

EFFET DU CLIMAT ET DE L'ACTIVITÉ HUMAINE SUR LES POPULATIONS
D'*ANABASIS ARETIOIDES*, UNE PLANTE XÉROPHYTE DU SAHARAZina KHEDACHE¹, Jacques BRISSON², Jean TOUFFET³ & Dalila NEDJRAOUI¹

SUMMARY.— *Impact of climate and human activities on the populations of Anabasis aretioides, a Saharan xerophytic plant.*— *Anabasis aretioides*, endemic to North Africa, is a cushion-forming plant particularly well-adapted to the climatic constraints of arid zones. This shrub is exploited by the local population for kitchen fuel, as a medicinal plant and for staking Saharan trails. We conducted a survey of the structure, mortality and recruitment in four Algerian populations in order to determine the impact of climate and human exploitation on *A. aretioides* dynamics. Our results show that the species is declining dramatically and that overexploitation combined with unfavourable climatic conditions are responsible. In three out of the four populations studied, the number of individuals dropped by half between 1994 and 1997, and there were not enough individuals to continue the survey in 2004. Recruitment was sporadic, with no regeneration during several years at some sites, but we found no relation with climatic conditions. However, regional climate seems to be the most determinant factor for plant growth : high growths were measured at all sites in 1996, and at the Mazzer site in 2006 and 2010, all corresponding to years with moderate to high rainfall. Although the results of the present study remain exploratory, they nonetheless raise concerns regarding the conservation and structures of *A. aretioides* populations in South-West Algeria.

RÉSUMÉ.— *Anabasis aretioides*, endémique de l'Afrique du Nord, est une plante en coussin particulièrement bien adaptée aux contraintes climatiques des zones arides. Cet arbuste est aussi soumis à une exploitation par les populations locales qui l'utilisent aussi bien comme combustible de cuisine, comme plantes médicinales, ou pour le jalonnement des pistes sahariennes. Nous avons réalisé un suivi de la structure, de la mortalité et du recrutement dans 4 stations du sud-ouest algérien afin d'examiner le rôle du climat et de l'exploitation humaine sur la dynamique de l'*A. aretioides*. Nos résultats montrent que l'espèce est en nette décroissance, et qu'une surexploitation combinée à des conditions climatiques difficiles a contribué à son déclin. Dans 3 des 4 stations, le nombre d'individus a été réduit de moitié entre 1994 et 1997, et il n'y restait plus suffisamment d'individus pour poursuivre le suivi en 2004. Le recrutement a été sporadique, avec plusieurs années sans recrutement dans certaines stations, mais aucune relation avec le climat n'a pu être dégagée. Par contre, le climat régional serait le facteur le plus déterminant pour la croissance, les croissances élevées de 1996 pour l'ensemble des stations et celles de 2006 et 2010 pour la station de Mazzer correspondant toutes à des années de pluviosité modérée à élevée. Même si les résultats du présent travail ne sont qu'exploratoires, ils apportent tout de même un signal alarmant sur l'état et la structure des populations de l'*A. aretioides* dans le sud-ouest algérien.

Les régions arides abritent des milieux vulnérables où la végétation est rare et sujette à des conditions climatiques difficiles caractérisées par un déficit hydrique, des températures

¹ Laboratoire d'Écologie Végétale Environnement, Faculté des Sciences Biologiques, Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene, BP 32 El Alia 16111 Alger, Algérie

² Institut de recherche de biologie végétale, Département de sciences biologiques, Université de Montréal. 4101 est, rue Sherbrooke. Montréal, QC, Canada. H1X2B2

³ Laboratoire d'écologie végétale de Rennes I, Complexe scientifique de Beaulieu, 263 av. du Général Leclerc, 35042 Rennes, France

* Auteur de correspondance : jacques.brisson@umontreal.ca

élevées et des vents violents. Les formes végétales qui caractérisent les régions désertiques et arides doivent donc être admirablement bien adaptées à la sécheresse pour y survivre et s'y développer (Kabaache *et al.*, 2011). Parmi celles-ci, les plantes en coussin représentent des modèles de résistance au stress et de structuration des communautés sous les climats les plus hostiles, dans les déserts, mais aussi dans les zones alpines et polaires (Reid *et al.*, 2010). Leurs formes basses et arrondies leur permettent de réduire les pertes en eau (Cavieres *et al.*, 2006), d'accumuler les particules de sol et les nutriments (Nunez *et al.*, 1999) et d'être protégées des effets abrasifs du vent (Cavieres *et al.*, 2006). En créant un microclimat plus favorable et un sol plus fertile, elles facilitent l'établissement des autres végétaux (Brooker *et al.*, 2007). Ce rôle de facilitation est particulièrement important en restauration de sites dégradés dans des régions à climat hostile (Padilla & Pugnaire, 2006).

La compréhension de la dynamique et de l'écologie des plantes en coussin devient particulièrement importante dans un contexte de changement climatique, autant en zone aride que froide (Reid *et al.*, 2010). Bien que l'augmentation du nombre de publications sur les plantes en coussin témoigne de leur importance dans l'étude des interactions écologiques, la vaste majorité d'entre elles concernent des plantes des zones alpines ou polaires (Reid *et al.*, 2010). Sur les 400 espèces de plantes en coussin existantes, le Sahara en compte moins de 2 % (Ruffier-Lanche, 1964). Par conséquent, on connaît peu l'impact du climat sur les plantes en coussin de l'Afrique du Nord.

