



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Comptes Rendus Biologies

www.sciencedirect.com



Biodiversité/Biodiversity

Menaces et conservation des zones humides d'Afrique du Nord : le cas du site Ramsar de Beni-Belaid (NE algérien)

Threats to and conservation of North African wetlands: The case of the Ramsar site of Beni-Belaid (NE Algeria)

Mohammed Bouldjedri^a, Gérard de Bélair^b, Boualem Mayache^a, Serge D. Muller^{c,*}

^a Département biologie animale et végétale, faculté des sciences exactes et des sciences de la nature et de la vie, université Jijel, Jijel, Algérie

^b Faculté des sciences, université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie

^c CNRS, institut des sciences de l'évolution (ISE-M), université Montpellier-2, case 061, 34095 Montpellier cedex 05, France

INFO ARTICLE

Historique de l'article :

Reçu le 7 mai 2011

Accepté après révision le 28 juin 2011

Disponible sur internet le 24 août 2011

Mots clés :

Biodiversité

Méditerranée

Agropastoralisme

Gestion conservatoire

Végétation hydrophytique

RÉSUMÉ

En raison de leur contexte biogéographique et géomorphologique, les zones humides du Nord-Est de l'Algérie présentent une grande richesse spécifique et coenologique. L'étude de la végétation du site Ramsar de Beni-Belaid (Petite Kabylie) a montré l'existence de quatre principales communautés végétales réparties sur des gradients d'hydrologie et de perturbation. Les résultats obtenus révèlent d'importantes menaces sur le court terme : le surpâturage entraîne l'invasion du lac par le sable érodé des dunes littorales ; l'agriculture est à l'origine de défrichements illégaux, d'une pollution des eaux et de pompes excessifs dans la nappe phréatique ; enfin, la chasse et la pêche sont illégalement pratiquées au sein même du site Ramsar. Une prise de conscience des pouvoirs publics est nécessaire pour : (1) mettre en défens la zone humide dans le but de restaurer une ceinture forestière tampon et (2) d'initier une campagne de sensibilisation et d'implication de la population locale dans la gestion conservatoire du site.

© 2011 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

ABSTRACT

Because of their biogeographical and geomorphological context, the northeastern Algeria wetlands present high species and community richness. The vegetation study of the Ramsar site of Beni-Belaid (Kabylia) showed the existence of four main communities, distributed along gradients of hydrology and disturbance. The obtained results reveal worrying threats on short term: overgrazing results in the lake invasion by the sand eroded from the coastal dune; agriculture induces illegal cutting, water pollution and excessive groundwater pumping; finally, hunting and fishing are illegally practiced into the Ramsar site. The awareness of public authorities is needed in order: (1) to completely protect the wetland with the aim of restoring a riparian forest belt; and (2) to initiate a campaign for increasing the local population awareness, and its involvement in conservation programs.

© 2011 Académie des sciences. Published by Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Keywords:

Biodiversity

Mediterranean

Agropastoralism

Conservatory management

Hydrophytic vegetation

Abridged English version

Wetlands deserve a number of functions, comprising inundation control, groundwater recharge, chemical trapping and nutrient recycling, and harbour remarkable

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : smuller@univ-montp2.fr (S.D. Muller).

habitats and adapted floras and faunas. In Mediterranean regions, and more particularly in North Africa, wetlands contain a very rich, but declining biodiversity. In Algeria, wetlands are mainly concentrated on the northeastern coast and are very rarely protected from anthropogenic disturbances, even if they are recognised as conservation priorities, for instance through the 'Ramsar site' status. Previous investigations underline the exceptional richness of the wetlands of Kabylia, Numidia and Kroumiria. However, very few studies dealt with them, and most of them focused on the great wetland complexes of Annaba–El Kala and Guerbès–Senhadja. No scientific study has ever been published on other wetlands of northeastern-Algeria, which, like Beni-Belaid Wetland (36°52'36"N ; 06°06'16"E ; 0–3 m), are completely unknown by the international community. A preliminary report revealed in 2000 the major interest of this wetland, which notably houses *Lutra lutra*, *Mauremys leprosa*, *Emys orbicularis*, *Porphyrio porphyrio*, *Ixobrychus minutus*, *Alcedo atthis*, *Aythya nyroca*, *Acrocephalus scirpaceus*, as well as the endemic fish *Pseudophoxinus callensis*. Despite its recognition as a Ramsar site in 2003, neither study nor management has been still implemented, with the exception of a discontinuous enclosure installed in 2008 on the southern shore of the lake. The wetland is presently highly threatened on its sea side by the inward displacement of the coastal dune, and on its inland side by human activities, including agriculture, pumping, grazing, hunting and fishing. This worrying situation motivated the present study, which aims at: (1) evaluating the species and community richness of the Beni-Belaid Wetland, and specifying the ecological controls of its hydrophytic vegetation; (2) assessing its conservation status just after its election as Ramsar site; and (3) proposing avenues for its long-term conservation management. The work is based on phytoecological data recovered at each season during three consecutive years (2003–2005).

