

# Analyse écologique des populations d'*Armeria arenaria*, espèce végétale bio-indicatrice du piétinement de la flore littorale des Maures (Var, France)

Sami YOUSSEF <sup>1,2</sup>, Alex BAUMEL <sup>1</sup>, Frédéric MEDAIL <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléoécologie (IMEP, UMR-CNRS 6116), Université Paul Cézanne Aix-Marseille III. Europôle méditerranéen de l'Arbois, BP 80, 13545 Aix-en-Provence cedex 04. France.  
alex.baumel@univ-cezanne.fr, f.medail@univ-cezanne.fr

<sup>2</sup> General Commission of Biotechnology, Ministry of higher education, Damascus, Syria.  
sami.youssef@etu.univ-cezanne.fr

**Résumé.** *Armeria arenaria* est une espèce rare du littoral de Provence siliceuse, présente au sein d'une communauté végétale halorésistante très localisée. Dans les sites protégés, l'habitat d'*A. arenaria* se situe dans une zone de grande fréquentation touristique soumise à des piétinements importants. Notre étude traite de l'écologie et de la viabilité de populations d'*A. arenaria* localisées sur les sites du Conservatoire du littoral des Caps Lardier et Taillat (Var). Notre démarche s'appuie sur un ensemble de relevés floristiques et mésologiques en présence ou en absence d'*A. arenaria*, et un bilan de la structure démographique de chaque dème. Les résultats montrent que la viabilité des dèmes d'*A. arenaria* dépend de la présence d'un sol fin et du piétinement. Ce dernier engendre une érosion de l'habitat et une forte mortalité, même si le maintien d'individus de grande taille est possible. La structure démographique a, de ce point de vue, une valeur bio-indicatrice de l'état de perturbation du littoral. A l'échelle de la station, les relevés confirment que les espèces associées à *A. arenaria* entrent dans un groupe plutôt halorésistant, mais l'apparition d'espèces rudérales et de xénophytes indique des perturbations croissantes subies par cette communauté végétale.

**Abstract.** *Armeria arenaria* is a rare coastal species, located in a haloresistant plant community. Within protected areas, the habitats of *Armeria arenaria* are situated in vulnerable zones where paths for tourists are often installed, causing important trampling. Our study concerns the ecology and the viability of some populations of *Armeria arenaria* localised on the protected site (Conservatoire du littoral) of Capes Lardier and Taillat (Var, France). Our approach was based on an exhaustive cartography of *A. arenaria* populations, on demographic structure assessment and finally on species relevés in presence or absence of *A. arenaria*. The results show that the viability of the populations of *A. arenaria* depends on fine soil and trampling. The latter generates a ground erosion and a strong mortality, even if the maintenance of large size individuals remains still possible. The demographic structure could be used as an indicator of the perturbation level of the littoral. On the scale of the sampling stations, the relevés support the existence of an haloresistant community associated with *A. arenaria* but the increase of ruderal and xenophyte species reveals the growing disturbance of this coastal ecosystem.

Mots clés : littoral, perturbation, piétinement, aménagement, conservation.

## INTRODUCTION

Dès les années 1960, le littoral méditerranéen français a connu une sévère anthropisation (LOISEL, 1994), en particulier une urbanisation galopante que n'a pas enrayerée la promulgation de la « loi littoral » du 3 janvier 1986 (BABILLOT, 2000). Une grande partie de la frange littorale de Provence a été transformée, et les modifications paysagères et biologiques sont importantes en raison de la fragmentation et de la disparition de nombreux écosystèmes à haute valeur biologique (LOISEL, 1994 ; MÉDAIL, 2008). Ceci a conduit à l'extinction locale de nombreuses espèces dotées de traits d'histoire de vie les plus « défavorables » ou localisées dans les habitats les plus menacés (VERLAQUE *et al.*, 2001). Malheureusement, ces changements environnementaux sont à l'œuvre sur tout le pourtour méditerranéen (BLONDEL et MÉDAIL, 2009), et ils mettent en péril la biodiversité du littoral en raison de la destruction des habitats et des multiples perturbations occasionnées à ces milieux fragiles. Même les sites littoraux protégés ne sont pas épargnés par les dérives environnementales liées à l'anthropisation. Selon une étude récente (MICHEL *et al.*, 2005), les gestionnaires des sites protégés par le Conservatoire du littoral soulignent les forts impacts engendrés par le sur-piétinement qui arrive en tête des problèmes posés par la fréquentation humaine (MARTINEZ, 1994 ; IARE, 1998 ; NOUGARET, 2000).

