un grand nombre d'indices paysagers non adaptés à ce type de représentation. Les indices choisis dans cette étude sont souvent les plus utilisés pour caractériser la fragmentation et l'hétérogénéité du paysage.

- Le nombre de taches : NP_i d'une UP i .

- L'aire totale en ha (a_i) occupée par une UP_i est calculée comme la somme de l'ensemble des surfaces des n TP contenues dans cette UP :

$$a_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}$$

avec a_{ij} : surface d'une TP_j appartenant à l'unité paysagère a_i .

- L'indice de contribution au paysage ($PLAND_i$) est la proportion (en %) du paysage occupée par une UP_i par rapport à la surface cartographiée A (Leitão *et al.*, 2012). $PLAND_i = a_i / A * 100$

- L'indice de dominance (Largest Patch Index = LPI) qui indique, au sein d'une UP_i , la proportion de l'aire a_{ij} occupée par la tache dominante ($a_{ij\ max}$). $LPI_i = a_{ij\ max} / a_i * 100$

Le LPI_i d'une UP_i donne une idée sur sa fragmentation qui sera d'autant plus importante que le LPI_i est petit (Forman, 1995).

- La diversité paysagère évaluée par les indices de Shannon (H) et d'Équitabilité (E). L'indice de Shannon a été calculé comme la proportion occupée par une UP_i , assimilée à sa probabilité p_i de présence ($= a_i/A$) dans l'espace cartographié.

$$H = - \sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i$$

N = nombre total d'UP. H atteint son maximum lorsque toutes les UP sont équiprobables. $H_{max} = \log_2 N$

- L'indice d'Équitabilité de Pielou (E_i) est le rapport de la diversité H_i à la diversité maximale H_{max} . Il exprime la régularité de la répartition des unités paysagères. $E = H / H_{max}$

Analyse spatiale des changements

L'analyse des changements des types d'occupation des terres exprime la dynamique paysagère. L'analyse spatiale, résumée par la figure 3, de chacune des COT a utilisé le logiciel *MapInfo* selon trois étapes 1) la séparation des classes thématiques dans le système d'information géographique ; 2) la superposition des COT prises deux à deux par la fonction Overlay ; 3) la compilation de l'ensemble des classes thématiques par rapport à chaque classe thématique préexistante de 1978.

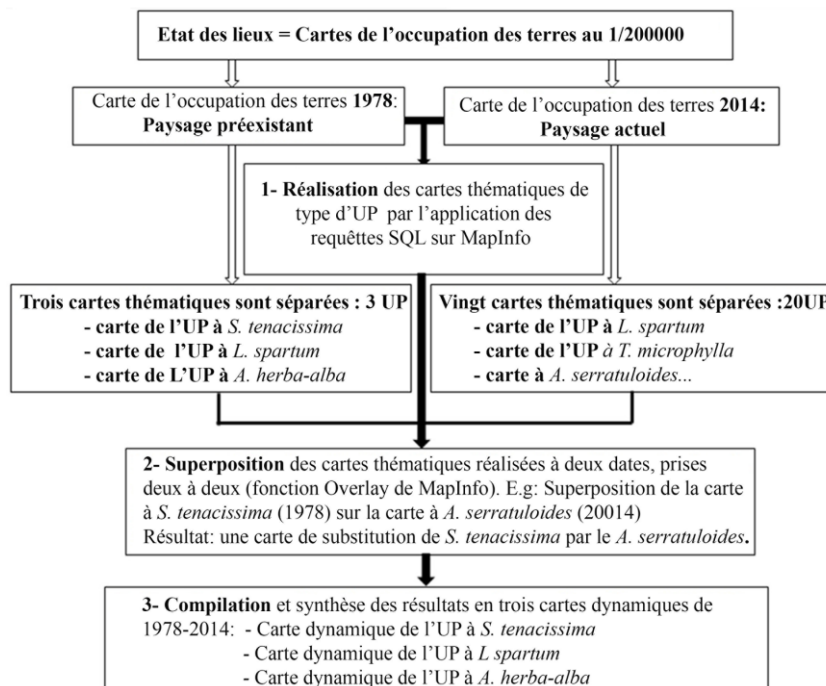


Figure 3.— Les différentes étapes de la réalisation des cartes dynamiques du paysage de la région de Méchéria.

Chaque classe thématique principale constitue une carte à une date donnée. Trois cartes représentent les trois UP principales (à *S. tenacissima*, à *L. spartum* et à *A. herba-alba*) qui occupaient 95 % de la surface totale en 1978. Le reste des UP à cette date, occupant 5 % de surface cartographiée, n'a pas été pris en considération. Ce sont les steppes arborées,

la steppe à *Salsola sieberi* var. *zygophylla*, les dunes vives, les cultures et les grandes dépressions (Sebkhas). Chacune de trois cartes a été superposée à celles obtenues à partir de la COT de 2014 en vue de déterminer les changements physiologiques.

La détermination des changements d'état des éléments du paysage entre deux dates a été réalisée à l'aide de matrices qui permettent de décrire et de quantifier ces changements (Schaeffer, 2002). Une matrice de changements représente selon la première ligne, les superficies des classes thématiques dans une COT à un temps t_1 et selon les colonnes celles des classes thématiques de substitution sur la COT au temps t_2 .

Le taux de changement des unités paysagères représente le gain ou la perte de surface d'une UP entre deux dates, par rapport à la surface totale étudiée, en considérant trois périodes: 1978-2006, 2006-2014 et 1978-2014.

RÉSULTATS

L'ensemble des indices paysagers calculés est donné dans le tableau I pour les trois années 1978, 2006 et 2014.

