

QUARANTE ANS DE SUIVI DANS LA STEPPE DU SUD-ORANAIS (ALGÉRIE) : CHANGEMENTS DE DIVERSITÉ ET DE COMPOSITION FLORISTIQUES.

Halima SLIMANI¹ & Ahmed AIDOU^{2*}

¹Laboratoire d'Écologie Végétale et Environnement, Faculté de Biologie, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene. Alger, Algérie. E-mail: slimani_h@yahoo.fr

²CRSTRA (Centre de recherche scientifique et technique sur les régions arides Biskra, Algérie).

* Pour la correspondance. E-mail : ahmed.aidoud@gmail.com

SUMMARY.— *Forty years monitoring in an Algeria alfa steppe in southern Oran Region (Algeria): plant diversity and composition changes.*— The loss of plant diversity as a degradation feature in arid steppic rangelands is one of the crucial concerns in the southern Mediterranean countries. These rangelands are facing two interacting driving forces: the arid climate with recurring and more or less lasting droughts on the one hand, and overgrazing on the other. Long-term monitoring of change in diversity and composition of plant communities is considered to be the best way to understand the history and mechanisms of ecosystem degradation and desertification. Starting from a pre-existing community in which alfa (*Stipa tenacissima* L.) was the dominant and the keystone species regarding ecosystem structure and functioning, forty years monitoring allowed analysing changes in floristic richness, diversity and community composition prior attaining its current state of degraded and impoverished steppe.

RÉSUMÉ.— La perte de diversité végétale, en tant que révélateur de la dégradation des parcours arides steppiques, est l'une des grandes préoccupations pour les pays du sud de la Méditerranée. Ces steppes sont confrontées à deux forces motrices majeures inter-agissantes : le climat aride avec des sécheresses récurrentes de durée et d'intensité variables d'une part et le surpâturage de l'autre. La surveillance à long terme des changements dans la diversité floristique et la composition des communautés végétales est considérée comme le meilleur moyen de comprendre l'histoire et les mécanismes de la dégradation des écosystèmes et de la désertification. Partant de la communauté préexistante, dans laquelle l'Alfa (*Stipa tenacissima*) était la dominante et la clé de voûte de l'écosystème quant à sa structure et son fonctionnement, une surveillance de quarante ans a permis d'analyser les changements de richesse floristique, de diversité et de composition de la communauté avant qu'elle n'atteigne son état actuel de steppe dégradée et appauvrie.

Il y a plus d'un siècle, la steppe physionomiquement dominée par l'Alfa (*Stipa tenacissima*¹), une poacée pérenne, constituait des « nappes » immenses alors qualifiées de « mer d'alfa » (Cosson, 1853 ; Trabut, 1889). Cette steppe couvrait, en étendue, près de 70 % des Hautes Plaines d'Algérie (Mac Carthy, 1875-1876). Peu à peu, à la suite des travaux d'écologues, de pastoralistes, il est devenu évident qu'il fallait évoquer non pas la steppe mais bien les steppes d'alfa. Durant les quatre dernières décennies, les steppes d'alfa et en particulier celle des Hautes Plaines occidentales en Algérie, ont connu une importante dégradation concernant de nombreux attributs vitaux comme les propriétés du sol (Aidoud *et al.*, 1999 ; Slimani & Aidoud, 2004) et la biomasse des espèces pérennes, en tant qu'indicateurs de désertification (Milton *et al.*, 1994 ; Aidoud & Touffet, 1996). Les changements ont été observés à Rogassa, dans les Hautes-Plaines du Sud-Oranais. Ce site a, dès 1975, été doté d'un dispositif de surveillance du fonctionnement et de la dynamique à long terme dans l'une des steppes d'alfa de glaciés les mieux conservées. Par ailleurs, à une échelle spatiale plus large, la dégradation a été évaluée en s'aidant de l'imagerie satellitaire dans une approche diachronique (Hirche *et al.*, 2015 ; Hourizi *et al.*, 2017).

¹ La nomenclature taxinomique utilisée dans le texte est celle de la Flore de Quézel & Santa (1962-63). Une liste d'espèces du site de Rogassa est donnée en annexe avec la synonymie actualisée.

En ce qui concerne les steppes des glacis du Sud-Oranais la steppe d'alfa est considérée comme la communauté « historique indigène » (au sens d'Aronson *et al.*, 1993) dont sont issus tous les groupements steppiques qui se sont succédés sur ces glacis. Même si dans certaines conditions, des auteurs, à la suite de Maire (1926), ont reconnu à la steppe d'alfa dite "pure", un statut syntaxinomique, celui-ci est demeuré en débat (Monjauze, 1947 ; Le Houérou, 1969 ; Aidoud-Lounis, 1984, 1997).

La physionomie de la végétation de cette région, durant les années 1970, était marquée à plus de 90 % par trois espèces dominantes : l'Alfa, l'Armoise blanche (*Artemisia herba-alba*) et le Sparte (*Lygeum spartum*). Les divers modes de combinaisons constituaient le « complexe sparte-armoise-alfa » (CSAA) analysé par Aidoud-Lounis (1984, 1990). Les patrons de distribution des communautés préexistantes au sein de ce complexe, englobant le site de Rogassa, ont permis à cette auteure d'établir des modèles prédictifs dynamiques des changements écologiques et de végétation des steppes d'alfa pur sur glacis.

Les changements observés, que d'aucuns qualifient de dégradation, voire de désertification (Dregne, 1992 ; Kassas, 1994), représentent un risque majeur pour les écosystèmes arides. Les précipitations étant le facteur prépondérant du fonctionnement (Noy-Meir, 1973 ; Rutherford, 1980), l'évaluation de cette dégradation est d'autant plus difficile que ces précipitations sont très variables quant à leur cumul annuel et leur distribution dans l'année.

Très peu de travaux sur la dynamique ont été basés sur un suivi à long-terme des changements écologiques et de végétation et par ailleurs, la plupart des études menées sur ces changements portent sur des parcours déjà dégradés initialement (Meissner & Facelli, 1999 ; Valone & Sauter, 2005 ; Holechek *et al.*, 2006a, b ; Mekuria *et al.*, 2006 ; Yayneshet *et al.*, 2009). Peu d'auteurs se sont intéressés au suivi à long terme de la dynamique de communautés partant initialement d'une végétation en bon état.

La steppe du site de Rogassa a été étudiée des points de vue : i) fonctionnel considérant les fluctuations saisonnières et interannuelles de la phénologie et de la production (Aidoud, 1983, 1989), le comportement physiologique de l'Alfa (Nedjraoui & Touffet, 1994) et de la banque de graines dans le sol (Hanifi & Touffet, 1989) ; ii) de la dynamique à plus long-terme (Aidoud & Touffet, 1996 ; Aidoud-Lounis, 1997 ; Slimani, 1998 ; Slimani *et al.*, 2010). Cependant, hormis un diagnostic des changements de végétation sur une courte durée (Aidoud, 1993 ; Slimani, 1998), l'ensemble les travaux ont essentiellement concerné les changements de valeurs de certains paramètres du milieu (climat, sol) en rapport avec les changements de la biomasse et de la production primaire (Aidoud & Touffet, 1996 ; Slimani *et al.*, 2010).

En vue d'une meilleure compréhension de la dynamique des steppes d'alfa, le présent travail a pour objectif d'analyser les changements de la composition et de la diversité floristique des communautés végétales qui se sont succédées suite à la dégradation du système préexistant dans le site de Rogassa en considérant sept années repères entre 1976 et 2016.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Le dispositif de surveillance à long terme du fonctionnement et de la dynamique des écosystèmes a été installé en 1975. Le site de Rogassa situé à 33°56' 06" N et 00°51' 29" E (Fig. 1), a été retenu en raison de son homogénéité physionomique et écologique. Il est situé à 1095 m d'altitude à une trentaine de km au nord de la ville d'El Bayadh qui abrite la station météorologique de référence (données de l'Office National de Météorologie). Le climat est aride avec une pluviométrie annuelle moyenne de 270 mm pour la période 1975-2016. La température moyenne annuelle est de 15,4°C avec des moyennes des maxima de 36,7°C en août et des minima de -0,9°C en janvier.

L'ensemble de la steppe d'alfa du plateau de Rogassa, d'environ 30 000 ha, était selon la cartographie qui en a été faite (CRBT, 1978) et l'analyse des communautés végétales réalisée dans la région (Aidoud-Lounis, 1984), intégré aux groupements d'alfa pur.

Le suivi des changements de la végétation et du milieu a porté sur sept années repères : 1976 (système préexistant), 1993, 2000, 2006, 2010, 2013 et 2016.