Dans le Sahara septentrional, à la contrainte climatique s'ajoute souvent l'action de l'homme et des animaux domestiques qui n'a fait que croître au cours des dernières décennies. Or, les plantes les mieux adaptées aux rigueurs du climat aride ont souvent une croissance lente et une faible résilience aux perturbations (Quifeng, 2004). Les perturbations anthropiques et les changements climatiques peuvent donc agir en synergie pour conditionner la structure et la dynamique des communautés végétales et celles des populations qui les composent (Dale, 1997 ; Barbier *et al.*, 2006). Par exemple, dans des zones arides relativement plus arrosées, les steppes à *Stipa tenacissima* L. sont restées inchangées durant plusieurs décennies, mais l'action soutenue du surpâturage, jointe à un exceptionnel épisode sec durant les années quarante a provoqué leur déclin (Hirche *et al.*, 2010 ; Slimani *et al.*, 2010 ; Aidoud *et al.*, 2011).

Anabasis aretoides, une plante en coussin emblématique du Sahara septentrional, fait l'objet de la présente étude. Elle forme des populations importantes sur les Hamadas de la Saoura, du Sud Marocain et des environs de Tindouf (Quézel, 1965). Le groupement à *A. aretoides*, typiquement saharien, occupe la majeure partie du reg caillouteux, à l'exception des réseaux hydrographiques, des sols sableux ou argileux (Kaabache *et al.*, 2011). Dans ces régions, cette espèce est soumise à des conditions d'aridité générale et à des sécheresses prolongées. Son rôle écologique est important car cette plante en coussin à feutrage très dense retient à sa base des particules plus fines de sable qui, au fil du temps, forme un véritable sol riche en vie microbienne (Vargues, 1952).

A. aretoides subit une exploitation croissante par les populations humaines locales. Elle est utilisée comme alternative au bois de chauffage, ou arrachée et positionnée pour le jalonnement des pistes sahariennes. Elle est aussi utilisée comme traitement pour les maladies gastriques et rhumatismales. En période de sécheresse, lorsque les aliments de base des troupeaux sont limités, elle est également proposée comme complément d'alimentation aux animaux domestiques. Enfin, en Algérie, dans le cadre de la mise en valeur des terres sahariennes, certaines zones d'habitat de l'*A. aretoides* ont été attribuées à des cultivateurs en vue d'être converties pour l'agriculture.

Devant les changements climatiques anticipés et l'augmentation de l'impact anthropique, des questions s'imposent et sont abordées dans ce travail :

Les populations de l'*A. aretoides* sont-elles en décroissance ?

Quel est l'impact relatif du climat et de l'action de l'homme sur les populations de l'*A. aretoides* ?

Pour répondre à ces questions, nous avons réalisé un suivi écologique des populations de l'*A. aretoides* dans quatre stations algériennes réparties sur un transect Nord-Sud.

MÉTHODOLOGIE

ESPÈCE ÉTUDIÉE

Anabasis aretioides Moq. & Coss. ex Bunge (syn. : *Fredolia aretioides* Coss. & Durieu ex Bunge), aussi appelé « Chou de Bou Hamama », est une plante en coussin de la famille des Chenopodiaceae, endémique de l'Afrique du Nord (Maroc et Algérie). Elle compte parmi les xérophytes les plus caractéristiques du désert sud-Oranais (Killian, 1939). *A. aretioides* forme des coussins hémisphériques très denses pouvant atteindre deux mètres de diamètre. Les feuilles sont nombreuses, petites (env. 3 mm), très serrées, coriaces, à l'apex épineux. L'adaptation exceptionnelle à la sécheresse de cette espèce à croissance lente et à forme singulière a d'abord été montrée par Hauri (1912), qui en réalisa la première analyse anatomique. Dans une étude sur l'influence du climat sur la forme et la structure de l'*A. aretioides*, Killian (1939), en utilisant des plantules cultivées au jardin botanique d'Alger, conclut qu'il est impossible d'acclimater l'espèce sous le climat humide de la côte algérienne, la plante étant trop spécialisée au xérophytisme.

SITE D'ÉTUDE

Nous avons réalisé un suivi écologique des populations de l'*A. aretioides* sur une durée de quatre ans (de 1994 à 1997) dans quatre stations algériennes réparties sur un transect Nord-Sud, ainsi que pour une période supplémentaire de 7 ans (de 2004 à 2010) pour l'une d'entre elles.

Le transect étudié, couvrant près de 240 km, est situé à la limite médiane de l'aire de distribution de l'espèce en Algérie, soit de Tiout à Béni-ounif au nord jusqu'à Tindouf au sud en passant par Béchar (Fig. 1, Tab. I). Les quatre stations de l'*A. aretioides* (Agellal, Manouarrar, Zeghamra et Mazzer) ont été choisies pour assurer une meilleure représentativité de l'ensemble des situations observées sur le terrain.

TABLEAU I

Caractéristiques écologiques des stations à *Anabasis aretioides*. Pour les espèces présentes, les classes de recouvrement correspondent à celles de l'échelle de Braun-Blanquet : + (< 1 %) ; 1 (1-5 %) ; 2 (5-25 %)