TABLEAU I

Indices paysagers en 1978, 2006 et 2014

Indices paysagers	PLAND (%)			NP			LPI		
	1978	2006	2014	1978	2006	2014	1978	2006	2014
Unités paysagères (UP)									
Steppe arborée	1,4	1,2	1,2	4	1	1	1,23	1,17	1,17
<i>Stipa tenacissima</i>	46,4	11,5	2,8	48	14	8	7,79	2,63	0,65
<i>Lygeum spartum</i>	43,7	48,1	35,5	61	46	25	11,09	5,78	10,15
<i>Artemisia herba-alba</i>	5,1	0,0	0,0	15	0	0	0,99	0	0
<i>Anabasis oropediurum</i>	0,0	1,2	0,4	0	2	5	0	0,88	0,45
<i>Noaea mucronata</i>	0,0	4,1	0,0	0	4	0	0	2,33	0
<i>Peganum harmala</i>	0,0	3,2	0,1	0	3	1	0	1,20	0,14
<i>Atractylis serratuloides</i>	0,0	10,8	33,0	0	6	19	0	3,58	10,36
<i>Salsola vermiculata</i>	0,0	6,8	8,5	0	5	12	0	2,28	2,39
<i>Aristida pungens</i>	0,0	0,4	0,4	0	3	5	0	0,12	0,15
<i>Retama retam</i>	0,0	1,3	2,9	0	2	5	0	0,80	1,31
<i>Thymelaea microphylla</i>	0,0	4,5	6,8	0	9	25	0	1,17	1,18
<i>Salsola sieberi</i> var. <i>zygophylla</i>	0,6	1,6	1,6	1	1	1	0,59	1,6	0,93
<i>Traganum nudatum</i>	0,0	0,5	0,5	0	1	1	0	0,47	0,47
<i>Arthrocnemum glaucum</i>	0,0	0,4	0,4	0	5	3	0	0,21	0,12
Sebkha	1,1	1,2	1,0	5	7	8	0,57	0,41	0,4
Dunes vives	1,1	0,7	0,8	1	1	1	1,13	0,73	0,8
Cultures	0,6	1,0	1,2	3	9	13	0,43	0,24	0,24
Reboisements	0,0	0,3	0,7	0	2	3	0	0,22	0,36
Urbain	0,0	0,8	0,9	0	3	6	0	0,48	0,8
Sol nu	0,0	0,4	1,4	0	2	3	0	0,37	0,71
Total	100,0	100,0	100,0	138	126	145			

Données 1978 et 2006 d'après Hirche *et al.* (2011). S: steppe ; PLAND : proportion de territoire occupée par une UP (%) ; NP: nombre de taches ; LPI: indice de dominance.

ÉTAT DES PAYSAGES EN 2014.

La COT de 2014 (Fig. 4) a porté sur un espace dont 93 % sont steppiques avec 19 UP au total. Les principales UP sont celles à *L. spartum* avec 35 % de la surface totale, à *A. serratuloides* (33 %), à *S. vermiculata* (9 %) et de *T. microphylla* (7 %). L'UP à *S. tenacissima* représente 3 %.

Le nombre de taches n'est pas forcément proportionnel à la taille des UP. Ainsi, les unités à *T. microphylla* et à *L. spartum* contiennent chacune 25 taches alors que la première représente 7 % de la surface étudiée et la seconde 35 %. Le nombre de taches est de 19 pour *A. serratuloides*, 12 pour *S. vermiculata* et 8 pour *S. tenacissima*. Les cultures sont représentées par 13 taches.

CHANGEMENTS ENTRE 1978 ET 2014.

En 1978, deux UP dominaient dans la région avec des superficies voisines : l'UP à *S. tenacissima* avec 46 % et celle à *L. spartum* avec 44 %. L'UP à *A. herba-alba* n'occupait que 5 % du territoire (Tab. I). En 2014, alors que cette dernière UP a complètement disparu du paysage,

l'UP à *S. tenacissima* a perdu 94 % de sa surface. L'UP à *L. spartum* a régressé de 20 %. Celles à *A. serratuloides*, à *Salsola vermiculata* et à *T. microphylla* sont nouvellement apparues.

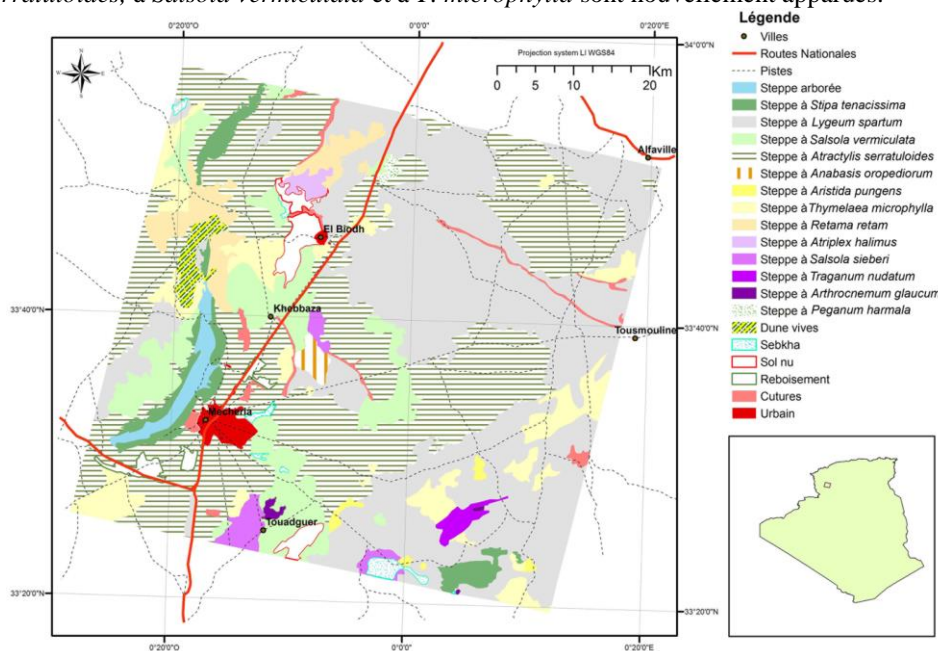


Figure 4.— Carte de l'occupation des terres en 2014 de la région de Méchéria.

TABLEAU II

Matrice des changements paysagers entre 1978 et 2014

Unités paysagères (en % surface)		<i>S. tenacissima</i>	<i>L. spartum</i>	<i>A. herba-alba</i>	Total 2014
en 2014	en 1978				
		46	44	5	
	<i>Lygeum spartum</i>	20	12	3	35
	<i>Atractylis serratuloides</i>	17	15	1	33
	<i>Salsola vermiculata</i>	2	6	1	9
	<i>Thymelaea microphylla</i>	4	3	#0	7
	<i>Stipa tenacissima</i>	3	0	0	3
	<i>Retama retam</i>	1	1	0	2
	<i>Salsola sieberi</i>	0	1	0	1
	<i>Aristida pungens</i>	#0	#0	#0	#0
	<i>Anabasis oropediurum</i>	0	1	0	1
	<i>Traganum nudatum</i>	0	#0	0	#0
	Reboisement	#0	1	0	1
	Cultures	0	#0	#0	1
	Sol nu	0	1	0	1
	Dunes vives	0	#0	0	#0
	Urbain	0	1	0	1
	Total	46	44	5	95

Les surfaces (en % avec #0 : valeur inférieure à 0,5 %) sont données pour 1978 dans la première ligne pour les trois UP dominantes en 1978 (une par colonne et représentant un total de 95 % de la surface). Pour chacune de ces UP sont données en lignes, les proportions arrondies des UP de substitution observées en 2014.