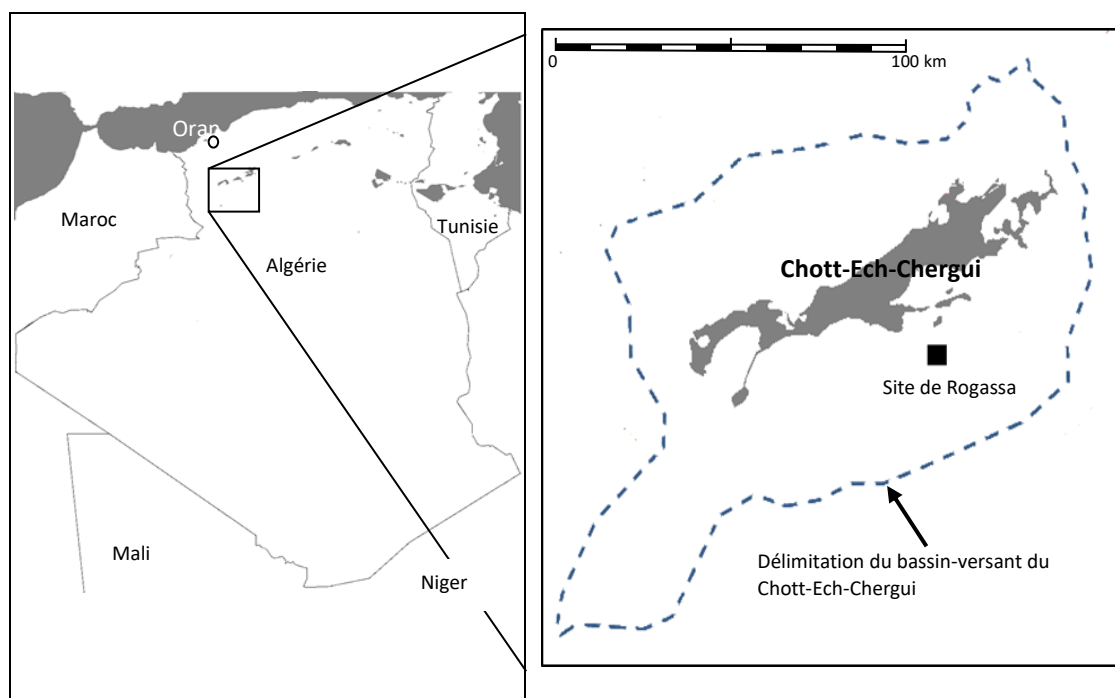


Figure 1.— Localisation du site de surveillance de Rogassa dans le bassin versant du Chott-Ech-Chergui (Sud-Oranais, Algérie).

Le dispositif expérimental choisi comporte une steppe de 12 ha, soustraite au pâturage de 1976 à 2010, et d'un espace en libre pâture d'environ 30 000 ha. Les changements de la végétation et du milieu ont été évalués le long d'un transect de 4300 m, partant de la parcelle mise en défens (linéaire de 300 m) et se poursuivant dans un terrain librement pâturé. De 1976 à 2016, 168 relevés ont été réalisés.

L'analyse du couvert au sol de la végétation et des éléments de surface du sol (éléments grossiers, sable, litière et pellicule de glaçage) a été réalisée sur la base de relevés en lecture linéaire (Daget & Poissonnet, 1971). À chaque relevé sur une ligne de 10 m, comportant 100 points de lecture espacés de 10 cm, ont été notées les espèces végétales présentes ou les éléments abiotiques de surface. Les fréquences relatives, rapportées aux 100 points lus, sont assimilées à des couverts exprimés en pourcentages (Godron, 1968) pour les différents éléments relevés, plante ou autre élément de surface. Dans une station dont l'hétérogénéité a été estimée comme étant faible, nous avons considéré que les espèces les plus fréquentes sont celles relevées sous la ligne. La liste des espèces a été complétée par des observations effectuées, de part et d'autre de cette ligne, dans la surface de 32 m² considérée comme étant l'aire minimale floristique dans ce type de steppe (Aidoud-Lounis, 1984).

La diversité spécifique est mesurée par l'équitabilité (E) des S espèces présentes. Elle mesure le degré de régularité dans l'abondance relative des effectifs des diverses espèces que renferme une communauté (Triplet, 2015) :

$$E = H / \log_2 S$$

H (indice de diversité de Shannon) : $H = - \sum P_i \log_2 P_i$. P_i est la probabilité de présence d'une espèce i estimée par sa contribution spécifique au tapis végétal, calculée comme le rapport de la fréquence absolue n_i de l'espèce i à la somme des fréquences des S espèces

$$P_i = n_i / \sum n_i$$

La qualité fourragère d'une espèce i est évaluée par l'indice de qualité Is_i qui dépend de son appétibilité. Cet indice varie de 1 (espèce non appréciée) à 5 (espèce très appréciée).

Nous avons considéré les espèces dans chacun des divers types biologiques au sens de Raunkiaer. Ces types biologiques rendent compte des réponses des espèces aux conditions climatiques. Les espèces rencontrées se répartissent dans les quatre types biologiques suivants : chaméphytes, géophytes, hémicryptophytes et thérophytes.

La matrice de données (168 relevés x 125 espèces ou taxons) a été analysée à l'aide de NMDS (non-metric multidimensional scaling) du package Vegan (R version 3.2.3; <http://r-forge.r-project.org/projects/vegan>; Oksanen, 2013). Cette technique est considérée parmi les plus efficaces pour les données ne suivant pas une distribution définie. NMDS utilise le positionnement multi-dimensionnel et permet une ordination à partir d'une matrice de dissimilarité entre les objets analysés. Le niveau de dissimilarité utilise la statistique de rangs par ordre de distance (ici celle de Bray-Curtis/Sorensen) et

la fonction *metaMDS*. La valeur « stress » mesure l'écart entre les distances dans l'espace pluridimensionnel d'origine et celles dans l'espace réduit obtenu. Une valeur stress élevée (> 0,35) indique la possibilité d'une disposition aléatoire des objets sans relation avec leurs positions d'origine (Clarke, 1993). La fonction *envfit* permet, comme aide à l'interprétation, d'intégrer dans l'ordination les variables dites « environnementales » avec un calcul de la corrélation de chacune de ces variables avec les axes. Chaque variable est représentée par une flèche indiquant la direction du changement le plus rapide de cette variable. Dans cette analyse, les paramètres utilisés sont : le recouvrement global de la végétation, le couvert des espèces pérennes, la richesse floristique, l'équitabilité, les éléments de surface sol, la pluviométrie, les types biologiques et l'indice de qualité fourragère des espèces végétales.

Les données prises en considération sont celles des relevés réalisés entre 1993 et 2016. Les relevés de 1976 portent sur tout le plateau de Rogassa (Aidoud-Lounis, 1984). Les espèces de fréquence 1, par rapport à l'ensemble de la matrice, n'ont pas été retenues.

La fonction *aov* de R a permis le calcul de l'analyse de variance pour chacune des variables environnementales pour tester leur variation tout au long des années de référence.

Parmi les variables environnementales utilisées comme aide à l'interprétation, la pluviométrie annuelle pour l'ensemble de la période 1976-2016 (Fig. 2) permet de situer les années de référence par rapport aux séries d'années successivement sèches ou humides.

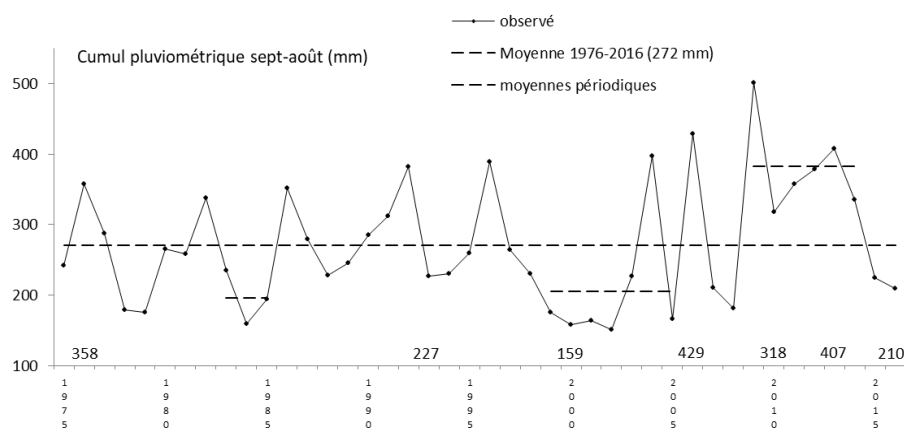


Figure 2.— Variation de la pluviométrie annuelle enregistrée dans la station d'El Bayadh. Les données sont de l'Office national de météorologie (ONM). Les années repères sont indiquées par leur pluviométrie au-dessus de l'axe des abscisses.

RÉSULTATS

L'analyse par NMDS (stress = 0,17) a permis l'ordination des relevés (Fig. 3) dont les figurés indiquent l'année d'échantillonnage et l'ordination des espèces (Fig. 4) sur le plan des axes 1 et 2. La répartition des relevés sur l'axe 1 (Fig. 3), ne suit pas exactement l'ordre chronologique. Trois ensembles de relevés peuvent y être grossièrement délimités par les coordonnées -0,5 et +0,5 :

- À l'extrémité négative, tous les relevés de 1976 et plusieurs de 1993 correspondent à la végétation préexistante à base d'Alfa (*S. tenacissima*) dont le couvert moyen était respectivement de 46 % (1976) et 26 % (1993). L'Alfa est accompagné d'espèces (Fig. 4) comme *Atractylis phaeolepis*, *Brachypodium distachyum*, *Bromus squarrosus*, *Crepis vesicaria*, *Dactylis glomerata*, *Scabiosa stellata*, *Sedum sediforme*, *Xeranthemum inapertum* et *Zizyphora hispanica*. Toutes ces espèces ont disparu ou sont devenues extrêmement rares dès 1993 (cf. annexe). Signalons la présence en 1976 de l'Armoise (*A. herba-alba*) et du Sparte (*L. spartum*) mais chacune avec un couvert très faible (cf. annexe). En 1993, parmi les espèces pérennes, *L. spartum* atteint un couvert de 5 % alors que *A. herba-alba* a disparu et n'a plus été relevée par la suite. *Salsola vermiculata* et *Atractylis serratuloides* sont deux chaméphytes nouvellement apparues, de même que la poacée *Aristida pungens*, psammophyte notoire qui a été relevée pour la première fois dans ce site en

1993 sur des accumulations sableuses couvrant 30 % ; aucun ensablement de surface n'était relevé en 1976 (Tab. II).