Stations	Agellal	Manouarrar	Zeghamra	Mazzer
Coordonnées géographiques	2°.130 et 31°.10'	2°.160 et 31°.10'	2°.240 et 30°.05'	2°.140 et 30°.20'
Altitude	650 m	650 m	700 m	480 m
Pluviosité moyenne annuelle (1994-2010)	50 mm	53 mm	72 mm	71 mm
Température moyenne maximale (1994-2010)	40 °C	40 °C	43,4 °C	43,4 °C
Texture du sol	Sableuse	Sableuse	Sableuse	Sablo-Limoneuse
Profondeur du sol	4 à 5 cm	7 à 8 cm	5 à 6 cm	12 à 15 cm
Géomorphologie	Reg	Reg	Reg	Dépression
Pente	10 %	2 %	10 %	5 %
Traces d'activités humaines	Bouses de chameaux Traces de coupes	Bouses de chameaux Traces de coupes	Traces de coupes	
Espèces et classes de recouvrement				
<i>Anabasis aretioides</i>	1	1	2	2
<i>Anvillea radiata</i>	1	1	1	1
<i>Bubonium graveolens</i>	1	1	1	1
<i>Eryngium ilicifolium</i>				+
<i>Fagonia glutinosa</i>	1	2	2	1
<i>Helianthemum lippii</i>	1	+	+	+
<i>Ifloga spicata</i>	+	+	+	+
<i>Launaea arborescens</i>				+
<i>Paronychia arabica</i>				+
<i>Zilla macroptera</i>				1
Superficie	1000 m ²	1000 m ²	500 m ²	2100 m ²
Nombre d'individus de l' <i>A. aretioides</i>	114	82	231	104

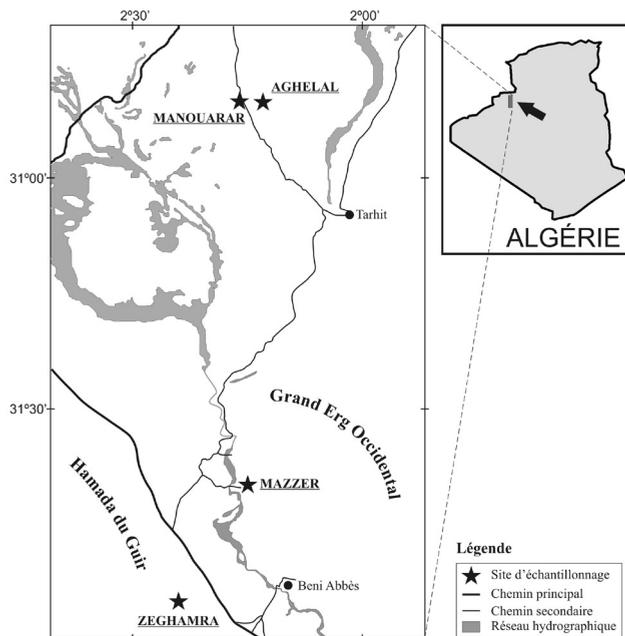


Figure 1.— Région d'étude, avec sites d'échantillonnage.

La région d'étude est caractérisée par la rareté et l'irrégularité des pluies, avec des précipitations moyennes généralement inférieures à 100 mm (données climatiques non publiées, Office national de la météorologie) (Tab. 1). Le climat est de type saharien à hiver tempéré ou doux pour Béni-Abbès et à hiver frais pour Bécharr. La saison sèche s'étale en général, de manière plus ou moins intense, sur plus de 9 mois. Les plus fortes chaleurs coïncident avec la période de précipitation la plus faible (juillet-août) alors que la période pluvieuse (novembre-février) coïncide avec les températures les plus basses (Kaabache *et al.*, 2011). L'humidité relative est faible et l'évaporation est très élevée. Les vents sont violents et chargés en sables : en plus de l'action mécanique qu'ils exercent en déchirant les parties aériennes des végétaux, ils accentuent l'évaporation. Les stations de Aghellal et Manouarrar, situées au nord du transect, sont plus exposées à l'action des vents desséchants que les stations de Zeghamra et Mazzer. Pendant la période allant de 1994 à 2010, les hivers ont été plus chauds qu'en moyenne. La pluviosité a été particulièrement faible dans les sites de Manouarrar et Aghellal dans la période allant de 1998 à 2006, incluant une période sans précipitations entre 2000 et 2003 (données climatiques non publiées, Office national de la météorologie).

La pente est généralement faible pour les quatre stations. Les sols sont de types minéraux bruts, et se forment sous l'action du vent soit par ablation, soit par accumulation ou apport (Dutil, 1971). Ces sols sont poreux, pauvres en matière organique, de texture généralement sableuse avec un fort pouvoir filtrant (Aghellal, Manouarrar et Zeghamra), rarement sablo-limoneuse (Mazzer) (Tab. 1). Aux sécheresses que subissent les populations de *A. aretioides* s'ajoutent les perturbations liées à l'activité humaine : la population de Mazzer semble cependant davantage épargnée par les activités humaines. C'est aussi la station la plus diversifiée en espèces végétales (Tab. 1).

MESURES

L'aire d'échantillonnage est de surface variable (500 à 2100 m²) et a été déterminée en fonction de l'homogénéité végétale et géomorphologique du site (Tab. 1). Dans chacune des stations, nous avons réalisé une série de mesures biométriques sur la totalité des individus de *A. aretioides*. Ce suivi a été réalisé chaque printemps entre 1994 et 1997 pour les stations de Aghellal, Manouarrar et Zeghamra et sur deux périodes, soit de 1994 à 1997 et de 2004 à 2010 (excepté 2007) pour la station de Mazzer. Une visite des stations en 2004 nous a permis de constater l'absence presque complète des individus de *A. aretioides* dans les 3 premiers sites (à peine quelques individus très détériorés) comparativement à la visite précédente (1997), vraisemblablement par récolte.