Pour les principales UP, le couvert végétal moyen de la végétation pérenne steppique évalué dans la COT 1978 était de près de 27 %. Ce couvert variait en moyenne de 24 % pour les unités de *L. spartum* et de *A. herba-alba* à 30 % pour celles à *S. tenacissima*. En 2014, le couvert végétal pérenne est en moyenne de 22 %. Le nombre de taches (NP) a diminué dans les UP préexistantes. Il est passé de 48 à 8 pour l'unité à *S. tenacissima* et de 61 à 25 pour l'UP à *L. spartum*. Il a

augmenté pour les cultures de 3 à 13 taches en 2014. L'indice de dominance LPI dans l'UP à *S. tenacissima* (Tab. I) a diminué de 7,78 à 0,65 % alors que celui de l'UP à *L. spartum* a demeuré relativement stable avec 11,09 en 1978 et 10,15 % en 2014. Il est important dans l'UP à *A. serratuloides* avec une valeur de 10,36 % en 2014, égale à celle du *L. spartum*. Il est faible pour les autres UP, 2 % pour l'UP à *S. vermiculata* et moins de 1 % pour les autres. Les deux indices Shannon (H) et Équitabilité (E) indiquent une augmentation de la diversité paysagère entre 1978 et 2014 (H = 1,57 et E = 0,52) à 2014 (H = 2,73 et E = 0,62).

Les changements paysagers (Tab. II) ont été établis entre les années 1978 et 2014 en ne considérant que les trois principales UP préexistantes couvrant 95 % du territoire étudié : *S. tenacissima* (Fig. 5), *L. spartum* (Fig. 6) et *A. herba-alba* (Fig. 7).

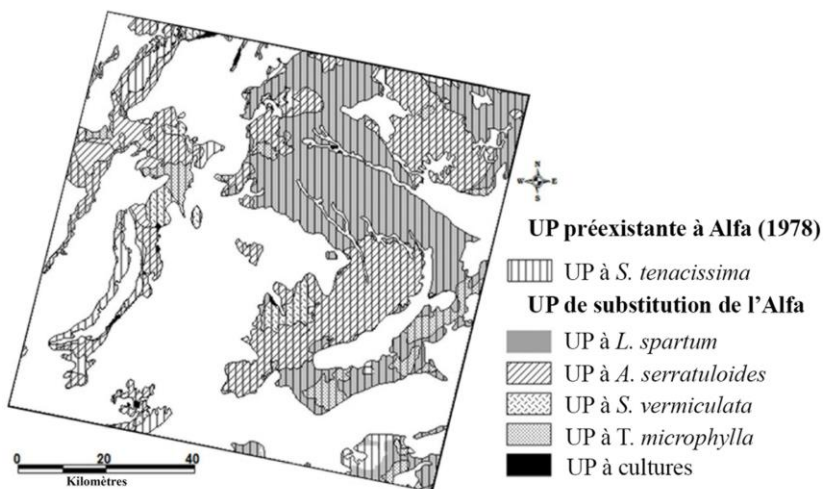


Figure 5.— Dynamique spatiale de l'UP à *S. tenacissima* entre 1978 et 2014.

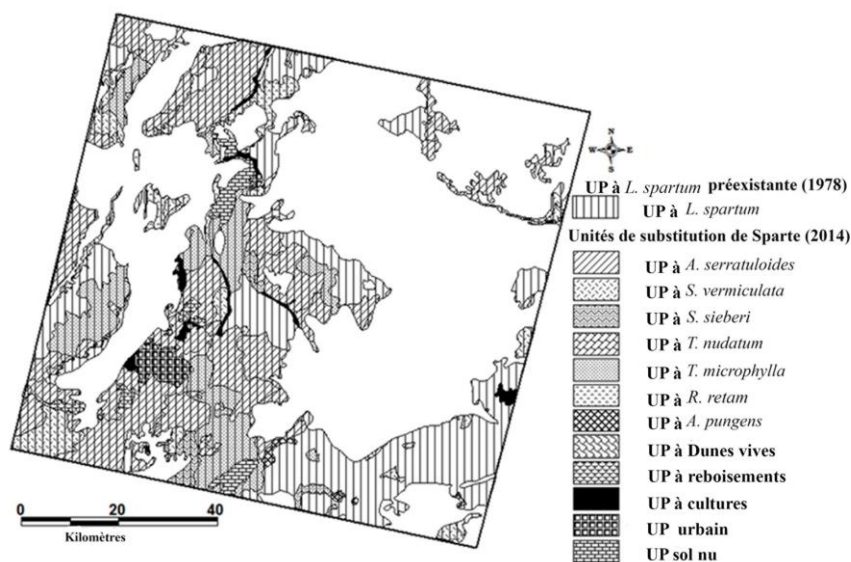


Figure 6.— Dynamique spatiale de l'UP à *L. spartum* entre 1978 et 2014.

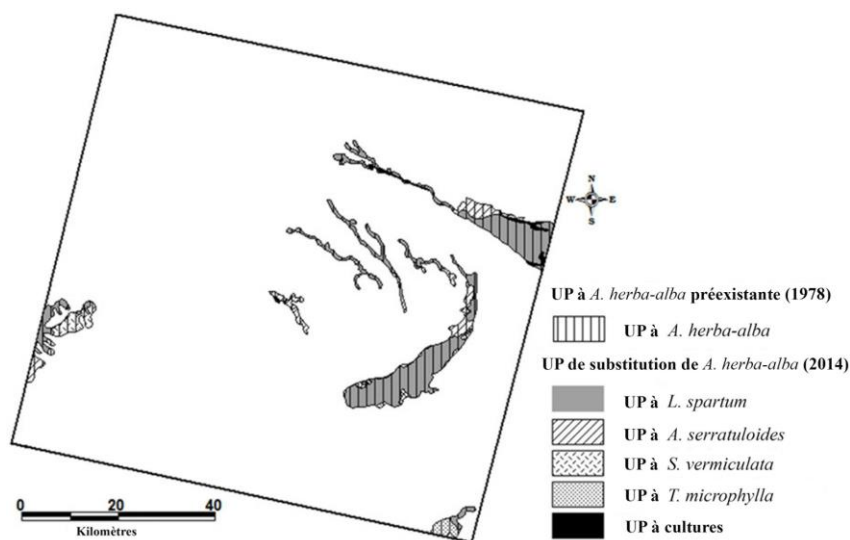


Figure 7.— Dynamique spatiale de l'UP à *A. herba-alba* entre 1978 et 2014.