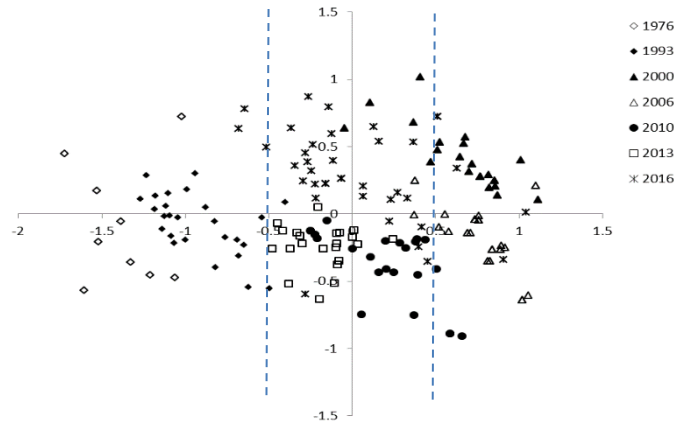


Figure 3.— Projection des relevés sur le plan 1-2 de l'analyse par NMDS effectuée sur des données de 1976 à 2016.



Figure 4.— Projection des espèces sur le plan 1-2 de l'analyse par NMDS effectuée sur des données de 1976 à 2016. Les noms des espèces, donnés selon la nomenclature de Quézel & Santa (1962), sont représentés par les quatre premières lettres du genre suivies de celles de l'épithète. La liste des noms complets des espèces et de leurs synonymes actuels est donnée en annexe.

- En situation intermédiaire, les années 2010, 2013 et 2016 sont caractérisées par une végétation à base de *L. spartum*, *A. serratuloides* et *S. vermiculata*. L'Alfa est absent. Bien que la pluviométrie n'ait été que de 210 mm en 2016 (Tab. II), ces trois années relèvent de la série d'années parmi les plus pluvieuses à l'échelle du siècle (Fig. 2). Ceci semble expliquer la grande diversité floristique et la position intermédiaire sur l'axe 1 (*cf infra*). Notons cependant que le couvert des pérennes n'est plus que de 16 ± 3 % contre 45 ± 10 % en 1976. Notons également que

les relevés 2016 sont en majorité dans la partie positive de l'axe 2 par rapport à ceux de 2010 et 2013 situés dans sa partie négative.

- À l'extrémité positive de l'axe 1 se trouvent les relevés de 2000 et 2006 où l'Alfa a pratiquement disparu et où le couvert global de la végétation est très faible avec en moyenne, respectivement 5 et 4 %. Les principales espèces pérennes sont *L. spartum* et *S. vermiculata*. La majorité des autres espèces, dans ce cas, sont apparues après 1993 : *A. serratuloides*, *Echinops spinosus*, *Euphorbia guyoniana*, *Noaea mucronata*, *Onopordon arenarium*, *Peganum harmala*, *Silybum eburneum* et *Thymelaea microphylla*. Peu de plantes éphémères (thérophytes ou petites vivaces) sont présentes. La pluviométrie déficitaire de la période 2000 à 2005 peut expliquer ceci même si 2006 a été une année très pluvieuse (*cf infra*).

TABLEAU I
Corrélation des variables introduites dans l'analyse NMDS

Variabes	r ²	Signification	Variabes	r ²	Signification
RG	0,4849	***	C	0,2418	***
PR	0,5052	***	G	0,2691	***
LT	0,1080	***	H	0,6468	***
SB	0,5670	***	T	0,7838	***
EG	0,0165	ns	Is1	0,1568	***
PL	0,1741	***	Is2	0,5344	***
P	0,3517	***	Is3	0,269	***
RC	0,8272	***	Is4	0,79	***
EQ	0,2829	***	Is5	0,4358	***

Couvert végétal en %, RG : global ; PR : des plantes pérennes ; fréquence (en %) des éléments de surface, LT : litière, SB : sable, EG : éléments grossiers, PL : pellicule de glaçage (ou battance) ; P : cumul pluviométrique annuel (sept-août) de l'année d'échantillonnage ; RC : richesse spécifique ; EQ : indice d'équitabilité ; Type biologique de Raunkiaer, C : chaméphytes, G : géophytes, H : hémicryptophytes, T : thérophytes ; Is : Indice d'appétibilité des plantes pour les ovins, de Is1 : non consommée à Is5 : très consommée. Signification de la corrélation : ns : non significatif (p > 0,05) ; * = p < 0,05 ; ** = p < 0,01 ; *** = p < 0,001.

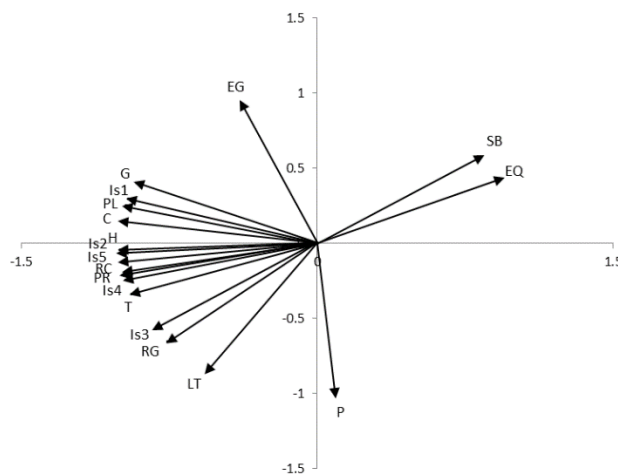


Figure 5.—Projection des variables environnementales sur le plan des axes 1-2 de NMDS.

Couvert végétal en %, RG : global ; PR : des plantes pérennes ; fréquence en % des éléments de surface, LT : litière, SB : sable, EG : éléments grossiers, PL : pellicule de glaçage (ou battance) ; P : cumul pluviométrique annuel (sept-août) de l'année d'échantillonnage ; RC : richesse spécifique ; EQ : indice d'équitabilité ; Type biologique de Raunkiaer, C : chaméphytes, G : géophytes, H : hémicryptophytes, T : thérophytes ; Is : Indice d'appétibilité des plantes pour les ovins, de Is1 : non consommée à Is5 : très consommée.

Toutes les variables introduites dans l'analyse NMDS ont, à part les éléments grossiers, une relation significative dans l'agencement de l'ordination (Tab. I). La figure 5 montre la position des

variables par rapport à leur corrélation avec les axes. Ces positions semblent appuyer l'interprétation de l'ordination des relevés : l'orientation de la plupart des variables vers la partie négative de l'axe 1 où se situent les relevés dans de meilleures conditions écologiques de la steppe préexistante, sans pour autant révéler une distinction particulière des types biologiques ou des niveaux d'appétibilité des plantes. Le couvert végétal global, impliquant les plantes éphémères, s'oriente plutôt vers la partie négative de l'axe 2, une direction nette de la variable pluviométrie, premier déterminant du fonctionnement de ce type d'écosystème. Le taux de sable en surface, indicateur de dégradation se trouve dans la partie positive de l'axe 1, de même que l'équitabilité qui est nettement plus élevée dans les relevés d'années considérées comme sèches (*cf infra*).

TABLEAU II

Evolution de quelques variables environnementales dans le site de Rogassa.

	n	RG	PR	SB	EG	PL	LT	P	RC	EQ
1976	9	50,0±7,8	44,8±9,7	0	15,6±4,0	14,5±4,4	19,7±3,1	357	31,5±4,0	0,61±0,0
1993	26	40,2±5,6	27,1±6,2	30,2±10,5	4,0±1,3	13,7±5,4	11,6±4,0	226	22,5±2,3	0,57±0,0
2000	24	4,8±1,3	2,6±1,0	80,4± 3,7	5,1±1,2	2,3±1,2	7,3±2,3	158	6,1±1,1	0,75±0,1
2006	24	4,1±0,6	1,9±0,3	76,3± 2,4	10,9±2,1	1,5±0,7	7,1±1,2	429	4,8±0,5	0,97±0,0
2010	24	34,1±4,4	12,7±4,7	36,2± 9,1	3,0±1,9	3,5±2,2	22,9±6,2	318	12,8±2,2	0,74±0,0
2013	22	64,8±4,0	21,9±3,5	14,3± 4,7	1,5±1,3	3,3±1,9	10,5±2,8	407	18,4±2,2	0,72±0,0
2016	62	27,1±3,4	16,4±2,7	50,8± 5,5	8,1±3,2	11,1±3,2	2,7±0,8	210	13,7±1,3	0,77±0,0
Variation		ns	***	*	ns	ns	***	ns	***	*
	n	C	G	H	T	Is1	Is2	Is3	Is4	Is5
1976	9	3,7±0,6	2,7±0,8	5,8±1,6	19,4±4,0	0,6±0,4	5,0±1,2	2,1±0,5	23,2±3,9	0,7±0,3
1993	26	3,1±0,5	3,0±0,3	5,5±0,9	12,3±1,6	2,2±0,2	3,8±0,5	2,3±0,4	15,0±1,7	0,5±0,1
2000	24	2,7±0,3	1,7±0,4	1,1±0,5	0,6±0,4	0,3±0,2	1,6±0,2	2,5±0,3	1,8±0,9	0
2006	24	1,8±0,3	0,9±0,2	0,6±0,2	1,4±0,2	0,5±0,2	1,1±0,1	1,4±0,2	1,8±0,3	0
2010	24	2,1±0,4	1,0±0,0	3,8±0,7	5,9±1,3	2,1±0,3	1,5±0,3	2,2±0,2	7,1±1,6	0
2013	22	3,1±0,3	1,9±0,3	2,2±0,7	11,1±1,4	1,1±0,2	2,0±0,3	2,9±0,2	12,2±1,7	<0,1
2016	62	2,1±0,1	1,3±0,1	2,6±0,4	7,8±1,0	0,8±0,1	1,7±0,2	2,0±0,2	9,3±1,2	<0,1
Variation		***	***	***	***	ns	***	ns	***	***

Voir légende tableau I. Signification de la variation : ns : non significatif ($p > 0,05$) ; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$.

Le tableau II montre la variation des paramètres environnementaux et sa signification. La baisse de certaines variables est globalement hautement significative ($p < 0,001$) : couverture des pérennes ainsi que celle de la litière, richesse spécifique, ensemble des types biologiques et essentiellement des plantes de bonne qualité fourragère (Is4 et Is5). Le taux de sable est la seule variable qui augmente globalement et significativement ($p < 0,001$).