À l'intérieur des stations, tous les individus de *A. aretioides* ont été cartographiés à l'intérieur d'une grille de référence, permettant ainsi le suivi des changements de taille et le dénombrement annuel des individus morts ou disparus. Ceux morts par effet de sécheresse sont reconnus par leur texture desséchée et noirâtre. Ceux éliminés par effet de coupe sont soit déracinés (laissant la trace d'excavation), soit coupés en partie. Les plantules disparaissent par l'effet des vents desséchants dans la station de Mazzer ; elles sont généralement arrachées avec une structure recroquevillée et desséchée sur la partie exposée au vent. Comme mesures de taille des individus (autres que les semis de l'année), nous avons mesuré la hauteur, le diamètre maximal au niveau du sol et le périmètre extérieur maximal à l'aide d'un double mètre (Fig. 2).

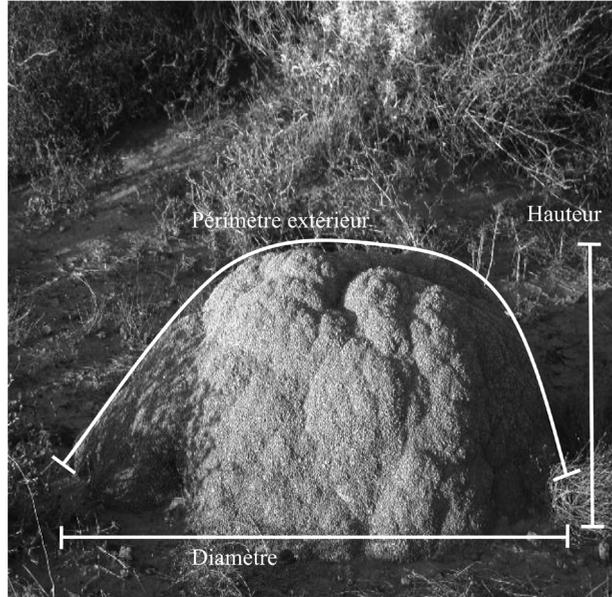


Figure 2.— Paramètres biométriques de *Anabasis aretoides*.

Pour l'analyse de la structure de population, nous avons opté pour le périmètre extérieur, mesuré la première année de l'étude, comme mesure de taille : cette valeur intègre à la fois le diamètre et la hauteur, et elle prend davantage en considération la forme atypique ou asymétrique de certains individus. Les taux de mortalité et de recrutement annuels ont été calculés afin d'en déterminer la relation avec le climat et l'activité anthropique. Quand il n'y a pas de données existantes pour l'année précédente (par exemple, pour 1994), le nombre d'individus de l'année précédente est estimé par le nombre d'individus vivants de l'année en cours (sauf les semis de l'année) auquel on rajoute les individus morts dans l'année qui précède. Cette évaluation sous-estimerait le véritable taux de mortalité si des individus morts au cours de l'année n'ont laissé aucune trace, par exemple s'ils étaient entièrement effacés par une tempête de sable ou des averses torrentielles. Cependant, notre expérience lors des années suivantes nous a montré que c'était très rarement le cas et que nous retrouvions systématiquement les traces des individus notés l'année précédente. Le recrutement annuel est égal au nombre de semis de l'année en cours, divisé par le nombre d'individus semenciers de l'année précédente. Bien qu'il aille de soi que la fécondité est reliée à la taille (âge) de l'individu, nous estimons le nombre de semenciers par le nombre total des individus excluant les semis de l'année en cours. Pour les cas où nous n'avons pas de données sur l'année précédente, nous estimons le nombre de semenciers par le nombre d'individus vivants de plus de deux ans de l'année en cours, plus les individus morts au cours de l'année précédente (sauf les semis).

Un indice de croissance annuelle relative des individus, égal au rapport de la mesure du périmètre au temps T1 sur la mesure du périmètre au temps T0, a permis d'évaluer l'effet des facteurs anthropiques et climatiques sur la croissance. Pour une année en particulier, cet indice est supérieur à 1 s'il y a eu croissance, depuis l'année précédente, ou égal à 1 s'il n'y a pas eu de croissance. Le rapport peut aussi avoir une valeur inférieure à 1 lorsqu'il y a perte de certaines parties de la plante d'une année à l'autre, par exemple suite à un dessèchement partiel causé par des conditions climatiques sévères. L'indice de croissance pour 2005 dans Mazzer n'a pas été calculé car la localisation des individus en 2004 a été perdue.

RÉSULTATS

STRUCTURE DES POPULATIONS À L'ORIGINE

Les structures de taille en 1994, au début du suivi, sont très différentes d'une population à l'autre, suggérant un historique ou une dynamique distincte selon le site (Fig. 3). La population de Manouarrar est apparemment en régression, avec une dominance d'individus de plus grande taille mais très peu de recrutement. Celles d'Aghellal et de Zeghamra ont une cohorte d'individus de taille moyenne, mais la première semble dépourvue de recrutement alors que la deuxième montre une proportion très élevée de jeunes individus (Fig. 3). La population de Mazzer est très largement dominée par des jeunes individus (Fig. 3).