TABLEAU III

Surfaces occupées par les unités paysagères et leurs taux de changement entre 1978 et 2006, 2006 et 2014 et 1978 et 2014

Unités paysagères (UP)	Surface (ha)			Taux de changement par période (%)		
	1978	2006	2014	1978-2006	2006-2014	1978-2014
Steppe arborée	5515	4 483	4 483	-0,27	0	-0,27
<i>S. tenacissima</i>	178 428	44 366	10 685	-34,85	-8,76	-43,00
<i>L. spartum</i>	168 095	184996	136 442	+4,39	-12,62	-8,23
<i>A. herba alba</i>	19 437	0	0	-5,05	0,00	-5,05
<i>Anabasis oropediorum</i>	0	4 726	1 728,1	+1,23	-0,78	+0,45
<i>Noaea mucronata</i>	0	15 637	0	+4,07	-4,07	+0,00
<i>Peganum harmala</i>	0	12 346	555	+3,21	-3,07	+0,14
<i>Atractylis serratuloides</i>	0	41 699	12 7072	+10,84	+22,20	+33,04
<i>Salsola vermiculata</i>	0	26 251	32 694	+6,83	+1,68	+8,50
<i>Aristida pungens</i>	0	1 347	1 419	+0,35	+0,02	+0,37
<i>Retama retam</i>	0	5 050	11 139	+1,31	+1,58	+2,90
<i>Thymelaea microphylla</i>	0	17 286	26 161	+4,49	+2,31	+6,80
<i>Salsola sieberi</i> var. <i>zygophylla</i>	2 251	6 160	6 160	+1,02	0,00	+1,02
<i>Traganum nudatum</i>	0	1 794	1 794	+0,47	+0,00	+0,47
<i>Arthrocnemum glaucum</i>	0	1 541	1 541	+0,40	+0,00	+0,40
Sebkha	4 179	4 515	3 830	+0,09	-0,18	-0,09
Dunes vives	4 345	2 819	3 060	-0,40	+0,06	-0,33
Cultures	2 380	3 674	4670	+0,34	+0,26	+0,60
Reboisement	0	1 342	2 511	+0,35	+0,30	+0,65
Urbain	0	2 965	3 464	+0,77	+0,13	+0,90
Sol nu	0	1 633	5 222	+0,42	+0,93	+1,36
Total		384 630				

Le taux de changement en % de surface est donné par rapport à la surface totale du territoire cartographié.

De l'UP à *S. tenacissima* de 1978 (Fig. 5 et Tab. II), il ne reste en 2014 que 3 %. Cette UP s'est morcelée en plusieurs autres unités : celle à *L. spartum* en occupe aujourd'hui près de 20 %, suivie de *A. serratuloides* avec 17 %, *T. microphylla* avec 3 %, et *S. vermiculata* avec 2 %. L'UP à *L. spartum* (Fig. 6 et Tab. II), s'est maintenue dans 12 % de la surface. Le reste est occupé en 2014 par *A. serratuloides* (17 %), *S. vermiculata* (7 %), *T. microphylla* (3 %) et des psammophytes, avec principalement *Aristida pungens* et *Retama raetam* (2 %). L'UP à *A. herba-alba* couvrant 5

% a été transformée (Fig. 7 et Tab. II) essentiellement en steppes à *L. spartum* (3 %), *T. microphylla*, *S. vermiculata* et cultures.

CHANGEMENTS PAR RAPPORT À L'ÉTAPE INTERMÉDIAIRE 2006

- Entre 1978 et 2006, la surface de l'UP à *S. tenacissima* a diminué de 75 %. L'UP à *L. spartum* a augmenté de 4 % occupant ainsi 48 % de la surface en 2006 (Tab. III). Le nombre d'UP a augmenté de 8 à 20. Parmi celles nouvellement apparues, l'UP à *A. serratuloides* occupe 11 % de la surface, celles à *S. vermiculata* (7 %) et à *Noaea mucronata* (4 %). L'unité à *A. herba-alba* a déjà disparu. Le NP global a diminué en cette période passant de 138 à 126 taches. Ce nombre a diminué pour les trois principales steppes préexistantes, globalement de 124 à 60, y compris pour l'UP à *L. spartum* qui a augmenté de surface. L'indice LPI a également baissé pour ces trois steppes préexistantes. Les indices de diversité paysagère de Shannon (H) et de l'Équitabilité ont augmenté de 1978 (1,57 et 0,52) à 2006 (2,76 et 0,64).

- Entre 2006 et 2014, le nombre d'UP est resté relativement stable (19 unités). L'UP à *S. tenacissima* a poursuivi sa régression (Tab. II) et perd encore 75 % de sa surface de 2006. L'UP à *L. spartum* diminue de 48 à 35 %. Les unités apparues en 2006 augmentent en surface en 2014 avec principalement l'UP à *A. serratuloides* dont la surface a triplé. Le nombre de taches dans les UP préexistantes continue à diminuer et augmente pour les UP de substitution : *T. microphylla* (9 à 25), *A. serratuloides* (6 à 19) et *S. vermiculata* (5 à 12). Ce nombre passe de 9 à 13 pour les cultures. Le nombre de taches global est passé de 126 à 145. Malgré la diminution durant la période précédente (1978-2006), le changement du nombre de taches entre les trois périodes, testé en tableau de contingence à l'aide du χ^2 , ressort comme significatif ($p < 0,05$). L'indice LPI augmente pour l'UP à *L. spartum* et surtout pour l'UP à *A. serratuloides* passant dans cette dernière de 3,6 à 10,4. La diversité paysagère varie peu entre 2006 et 2014.

DISCUSSION

L'approche diachronique a été adoptée dans le présent travail en vue d'analyser la dynamique à long terme. Cette approche assure le lien entre celle dite synchronique basée sur les méthodes chrono-séquentielles utilisées depuis la fin du XIXe siècle (Johnson & Miyanishi, 2008) et celle utilisant la surveillance continue directe. Dans le Sud-Oranais qui intègre la région d'étude, la surveillance à long terme, dans un site permanent dans une steppe d'Alfa (Aidoud *et al.*, 2011 ; Slimani *et al.*, 2010), a permis de vérifier certaines hypothèses sur la dynamique des communautés végétales avancées par les modèles basés sur les chrono-séquences (Aidoud-Lounis, 1984). L'analyse paysagère diachronique adoptée dans le présent travail est une approche complémentaire qui a donné la possibilité, partant de la situation de 1978, de montrer l'étendue spatiale des changements en 2006 puis en 2014.