Sur le littoral des Maures (Var), les sites des Caps Lardier et Taillat, progressivement acquis par le Conservatoire du littoral depuis une trentaine d'années, comportent un nombre important d'espèces végétales et animales rares ou menacées (NOUGARET, 2000), dont 30 espèces protégées par la loi et 26 taxons supplémentaires inscrits au catalogue de la flore rare et menacée de PACA, soit un total de 56 espèces d'intérêt patrimonial (OLIVIER *et al.*, 1995 ; LACOSSE et ABOUCAYA, 2003 ; LACOSSE et ABOUCAYA, 2005). Dans ces deux sites, la plupart des espèces végétales menacées sont inféodées aux milieux ouverts de la frange littorale, là où la pression du public est la plus forte (IARE, 1998 ; NOUGARET, 2000). De manière générale, ces deux caps représentent un patrimoine biologique d'une valeur exceptionnelle ; par exemple, la pointe du Cap Lardier, réserve biologique intégrale depuis 1996, héberge une très belle et rare formation végétale, le matorral à barbe de Jupiter (*Anthyllis barba-jovis*) et à euphorbe arborescente (*Euphorbia dendroides*) caractéristique de la ceinture halorésistante (MOLINIER, 1954 ; LAVAGNE, 1984). Sur le Cap Taillat, ont été aussi découverts plusieurs individus reproducteurs de palmier nain (*Chamaerops humilis*), espèce actuellement en extension (MÉDAIL et QUEZEL, 1996). Mais les communautés végétales de la ceinture halorésistante sont particulièrement vulnérables car c'est dans cette zone qu'ont été établis la plupart des sentiers du littoral. La fréquentation par le public est importante tout au long de l'année, avec un pic l'été lié à la baignade. 250 000 personnes étaient ainsi recensées sur le Cap Lardier en 1996 et la fréquentation augmente d'année en année (IARE, 1997, 1998). Notons que le sentier du littoral

qui va du parking de Gigaro à celui de l'Escalet, en passant par le Cap Lardier, est fortement utilisé par les randonneurs et pour l'accès aux plages (MARTINEZ, 1999, IARE 1998).

L'étude présentée ici a pour objet d'évaluer la vulnérabilité des communautés végétales de la zone littorale de ces deux sites, grâce à une démarche originale associant écologie des populations et écologie des communautés. L'objectif principal est d'examiner si l'arméria des sables *Armeria arenaria* (Pers.) Schultes (Plumbaginaceae), chaméphyte rare sur le littoral varois, peut localement être utilisé en tant que bio-indicateur des effets de la fréquentation humaine sur la végétation de la zone halorésistante. La démarche méthodologique s'est appuyée sur une cartographie exhaustive des sous-populations d'*A. arenaria* et sur des relevés floristiques et mésologiques en présence ou en absence d'arméria.

## MATERIEL ET METHODES

### Modèle biologique

Le genre *Armeria* Willd. est composé d'espèces pérennes de petite taille, majoritairement méditerranéennes. Le centre de diversité principale est la Péninsule Ibérique avec 54 espèces (NIETO FELINER, 1990). En France, il existe 21 taxons du genre *Armeria* dont 16 situés en région méditerranéenne (KERGUÉLEN, 1993). Dans le Département du Var, le genre *Armeria* comporte plusieurs petites populations disjointes et vivant le plus souvent dans des habitats contraignants et fragiles (AUDA, 2004), notamment sur les dolomies et roches métallifères où deux taxons endémiques varois ont été récemment décrits (BAUMEL *et al.*, 2009). Dans notre zone d'étude, le taxon présent n'a pas pu être distingué de l'*Armeria arenaria* subsp. *bupleuroides* (Godr. & Gren.) Greuter & Burdet, endémique du S.E de la France et ce malgré l'hypothèse ancienne d'une différenciation morphologique et génétique liée à son écologie littorale particulière (BAUMEL *et al.*, 2008). Le taxon considéré a d'ailleurs longtemps été dénommé *Armeria praecox* auct., mais le « vrai » *A. arenaria* subsp. *praecox* est en fait un taxon caractéristique des pelouses sèches intra-alpines (TISON et JAUZEIN, in prep.).

En Provence cristalline, le groupement végétal halorésistant caractérisé par *Armeria arenaria*, *Helichrysum stoechas* et *Camphorosma monspeliaca* (*Armerio praecocis-Helichrysetum stoechadis* Géhu *et al.*, 1992), auxquels on peut adjoindre *Dianthus caryophyllus* comme caractéristique du groupement (LAVAGNE et MOUTTE, 1974), forme une pelouse chaméphytique aéro-haline présente sur des replats couverts de débris quartzeux ou de phyllades (MOLINIER 1954 ; LAVAGNE 1984 ; GÉHU, 1991). Elle se situe entre la « ceinture » strictement halophile à *Limonium pseudominutum* et *Lotus cytisoïdes*, et les formations un peu plus internes de matorrals sclérophylles (oléo-lentisque) ou à *Anthyllis barba-jovis* et *Thymelaea hirsuta*. En raison de son aire de distribution restreinte au seuls littoraux des Maures et de l'Estérel et de sa fragilité,

le groupement végétal à *Armeria arenaria* a été intégré au *Livre Rouge des phytocénoses terrestres du littoral français* (GÉHU, 1991). Par ailleurs, il est inclus dans la Directive Européenne Habitat-Faune-Flore de 1992 (code Natura 2000 : 1240, végétation des fissures de falaises cristallines méditerranéennes).