DISCUSSION ET CONCLUSION

Dans le présent travail, les changements de la végétation à l'échelle de la communauté ont été suivis durant une quarantaine d'années en considérant 7 années-repères. Le site étudié est situé sur le plateau de Rogassa dont la plante emblématique a été, initialement l'Alfa dominant tout le paysage à perte de vue. À l'échelle de l'ensemble de la steppe des Hautes-Plaines d'Algérie et à l'instar de celle de Rogassa, les nappes d'Alfa ont pratiquement disparu, et ne persistent plus que sur les piémonts de montagne en bordure des Hautes-Plaines (Aidoud *et al.*, 2006). La dégradation est causée par deux perturbations (*sensu* White & Pickett, 1985) étroitement liées : 1) le surpâturage agissant en étroite relation avec 2) les sécheresses plus ou moins intenses et durables. Ce sont là, les deux « forces motrices » de la dégradation observée dans les terres de pâturage arides de la bordure Nord du Sahara (IPCC, 1996 ; Mainguet, 1991 ; Le Houérou, 1994). Dans les changements observés, deux échelles temporelles emboîtées sont à considérer : 1) une échelle des changements réversibles liés à leur fonctionnement normal avec des variations interannuelles ou parfois des fluctuations pluriannuelles particulièrement importantes sous climat aride (Rutherford, 1980 ; Tilman & El Haddi, 1992) et 2) une échelle de changements à plus long-terme modifiant

significativement la structure et la composition de l'écosystème (Lepart & Escarré, 1983). Afin de comprendre ces changements (plus ou moins aisément réversibles), il est indispensable de les évaluer à ces deux échelles de temps. Dans le site de Rogassa, une surveillance continue, sur plus d'une dizaine d'années (1976-87) a été menée pour analyser le fonctionnement à travers la variabilité saisonnière et interannuelle de la composition (Aidoud, 1989, 1992). Ceci nous a permis ici, de faire la part relative des changements fonctionnels par rapport à l'évolution générale.

Au plan dynamique à long terme, la végétation a subi de profonds changements, passant d'une steppe d'Alfa (*S. tenacissima*) pur en 1976 à une steppe de *L. spartum* et *S. vermiculata* en 2016 en passant par une steppe d'Alfa dégradé et *L. spartum* observée dès 1993.

La physionomie de la végétation préexistante correspond à celle d'une steppe d'alfa très homogène, faisant partie de l'unité physionomique d'Alfa pur avec un couvert de plus de 50 % (CRBT, 1978) et un groupement à *S. tenacissima* avec des espèces caractéristiques comme *X. inapertum*, *D. glomerata*, *Plantago albicans* (Aidoud-Lounis, 1984) ou indicatrices de milieux moins arides comme *B. distachyum*, *S. sediforme*, *B. squarrosus*, *Z. hispanica* (Le Houérou, 1969 ; Djébaili, 1978 ; Aidoud-Lounis, 1984). Ce système qui était dominant en nappe continue jusqu'au début des années 1980, ne subsistait plus, en 1993, que dans les mises en défens.

Afin de comprendre les changements floristiques à l'échelle de la communauté, il est nécessaire de se placer dans le schéma phytosociologique général initial. Les communautés végétales des steppes d'Algérie ont fait l'objet de nombreux travaux. Nous en citerons ceux à portées syntaxinomique et synécologique relativement larges : Le Houérou (1969), Celles (1975), Djébaili (1978), Pouget (1980), Abdelkrim (1984), Aidoud-Lounis (1984, 1997), Kaabeche (1990) et Kadi-Hanifi (1998). La plupart de ces auteurs n'ont pas donné un statut type à la steppe d'alfa. Cette steppe est, en fait, rencontrée des groupements forestiers aux formations steppiques ouvertes, et parfois sans grande originalité floristique, ce qui semble expliquer la controverse sur le statut syntaxinomique de cette steppe (Monjauze, 1947 ; Le Houérou, 1969). Toutefois, à un niveau supérieur de la classification phytosociologique des communautés, la proposition de Braun-Blanquet & De Bolos (1957) de placer les groupements steppiques du Maghreb dans le groupement à *Stipa* et *Lygeum*¹, a été reprise par Lazare & Roux (1979), puis confirmée statistiquement par Aidoud-Lounis (1984) dans le Sud-Oranais. Ce groupement à *Stipa* et *Lygeum* semble avoir bénéficié d'un consensus en Algérie steppique (e.g. Kaabech, 1990 ; Kadi-Hanifi, 1998).

Afin de situer les différents états tout au long des quatre décennies de suivi, nous avons utilisé principalement l'analyse des communautés réalisée dans les Hautes-Plaines du Sud-Oranais à partir d'un échantillonnage effectué dans cette région durant les années 1975/1976 par Aidoud-Lounis (1984, 1990). Cette auteure a, de plus et pour la première fois, donné un cadre synécologique général des principales steppes de la région, tout en tenant compte des travaux réalisés sur ce type de communauté végétale depuis la Péninsule Ibérique jusqu'au Moyen-Orient. Le modèle dynamique prédictif, développé à partir des liens de contiguïté entre communautés, intègre par ailleurs le site de Rogassa. Ce modèle (Aidoud-Lounis, 1984) montre deux grandes trajectoires partant des steppes d'Alfa pur :

- La première trajectoire mène vers les groupements à *A. herba-alba* et *N. mucronata*², occupant surtout les glacis avec des sols peu profonds, à texture fine et à croûte calcaire (éventuellement gypseuse). À l'échelle du site de Rogassa, l'Armoise très clairsemée entre les touffes d'Alfa, ainsi que les quelques pieds de *N. mucronata*, ont vite disparu sans former de communauté stable. En revanche, il s'est installé une végétation, actuellement dominante dans la

¹ *Lygeo-Stipetalia*, ordre pouvant faire partie de la classe des *Thero-Brachypodietea* Br.-Bl., 1947 ou des *Lygeo-Stipetea* Rivas-Martínez, 1978.

² Association *Noaeo-Artemisietum* (Aidoud-Lounis, 1984) de l'alliance *Noaeo-Artemision* (Aidoud-Lounis, 1984).

steppe de toute la région, à base d'*A. serratuloides*¹ et correspondant à un stade avancé de dégradation dans cette même trajectoire. *A. serratuloides*, *Astragalus tenuifoliosus*, *Sclerocaryopsis spinocarpos* et *Sisymbrium runcinatum* sont parmi les différentielles de ce groupement. Le passage direct à cette formation à *A. serratuloides* attesterait l'intensité et la rapidité de la dégradation de cette steppe par surpâturage. L'extension actuelle de cette formation dans la région est confirmée par une analyse spatiale diachronique (Hourizi *et al.*, 2017). Comme décrit par Aidoud-Lounis (1984), cette formation occupait durant les années 1970, dans le bassin-versant du Chott-Ech-Chergui, des sols limono-sableux d'environ 15 cm d'épaisseur dont la fragilité serait expliquée par l'action anthropique. Le lien floristique de cette formation avec l'alliance à *Astragalus cruciatus* et *Muricaria prostrata*, faisant partie de la deuxième trajectoire, s'explique par le piégeage sableux de surface.

• La deuxième trajectoire se divise en plusieurs branches selon l'importance de l'ensablement de surface qui constitue ainsi le facteur édaphique prédominant dans cette trajectoire :

- La sous-association à *Eruca vesicaria*² correspond à un faciès physionomique avec du Sparte et de l'Alfa comme reliques d'une formation d'origine. Le couvert végétal, de l'ordre de 40 % est riche en espèces rudérales liées au pâturage (*Adonis dentata*, *Carduus pteracanthus*, *Eruca vesicaria*, *Evax* sp., *Sisymbrium reboudianum*, *Trigonella polycerata*). Sous la couche superficielle de sable, le sol à croûte calcaire montre en surface une texture sablo-limoneuse à sableuse et limono-sableuse en profondeur. Un tel ensablement par taches a marqué la steppe étudiée au début des années 1990 (Aidoud, 1994) pour enfin occuper, hormis la parcelle mise en défens, presque toute la surface de cette steppe à partir de 2000. Sous réserve d'une vérification plus étendue, le faciès à *S. vermiculata* et *L. spartum* pourrait être intégré à cette trajectoire.

- Dans certains endroits, la profondeur plus grande de sable a permis l'installation du groupement à *T. microphylla* (Aidoud-Lounis, 1984) voire dans les cas extrêmes (ensablement > 50 cm) le groupement à *T. microphylla* et *A. pungens* psammophyte typique (Djebaili, 1978). Ce type d'ensablement épais et relativement étendu a marqué les périodes sèches. *A. pungens* n'a formé ici que des peuplements localisés sur des dunes qu'elle a fixées après le retour des pluies. En 2016, ces peuplements ne forment plus que des monticules isolés et de taille réduite (quelques mètres).

C'est cette deuxième trajectoire qui a marqué le paysage dès les années 1980. L'ensablement a été dominant, accompagnant une forte érosion due aux périodes de sécheresse et surtout celle du début des années 1980 qui, quoique plus courte que celle des années 2000, a été plus efficace car agissant en synergie avec de profonds changements d'usage (Bedrani *et al.*, 1992 ; Aidoud & Touffet, 1996). Quel que soit le type de dégradation, avec ou sans ensablement, les espèces qui subsistent en période sèche sont très peu denses et aucune ne domine réellement comme le faisait par exemple l'Alfa dans la steppe préexistante. Ceci explique l'équitabilité élevée durant la période sèche. La dernière décennie, plus pluvieuse, a permis un fort "reverdissement" du tapis végétal et une fixation du sable. Cependant, l'Alfa n'a pas pu se rétablir là où il avait disparu. C'est une différence très nette par rapport au site de surveillance à long terme d'une steppe d'*A. herba-alba* pur qui, après avoir pratiquement disparu, a pu réapparaître très localement durant la même phase pluvieuse, mais seulement en terrain modérément ou non pâturé. (Zemiti & Aidoud, 2016). L'explication donnée par ces auteurs est que le sable en surface aurait subi une pédogénèse grâce à la pellicule biologique de surface dans des conditions locales exceptionnelles et particulièrement favorables.