Peu de différences ont été observées entre 2006 et 2014 par rapport à la période 1978-2006. Outre la durée plus longue, cette dernière période a été marquée par d'importants changements écologiques mais également et surtout socio-économiques (Benfrid & Ferrah, 1988 ; Bedrani, 1994) opérés durant la période 1980-1990.

Dans les modèles prédictifs de dégradation (*e.g.* Le Houérou, 1969 & 2001 ; Djebaili, 1978), la steppe à *S. tenacissima*, stade lui-même régressif, serait issue par « steppisation » de formations forestières ou pré-forestières (Le Houérou, 1969). La dynamique de dégradation, essentiellement par surpâturage, de la steppe d'Alfa emprunterait ensuite des trajectoires diverses selon les usages et les changements de milieu, comme avancé en particulier dans le Sud-Oranais par Aidoud-Lounis (1984). Cet auteur montre que l'érosion du sol peut conduire à l'installation d'espèces comme *A. serratuloides*. La trajectoire dominante, avec ensablement, mène vers les UP à *L. spartum*, considérée comme espèce psammophile dans le Sud-Oranais ainsi que vers d'autres

steppes dans lesquelles le cortège d'espèces rudérales indique également l'action du défrichement et de la mise en culture.

La dynamique spatiale montre que les steppes actuelles (*A. serratuloides*, *S. vermiculata*, *T. microphylla*, etc.) issues de la dégradation des steppes préexistantes tendent à devenir dominantes, même au détriment des steppes à *L. spartum*. Les taches liées à l'ameublissement du sol et aux pratiques agricoles changent d'une période à l'autre. Il s'agit d'une tendance générale dans les steppes du Maghreb (Hirche *et al.*, 2011). L'extension des cultures est soulignée par Hanafi & Jauffret (2007) en Tunisie, atteignant 48 % de la superficie totale. Au Maroc, Benbrahim *et al.* (2004) estiment que chaque année 20 000 ha sont défrichés et cultivés. Dans la zone d'étude, ces pratiques, tout en restant localisées, participent à la fragmentation du paysage et au façonnement de la structure paysagère à notre échelle de représentation. Les paysages ainsi engendrés par les usages inappropriés, pastoraux ou agricoles, peuvent être considérés comme des anthropopaysages (*Man-dominated landscapes*), au sens de Burgess & Sharpe (1981), Mooney & Godron (1983), Forman & Gordon (1986).

La dégradation s'est accompagnée de la diminution du nombre de taches au sein des unités paysagères actuellement dominantes (UP à *L. spartum* et celle à *A. serratuloides*). La dégradation tend vers l'homogénéisation du paysage steppique (Hirche *et al.*, 2011). Cette homogénéisation semble contradictoire avec la fragmentation du paysage par augmentation de la diversité des paysages (l'indice de diversité de Shannon) et du nombre d'unités paysagères. Ceci s'expliquerait par le remplacement des unités préexistantes plus diversifiées par des unités qui le sont moins, mais plus nombreuses. Il apparaît que c'est la fragmentation du paysage qui ressort le plus clairement avec la mise en place des nouvelles UP.

L'approche diachronique nous apprend que la perte de 94 % de la surface observée dans l'UP à *S. tenacissima* constitue le changement le plus remarquable. Cette steppe, comme annoncé par Aidoud & Touffet (1996), serait en voie d'extinction sur les Hautes-Plaines. La régression de l'UP à *S. tenacissima* est attestée par la diminution du nombre de taches (NPI) et de son indice de dominance (LPI). *S. tenacissima* a été longtemps le symbole des steppes du Maghreb. Elle est considérée comme une espèce «clef de voûte» au sens d'Aronson *et al.* (1995) par son rôle dans la protection du sol, l'interception des sédiments et de l'eau et comme abri pour l'établissement de certaines espèces (Djebaili, 1978 ; Nedjraoui & Touffet, 1994 ; Puigdefàbregas & Sánchez, 1996 ; Cerdà, 1997). Malgré de telles capacités adaptatives, l'Alfa n'aurait pas supporté les conditions d'usage et de sécheresse ayant marqué la période 1978-2006. Ces perturbations ont causé la dégradation irréversible de la végétation et du sol (Aidoud *et al.*, 1999 ; Slimani *et al.*, 2010 ; Hirche *et al.*, 2011). Les steppes d'Alfa de l'Oriental marocain voisin n'ont pas échappé à cette dégradation (Mahyou *et al.*, 2010).

L'UP à *A. herba-alba* a disparu entre 1978 et 2006. Avec 5 % d'occupation, cette UP n'était certes pas représentative de l'étendue des steppes à *A. herba-alba* préexistantes dans le Sud-Oranais. Des résultats récents (Lahmar-Zemiti & Aidoud, 2016) montrent qu'une forte dégradation de *A. herba-alba* et son remplacement par *A. serratuloides*, a marqué également les steppes plus au Nord où l'Armoise était mieux représentée. *N. mucronata* est décrite comme une espèce de dégradation des steppes à *A. herba-alba* (Aidoud-Lounis, 1997 ; Aidoud *et al.*, 2006). Au plan phytosociologique, l'UP à *N. mucronata* apparue en 2006 ne semble pas succéder directement à une steppe d'Armoise dans la région d'étude. Celle-ci, étant depuis les années 1970 connue pour être soumise à l'ensablement plus que dans les faciès d'Armoise les plus étendus, il est possible que ce soit un faciès de dégradation ayant été envahi par *L. spartum* dès cette époque suite à une dégradation d'Armoise. *N. mucronata* est signalée comme peu appétible (Le Houérou, 1980), mais les jeunes pousses sont bien appréciées par les ovins à condition que la plante soit continuellement broutée. Ceci peut expliquer la disparition de cette UP après 2006.