#### Site d'étude

Propriétés du Conservatoire du Littoral, les caps Lardier (310 ha, commune de La Croix-Valmer) et Taillat (79 ha, commune de Ramatuelle) sont gérés respectivement par le Parc national de Port-Cros et le Conservatoire-Etudes des Ecosystèmes de Provence (CEEP). L'ensemble du secteur est situé dans la partie la plus méridionale de la presqu'île de Saint-Tropez. Le coefficient d'Emberger ( $Q_2=118$ ) place ces deux caps dans le bioclimat méditerranéen humide à hiver doux (précipitations moyennes annuelles = 714 mm). La valeur des minima du mois le plus froid de l'année (*m sensu* Emberger) égale à 6°C explique la présence d'une végétation caractéristique de l'étage thermo-méditerranéen avec notamment les matorrals thermophiles à *Chamaerops humilis* et *Euphorbia dendroides*, en limite septentrionale de distribution (MÉDAIL et QUÉZEL, 1996). De par leur géologie, les caps Lardier et Taillat se rattachent au massif cristallin des Maures. Le substrat siliceux supporte le développement d'une végétation très diversifiée, du fait des contrastes inhérents aux conditions stationnelles variées : aux sols très hétérogènes se superposent les contraintes dues à l'influence des embruns (MOLINIER, 1954 ; LAVAGNE et MOUTTE, 1974).

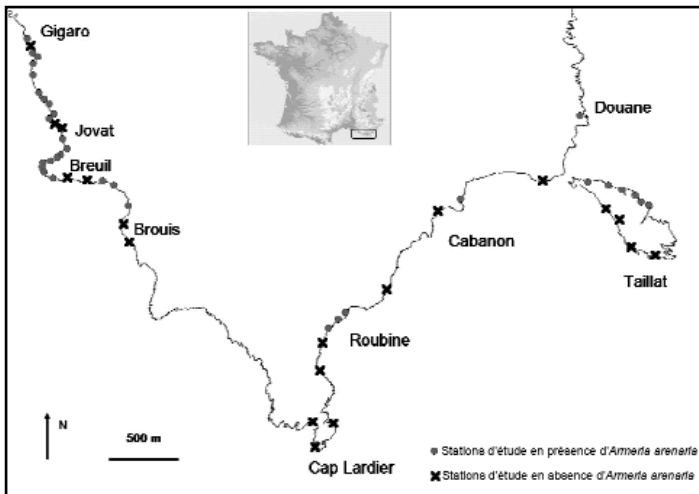
#### Méthodes d'étude

Afin d'éviter toute confusion, nous appelons « dème » tout groupe d'individus d'*A. arenaria* spatialement individualisé et « station » tout lieu où une mesure a été menée. Durant l'automne 2006 et le printemps 2007, les stations ont été choisies après avoir parcouru le site d'étude et recherché activement la présence d'*A. arenaria*. Un recensement exhaustif des individus a été ensuite réalisé permettant d'individualiser 42 dèmes représentant autant de stations d'études. Des quadrats permanents ont été mis en place dans chaque station afin de pouvoir réaliser un suivi temporel des individus d'*A. arenaria* et de la végétation associée. De plus, nous avons choisi aléatoirement 16 stations où l'espèce était absente afin de confronter les caractéristiques mésologiques et floristiques des situations de présence et d'absence (Fig. 1).

#### Diversité spécifique et similarité floristique des communautés végétales

Dans chaque station où *A. arenaria* était présente, un relevé floristique a été réalisé au centre du dème dans une aire circulaire de 50 m<sup>2</sup>. Dans les stations où *A. arenaria* était absente, deux relevés ont été positionnés l'un contre l'autre afin d'étudier le secteur entre la mer et le

matorral halorésistant qui correspond à l'habitat potentiel d' *A. arenaria* (MOLINIER, 1954 ; LAVAGNE, 1984). Pour chaque relevé, ont été inventoriées les espèces végétales (phanérogames et ptéridophytes) présentes, leur recouvrement et les variables suivantes : coordonnées GPS ; pente ; exposition ; recouvrement des rochers, blocs, cailloux, terre nue, cryptogames et litière (aérée, dense et ligneuse) ; recouvrement végétal total et par strate : herbacées (inférieur à 0,5 m), arbustes (0,5 à 2 m), arbustes hauts (2 à 4 m), arbres (4 à 10 m) et arbres hauts (supérieur à 10 m). Pour les facteurs mésologiques et le recouvrement végétal, cinq classes ont été retenues (classe 1 :  $R < 10\%$ , classe 2 :  $10 < R < 25\%$ , classe 3 :  $25 < R < 50\%$ , classe 4 :  $50 < R < 75\%$  et classe 5 :  $R > 75\%$ ).



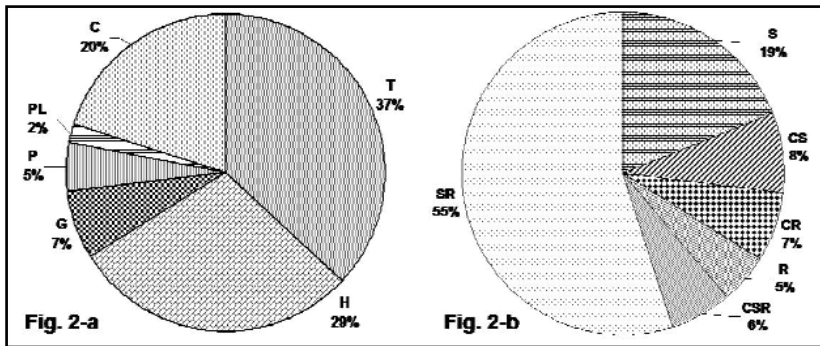
**Figure 1** : Carte localisant les stations d'étude d'*Armeria arenaria* sur les Caps Lardier et Taillat (littoral des Maures, Var).