The inventory of the flora of Beni-Belaid Wetland reveals the local occurrence of 201 species, representing five biogeographical elements: eurasiatic/circumboreal (37.3%), circum-Mediterranean (30.3%), cosmopolitan/subcosmopolitan (12.9%), western Mediterranean (10.0%) and tropical/subtropical (7.5%). The local flora moreover contains two endemics (*Battandiera amoena*, *Biscutella raphanifolia*), and at least three introduced species (*Cotula coronopifolia*, *Cyperus eragrostis*, *Ludwigia peploides*). Four communities are discriminated by a correspondence analysis: (1) the psammophilous community (class *Ammophiletea*); (2) the hydrophytic community (class *Potamogetonetea pectinati*, order *Potamogetonetalia pectinati*, alliance *Nymphaeion albae*); (3) the helophytic community (class *Phragmiti-Magnocaricetea*, orders *Phragmitetalia australis* and *Scirpetalia compacti*); and (4) the forest community (class *Quercu-Fagetea*, order *Populetalia albae*, alliance *Populion albae*). This richness mainly reflects the diversity of microhabitats and ecological conditions, but the diversified biogeographical affinities of the species also reveal the importance of past migrations during pluvial-interglacial periods for tropical/subtropical and Atlantic species, and during interpluvial-glacial periods for eurasiatic/circumboreal species. However, the rarity of

endemics in North African wetlands suggests the long-term persistence of genetic fluxes, maybe due to migratory waterbirds.

The plant mosaic of Beni-Belaid is mainly controlled by hydrology and human-induced disturbances, which appear as the major controls of North African wetlands. The hydrological gradient, from permanent open waters to rarely inundated soils, is clearly related to the deltaic origin of the wetland. The hydrology is also characterised by an intra-annual cyclicality, mainly due to the summer development of hydrophytic and helophytic plants. The complex influence of hydrology allowed the local development of five rare plants, classed vulnerable (*Nymphaea alba*, *Persicaria amphibia*, *Rumex palustris*) or near threatened (*Baldellia ranunculoides*, *Helosciadium crassipes*) on the red list of wetland plants of North Africa. The influence of anthropogenic disturbances is revealed by aerial photographs and multivariate analyses, which show the spread of nitrophilous and adventice species (translating the proximity of fields), and of stress-tolerant ones (translating the influence of overgrazing). The livestock pressure for several decades is moreover responsible for the erosion of the coastal dune, which progressively overruns the lake. Like other Mediterranean ecosystems, Mediterranean wetlands are however adapted since the Neolithic to an extensive grazing. Grazing suppression, likely to lead to habitat closing and to favour competitive monospecific communities, should be avoided. In return, a moderate disturbance regime could be used in order to generate and manage an optimal biodiversity by increasing the spatial heterogeneity. The conservation of Beni-Belaid Wetland implies first its protection from agricultural impacts and invasive species introductions, by restoring the riparian forest. For this, grazing should be at least temporarily excluded from large parts of the lake rive and from the surrounding dune complexes. Intensive pumping, associated to dam constructions are likely to modify on the short term the hydrology of the alluvial plain, to affect the transport and deposition of sediments by rivers and to lead to soil salinisation. The summer water-table lowering observed for 10 years at Beni-Belaid has already triggered vegetation changes: several species regressed (*H. crassipes*, *N. alba*), while some others spread (*Ceratophyllum demersum*, *Myriophyllum spicatum*, *Lemna minor*, *Phyla nodiflora*). These changes could have favoured invasive species such as *Cotula coronopifolia*, *Cyperus eragrostis*, *Ludwigia repens* and *P. nodiflora*, and indigenous opportunistic species such as *Juncus acutus* and *Bolboschoenus glaucus*. Finally, hunting and fishing are practiced without management or restriction, and are likely to affect waterbird, fish and mammal communities.