Les steppes à *L. spartum* occupaient en 1978 une surface analogue à celle des steppes à *S. tenacissima*. La surface de l'UP à *L. spartum* a augmenté entre 1978 et 2006, bien que la tendance

générale fût à la dégradation. Cette surface est restée importante en 2014 malgré une légère baisse après 2006. Cette évolution peut conduire à la conclusion que *L. spartum* est une espèce plus résistante que *S. tenacissima* au surpâturage. En fait, la dynamique spatiale montre que l'UP à *L. spartum* a disparu de son emplacement d'origine dans 4/5 des cas au cours de la période considérée. L'espèce a conquis de nouveaux territoires essentiellement au détriment de *S. tenacissima* et dans une moindre mesure d'*A. herba-alba*. *L. spartum* est connue pour sa grande plasticité écologique (Aidoud-Lounis, 1984). Les travaux de surveillance à long terme (Aidoud, 1989 ; Aidoud *et al.*, 2008, 2011) ont montré des différences fonctionnelles entre *L. spartum* et *S. tenacissima*. En conditions normales, les limbes verts du *L. spartum* peuvent persister 1 à 2 ans et ceux de *S. tenacissima* 2 à 3 ans. Durant les sécheresses pluriannuelles ces limbes persistent chez *S. tenacissima* alors que chez le Sparte, ils se dessèchent et disparaissent entièrement après deux années sèches. Après le retour des pluies, la régénération du Sparte est spectaculaire et se fait à partir des rhizomes et par germination. En revanche, la germination de graines d'Alfa est un événement extrêmement rare, même si la floraison a lieu assez régulièrement (Aidoud *et al.*, 2011). L'entrée en dormance imposée à *L. spartum*, connue comme une pérenne, lui confère durant les longues sécheresses pluriannuelles le caractère de *pérenne-éphéméroïde* au sens de Noy-Meir (1973). Contrairement à l'Alfa, le Sparte a ainsi la possibilité d'éviter les longues périodes de sécheresse et le surpâturage accru durant ces périodes. Malgré ces caractéristiques, les unités à *L. spartum* demeurent relativement soumises aux phénomènes de dégradation, ce qui est attesté par leurs surfaces préexistantes largement remaniées.

Le facteur principal de changement est ici essentiellement le surpâturage qui est apparu en raison de la surcharge animale des parcours pastoraux de la région mais également qui s'est accentué durant les périodes particulièrement sèches au cours de la période d'étude. Parallèlement à cette sécheresse, l'exploitation des parcours a connu un changement important dans les pratiques d'élevage (Bedrani, 1994). L'extension d'*A. serratuloides* espèce adaptée aux steppes rocailleuses désertiques (Floret & Pontanier, 1982), qui n'est broutée qu'occasionnellement par les ovins lors des périodes de disettes (Le Houérou, 1980, 1995), atteste du changement de la flore au profit des espèces peu broutées (Médail & Quézel, 1997 ; Kadi-Hanifi, 2003 ; Ronel *et al.*, 2009 ; Moulay *et al.*, 2011). Les changements observés durant la période d'étude confirment que, dans ces régions, le « reverdissement » n'est que passager à la faveur d'années pluvieuses. Ils témoignent du phénomène de désertification qui semble persister voire même prendre de l'ampleur dans cette région.

CONCLUSION

Cette étude a eu pour objectif d'évaluer les changements du paysage dans la zone steppique de Méchéria pendant 36 années en utilisant trois cartes de l'occupation des terres (1978, 2006 et 2014). L'analyse paysagère a montré une fragmentation des écosystèmes steppiques par l'augmentation du nombre d'unités paysagères et de la biodiversité paysagère. Elle a mis en évidence la réduction importante de la steppe de *S. tenacissima* qui se présente actuellement sous forme d'îlots pouvant ainsi constituer des points focaux dans le choix des sites de restauration et de préservation des écosystèmes steppiques et de leur biodiversité. L'analyse a montré d'une part la relative persistance des steppes à *L. spartum* par leur extension au détriment des steppes à *S. tenacissima* et d'autre part l'extension des steppes issues de la dégradation de *S. tenacissima*. La généralisation des formations à *A. serratuloides* témoigne de l'importance et de la persistance de la dégradation dans ces parcours dans le Sud-Oranais. L'analyse paysagère adoptée par le présent travail a montré son intérêt en tant que complément des autres approches pour l'étude et la compréhension de la dynamique de ces paysages. Beaucoup reste à faire, cependant, dans le choix des indices, de la nature des données et surtout dans l'identification des entités et indicateurs naturels, qui permettraient une meilleure compréhension et une évaluation des déterminants de la

dégradation steppique et qui peuvent accompagner d'une manière plus efficace le choix des décideurs.

REMERCIEMENTS

Nous adressons nos sincères remerciements aux relecteurs anonymes pour leurs remarques pertinentes et leur contribution à l'amélioration de la rédaction et la présentation de cet article. Nos plus vifs remerciements s'adressent à Mr S. Salamani, Mme S. Khoudir, à Mr K. Yahyaoui de la station de Méchéria, Mme Z. Khedache, Mr A. Addar, pour leur contribution à la réalisation de ce travail.