Les espèces associées à *Armeria arenaria*, ont été classées en fonction des types biologiques (RAUNKIAER, 1934) et des stratégies démographiques C-S-R des végétaux (GRIME, 1974, 2001). Afin d'identifier les différents cortèges floristiques présents dans nos stations d'étude, une méthode d'ordination de type *Non-Metric Multidimensional Scaling* (NMDS) a été appliquée (R2.6.1., 2007, package vegan, metaNMDS) sur une matrice de similarité floristique basée sur l'indice de Jaccard (KRUSKAL et WISH, 1978 ; LEGENDRE et LEGENDRE, 1998). Dans le but de regrouper les sites sur la base de leur ressemblance floristique, une matrice de similarité floristique a également été utilisée afin de réaliser une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) des stations grâce à l'algorithme de Ward (R2.6.1. 2007, package Ade4). Les *K clusters* obtenus par troncature de la CAH ont servi à regrouper les stations dans le plan NMDS. Par ailleurs, une analyse de type *Multiple Response Permutation Procedure* (MRPP) a été effectuée sur les clus-

ters pour valider la significativité de leur différence (R2.6.1 2007, package vegan). La MRPP permet de comparer la similarité floristique intra- et inter-groupes vis-à-vis d'une distribution obtenue par permutation des sites parmi les groupes comparés. L'hypothèse nulle du test correspond à l'absence de structure floristique.

## RESULTATS

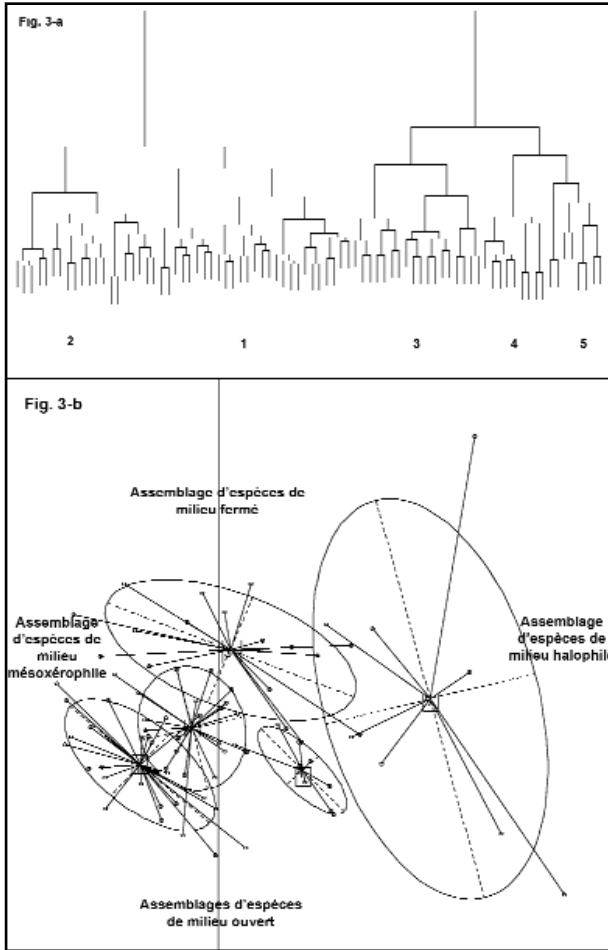
Les relevés floristiques ont permis d'identifier 104 espèces sur l'ensemble des stations où *A. arenaria* est présente. Une trentaine de ces espèces ont une fréquence relative supérieure à 25%, et 45 ne se rencontrent que dans une à cinq stations. Par ordre de fréquence décroissante, les espèces les plus représentées sur l'ensemble des stations sont : *Dactylis glomerata* subsp. *hispanica*, *Reichardia picroides*, *Lotus cytisoides*, *Silene gallica*, *Catapodium rigidum*, *Lagurus ovatus*, *Camphorosma monspeliaca*, *Aetheoriza bulbosa*, *Sonchus tenerrimus*, et *Helichrysum stoechas*. Le spectre des types biologiques *sensu* Raunkiaer indique que *A. arenaria* est associée principalement à des thérophytes (T : 37%), des hémicryptophytes (H : 29%) et des chaméphytes (C : 20%) (Figure 2a). Le spectre global des stratégies démographiques *sensu* Grime montre que les espèces végétales associées à *A. arenaria* sont majoritairement de type «stress-tolérante / rudérales» (SR : 55%) et « stress-tolérantes » (S : 19%) (Figure 2b).



**Figure 2 :** (a) Spectre des types biologiques de Raunkiaer (T : thérophytes, H : hémicryptophytes, C : chaméphytes, G : géophytes, P : phanérophytes ; PL : phanérophytes lianescents). (b) Spectre des stratégies démographiques de Grime des végétaux de la communauté à *Armeria arenaria* (R : résistante à la perturbation, C : compétitrice et S : stress-tolérante).