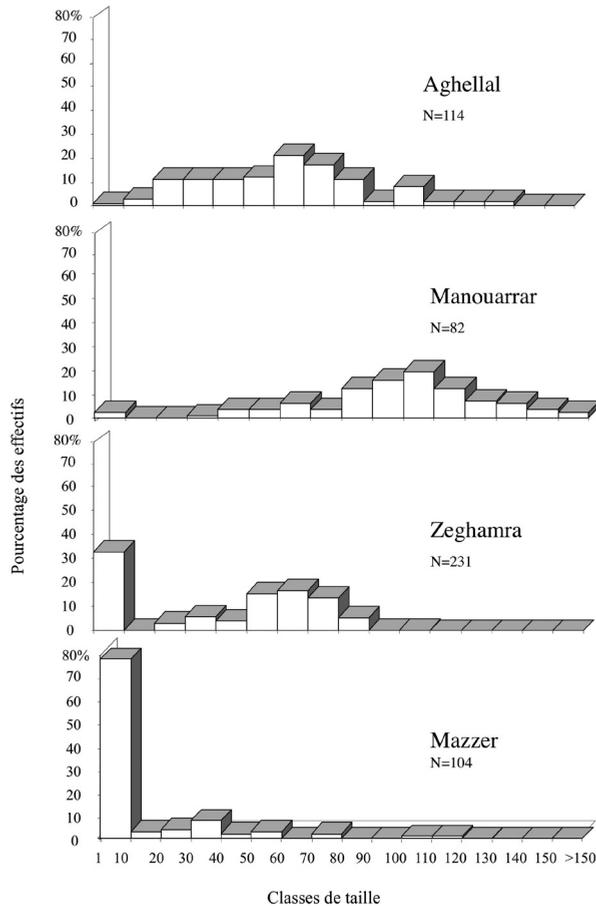


Figure 3.— Structure de taille (périmètre) des quatre populations pendant la première année d'observation (1994).

MORTALITÉ

Pour la première période d'observation (1994-97), les taux de mortalité par effet du climat varient d'une année à l'autre et d'une station à l'autre (Fig. 4). Le taux de mortalité le plus élevé a été enregistré en 1995 dans trois des quatre stations. Pour les autres années, il semble y avoir assez peu de tendances communes entre les stations, même pour des stations aux conditions écologiques similaires comme Manouarrar et Aghellal. Dans la station de Mazzer, ce sont surtout les plantules qui subissent l'effet des vents desséchants, autant dans la première que la deuxième période de suivi. La mortalité est importante en 2004, 2009 et 2010, bien que ces années correspondent pourtant à des années pluvieuses.

À l'exception de Mazzer, le nombre d'individus disparus par effet de coupe est considérable, et il dépasse même nettement la mortalité causée par le climat dans les stations d'Aghellal et de Zeghamra. Certaines années ont été particulièrement difficiles, avec plus de 50 % de mortalité dans Zeghamra en 1995, et 32 % dans Aghellal en 1996. Il n'y avait aucun indice d'activité humaine dans Mazzer dans la première période d'observation, et seulement des traces très mineures en 2005 pour la deuxième période (excréments d'animaux domestiques, traces de coupe ou évidences d'arrachage). Lors d'une visite des sites en 2004, il s'est avéré que dans trois des quatre sites, il ne restait que peu d'*A. aretioides* et la plupart de ceux qui restaient étaient morts, desséchés et blanchis, rendant inutile la poursuite du suivi dans ces sites.

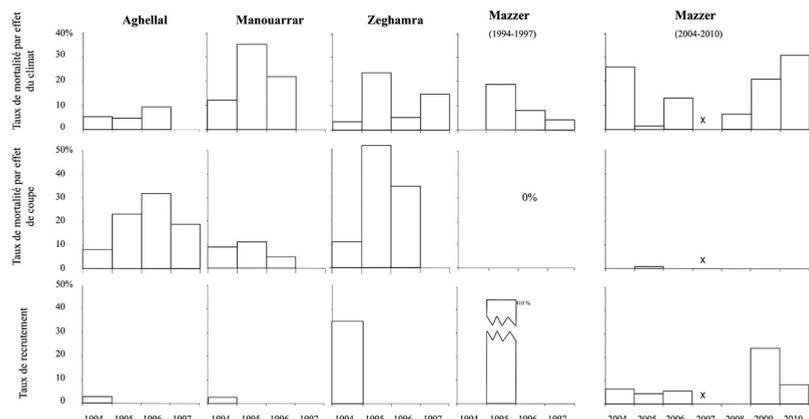


Figure 4.— Mortalité et recrutement des quatre populations pendant la période d’observation.

RECRUTEMENT

De 1994 à 1997, le recrutement a été sporadique, avec plusieurs années sans recrutement, selon la station, et aucun recrutement en 1996 et 1997 (Fig. 4). Le recrutement a été presque nul à Aghellal et Manouarrar pendant les quatre années d’observation. Les deux seules périodes de recrutement important ont été en 1994 à Zeghamra et en 1995 à Mazzer, avec un taux de recrutement très important (plus de 400 %) dans ce dernier cas. De 2004 à 2010, le recrutement a été presque continu dans Mazzer, avec des semis trouvés dans 5 des 6 années échantillonnées (Fig. 4).

CROISSANCE ANNUELLE DES INDIVIDUS

Pour la première période d’observation (1994-97), les patrons de croissance des individus sont globalement les mêmes pour les quatre populations, avec une régression ou faible croissance en 1995, une forte croissance en 1996 et une croissance modérée en 1997 (Fig. 5). L’année 1996, où la croissance a été la plus élevée, correspond à une année pluvieuse pour l’ensemble des stations, particulièrement pour celles d’Aghellal et de Manouarrar (données climatiques non