RÉFÉRENCES

- ACHOUR, H., AIDOU, A., AIDOU, F., BOUZENOUNE, A., DAHMANI, M., DJEBAILI, S., DJELLOULI, Y., KADIK, L., KHELIFI, H., MADIOUNI, K., NEDJRAOUI, D., CELLES, J.-C., POISSONNET, J. & TOUFFET, J. (1983).— Notice de la carte de l'occupation des terres et de la carte pastorale de l'Algérie. Feuilles: El-Aricha, El-Kreider, El-Bayadh, Djebel-Arar, Mécheria, Brézina, Beni-Ounif, Ain-Sefra au 1/200 000. *Biocénoses*, Univ. Sci. Tech. H. Boumédienne, Alger, 2: 1-132 + cartes.
- AIDOU, A. (1989).— *Les écosystèmes steppiques et pâturés d'Algérie : fonctionnement, évaluation et dynamique des ressources végétales*. Thèse Doct. État, Univ. Sci. Tech. H. Boumédienne, Alger.
- AIDOU, A. (1998).— *Fonctionnement des écosystèmes méditerranéens*. Les universités d'été thématiques (CNES et MENRT), l'espace au service de l'environnement méditerranéen, Tunis. <http://www2.actoulouse.fr/mesoe/pdf/conf03.pdf>.
- AIDOU, A., LE FLOC'H, É. & LE HOUÉROU, H.N. (2006).— Les steppes arides du nord de l'Afrique. Science et changements planétaires. *Sécheresse*, 17: 19-30.
- AIDOU, A., SLIMANI, H., AIDOU-LOUNIS, F. & TOUFFET, J. (1999).— Changements édaphiques le long d'un gradient d'intensité de pâturage dans une steppe d'Algérie. *Ecol. Mediter.*, 25: 163-171.
- AIDOU, A., SLIMANI, H. & ROZÉ, F. (2011).— La surveillance à long terme des écosystèmes arides méditerranéens: quels enseignements pour la restauration? Cas d'une steppe d'Alfa (*Stipa tenacissima* L.) en Algérie. *Ecol. Mediter.*, 37: 17-32.
- AIDOU, A., SOKONA, Y. & JAUFFRET, S. (2008).— La surveillance à long terme en réseau circum-saharien: l'expérience ROSELT. *Collection Synthèse (Observatoire du Sahara et du Sahel)*, 3: 1-100.
- AIDOU, A. & TOUFFET, J. (1996).— La régression de l'Alfa (*Stipa tenacissima* L.), graminée pérenne, un indicateur de désertification des steppes algériennes. *Sécheresse (Science et changements planétaires)*, 7: 187-193.
- AIDOU-LOUNIS, F. (1984).— *Contribution à la connaissance des groupements à Sparte (Lygeum spartum L.) des Hauts Plateaux Sud-Oranais ; étude phytoécologique et syntaxonomique*. Thèse 3^e Cycle, Univ. Sci. Tech. H. Boumédienne, Alger.
- AIDOU-LOUNIS, F. (1997).— *Le complexe Alfa-Armoise-Sparte (Stipa tenacissima L., Artemisia herba-alba Asso et Lygeum spartum L.) des steppes arides d'Algérie: structure et dynamique des communautés végétales*. Thèse Doctorat d'État, Aix-Marseille III.
- ARONSON, J., FLORET, C., LEFLOC'H, É., OVALLE, C. & PONTANIER, R. (1995).— Restauration et réhabilitation des écosystèmes dégradés en zones arides et semi-arides. Le vocabulaire et les concepts. Pp 11-30 in: R. Pontanier, A. M'Hiri, J. Aronson, N. Akrimi & E. Le Floch (eds). *L'homme peut-il refaire ce qu'il a défait ?* Colloques et congrès, Sciences et changements planétaires, Sécheresse. John Libbey Eurotext, Paris.
- ARONSON, J., FLORET, C., LEFLOC'H, É., OVALLE, C. & PONTANIER, R. (1995).— Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-arid lands. I. A view from the South. *Restor. Ecol.*, 1: 8-17.
- BEDRANI S. (1994).— La place des zones steppiques dans la politique agricole algérienne. *Paralelo*, 16: 43-52.
- BENBRAHIM, K.F., ISMAILI, M., BENBRAHIM, S.F. & TRIBAK, A. (2004).— Problèmes de dégradation de l'environnement par la désertification et la déforestation : Impact du phénomène au Maroc. *Sécheresse*, 15: 307-320.
- BENFRID, M. & FERRAH, A. (1988).— Les productions animales en Algérie : faible élasticité des productions classiques et émergence de l'aviculture industrielle. *Rev. Centre Rech. Econom. Appl. Dév.*, Alger, 14: 71-102.
- BERNUS, E., MARCHAL, J.Y. & PONCET, Y. (1993).— Le Sahel oublié. *Revue Tiers Monde*, 134: 305-326.
- BUREL, F. & BAUDRY, J. (2003).— *Écologie du paysage. Concepts, méthodes et applications*. Tec & Doc, Paris, France.
- BURGESS, R.L. & SHARPE, D.M. (1981).— *Forest island dynamics in man-dominated landscapes*. Springer, Berlin & New York.
- CERDÀ, A. (1997).— The effect of patchy distribution of *Stipa tenacissima* L. on runoff and erosion. *J. Arid Envir.*, 36: 37-51.

- CLEMENTS, F.E. (1916).— *Plant succession: an analysis of development of vegetation*. Carnegie Institution, Washington.
- DAGET, P. & POISSONET, J. (1971).— Une méthode d'analyse phytologique des prairies. Critères d'application. *Ann. Agron.*, 22: 5-41.
- DELWAULLE, J.C. (1973).— Désertification de l'Afrique au sud du Sahara. *Bois et Forêts des Tropiques*, 149: 3-20.
- DEFFONTAINES, J.P. (1973).— Analyse du paysage et étude régionale des systèmes de production agricole. *Économie rurale*, 98: 3-13.
- DJEBAILI, S. (1978).— *Recherches phytoécologiques et phytosociologiques sur la végétation des Hautes plaines steppiques et de l'Atlas saharien algérien*. Thèse Doct., Univ. Sci. Tech. Languedoc, Montpellier.
- DUMAS, E., GENIAUX, G. & NAPOLEONE, C. (2005).— Les indices d'écologie du paysage à l'épreuve du marché foncier. *Rev. Écon. Rég. & Urb.*, 1: 83-108.
- EKLUNDH, L. & OLSSON, L. (2003).— Vegetation index trends for the African Sahel 1982–1999. *Geophys. Res. Lett.*, 30: 1430-14304.
- FINLAYSON, C.M. & MITCHELL, D.S. (1999).— Australian wetlands: the monitoring challenge. *Wetl. Ecol. Manage.*, 7: 105-112.
- FLORET, C. & PONTANIER, R. (1982).— *L'aridité en Tunisie présaharienne: climat, sol, végétation et aménagement*. Thèse Doct., Univ. Sci. Tech. Languedoc, Montpellier.
- FORMAN, R. (1995).— Some general principles of landscape and regional ecology. *Landscape Ecol.*, 10: 133-142.
- FORMAN, R. & GODRON, M. (1986).— *Landscape ecology*. Wiley, New York.
- FOURNEAU, F., LUGINBUHL, Y. & BERNARD, R. (1991).— *Évolution des paysages et aménagement du territoire en Andalousie Occidentale*. Ed. Casa de Velázquez, Madrid.
- GODRON, M. (1965).— Application de la théorie de l'information et de l'étude de l'homogénéité et de la structure de la végétation. *Oecol. Plant.*, 1: 187-197.
- GUINOCHE, M. (1973).— *La Phytosociologie*. Masson, Paris.
- HANAFI, A. & JAUFFRET, S. (2007).— Are long-term vegetation dynamics useful in monitoring and assessing desertification processes in the arid steppe, southern Tunisia. *J. Arid Environ.*, 72: 557-572.
- HELLDÉN, U. (1984).— *Drought impact monitoring: A remote sensing study of desertification in Kordofan, Sudan*. Rapportet och Notiser-Lunds Universitets Naturgeografiska Institution, Sweden.
- HELLDÉN, U. (1991).— Desertification. Time for an assessment ? *Ambio*, 20: 372-383.
- HELLDÉN, U. & TOTTRUP, C. (2008).— Regional desertification: A global synthesis. *Glob. Planet. Change*, 64: 169-176.
- HERRMANN, S.M. & TAPPAN, G.G. (2013).— Vegetation impoverishment despite greening: A case study from central Senegal. *J. Arid Environ.*, 90: 55-66.
- HIRCHE, A., BOUGHANI, A. & SALAMANI, M. (2007).— Évolution de la pluviosité annuelle dans quelques stations arides algériennes. *Sécheresse (Science et changements planétaires)*, 18: 314-320.
- HIRCHE, A., SALAMANI, M., ABDELLAOUI, A., BENHOUBOU, S. & VALDERRAMA, V. (2011).— Landscape changes of desertification in arid areas: the case of south-west Algeria. *Environ. Monit. Assess.*, 179: 403-420.
- IONESCO, T. & SAUVAGE, C. (1962).— Les types de végétation au Maroc, essai de nomenclature et de définition. *Rev. Geogr., Maroc*, 1: 75-86.
- JOHNSON, E.A. & MIYANISHI, K. (2008).— Testing the assumptions of chronosequences in succession. *Ecol. Lett.*, 11: 419-431.
- KADI-HANIFI, H. (1998).— *L'Alfa en Algérie. Syntaxonomie. Relation milieu-végétation. Dynamique et perspectives d'avenir*. Thèse Doct. État, Univ. Sci. Tech. H. Boumédiène, Alger.
- KADI-HANIFI, H. (2003).— Diversité biologique et phytogéographique des formations à *Stipa tenacissima* L. de l'Algérie. *Sécheresse (Science et changements planétaires)*, 14: 169-179.
- KINDLMANN, P. & BUREL, F. (2008).— Connectivity measures: a review. *Landscape Ecol.*, 23: 879-890.
- LAHMAR-ZEMITI, B. & AIDOU, A. (2016).— Suivi à long-terme dans la steppe d'Armoise blanche (*Artemisia herba-alba* asso.) du Sud-Oranais (Algérie): facteurs et indicateurs de changements. *Rev. Ecol. (Terre et Vie)*, 71: 168-177.
- LE HOUÉROU, H.N. (1969).— La végétation de la Tunisie steppique (avec références au Maroc, à l'Algérie et à la Libye). *Ann. Inst. Nat. Rech. Agron. Tunisie*, 42: 1-624.
- LE HOUÉROU, H.N. (1980).— Fourrages ligneux en Afrique du nord. Pp 57-84 In: *Les fourrages ligneux en Afrique. État actuel des connaissances*. Actes du colloque sur les fourrages ligneux en Afrique. Centre International pour l'Élevage en Afrique, Addis Abeba Ethiopie.
- LE HOUÉROU, H.N. (1995).— *Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique; diversité biologique, développement durable et désertisation*. Options méditerranéennes, B (10), Montpellier, France.
- LE HOUÉROU, H. N. (2001).— Biogeography of the arid steppeland north of the Sahara. *J. Arid Environ.*, 48: 103-128.
- LEITÃO, A.B., MILLER, J., AHERN, J. & MCGARIGAL, K. (2012).— *Measuring landscapes: A planner's handbook*. Island press, Washington.