Les relevés floristiques, réalisés sur 50 m<sup>2</sup>, s'organisent en cinq groupes distingués par la CAH (Fig. 3a). Ces cinq groupes de stations, significativement différents ( $p < 0,001$ , MRPP), se distinguent bien sur les axes 1 et 2 de l'ordination NMDS. Trois axes principaux de NMDS ont été définis pour obtenir une « valeur de stress » acceptable de 15,87 (Fig. 3b). De manière générale, les relevés floristiques analysés

par la CAH distinguent bien les stations où *Armeria arenaria* est présente (groupes 1 et 2), des stations où *A. arenaria* est absente (groupes 3, 4 et 5).



**Figure 3** : Ordination, (a) CAH et (b) ordination NMDS des stations selon leur similarité floristique. Les stations où *Armeria arenaria* est absente commencent par la lettre N. GIG = Gigaro ; JOV = Jovat ; BRE = Breuil ; BRO = Brouis ; LAR = Cap Lardier ; ROU = Roubine ; CAB = Cabanon ; Dou = Douane et TAI = Cap Taillat. Les ellipses de la figure 3b regroupent les stations selon la classification de la figure 3a.

Le groupe n° 1 inclut la quasi-totalité des stations de la côte Ouest où *A. arenaria* est présente. Ce groupe est caractérisé par des espèces halophiles ou halorésistantes, communes sur le littoral, majoritairement herbacées (G, T et H = 73%, tab. 1) et se trouvant dans un milieu ouvert et sur substrat minéral (rocher et/ou sable) : *Lotus cytisoides*, *Camphorosma monspeliaca*, *Helichrysum stoechas*, et *Lobularia mari-*

*tima*, mais aussi *Romulea columnae* géophyte protégée. Le groupe n°2 est corrélé aux stations de la côte Est où *A. arenaria* est présente ; elle comprend certaines espèces herbacées (G, T et H = 77%, tableau I) de la ceinture halorésistante (*Lotus cytisoides*, *Helichrysum stoechas* et *Dianthus caryophyllus*) et des espèces mésoxérophiles des pelouses arides méditerranéennes (*Rumex bucephalophorus*, *Sanguisorba minor*, *Centaurea paniculata*, *Torilis arvensis*, *Stellaria media*, *Trifolium campestre*, *Erodium cicutarium*, *Glaucium flavum* et *Anthoxanthum odoratum*).

**Tableau I** - Richesse spécifique (RS) et spectre des types biologiques de Raunkiaer (T : thérophytes, H : hémicryptophytes, C : chaméphytes, G : géophytes, P : phanérophyles ; PL : phanérophyles lianescents) des groupes floristiques mis en évidence par la CAH.

N° groupe	1	2	3	4	5
Nb relevés	27	20	18	9	8
RS	26,1	29,1	22,1	15,6	8,6
% G, T, H	73	77	54	56	34
% C	21	17	24	34	44
% P et PL	6	6	22	10	22

Dans les autres groupes *A. arenaria* est absente. Le groupe n°3 présente des espèces forestières ou de matorrals (C, P et PL = 46%, tableau I) sur sol profond (*Quercus ilex*, *Daphne gnidium*, *Pistacia lentiscus*, *Rubia peregrina*, *Phillyrea angustifolia* et *Lonicera implexa*). Le groupe n° 4, incluant les stations du Cap Lardier et certaines stations du Cap Taillat, est représenté par un cortège floristique assez particulier du milieu littoral rocheux (*Euphorbia dendroides* et *Crithmum maritimum*) marqué par l'apparition d'espèces rudérales comme *Chrysanthemum coronarium*. Le groupe n° 5 englobe deux types de milieu : un milieu pré-forestier incluant des espèces halorésistantes (C, P et PL = 66%) (*Pinus halepensis*, *Smilax aspera*, *Anthyllis barba-jovis* et *Pistacia lentiscus*) et un milieu halophile caractérisé par *Limonium pseudominutum* où l'espèce envahissante *Carpobrotus edulis* peut être abondante (Cap Taillat). Les groupes de stations où *A. arenaria* est présente se caractérisent par une richesse spécifique supérieure (groupe 1 : RS = 26,1 ; groupe 2 : RS = 29,1) à ceux où l'arméria est absente (groupe 3 : RS = 22,1 ; groupe 4 : RS = 15,6 ; groupe 5 : RS = 8,6). De plus, cette analyse sépare bien les stations de la côte Ouest (groupe 1) et les stations de la côte Est (groupe 2, 3, 4 et 5).

## DISCUSSION

Analyse écologique de la communauté végétale associée à *Armeria arenaria*

Les résultats présentés ici témoignent de l'évolution de la communauté végétale associée à *A. arenaria*. Si celle-ci est toujours majoritaire



rement représentée par les herbacées (T+G+H = 63%) stress-tolérantes rudérales (SR) et stress-tolérantes strictes (S), on note une «rudéralisation» de la communauté, exprimée par la présence d'espèces telles que *Chrysanthemum coronarium* et *Silene vulgaris* et/ou la présence de certaines espèces envahissantes telles que *Opuntia stricta* et *Carpobrotus edulis*. Cette évolution atteste de la situation écologique perturbée de cette zone littorale, pourtant protégée. Cependant, parmi les 104 espèces associées à *A. arenaria*, les végétaux du groupe littoral halorésistant appartenant à l'association *Armerio praecocis-Helichrysetum stoechadis* (MOLINIER, 1954 ; LAVAGNE, 1984 ; GÉHU *et al.*, 1992) restent fréquents sur toute la zone étudiée.