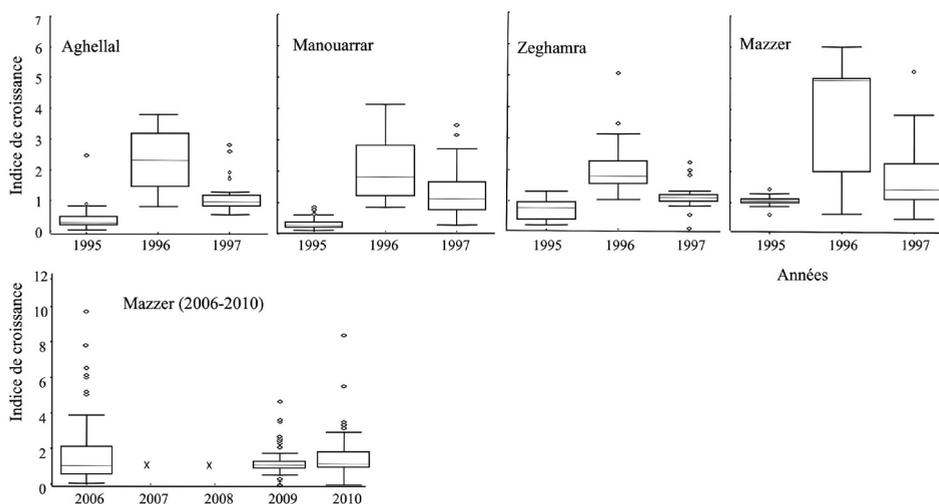


Figure 5.— Indices de croissance annuelle des individus des quatre populations, pendant les deux périodes d’observation. La ligne centrale correspond à la médiane et les barres externes correspondent à l’écart-type.

publiées, Office national de la météorologie). Les croissances modérées de 2006 et 2010 pour Mazzer coïncident également à des années relativement pluvieuses. Ces mêmes années (1996, 2006 et 2010) correspondent aussi à des années de vents moyens plus faibles.

DISCUSSION

Bien que le nombre de populations suivies soit limité, nos résultats montrent néanmoins que la distribution de *A. aretioides* semble être en nette régression en Algérie depuis les deux dernières décennies. De plus, nos résultats suggèrent que l'exploitation humaine et le climat ont tous les deux joué un rôle dans ce déclin.

L'impact de l'exploitation humaine a été radical car elle a consisté en la récolte des individus, et par conséquent à leur mortalité. Dans trois des quatre stations, des indices de coupes ont été notés chaque année entre 1994 et 1997 et, en combinaison avec l'effet du climat, le nombre d'individus a été réduit de moitié ou davantage dans chacune des stations. Le nombre d'individus disparus par effet de coupe est particulièrement important aux points de passage pour l'élevage camelin, comme à Zeghamra. Cependant, c'est pendant l'intervalle entre 1997 et 2004, soit entre les deux périodes de suivi, que l'effet de l'activité humaine a été le plus important : trois populations ont disparu ou presque, et l'absence quasi totale des individus, morts ou vivants suggère que la principale cause de cette absence en a été la récolte. Il faut toutefois noter que l'exploitation humaine, pendant cette période, n'a peut-être pas été indépendante des effets du climat. Par exemple, nous ne pouvons pas exclure la possibilité qu'un dessèchement des individus suite à une mort causée par la très forte sécheresse de 2000-2003 ait pu favoriser leur récolte comme source de combustible. La seule station dont la population se soit maintenue pendant toute la période étudiée est celle de Mazzer, qui jouit à la fois d'un sol plus propice, et qui a été, jusqu'à maintenant, exempte d'exploitation humaine.

La relation entre les facteurs climatiques et la dynamique de population des espèces végétales est complexe. D'une part, il est probable que les facteurs climatiques n'affectent pas de la même façon les différents stades de développement comme la formation des semences, la germination ou la mortalité chez les juvéniles ou les adultes (Miriti *et al.*, 2007). D'autre part, en zone saharienne et péri-saharienne, la corrélation entre la végétation et la valeur annuelle d'un facteur climatique particulier peut être largement affectée par le climat de l'année précédente (Hirche *et al.*, 2007). Enfin, si certains paramètres végétaux comme la croissance pourraient être mis en relation avec des facteurs climatiques annuels moyens, d'autres pourraient être largement déterminés par des événements climatiques ponctuels qui ne sont pas considérés dans l'analyse, comme une mortalité due à une nuit exceptionnellement froide (Ewers *et al.*, 2003). Malgré la période relativement courte de notre suivi et la complexité potentielle de la relation entre le climat et la dynamique des populations, notre étude a tout de même permis de dégager certains effets du climat sur *A. aretioides*. Cette relation est davantage perceptible avec la croissance qu'avec la mortalité et le recrutement.

La mortalité des individus, autre que celle causée par l'activité humaine, a été variable mais importante pendant toute la période du suivi. Dans trois des quatre stations, cette mortalité a été plus grande en 1995, ce qui suggère une cause climatique. La température minimale du mois le plus froid a été très basse en 1995 et pourrait avoir été responsable de cette mortalité. Une sécheresse importante a sévi durant la période 2000-2003, mais son impact sur la mortalité n'a pu être déterminé puisque notre suivi a été interrompu durant cet intervalle.

Plusieurs auteurs ayant travaillé sur les espèces des régions arides soulignent l'influence des conditions climatiques sur leur cycle de reproduction, en particulier aux stades de production de graines et de la germination. Par exemple, les sécheresses du printemps peuvent réduire la production de graines (Bewley & Black, 1994). Les pluies tardives ou précoces provoquent des dommages membranaires en particulier chez les graines âgées (Jansen, 1995). Les températures de l'air interviennent également dans les levées de dormances (Blumenthal & Ison, 1994) et dans la germination (Bewley & Black, 1994). Tous ces facteurs peuvent être à l'origine de l'absence fréquente d'établissement de semis de *A. aretioides* dans plusieurs