Dans le cas présent, le changement marquant a été l'extinction de l'Alfa qui représentait 80 % du couvert végétal du système préexistant et son remplacement par le Sparte.

¹ sous-association *Atractylites serratuloidis* (Aidoud-Lounis, 1984).

² *Eruca vesicaria* (Aidoud-Lounis, 1984).

Le fonctionnement de l'écosystème et des espèces dominantes permet d'aider à comprendre cette évolution. Sur ce plan, la surveillance de 1976 à 1987 a montré que l'Alfa jouait un rôle important dans un écosystème marqué par une variabilité interannuelle importante des précipitations et de la production primaire (Aidoud, 1989, 1992). La touffe d'Alfa assure un abri pour certaines espèces, en particulier *S. sediforme*, *D. glomerata*, *Z. hispanica* et *X. inapertum* qui ne se développent qu'à proximité ou que dans la touffe d'Alfa. La disparition de l'Alfa dans le site a entraîné de fait, l'extinction de ces espèces (Aidoud, 1994 ; Slimani, 1998). Le sol sous-jacent à la touffe forme une butte qui assure de meilleures conditions d'alimentation et de rétention d'eau, une plus grande richesse en matière organique et en éléments biogènes et protège le sol au voisinage de la touffe contre l'érosion (Djebaili, 1978 ; Puigdefabregas & Sanchez, 1996 ; Aidoud *et al.*, 1999 ; Slimani & Aidoud 2004 ; Slimani *et al.*, 2010). Il ressort de ces observations que *S. tenacissima* est une espèce structurante au sens de Huston (1994) dont dépend l'essentiel de la structure et une espèce "clef de voûte" (au sens d'Aronson *et al.*, 1993) vis-à-vis du fonctionnement de l'écosystème.

Le Sparte qui n'était présent dans le système préexistant qu'à une fréquence négligeable (cf annexe) semble devenir dominant. Cette espèce est souvent considérée comme relevant du même groupe fonctionnel que l'Alfa (*e.g.* García-Fuentes *et al.*, 2001). Cependant, le Sparte joue un rôle nettement moins efficace vis-à-vis de la communauté (Aidoud *et al.*, 2011). Le limbe du Sparte reste vert au plus 2 années et ses organes aériens disparaissent entièrement après deux années sèches, n'assurant ainsi qu'une faible résistance aux sécheresses pluriannuelles et à l'érosion éolienne. Après la complète disparition de sa biomasse aérienne durant une longue sécheresse, le Sparte régénère et colonise l'espace dégradé après le retour de la pluie (Aidoud, 1989). Hourizi (2017) a montré sur une plus large échelle que la steppe à sparte "se déplace", occupant peu à peu les espaces d'où l'Alfa a été éliminé. Ce dernier est en revanche plus résistant à la sécheresse en conditions de pâturage modéré. Par contre, soumise au surpâturage, la touffe perd sa biomasse verte aérienne, ses rhizomes sont alors dénudés et les individus sont dévitalisés et ne régénèrent plus. Les limbes verts d'Alfa (*S. tenacissima*), étymologiquement "tenaces", étaient connus pour être très peu consommés par les ovins. L'explication de ce surpâturage paradoxal est que ces limbes ont progressivement constitué un complément de "lest", remplaçant la paille, suite à l'introduction d'aliments concentrés dont l'usage a été généralisé depuis les années 1980 (Aidoud & Nedjraoui, 1993 ; Aidoud & Touffet, 1996). Ne dit-on pas que la steppe a été transformée en vaste « bergerie à ciel ouvert » (Boutonnet, 1992) ?

La végétation à *S. tenacissima* dégradé et *L. spartum*, observée en 1993 dans la zone librement pâturée, est une communauté de transition après plusieurs années pluvieuses. Elle caractérise les premiers stades d'une forte dégradation, aussi bien de la végétation que du sol, liée au surpâturage. Des baisses significatives de la matière organique et des argiles ont été mises en évidence dans ce même site (Aidoud *et al.*, 1999 ; Slimani & Aidoud, 2004 ; Slimani *et al.*, 2010). Le retour des pluies n'a d'effet qu'après un temps de latence d'environ un an, voire deux ; de même, une année sèche venant après plusieurs années humides a moins d'effet négatif (Aidoud, 1989). Ces phénomènes « d'inertie », révélés par une surveillance saisonnière et à long terme, expliquent les paradoxes observés dans le présent travail pour les années 2006 (faisant suite à une longue sécheresse) et 2016 (déficiente en pluie mais venant après une série d'années très humides).

Ainsi, tout au long des 40 années de suivi, nous avons assisté à un changement relativement rapide de la communauté et de la diversité végétale. Ces changements constituent d'importants indicateurs biologiques de la désertification qui marque le paysage steppique. Les modèles prédictifs de dynamique des communautés ont été vérifiés. Malgré la rapidité des changements due à l'intensité de la dégradation et des sécheresses qui l'ont favorisée, la plupart des trajectoires et des communautés annoncées, d'après le patron de distribution de la végétation préexistante, ont été retrouvées. La dynamique a été dominée par les phénomènes d'ensablement et l'installation

des psammophytes. Cependant, la végétation typiquement psammophile ne s'est pas stabilisée et a cédé la place à une végétation mixte dont la caractéristique première est sa fragilité vis-à-vis des sécheresses et du surpâturage. De grands efforts ont été fournis aux échelles nationale et internationale dans la lutte contre la désertification mais la steppe aride continue globalement à se dégrader d'autant que les communautés actuelles ont de moindres capacités de protection des ressources en sol que celles préexistantes dont la steppe d'alfa. La dynamique observée, par surveillance à long terme, permet de mesurer l'importance des changements régressifs observés dans l'ensemble des steppes des Hautes-Plaines d'Algérie et la solution passe avant tout par l'adéquation entre l'exploitation et la capacité de reproduction de la ressource très variable et qui est loin d'être inépuisable.

REMERCIEMENTS

Nous remercions les nombreuses personnes, chercheurs, techniciens, étudiants, ouvriers et gardiens qui ont contribué de près ou de loin à ce travail depuis le début des travaux dès 1975 au Centre (devenu Unité) de Recherche sur les Ressources Biologiques Terrestres (CRBT/URBT), les chercheurs du Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions arides (CRSTRA, Biskra) qui ont contribué aux sorties de 2013 et 2016 et en particulier Nora Salemkour et l'équipe de l'antenne de Taouiala qui ont participé au travail de terrain et au traitement des données ; le commissaire régional Ahmed Moussa et son équipe du HCDS d'El Bayadh (Haut-Commissariat pour le Développement de la Steppe) pour leur précieuse aide. Nous remercions enfin chaleureusement Édouard Le Floch pour ses conseils et remarques ainsi que pour les corrections apportées au texte.

RÉFÉRENCES

- ABDELKRIM, H. (1984).— *Approche phytoécologique et phytosociologique de quelques nappes alfatières de la région de Djelfa et Tebessa*. Thèse de Magister, Institut Nat. Agron., Alger.
- AIDOU, A. (1989).— *Les écosystèmes pâturés des hautes plaines Algéro-oranaises. Fonctionnement, évaluation, et évolution des ressources végétales*. Thèse Doct. État, Univ. Sci. Technol. H. Boumédiène, Alger.
- AIDOU, A. (1992).— Les parcours à Alfa (*Stipa tenacissima* L.) des Hautes Plainnes algériennes : Variations interannuelles et productivité. In: Gaston A, Kernick M, Le Houérou HN (eds). *Actes du 4^e Congrès international des terres de parcours, Montpellier, 22-26 avril 1991. Montpellier : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad)*.
- AIDOU, A. (1993).— Las poblaciones vegetales bajas en Norte Africa. Pp 53-80 in: A. Pastor López & E. Seva-Roman (eds). *Restauración de la cubierta vegetal en ecosistemas mediterráneos*. Instituto de Cultura Juan Gil-Albert, Alicante.
- AIDOU, A. (1994).— Pâturage et désertification des steppes arides en Algérie. Cas de la steppe d'Alfa (*Stipa tenacissima* L.). *Paralelo*, 37, 16: 33-42.
- AIDOU, A., AIDOU-LOUNIS, F. & SLIMANI, H. (1998).— Effects of grazing on soil and desertification: a view from the southern Mediterranean rim. Pp 133-148 in: V.P. Papanastasis & D. Peter (eds). *Ecological basis of livestock grazing in Mediterranean ecosystems*.
- AIDOU, A., LE FLOCH, E. & LE HOUEROU, H.N. (2006).— Les steppes arides du nord de l'Afrique. *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. Mediterr.*, 25: 163-171.
- AIDOU, A., SLIMANI, H. & ROZE, 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. Mediterr.*, 37: 17-32.
- AIDOU, A. & TOUFFET, J. (1996).— La régression de l'Alfa (*Stipa tenacissima* L.), graminée pérenne, un indicateur de désertification des steppes algériennes. *Sécheresse*, 3: 187-193.
- AIDOU-LOUNIS, F. (1984).— *Contribution à la connaissance des groupements à Sparte (Lygeum spartum L.) des Hauts Plateaux Sud-Oranais. Étude écologique et syntaxonomique*. Thèse 3^{ème} cycle. Univ. Sci. Tech. H. Boumédiène, Alger.
- AIDOU-LOUNIS, F. (1990).— Analyse syntaxonomique des groupements steppiques du complexe *Lygeum spartum* – *Artemisia herba-alba* – *Stipa tenacissima* du Sud-Ouest algérien. *Doc. Phytosociol.*, n.s., 12: 103-121.