A l'échelle du site, les analyses se basant sur la similarité floristique (CAH et NMDS) montrent que les stations où *A. arenaria* est absente comportent des espèces de milieu pré-forestier ou de maquis, sur des sols assez profonds, ou des espèces halophiles de milieu ouvert sur substrat minéral. Ces situations écologiques semblent être en dehors de la niche écologique d'*A. arenaria*. Quelques exceptions ont été observées, par exemple dans les relevés floristiques effectués par LAVAGNE (1984), *A. arenaria* est citée dans la réserve biologique de l'extrémité du Cap Lardier ; mais malgré nos efforts de prospection nous n'avons pas retrouvé cette population en 2007. Cette absence pourrait s'expliquer en partie par le développement d'une formation dense à barbe-de-Jupiter et euphorbe arborescente. Cependant, quelques endroits très favorables subsistent sans être pour autant colonisés par *A. arenaria*, peut-être du fait de l'absence d'un vecteur de dispersion des semences.

Les stations où *A. arenaria* est présente se divisent en deux groupes. Le premier englobe les stations situées sur la côte Ouest où *A. arenaria* est associée aux espèces de la ceinture halorésistante. Cette communauté végétale correspond à celle décrite par MOLINIER (1954) et LAVAGNE (1984). Cependant, la fréquentation humaine, très forte dans cette zone Ouest, engendre l'apparition d'espèces rudérales et une dégradation de l'état des dèmes d'*A. arenaria*. Ces dèmes comportent peu d'individus, sont de grand diamètre, donc âgés, et se caractérisent par la rareté des juvéniles, indiquant un recrutement faible ou nul depuis quelques années. Une exception apparaît au sein des exclos mis en place dans la zone Ouest par les gestionnaires du site : ces dèmes ont un taux élevé de juvéniles, preuve supplémentaire des effets destructeurs du piétinement. La mise en place d'exclos constitue ainsi une mesure souvent efficace pour favoriser le recrutement d'espèces rares mais toutefois assez compétitives (MASCHINSKI *et al.*, 1997).

Le deuxième groupe renferme les stations situées sur la côte Est où les espèces associées à *A. arenaria* sont plutôt des méso-xérophiles des pelouses arides méditerranéennes. Par exemple, au Cap Taillat, se développe une pelouse chaméphytique qui pourrait correspondre à un état optimal pour la viabilité d'*A. arenaria*, avec une structure démo-

graphique équilibrée et un fort recrutement. Ce milieu ouvert offre une forte disponibilité en sol fin, favorisant les germinations ; de plus, la grande surface colonisable limite les effets potentiels de compétition intraspécifique et elle peut offrir aussi la possibilité à certains individus d'être épargnés par les embruns. Enfin, cette pelouse évitée par le sentier n'est pas empruntée par les promeneurs.

A l'échelle des deux caps, l'ordination multivariée des espèces (NMDS), montre que les communautés végétales de la côte Est (groupes 3, 5 et une partie de groupe 2) se différencient nettement de celles de la côte Ouest (groupe 1) et de la réserve biologique Cap Lardier (matorral à barbe-de-Jupiter et à euphorbe arborescente, groupe 4). Ainsi, sur la côte Est, une partie du maquis est masquée par un peuplement assez dense de pins d'Alep et offre une flore thermophile typique (*Pistacia lentiscus*, *Myrtus communis*, *Phagnalon saxatile*, *Senecio cineraria* et *Carlina corymbosa*) avec le développement d'espèces comme *Thymelaea hirsuta* ou *Limonium pseudominutum*. Deux facteurs peuvent expliquer le développement d'une végétation différente entre les côtes Est et Ouest du Cap Lardier : (i) la différence de roche mère et de substrat, avec du gneiss migmatitique sur la côte Est et des anatexites sur la côte Ouest ; (ii) l'exposition différentielle des côtes Est et Ouest vis-à-vis des vents dominants d'Ouest (LAVAGNE, 1984).

#### Tendances démographiques

L'analyse multivariée des variables mésologiques couplées au tableau d'occurrences floristiques montre que la distribution locale d'*Armeria arenaria* est principalement déterminée par la pente, l'exposition et le pH du sol (YOUSSEF *et al.*, en préparation). La disponibilité en sol fin et la fréquentation humaine agissent, quant à elles, sur la taille et la structure d'âge des dèmes d'*A. arenaria*. Le piétinement a un effet négatif sur la structure et la stabilité des dèmes d'*A. arenaria* en engendrant une érosion des éléments fins et une forte mortalité. Le maintien d'individus reste possible au niveau de fissures comme c'est le cas des dèmes se situant à l'Ouest du site, où des individus de grande taille et relativement âgés (10-15 ans) témoignent d'une situation passée plus bénéfique pour l'espèce (YOUSSEF *et al.*, soumis). L'hypothèse d'une extension de l'espèce plus importante dans le passé semble donc cohérente et rejoint les observations de LAVAGNE (1984) et celle de l'IARE (1998) ; la régression de l'espèce aurait débuté il y a environ 25 ans, suite à une augmentation de la fréquentation humaine. La structure démographique d'*A. arenaria*, et plus précisément l'effectif des dèmes et la présence des individus juvéniles, semble donc constituer un bon indice des degrés de perturbation de cette zone littorale par la fréquentation humaine (YOUSSEF *et al.*, en préparation).