des stations. Par exemple, dans la station de Mazzer, il n'y a pas eu de levées de plantules en 1994, 1996, et 1997, cette dernière année coïncidant avec une faible pluviosité. Mais globalement, nos résultats ne montrent pas de relation graphique évidente entre les facteurs climatiques et le succès de recrutement chez *A. aretioides* pendant la période étudiée. La grande différence dans l'établissement des semis entre les stations, certaines années, montre que la sécheresse annuelle moyenne n'est pas seule responsable de l'absence de régénération. En effet, une cohorte de plantes n'est pas présente chez certaines populations ayant pourtant reçu une quantité de pluie plus importante, soit parce qu'il n'y a pas eu production de plantules soit parce que celles-ci sont mortes prématurément. La qualité du sol peut aussi tempérer les effets négatifs du climat. À Mazzer, les individus occupent souvent des dépressions de différentes tailles, caractérisées par un sol assez profond de texture sablo-limoneuse, favorables au développement des plantules. Les autres stations sont situées sur un reg et un sol à texture sableuse qui s'assèche très rapidement. Killian (1939) note les mauvaises qualités physiques (imperméabilité du substratum et présence d'agglomérats imperméables dans le sous-sol) qui font du reg un substratum plutôt défavorable au développement des plantules de l'*A. aretioides*.

Bien qu'il y ait eu une faible relation entre les facteurs climatiques mesurés et la régénération de l'*A. aretioides*, une absence complète d'établissement de semis certaines années n'est pas un phénomène rare chez les plantes en coussin des régions à climat hostile. En effet, en milieu alpin, des espèces en coussin maintiennent leurs populations par un taux de recrutement important mais très épisodique, une survie très faible et parfois nulle la première année et une décroissance du taux de mortalité en relation avec l'âge des individus (Zoller & Lenzin, 2004). La présence des individus de taille inférieure est parfois faible en comparaison aux individus de grande taille (Perez, 1992). Selon les conditions, il est parfois difficile de conclure quant aux raisons de cette irrégularité fréquente dans le recrutement (Fajardo *et al.*, 2008).

En ce qui a trait à la croissance, les facteurs dont le rôle est déterminant sur la croissance et le développement des plantes en coussin seraient la sécheresse, les basses températures et le vent (Ruffier-Lanche, 1964). Chez *A. aretioides*, la concordance des patrons de croissance des stations entre 1994 et 1997 suggèrent fortement que le climat régional serait effectivement le facteur le plus déterminant pour la croissance. Les croissances élevées de 1996 pour l'ensemble des stations et celles de 2006 et 2010 pour la station de Mazzer correspondent toutes à des années de pluviosité modérée à élevée. Alors que la pluviosité aurait favorisé la croissance, il est probable que les vents et la température du mois le plus froid pourraient être responsables du dépérissement de la portion périphérique des individus qui s'est traduit par une réduction moyenne dans leur taille en 1995. Non seulement 1995 correspond à une année avec la température moyenne du mois le plus froid la plus basse (2,8°C, alors que la moyenne 1994-2010 était de 4,6°C), mais aussi à des vents moyens plus élevés, notamment par rapport à 1996. On sait d'ailleurs qu'un vent violent, même chargé d'humidité, dessèche et abaisse la température. Whitehead & Luti (1962) ont étudié les effets du vent sur des plantes qu'ils ont soumises pendant quarante jours à un vent permanent d'environ 53 km/h. Les résultats en furent des modifications morphologiques très nettes de toutes les parties de la plante et même des racines.

Si le climat joue un rôle important dans la dynamique de l'*A. aretioides*, il n'en demeure pas moins que les stratégies d'adaptation à la sécheresse de l'*A. aretioides* peuvent lui permettre de se maintenir après une période climatique défavorable. Cependant, la surexploitation de l'*A. aretioides*, combinée aux pressions climatiques, contribue au déclin de l'espèce.

CONCLUSION

Les plantes en coussin telles que l'*A. aretioides* sont des plantes fondatrices d'écosystèmes très contraints, qu'ils soient arides ou alpins (Reid *et al.*, 2010 ; Badano & Marquet, 2009 ; Cavieres & Badano, 2009). Ces populations sont menacées par l'effet combiné de la sécheresse et de l'utilisation par l'homme. D'autres systèmes sont aussi en danger en raison des sécheresses épisodiques et d'une exploitation accrue (Aidoud & Touffet, 1996). Bien que les avis sur les changements climatiques divergent, certains auteurs concluent à un net assèchement pour le sud oranais au cours des trois dernières décennies, tant par la baisse de la

pluviosité totale que par l'augmentation des périodes sèches (Hirche *et al.*, 2007). Ces changements climatiques, s'ils se confirment ou s'accroissent, vont affecter le devenir de la biodiversité à moyen et à long terme. Aussi, *A. aretoides* est surexploitée pour plusieurs usages, ce qui affecte son maintien à long terme. De par les adaptations xérophytiques qu'elle présente, tant sur le plan morphologique, physiologique que métabolique, elle constitue un élément très important pour l'équilibre et l'organisation des communautés des zones arides.

La détermination précise de la relation entre les conditions climatiques et une espèce nécessite un suivi sur des décennies. Même si les résultats du présent travail ne sont qu'exploratoires, ils apportent tout de même un signal alarmant sur l'état et la structure des populations de *A. aretoides* dans le sud-ouest algérien. La poursuite de suivis de populations, particulièrement sur des sites exempts d'action humaine comme celui de Mazzer, permettrait de vérifier les tendances observées dans le cadre de notre étude et de préciser la part des facteurs climatiques sur la structure et la dynamique de ces populations.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements les plus sincères sont adressés aux personnes suivantes, pour l'aide technique et logistique : M. Abda, F. Abdoun, A. Albert, B. Bouzidi, P. Corradini, D. Dahmani, V. Gagnon, R. Hourizi, M. Kherssi, N. Sadki et S. Talbi. Nous remercions également deux réviseurs anonymes pour leurs précieuses recommandations.