- AIDOU-DOUNIS, F. (1997).— *Le complexe alfa-armoise-sparte* (*Stipa tenacissima* L., *Artemisia herba-alba* Asso., *Lygeum spartum* L.) *des steppes arides d'Algérie : structure et dynamique des communautés végétales*. Thèse de Doctorat, Univ. d'Aix-Marseille, Marseille.
- ARONSON, J., FLORET, C., LE FLOC'H, E., OVALLE, C. & PONTANIER, R. (1993).— Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-arid lands. I. A view from the south. *Restor. Ecol.*, 1: 8-17.
- ARONSON, J., FLORET, C., LE FLOC'H, E., OVALLE, C. & PONTANIER, R. (1995).— Restauration et réhabilitation des écosystèmes dégradés en zones arides et semi-arides. Le vocabulaire et concept. Pp 11-29 in: R. Pontanier, A. M'Hiri, N. Akrimi, J. Aronson & E. Le Floc'h (eds). *L'homme peut-il refaire ce qu'il a défait ?* Paris.
- BEDRANI, S., BENADJILA, M. & BENADJILA, S. (1992).— Aperçu sur la législation et les modes d'utilisation par les animaux des terres publiques en Algérie. Pp 895-899 In: A. Gaston, M. Kernick & H.-N. Le Houérou (eds.). *Actes du IVe Congrès International des Terres de Parcours*. Cirad, Montpellier, France.
- BOUTONNET, J.P. (1992).— Production de viande ovine en Algérie. Est-elle encore issue des parcours ? In: A. Gaston, M. Kernick & H.-N. Le Houérou (eds.). *Actes du IVe Congrès International des Terres de Parcours*. Cirad, Montpellier, France..
- BRAUN-BLANQUET, J. & DE BOLOS, O. (1957).— les groupements végétaux du bassin moyen de l'Ebre et leur dynamisme. *Ann. Estac. Exp. de Aula dei*, 5 (1-4) : 1-266.
- CELLES, J.C. (1975).— *Contribution à l'étude de la végétation des confins saharo-constantinois (Algérie)*. Thèse Doct., Université de Nice.
- CLARKE, K.R. (1993).— Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Austr. J. Ecol.*, 18: 117-143.
- COSSON, E. (1853).— Rapport sur un voyage botanique en Algérie, d'Oran au Chott-El-Chergui. *Ann. Sci. Nat., 3ème sér.*, XIX, Masson, Paris, pp : 1-60.
- CRBT (CENTRE DE RECHERCHE SUR LES RESSOURCES BIOLOGIQUES TERRESTRES) (1978).— *Rapport phytoécologique et pastoral sur les hautes plaines steppiques de la Wilaya de Saida*. CRBT, Alger.
- DAGET, P. & POISSONET, J. (1971).— Une méthode d'analyse phytologique des prairies. Critères d'application. *Ann. Agronomie*, 22: 5-41.
- DJEBAILI, S. (1978).— *Recherches phytoécologiques et phytosociologiques sur la végétation des Hautes Plaines steppiques et de l'Atlas saharien algérien*. Thèse. Doct. État. Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier.
- DREGNE, H.E. (1992).— *Degradation and restoration of arid lands*. International Center for Arid and Semi-Arid Land Studies, Texas Tech. Univ., Lubbock.
- GARCÍA-FUENTES, A., SALAZAR, C. TORRES, J.A., CANO, E. & VALLE, F. (2001).— Review of communities of *Lygeum spartum* L. in the south-eastern Iberian Peninsula (western Mediterranean). *J. Arid Environ.*, 48: 323-339.
- GODRON, M. (1968).— Quelques applications de la notion de fréquence en écologie végétale. *Oecol. Plant.*, 3: 185-212.
- HANIFI, N. & TOUFFET, J. (1989).— Régénération par les semences dans les Hautes Plaines steppiques algériennes. Pp 1601-1602 in: *Actes du 16ème Congrès International des Herbages*, Nice (France).
- HIRCHE, A., SALAMANI, M., BOUGHANI, A., NEDJRAOUI, D., HOURIZI, R., OUKIL, O., SLIMANI, H., KHEDDACHE, Z., BELALA, F., AIT HAMOUDA, T., ADI, N. & GRANDI, M. (2015).— Thirty years of ecological monitoring in Algerian arid rangelands. Pp 125-156 in: Gabriel Ferguson (ed.). *Arid and semi-arid environments*.
- HOLECHEK, J.L., BAKER, T.T., BOREN, J.C. & GALT, D. (2006a).— Grazing impacts on rangeland vegetation: What we have learned. *Rangelands*, 28: 7-13.
- HOLECHEK, J.L., GALT, D. & KHUMALO, G., (2006b).— Grazing and grazing exclusion effects on New Mexico shortgrass prairie. Research note. *Rangeland Ecol. Manage.*, 59: 655-659.
- HOURIZI, R. (2017).— *Suivi de la désertification des steppes à Lygeum spartum par l'utilisation de la télédétection et des Systèmes d'Informations Géographiques*. Thèse Doct. Univ., Sci. Technol. H. Boumédiène, Alger.
- HOURIZI, R., HIRCHE, A., DJELLOULI, Y. & NEDJRAOUI, D. (2017).— Changements spatio-temporels des paysages steppiques d'Algérie. Cas de la région de Méchéria. *Rev. Ecol. (Terre Vie)* 72: 1-33.
- HUSTON, M.A. (1994).— *Biological diversity. The coexistence of species on changing landscapes*. Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE) (1996).— Technologies, policies and measures for mitigating climate change. In: R.T. Watson, M.C. Zinyowera & R.H. Moss (eds), *IPCC Technical Paper I*.
- KAABACHE, M. (1990).— *Les groupements végétaux de la région de Bousaâda (Algérie). Essai de synthèse sur la végétation du Maghreb*. Thèse doctorat es science. Univ. Paris-Sud. Orsay.
- KADI-HANIFI-ACHOUR, H. (1998).— *L'alfa en Algérie. Syntaxonomie, relation milieu-végétation, dynamique et perspectives d'avenir*. Thèse Doct. État, Univ. Sci. Tech. H. Boumédiène. Alger.
- KASSAS, M. (1994).— Désertification. *Cahiers d'Education Environnementale*. UNESCO.
- LAHMAR-ZEMITI, B. & AIDOU, A. (2016).— Suivi à long terme dans la steppe d'Armoise blanche (*Artemisia herba-alba* Asso.) du Sud-Oranais (Algérie). *Rev. Ecol. (Terre et Vie)*, 71: 168-177.

- LE HOUÉROU, H.N. (1985).— *La régénération des steppes algériennes*. Rapport de mission de consultation et d'évaluation. Ministère de l'agriculture, Alger.
- LE HOUÉROU, H.N. (1969).— La végétation de la Tunisie steppique. *Ann. Inst. Nat. Rech. Agron. Tunis.*, 42: 1-624.
- LE HOUÉROU, H.N. (1994).— Désertification et désertisation : fautes humaines ou fatalités climatiques. in: *Cahiers d'éducation environnementale*. UNESCO.
- LEPART, J. & ESCARRÉ, J. (1983).— La succession végétale, mécanismes et modèles : analyse bibliographique. *Bull. Écol.*, 14: 133-178.
- MAINGUET, M. (1991).— *Desertification. Natural background and Human mismanagement*. Springer-Verlag, Berlin.
- MAC CARTHY, O. (1875-1876).— *Carte de la région de l'Alfa et des voies de communication*. 1 feuille au 1/1500000. Erhard-imprimeur, Paris.
- MAIRE, R. (1926).— *Notice de la carte phytogéographique de l'Algérie et de la Tunisie*. Baconnier, Alger.
- MANJAUZE, A. (1947).— *La touffe d'alfa*. Archives du Gouvernement Général de l'Algérie, Alger.
- MEISSNER, R.A. & FACELLI, J.H.M. (1999).— Effects of sheep exclusion on the soil seed bank and annual vegetation in chenopod shrublands of South Australia. *J. Arid Env.*, 42: 117-128.
- MEKURIA, W., VELDKAMP, E., HAILE, M., NYSSSEN, J., MUYS, B. & GEBREHIWOT, K. (2006).— Effectiveness of exclosures to restore degraded soils as a result of overgrazing in Tigray, Ethiopia. *J. Arid Env.*, 69: 270-284.
- MILTON, S., DEAN, W.R.S., DU PLESSIS, M.A. & SIEGFRIED, W.R. (1994).— A conceptual model of rangeland degradation. *Bioscience*, 44: 71-76.
- NEDJRAOUI, D. & TOUFFET, J. (1994).— Influence des conditions stationnelles sur la production de l'Alfa (*Stipa tenacissima* L.). *Ecol. Mediterr.*, 20: 67-75.
- NOY-MEIR, I. (1973).— Desert ecosystems: Environment and producers. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 4: 25-51.
- OKSANEN, J. (2013).— *Multivariate analysis of ecological communities in R: vegan tutorial*. <http://cc.oulu.fi/~jarioksa/opetus/metodi/vegantutor.pdf>
- POUGET, M. (1980).— Les relations sol - végétation dans les steppes Sud-Algéroises. *Trav. Doc. ORSTOM.*, 116: 1-555.
- PUIGDEFABREGAS, J. & SANCHEZ, G. (1996).— Geomorphological implications of vegetation patchiness on semi-arid slopes. *Adv. Hillslope Proc.*, 2: 1027-1060.
- QUÉZEL, P. & SANTA, S. (1962-1963).— *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*, vol. 1-2. CNRS, Paris.
- RUTHERFORD, M.C. (1980).— Annual plant production-precipitation relations in arid and semi-arid regions. *South-Afric. J. Sci.*, 76: 53-56.
- SLIMANI, H. (1998).— *Effet du pâturage sur la végétation et le sol et désertification. Cas de la steppe d'Alfa (Stipa tenacissima L.) de Rogassa des Hautes Plaines occidentales algériennes*. Thèse de Magister, Univ. Sci. Tech. H. Boumédiène. Alger.
- SLIMANI, H. (2012).— *Étude des mécanismes de désertification de la steppe des Hautes Plaines algériennes : cas de la steppe à alfa (Stipa tenacissima L.)*. Univ. Sci. Tech. H. Boumédiène. Alger.
- SLIMANI, H. & AIDOU, A. (2004).— Désertification in the maghreb: a case study of an Algerian high-plain steppe. Pp 93-108 in: *Environmental challenges in the Mediterranean 2000-2050*. Kluwer academic publishers.
- SLIMANI, H., AIDOU, A. & ROZE, F. (2010).— 30 years of protection and monitoring of a steppic rangeland undergoing desertification. *J. Arid Env.*, 74: 685-691.
- TILMAN, D. & EL HADDI, A. (1992).— Drought and biodiversity in grasslands. *Oecologia*, 89: 257-264.
- TRABUT, L. (1889).— *Étude sur l'Alfa*. Jourdan, Alger.
- TRIPLET, P. (2015).— *Dictionnaire de la diversité biologique et de la conservation de la nature*. PDF en libre accès sur Internet.
- VALONE, T.J. & SAUTER, P. (2005).— Effects of long-term cattle exclosure on vegetation and rodents at a desertified arid grassland site. *J. Arid Environ.*, 61: 161-170.
- WEST, N.E. (1993).— Biodiversity of rangelands. *J. Range Manage.* 46: 2-13.
- WHITE, P.S. & PICKETT, S.T.A. (1985).— Natural disturbance and patch dynamics: an introduction. Pp 3-13 in: S.T.A. Pickett & P.S. White (éds). *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. Academic Press, New-York.
- YAYNESHET, T., EIK, L.O. & MOE, S.R. (2009).— The effects of exclosures in restoring degraded semi-arid vegetation in communal grazing lands in northern Ethiopia. *J. Arid Environ.*, 73: 542-549.