## CONCLUSION

Endémique du littoral de Provence siliceuse, la communauté végétale littorale caractérisée par l'arméria des sables est profondément originale sur le plan de sa composition floristique. Elle se situe entre le groupement halophile et le matorral thermophile un peu plus interne, et montre une exigence de salinité intermédiaire par rapport aux deux groupes précédents. La situation spatiale de cette association n'a donc pas été changée par rapport à celle qui a été décrite par MOLINIER (1954), puis LAVAGNE et MOUTTE (1974) et LAVAGNE (1984). Par contre, un changement notable du cortège floristique se manifeste par l'apparition de nouvelles espèces rudérales ou des xénophytes à caractère envahissant (*Carpobrotus*, *Opuntia*).

Depuis une vingtaine d'années, les populations d' *A. arenaria* du Cap Taillat et du Cap Lardier sont protégées vis-à-vis d'aménagements destructeurs, mais elles se trouvent relativement isolées des populations plus orientales du littoral qui sont, elles aussi, de plus en plus rares. Ainsi sur la côte de l'Estérel, de nombreuses populations ont été détruites par la construction d'habitations et les populations reliques se trouvent également dans les zones sur-fréquentées car permettant l'accès à la mer (AUDA, 2004). Cette tendance risque de s'accroître dans l'avenir, sachant qu'un million de personnes résidentes supplémentaires sont attendues en Région Provence-Alpes-Côte d'Azur d'ici les dix prochaines années selon l'INSEE.

La communauté végétale caractérisée par l'arméria des sables s'avère très sensible au piétinement et elle est donc hautement menacée sur les côtes varoises siliceuses. Vu la réussite de l'expérience des exclos mis en place depuis cinq ans sur le site du Cap Lardier, une extension de ces protections serait judicieuse, en prévision d'une fréquentation encore accrue du littoral des Maures et de l'Estérel. Comme pour bien d'autres communautés végétales du littoral varois (MÉDAIL, 2008) – y compris celles situées dans les zones faisant l'objet de mesures de protection foncière – les multiples perturbations liées aux impacts anthropiques et aux changements globaux font peser de lourdes menaces biotiques, et l'on peut craindre que certains seuils d'irréversibilité écologique soient localement atteints. La nécessité de rechercher des indicateurs biologiques robustes et pratiques de l'« état de santé » des écosystèmes devient un élément important pour la gestion des espaces naturels (Noss, 1990).

## REMERCIEMENTS

Ce travail de recherche a été rendu possible grâce à l'attribution d'un financement par le Parc national de Port-Cros (contrat n° 06-026). Le Parc national de Port-Cros a également fourni un soutien logistique sur le terrain et nous exprimons notre sincère reconnaissance à son personnel et plus particulièrement à J.-C. Dherment (Chef de Secteur du Cap Lardier) et à Annie Aboucaya.

Nous remercions également Franck Torre (IMEP) pour ses conseils sur les analyses statistiques, ainsi que André Thomas (IMEP) pour l'aide précieuse dans la détermination des cernes annuels d'*A. arenaria*.