RÉFÉRENCES

- 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*) 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*, 7 : 187-193.
- BARBIER, N., COUTERON, P., LEJOLY, J., DEBLAUWE, V., & LEJEUN, O. (2006).— Self-organized vegetation patterning as a fingerprint of climate and human impact on semi-arid ecosystems. *J. Ecol.*, 94 : 537-547.
- BEWLEY, J.D. & BLACK, M. (1994).— *Seeds : physiology of development and germination*. Springer, New York.
- BLUMENTHAL, M.J. & ISON, R.L. (1994).— A plant population dynamics in subterranean clover and Murex Medic swards. I. Size and composition of the seed bank. *Aust. J. Agric. Res.*, 45 : 913-28.
- BROOKER, R.W. & 23 AUTEURS. (2007).— Facilitation in plant communities : the past, the present, and the future. *J. Ecol.*, 96 : 18-34.
- CAVIERES, L.A., BADANO, E.I., SIERRA-ALMEIDA, A., GOMEZ-GONZALEZ, S. & MOLINA-MONTENEGRO, M.A. (2006).— Positive interactions between alpine plant species and the nurse cushion plant *Laretia acaulis* do not increase with elevation in the Andes of central Chile. *New Phytol.*, 169 : 59-70.
- DALE, V. H., (1997).— The relationship between land-use change and climate change. *Ecol. Appl.*, 7 : 753-769.
- DUTIL, P. (1971).— *Contribution à l'étude des sols et des paléosols du Sahara*. Thèse doc. Sci. Nat., Univ. Louis-Pasteur, Strasbourg, Thèse no. 694.
- EWERS, F.W., LAWSON, M.C., BOWEN, T.J., & DAVIS, S.D. (2003).— Freeze/thaw stress in *Ceanothus* of southern California chaparral. *Oecologia*, 136 : 213-219.
- FAJARDO, A., QUIROZ, C.L., & CAVIERES, L.A. (2008).— Distinguishing colonisation modes from spatial structures in populations of the cushion plant *Azorella madreporica* in the high Andes of central. *Austral Ecol.*, 33 : 703-712.
- HAURI, H. (1912).— *Anabasis aretoides* (Moq et Coss). Eine Polsterflanzeder algerschen Sahara. *Beihefte zum botanischen Centralblatt*, 28 : 323-421
- HIRCHE, A., BOUHGANI, M. & SALAMANI, M. (2007).— Évolution de la pluviosité annuelle dans quelques stations arides algériennes. *Sécheresse*, 18 : 314-20
- HIRCHE, A., SALAMANI, M., ABDELLAOUI, A., BENHOUBOU, S. & VALDERRAMA, J.M. (2010).— Landscape changes of desertification in arid areas : the case of south-west Algeria. *Environ. Monit. Assess.*, 179 : 403-420.
- JANSEN, P.I. (1995).— Seed production quality in *Trifolium balanse* : The role of seed colour. *Seed Sc. Technol.*, 23 : 353-364.
- KAABAACHE, M., MOALI, A. & BENKHEIRA, A. (2011).— *Guide : Habitats, flore et faune des zones arides et sahariennes d'Algérie*. Altitude Communication.
- KILLIAN, C. (1939).— *Anabasis aretoides* Coss et Moq., endémique du Sud Oranais. *Soc. Hist. Nat. Afriq. Nord*, 30 : 413-436.

- MIRITI M.N., RODRIGUEZ-BURITICA, S., WRIGHT, S.J., & HOWE, H.F. (2007).— Episodic death across species of desert shrubs. *Ecology*, 88 : 32-36.
- NUNEZ, C., AIZEN, M. & ESCURRA, C. (1999).— Species associations and nurse plant effect in patches of high-Andean vegetation. *J. Veg. Sci.*, 10 : 357-364.
- PADILLA, F.M. & PUGNAIRE, F.I. (2006).— The role of nurse plants in the restoration of degraded environments. *Front. Ecol. Environ.*, 4 : 196-202.
- PEREZ, F.L. (1992).— Ecological impact of cattle on caulescent Andean rosettes in high Venezuelan paramo. *Mount. Res. Dev.*, 12 : 29-46.
- QINFENG, G. (2004).— Slow recovery in desert perennial vegetation following prolonged human disturbance. *J. Veg. Sc.*, 15 : 757-762.
- QUÉZEL, P. (1965).— La végétation du Sahara du Tchad à la Mauritanie. *Annales de Géographie*, 76 : 357-359.
- REID, A.M., LAMARQUE, L.J. & LORTIC, C.J. (2010).— A systematic review of the recent ecological literature on cushion plants : champions of plant facilitation, *Web Ecology*, 10 : 44-49.
- RUFFIER-LANCHE, R. (1964).— Les plantes en coussinet. *Bulletin de la Société des Amateurs de Jardins Alpins (SAJA)*, IV, 49 : 3-13.
- SLIMANI, H., AIDOU, H. & ROZÉ, F. (2010).— 30 years of protection and monitoring of steppic rangeland undergoing desertification. *Jour. Arid. Env.*, 47 : 685-691.
- VARGUES, H. (1952).— Étude microbiologique de quelques sols sahariens en relation avec la présence de *Anabasis aretioides*. *Bull. Soc. His. Nat. Afr. Nord*.
- WHITEHEAD, F. & LÜTI, R. (1962).— Experimental studies of the effect of wind on plant growth and anatomy. *New Phyt.*, 61 : 56-62.
- ZOLLER, H. & LENZIN, H. (2004).— Survival and recruitment favored by safe site-strategy- the case of the high alpine, non-clonal cushions of *Eritricium nanum*. *Flora*, 199 : 398-408.