ANNEXE

Liste des espèces impliquées dans l'analyse des changements enregistrés entre 1976 et 2016

Le tableau donne le code composé de 8 caractères et l'espèce correspondante selon la nomenclature de Quézel & Santa (1962-63) puis selon la *plant-list* (<http://www.theplantlist.org/>) issue de la collaboration entre the *Royal Botanic Gardens, Kew* et le *Missouri Botanical Garden* et qui combine plusieurs listes de vérification taxinomiques détenues par ces institutions et d'autres partenaires. Pour chaque année et pour chaque espèce ou groupe est donnée soit la fréquence moyenne (espèces considérées comme ayant une place importante au plan physiognomique durant les changements de végétation étudiés) soit la présence ("p" quelle que soit la fréquence). Le nom de certains taxons est non-résolu ou encore en révision. Un groupe correspond à un genre regroupant un ensemble d'espèces recensées dans le site mais dont la détermination taxinomique n'est pas toujours sûre.

Code	Flore Quezel et Santa (1962-63)	Synonyme valide (mai 2017)	Couvert moyen (%) ou présence (p)						
			1976	1993	2000	2006	2010	2013	2016
Espèces physiognomiquement importantes									
Arispung	<i>Aristida pungens</i>	<i>Stipagrostis pungens</i> (Desf.) De Winter	0	<0.1	<0.1	0	0,46	0,41	1,2
Arteherb	<i>Artemisia herba alba</i>	<i>Artemisia herba-alba</i> Asso	<0.1	0	0	0	0	0	0
Atraserr	<i>Atractylis serratuloides</i>	<i>Atractylis serratuloides</i> (Cass.) DC.	0	1,21	1,17	0,5	3,6	6,23	5,5
Lygespar	<i>Lygeum spartum</i>	<i>Lygeum spartum</i> Loeffl. ex L.	1,0	5,4	1,25	0,1	10,3	19	6,2
Noaemucr	<i>Noaea mucronata</i>	<i>Noaea mucronata</i> (Forssk.) Asch. & Schweinf.	0	<0.1	0,14	0	0	0	0,2
Salsverm	<i>Salsola vermiculata</i>	<i>Salsola vermiculata</i> L.	0	<0.1	2	1	4	3	3,3
Stiptena	<i>Stipa tenacissima</i>	<i>Stipa tenacissima</i> L.	46,0	21,3	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Thymmicr	<i>Thymelaea microphylla</i>	<i>Thymelaea microphylla</i> Meisn.	0	0	0	0	<0.1	<0.1	0,1
Autres espèces									
Aegil.sp	<i>Aegilops ventricosa</i>	<i>Aegilops ventricosa</i> Tausch	p	p					
	<i>Aegilops triuncialis</i>	<i>Aegilops triuncialis</i> L.							
Agroorie	<i>Agropyron orientale</i>	<i>Eremopyrum orientale</i> (L.) Jaub. & Spach		p					
Allicipa	<i>Allium cupani</i>	<i>Allium cupani</i> Raf.	p	p	p				
Allipani	<i>Allium paniculatum</i>	<i>Allium paniculatum</i> L.	p	p					
Alysggran	<i>Alyssum granatense</i>	<i>Alyssum granatense</i> Boiss. & Reut.	p	p				p	p
Alyslini	<i>Alyssum linifolium</i>	<i>Alyssum linifolium</i> Stephan ex Willd.	p	p					
Alysscud	<i>Alyssum scutigerum</i>	<i>Alyssum scutigerum</i> Durieu	p	p	p				
Anaccyrt	<i>Anacyclus cyrtolepidioides</i>	<i>Anacyclus monanthos</i> subsp. <i>cyrtolepidioides</i> (Pomel) Humphries	p	p			p		p
Andrmaxi	<i>Androsace maxima</i>	<i>Androsace maxima</i> L.	p						
Argyunif	<i>Argyrobium uniflorum</i>	<i>Argyrobium uniflorum</i> Harv.		p				p	p
Artcamp	<i>Artemisia campestris</i>	<i>Artemisia campestris</i> L.	p						
Astra.th	<i>Astragalus cruciatus</i>	<i>Astragalus corrugatus</i> Bertol.	p	p		p	p	p	p
	<i>Astragalus sesameus</i>	<i>Astragalus sesameus</i> L.							
	<i>Astragalus sinaicus</i>	<i>Astragalus sinaicus</i> Boiss.							
Astrcapr	<i>Astragalus caprinus</i>	<i>Astragalus caprinus</i> L.	p	p					
Astrtenu	<i>Astragalus tenuifoliosus</i>	<i>Astragalus algerianus</i> E.Sheld.						p	
Atracanc	<i>Atractylis cancellata</i>	<i>Atractylis cancellata</i> L.	p	p					
Atracard	<i>Atractylis carduus</i>	<i>Atractylis carduus</i> (Forssk.) C.Chr.		p					
Atrahumi	<i>Atractylis humilis</i>	<i>Atractylis humilis</i> L.		p	p			p	
Atraphae	<i>Atractylis phaeolepis</i>	<i>Atractylis phaeolepis</i> Pomel	p	p	p	p			
Avenster	<i>Avena sterilis</i>	<i>Avena sterilis</i> L.					p		
Bracdich	<i>Brachypodium dichotomum</i>	<i>Stoibrax dichotomum</i> (L.) Raf.	p						
Bracdist	<i>Brachypodium distachyum</i>	<i>Brachypodium distachyon</i> (L.) P.Beauv.	p	p					
Bromrube	<i>Bromus rubens</i>	<i>Bromus rubens</i> L.	p	p			p	p	p
Bromsqua	<i>Bromus squarrosus</i>	<i>Bromus squarrosus</i> L.	p	p					
Bromtect	<i>Bromus tectorum</i>	<i>Bromus tectorum</i> L.		p				p	
Bufftenu	<i>Bufonia tenuifolia</i>	<i>Bufonia tenuifolia</i> L.	p						
Buplsemi	<i>Bupleurum semicompositum</i>	<i>Bupleurum semicompositum</i> L.	p						p
Caleaegy	<i>Calendula aegyptiaca</i>	<i>Calendula arvensis</i> (Vaill.) L.	p						p
Cardgety	<i>Carduus pteracanthus</i>	<i>Carduus spachianus</i> Durieu						p	
Cardilic	<i>Carduncellus ilicifolius</i>	<i>Carthamus ilicifolius</i> (Pomel) Greuter	p						
Centaica	<i>Centaurea incana</i>	<i>Centaurea pubescens</i> Willd.	p	p	p				
Cerafalc	<i>Ceratocephalus falcatus</i>	<i>Ceratocephalus falcatus</i> (L.) Pers.	p	p					
Cirsi.sp	<i>Cirsium</i> sp.	<i>Cirsium</i> sp.						p	
Cleorab	<i>Cleome arabica</i>	<i>Cleome arabica</i> L.		p					
Crepvesi	<i>Crepis vesicaria</i>	<i>Crepis vesicaria</i> L.	p						
Cutadich	<i>Cutandia dichotoma</i>	<i>Cutandia dichotoma</i> (Forssk.) Trab.				p	p	p	p