## REFERENCES

- AUDA P., 2004. - *Etude morphométrique et écologique des populations d'Armeria (Plumbaginaceae) du littoral varois*. Rapport de Maîtrise Biologie des Populations et Ecosystèmes, Université Aix-Marseille III, Marseille.
- BABILLOT P., 2000. - *La pression de la construction ne se relâche pas sur le littoral métropolitain*. Les données de l'environnement, 55. Ifen, Orléans, 4 p.
- BAUMEL A., AUDA P., TORRE F., MÉDAIL F., 2009. - Morphological polymorphism and rDNA ITS sequence variation in *Armeria* (Plumbaginaceae) from South-Eastern France. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 159 : 255-267.
- BLONDEL J., MÉDAIL F., 2009. - Mediterranean biodiversity and conservation. In : Woodward J.C. (ed.). *The physical geography of the Mediterranean basin*. Oxford University Press, Oxford, sous presse.
- GÉHU J.M., 1991. - *Livre rouge des phytocénoses terrestres du littoral français*. Centre régional de phytosociologie, Bailleul, 238 pp.
- GRIME J.P., 1974. - Vegetation classification by reference to strategies. *Nature* 250 : 26-31.
- GRIME J.P., 2001. - *Plant strategies, vegetation processes, and ecosystem properties*. J. Wiley & Sons, Chichester.
- IARE, 1997. - *Le Cap Lardier : état des lieux, diagnostic, propositions de gestion* (atlas) 10 cartes.
- IARE, 1998. - *Le Cap Lardier (La Croix-Valmer, Var)*. 2 vols. 1 : *état des lieux, diagnostic, propositions de gestion* ; 2 : *plan d'aménagement* : 91 pp. et 44 pp.
- KERGUÉLEN M., 1993. - *Index synonymique de la flore de France*. Collection Patrimoines naturels, vol. 8. Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 197 pp.
- KRUSKAL J.B., WISH M., 1978. - *Multidimensional scaling*. Sage publications, Beverly hills, CA.
- LACOSSE P.A., ABOUCAYA A., 2003. Petite florule du site du Cap Lardier, La Croix-Valmer (Var, Fr. *Sci. Rep. Port-Cros Natl. Park* 19 : 19-40.
- LACOSSE P.A., ABOUCAYA A., 2005. - Additions à la flore des magnoliophytes, pinophytes et filicophytes du cap Lardier (Provence, France). *Sci. Rep. Port-Cros Natl. Park* 21 : 193-202.
- LAVAGNE A. 1984. - *Etude du milieu naturel – flore, phytosociologie et carte de végétation – aire du cap Lardier et cap Mimosa & aire de la Briande*. Parc national de Port-Cros. 29 p., 3 cartes h.-t. (rapport inédit).
- LAVAGNE A. et MOUTTE P., 1974. - Cartes des séries de végétation. Feuille de Saint-Tropez - Q.23 - au 1/100000°. *Bull. Carte Vég. Provence Alpes du Sud*, 1 : 1-43, 1 carte h.-t.
- LEGENDRE, P., LEGENDRE L., 1998. - *Numerical ecology, second english edition*. Elsevier, Amsterdam, 853 pp.
- LOISEL R., 1994. - Les phytocénoses phanérogamiques du littoral méditerranéen français. Facteurs et degrés de menace de disparition. In : Bellan-Santini D., Lacaze J.-C & Poizat C. (eds.). *Les biocénoses marines et littorales de Méditerranée, synthèse*

- se, *menaces et perspectives*. Collection Patrimoines Naturels, vol. 19. Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, pp. 148-159.
- MASCHINSKI J., FRYE R., RUTMAN S., 1997. - Demography and population viability of an endangered plant species before and after protection from trampling. *Conserv. Biol.*, 11 : 990-999.
- MARTINEZ A., 1994. - *Cap Taillat, Ramatuelle-Var. Bilan de gestion 94, proposition 95*. Espaces naturels de Provence/CEEP, Aix-en-Provence : 11 pp.
- MARTINEZ A., 1999. - *Bilan des activités du cap Taillat*. Espaces naturels de Provence/CEEP, Aix-en-Provence : 18 pp + annexes.
- MÉDAIL F., 2008. - *Plantes du littoral*. In : Cruon R. (coord.). *Le Var et sa flore, plantes rares ou protégées*. Naturalia Publications, Turriers : pp. 477-488.
- MÉDAIL, F., QUÉZEL P., 1996. - Signification climatique et phytoécologique de la redécouverte en France méditerranéenne de *Chamaerops humilis* L. (Palmae). *C.R. Acad. Sci. Sér. III, Sciences de la Vie*, 319 : 139-145.
- MICHEL C., CHENAT V., PITRON F., 2005. - Brasser l'expérience avec des algorithmes; étude sur la fréquentations annuelle des sites. *Espaces naturels* 11 : 27-28.
- MOLINIER R., 1954. - Observation sur la végétation de la zone littorale en Provence. *Vegetatio* 5-6 : 257-267.
- NIETO FELINER G., 1990. - *Armeria*. In : Castroviejo S. et al. (eds.) *Flora Iberica. Plantas vasculares de la Peninsula Iberica e Islas Baleares. Vol. II. Platanaceae-Plumbaginaceae*. Real Jardin Botánico, CSIC, Madrid, pp 642-721.
- NOUGARET R., 2000. - *Préliminaires à l'élaboration du plan de gestion du site du cap Taillat (Croix Valmer & Ramatuelle, Var)*. Mémoire de DESS « Écosystèmes méditerranéens littoraux ». Université de Corse, Faculté des Sciences et Techniques.
- NOSS, 1990. - Indicators for monitoring biodiversity: A hierarchical approach. *Conservation Biology*, 4 : 355-364.
- OLIVIER L., GALLAND J.P., MAURIN H., ROUX J.P., 1995. - *Livre rouge de la flore menacée de France. Tome 1 : espèces prioritaires*. Collection patrimoines naturels, vol 20. Muséum national d'histoire naturelle, Conservatoire Botanique National de Porquerolles, Ministère de l'Environnement, Paris, 486 pp. + annexes.
- RAUNKIAER C., 1934. - *The life form of plants and statistical plant geography*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- R VERSION 2.6.1 2007. (<http://cran.univ-lyon1.fr/>)
- VERLAQUE R., MÉDAIL F., ABOUCAYA A., 2001. - Valeur prédictive des types biologiques pour la conservation de la flore méditerranéenne. *C.R. Acad. Sci. Sér. III, Sciences de la Vie*, 324 : 1157-1165.
- YOUSSEF S., BAUMEL A., MÉDAIL F., - Structure démographique d'*Armeria arenaria* (Plumbaginaceae), espèce végétale bio-indicatrice de l'état de conservation de la flore littorale des Maures (Var, France). *Candollea*, en correction.