- LOIREAU, M. & D'HERBES, J.M. (1996).— *Cartographie des unités d'occupation des terres du super site central est (Banizoumbou) du programme Hapex-Sahel*. Journées hydrologiques. Orstom, Niamey, Niger.
- LONG, G. (1974).— *Diagnostic phytécologique et aménagement du territoire. Principes généraux et méthodes*. Masson & Cie, Paris.
- MAHYOU, H., TYCHON, B., BALAGHI, R., MIMOUNI, J. & PAUL, R. (2010).— Désertification des parcours arides au Maroc. *Tropicultura*, 28: 107-114.
- MAINGUET, M. (1990).— La désertification : une crise autant socio-économique que climatique. *Sécheresse (Science et changements planétaires)*, 1: 187-195.
- MCGARIGAL, K., CUSHMAN, S.A., NEEL, M.C. & ENE, E. (2002).— *FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for categorical maps*. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. Available at the following web site: The gradient concept of landscape structure. <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.
- MÉDAIL, F., & QUÉZEL, P. (1997).— Hot-spots analysis for conservation of plant biodiversity in the Mediterranean Basin. *Ann. Missouri Bot. Garden*, 1 (84): 112-127.
- MOONEY, H. & GODRON, M. (1983).— *Disturbance and ecosystems. Components of response*. Ecological studies, 44, Springer-Verlag, Berlin.
- MOULAY, A., BENABDELI, K. & MORSLI, A. (2011).— Contribution à l'identification des principaux facteurs de dégradation des steppes à *Stipa tenacissima* du sud-ouest Algérien. *Mediterránea. Serie de Estudios Biológicos*, 22: 149-188.
- NEDJRAOUI, D. & BEDRANI, S. (2008).— La désertification dans les steppes algériennes: causes, impacts et actions de lutte. *Revue électronique en sciences de l'environnement, VertigO*, 8: 7-15.
- NEDJRAOUI, D. & TOUFFET, J. (1994).— Influence des conditions stationnelles sur la production de l'Alfa (*Stipa tenacissima* L.). *Ecol. Mediter.*, 20: 67-75.
- NOY-MEIR, I. (1973).— Desert ecosystems: environment and producers. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 4: 25-51.
- PHIPPS, M., BAUDRY J. & BUREL, F. (1986).— Ordre topo-écologique dans un paysage rural : les niches paysagiques. *CR Acad. Sci., Série 3 (Sciences de la Vie)*, 302: 691-696.
- PUIGDEFÁBREGAS, J. & SÁNCHEZ, G. (1996).— Geomorphological implications of vegetation patchiness on semi-arid slopes. *Adv. Hillslope Proc.*, 2: 1027-1060.
- RASMUSSEN, K., FOGA, B., & MADSEN, J.E. (2001).— Desertification in reverse? Observations from northern Burkina Faso. *Glob. Environ. Change*, 11: 271-282.
- ROCHE, A. (2007).— *Les unités et structures paysagères dans les Atlas de paysages*. Paris, D.N.P., Rapport. http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/DGALN_Atlas_unites_structures_paysageres_A_Roche-2007.
- RONEL, M., KHATEEB, S. & LEV-YADUN, S. (2009).— Protective spiny modules in thistles of the Asteraceae in Israel 1. *J. Torrey Bot. Soc.*, 136: 46-56.
- SCHAEPFER, R. (2002).— *Analyse de la dynamique du paysage*. Fiche d'enseignement 4 (2). Laboratoire de gestion des Écosystèmes, École Polytechnique. Lausanne, Suisse.
- SLIMANI, H., AIDOU, A. & ROZÉ, F. (2010).— 30 years of protection and monitoring of a steppic rangeland undergoing desertification. *J. Arid Environ.*, 74: 685-691.