Cutadiva	<i>Cutandia divaricata</i>	<i>Cutandia divaricata</i> (Desf.) Benth.	p	p				
Dactyglom	<i>Dactylis glomerata</i>	<i>Dactylis glomerata</i> L.	p	p				
Diplharr	<i>Diplotaxis harra</i>	<i>Diplotaxis harra</i> (Forssk.) Boiss.	p					p
Echicapi	<i>Echinaria capitata</i>	<i>Echinaria capitata</i> (L.) Desf.	p					
Echipyen	<i>Echium pycnanthum</i>	<i>Echium humile</i> subsp. <i>pycnanthum</i> (Pomel) Greuter & Burdet	p	p			p	p
Echispin	<i>Echinops spinosus</i>	<i>Echinops spinosissimus</i> Turra		p	p	p		p
Enarclav	<i>Enarthrocarpus clavatus</i>	<i>Enarthrocarpus clavatus</i> Delile ex Godr.						p
Ephemajo	<i>Ephedra major</i>	<i>Ephedra major</i> Host	p	p	p			
Erodhirt	<i>Erodium hirtum</i>	<i>Erodium crassifolium</i> L'Hér. ex Aiton					p	p
Erodtria	<i>Erodium triangulare</i> subsp. <i>bovei</i>	<i>Erodium laciniatum</i> (Cav.) Willd.	p	p				p
Erucvesi	<i>Eruca vesicaria</i>	<i>Eruca vesicaria</i> (L.) Cav.	p	p			p	p
Erynlic	<i>Eryngium ilicifolium</i>	<i>Eryngium ilicifolium</i> Lam.		p				
Euphfalc	<i>Euphorbia falcata</i>	<i>Euphorbia falcata</i> L.	p	p	p			
Euphguyo	<i>Euphorbia guyoniana</i>	<i>Euphorbia guyoniana</i> Boiss. & Reut.			p			
Evaxarge	<i>Evax argentea</i>	<i>Filago argentea</i> (Pomel) Chrtk & Holub	p	p				p
Ferucomm	<i>Ferula communis</i>	<i>Ferula communis</i> L.	p	p				p
Filaspat	<i>Filago spathulata</i>	<i>Filago pyramidata</i> L.	p	p			p	p
Hedycret	<i>Hedynois cretica</i>	<i>Hedynois cretica</i> (L.) Willd. (en révision)						p
Heliaper	<i>Helianthemum apertum</i>	<i>Helianthemum ledifolium</i> (L.) Mill.	p	p			p	p
Helihirt	<i>Helianthemum hirtum</i>	<i>Helianthemum hirtum</i> (L.) Mill.	p	p				
Helivirg	<i>Helianthemum virgatum</i>	<i>Helianthemum apenninum</i> (L.) Mill.	p	p	p	p	p	p
Hernfont	<i>Herniaria fontanesii</i>	<i>Herniaria fontanesii</i> J.Gay	p	p	p		p	
Hernhirs	<i>Herniaria hirsuta</i> subsp. <i>cinerea</i>	<i>Herniaria hirsuta</i> subsp. <i>cinerea</i> (DC.) Cout.	p	p	p		p	p
Hippbico	<i>Hippocrepis bicontorta</i>	<i>Hippocrepis areolata</i> Desv.		p				
Hippmult	<i>Hippocrepis multisiliquosa</i>	<i>Hippocrepis multisiliquosa</i> L.		p				p
Hippscab	<i>Hippocrepis scabra</i>	<i>Hippocrepis scabra</i> DC.		p				
Hordmuri	<i>Hordeum murinum</i>	<i>Hordeum murinum</i> L.	p	p			p	p
Hyporadi	<i>Hypochoeris radicata</i>	<i>Hypochoeris radicata</i> L. (en révision)		p				
Irissisy	<i>Iris sisyrinchium</i>	<i>Moraea sisyrinchium</i> (L.) Ker Gawl.	p	p			p	p
Koelline	<i>Koelpinia linearis</i>	<i>Koelpinia linearis</i> Pall.	p	p				p
Koelpube	<i>Koeleria pubescens</i> subsp. <i>salzmannii</i>	<i>Rostraria salzmannii</i> (Boiss. & Reut.) Holub	p	p				p
Lappredo	<i>Lappula redowskii</i>	<i>Lappula redowskii</i> (Hornem.) Greene		p			p	p
Launacan	<i>Launaea acanthoclada</i>	<i>Launaea lanifera</i> Pau	p	p				
Launnudi	<i>Launaea nudicaulis</i>	<i>Launaea nudicaulis</i> (L.) Hook.f.	p	p	p		p	p
Launrese	<i>Launaea resedifolia</i>	<i>Launaea resedifolia</i> (non-résolu)	p	p	p		p	p
Leonhsa	<i>Leontodon hispanicus</i>	<i>Picris hispanica</i> (Willd.) P.D.Sell	p	p				p
Leonhspi	<i>Leontodon hispidulus</i> subsp. <i>muelleri</i>	<i>Scorzoneroideis muelleri</i> (Sch.Bip.) Greuter & Talavera					p	p
Lithapul	<i>Lithospermum apulum</i>	<i>Neatostema apulum</i> (L.) I.M.Johnst.	p					
Lolirigi	<i>Lolium rigidum</i>	<i>Lolium rigidum</i> Gaudin	p					
Malcaegy	<i>Malcolmia aegyptiaca</i>	<i>Eremobium aegyptiacum</i> (Spreng.) Asch. ex Boiss.		p				
Malvaegy	<i>Malva aegyptiaca</i>	<i>Malva aegyptiaca</i> L.	p	p	p		p	p
Mattfrut	<i>Matthiola fruticulosa</i>	<i>Matthiola fruticulosa</i> (L.) Maire	p					
Medic.th	<i>Medicago laciniata</i>	<i>Medicago laciniata</i> (L.) Mill.	p	p				p
	<i>Medicago minima</i>	<i>Medicago minima</i> (L.) L.						
	<i>Medicago secundiflora</i>	<i>Medicago secundiflora</i> Durieu						
	<i>Medicago truncatula</i>	<i>Medicago truncatula</i> Gaertn.						
Megapusi	<i>Megastoma pusillum</i>	<i>Ogastemma pusillum</i> (Coss. & Durieu ex Bonnet & Baratte) Brummitt						p
Micrbomb	<i>Micropus bombycinus</i>	<i>Bombycilaena discolor</i> (Pers.) M.Laínz	p	p			p	p
Minucamp	<i>Minuartia campestris</i>	<i>Minuartia campestris</i> L.	p					
Muripros	<i>Muricaria prostrata</i>	<i>Muricaria prostrata</i> (Desf.) Desv.	p	p				p
Nonnmicr	<i>Nonea micrantha</i>	<i>Nonea micrantha</i> Boiss. & Reut.	p					
Ononnatr	<i>Ononis natrix</i>	<i>Ononis natrix</i> L.	p	p				p
Onopacau	<i>Onopordon acaule</i>	<i>Onopordon acaule</i> Willd. (non-résolu)					p	p
Onoparen	<i>Onopordon arenarium</i>	<i>Onopordon arenarium</i> (Desf.) Pomel		p	p	p	p	p
Papahybr	<i>Papaver hybridum</i>	<i>Papaver hybridum</i> L.						p
Paroarab	<i>Paronychia arabica</i>	<i>Paronychia arabica</i> (L.) DC.		p				p
Paroarge	<i>Paronychia argentea</i>	<i>Paronychia argentea</i> Lam.		p				
Parocapi	<i>Paronychia capitata</i>	<i>Paronychia capitata</i> (L.) Lam.	p	p				p
Pegaharm	<i>Peganum harmala</i>	<i>Peganum harmala</i> L.		p	p			
Planalbi	<i>Plantago albicans</i>	<i>Plantago albicans</i> L.	p	p	p			p
Plampsyl	<i>Plantago psyllium</i>	<i>Plantago indica</i> L.	p					
Poa.bulb	<i>Poa bulbosa</i>	<i>Poa bulbosa</i> L.						p
Reicting	<i>Reichardia tingitana</i>	<i>Reichardia tingitana</i> (L.) Roth					p	p

Reselute	<i>Reseda lutea</i>	<i>Reseda lutea</i> L.					p		
Rhapacau	<i>Rhaponticum acaule</i>	<i>Rhaponticum acaule</i> (L.) DC.		p					
Salvverb	<i>Salvia verbenaca</i>	<i>Salvia verbenaca</i> L.	p		p		p	p	p
Scabaren	<i>Scabiosa arenaria</i>	<i>Scabiosa arenaria</i> Forssk. (en révision)	p	p					
Scabstel	<i>Scabiosa stellata</i>	<i>Scabiosa stellata</i> L.	p	p					
Schibarb	<i>Schismus barbatus</i>	<i>Schismus barbatus</i> (L.) Thell.	p	p	p		p	p	p
Sclespin	<i>Sclerocaryopsis spinocarpus</i>	<i>Lappula spinocarpus</i> (Forssk.) Asch. ex Kuntze	p	p					
Scorlaci	<i>Scorzonera laciniata</i>	<i>Scorzonera laciniata</i> Jacq.			p	p		p	p
Scorundu	<i>Scorzonera undulata</i>	<i>Scorzonera undulata</i> Vahl	p	p	p	p			p
Sedusedi	<i>Sedum sediforme</i>	<i>Sedum sediforme</i> (Jacq.) Pau	p	p					
Senecoro	<i>Senecio coronopifolius</i>	<i>Senecio coronopifolius</i> Burm.f.					p		
Silyebur	<i>Silybum eburneum</i>	<i>Silybum eburneum</i> Coss. & Durieu					p		
Sisyruuc	<i>Sisymbrium runcinatum</i>	<i>Sisymbrium runcinatum</i> Lag. ex DC.		p	p				
Stipbarb	<i>Stipa barbata</i>	<i>Stipa barbata</i> Desf.					p		
Stipparv	<i>Stipa parviflora</i>	<i>Stipa parviflora</i> Desf.	p	p	p	p	p	p	p
Teleimpe	<i>Telephium imperati</i>	<i>Telephium imperati</i> L.	p	p					
Teucpoli	<i>Teucrium polium</i>	<i>Teucrium polium</i> L.	p	p				p	
Trigpoly	<i>Trigonella polycerata</i>	<i>Medicago orthoceras</i> (Kar. & Kir.) Trautv.	p	p			p		p
Valecoro	<i>Valerianella coronata</i>	<i>Valerianella coronata</i> (L.) DC.	p						
Valeerio	<i>Valerianella eriocarpa</i>	<i>Valerianella eriocarpa</i> Desv.	p						
Xerainap	<i>Xeranthemum inapertum</i>	<i>Xeranthemum inapertum</i> (L.) Mill.	p	p					
Zizihisp	<i>Ziziphora hispanica</i>	<i>Ziziphora hispanica</i> L.	p	p					