The present-day situation of Beni-Belaid Wetland is similar to most other exceptional wetlands of northeastern Algeria. This questions the efficiency and consistency of the 'Ramsar site' status (<http://www.ramsar.org>), which does not result in sufficient conservation managements. Methods and knowledge allowing control of the increasing anthropogenic pressure however exist and are already applied in diverse Mediterranean regions. Locally, maintaining the hydrological functioning of Beni-Belaid Wetland appears as the main conservation goal. The first

measure should be protecting integrally the wetland from grazing, cutting and other human-induced disturbances, and to restore a protecting forested belt. It is also urgent to implement the monitoring of biological communities, in order to adapt conservatory measures. These first measures would, however, be insufficient for preserving Beni-Belaid Wetland on long term. The integral protection, while allowing conservation on the short term, will create problems such as the reproductive isolation of populations or the decrease in energy and matter fluxes with adjacent ecosystems. It is thus important to plan the implementation of migratory ways for animal and plant species between Beni-Belaid and the closest wetlands. This set of conservatory measures should moreover be accompanied by an information program about the interests of wetland conservation, in order to involve local populations in the wetland management. Compensations for loosed cultivated lands could be provided by the improvement of agropastoral practices, by financial supports in non-protected zones, by the creation of works in the conservation field, and by the development of an 'eco-tourism' like in European and North American natural areas. The long-term preservation of the Ramsar site of Beni-Belaid and of all other threatened wetlands of North Africa will not be effective without the actual awareness of public authorities, and without the will of reaching sustainable compromises between agricultural interests and the conservation of such a unique natural heritage.

1. Introduction

Les zones humides jouent des rôles écologiques et paysagers majeurs, parmi lesquels le contrôle des inondations, la recharge des aquifères, le piégeage des éléments chimiques toxiques et le recyclage des nutriments [1,2]. Elles constituent en outre des habitats remarquables pour des flores et des faunes adaptées, contribuant fortement aux biodiversités régionales [3–5]. Les régions caractérisées par un climat de type méditerranéen abritent des milieux humides particulièrement riches et diversifiés, et très généralement en fort déclin [6]. C'est en particulier le cas des mares temporaires méditerranéennes, qui, en dépit des faibles superficies qu'elles représentent, sont aujourd'hui reconnues comme des milieux d'importance prioritaire en termes de biodiversité [7–9]. En Algérie, bien que les régions arides présentent de vastes dépressions salées continentales (chotts, sebkhas et oasis), les zones humides sont surtout concentrées dans le nord-est du pays, à proximité du littoral méditerranéen. En dépit de leur richesse biologique exceptionnelle pourtant reconnue depuis longtemps [10,11], ces milieux sont à ce jour presque totalement ignorés et ne font l'objet que de très peu de mesures de conservation. Ils accusent en conséquence un déclin extrêmement inquiétant, sous l'influence de pressions anthropiques diverses (pompage, drainage, pâturage, pollution, mise en culture... [12–14]).

Les premières prospections de la flore phanérogamique des milieux humides de l'Afrique du Nord ont été réalisées par Labbe et Desfontaines entre 1885 et 1887. Elles ont essentiellement porté sur le littoral nord-oriental de l'Algérie, entre El Kala (ex-La Calle) et Annaba (ex-Bône).

D'autres botanistes ont exploré l'ensemble du littoral algérien : Durieu de Maisonneuve de 1840 à 1842, Le Franc de 1859 à 1861, Letourneux et Kralick en 1861, Cosson en 1879, Battandier et Trabut en 1902, Gauthier-Lièvre de 1923 à 1929 et Maire en 1930 [11]. Les recherches plus récentes [14–20] se sont attachées à décrire et à comprendre l'organisation, la structure et la diversité des communautés végétales des zones humides de ces régions. Elles ont souligné la richesse floristique exceptionnelle de ces milieux, qui jouent le rôle de zones refuges pour de nombreuses espèces relictuelles animales et végétales. Leur flore phanérogamique est en effet constituée par un mélange d'espèces d'origines biogéographiques diverses, principalement en raison de la situation géographique de l'Algérie septentrionale, véritable carrefour migratoire à l'interface entre les domaines européen, atlantique, méditerranéen et tropical [21]. La grande richesse de cette région a récemment suscité la proposition de classer la zone phytogéographique comprenant la Kabylie, la Numidie algérienne et la Kroumirie (Tunisie) en tant que point chaud de biodiversité [22]. Cette zone répond en effet à la définition des *hotspots* [23], qui porte à la fois sur la richesse spécifique, le taux d'endémisme [24] et les menaces anthropiques croissantes [25].

Les études écologiques les plus récentes se sont focalisées sur les complexes humides de Senhadja-Guerbès et Annaba-El Kala, en Numidie [12–14,18,19,26]. Les rares zones humides situées sur le littoral de la Kabylie, à l'ouest de la Numidie, n'ont en revanche quasiment pas été étudiées. Les seuls travaux existants [21,27] ont été réalisés sur les zones humides d'eau douce de Beni-Belaid et d'El-Kennar, dans la willaya de Jijel (Kabylie). L'étude [21], qui a porté sur l'inventaire préliminaire des ressources biologiques, a mis en évidence l'intérêt écologique international de ces sites comme habitats pour la loutre (*Lutra lutra*) et les oiseaux d'eau. Le site de Beni-Belaid abrite notamment des populations sédentaires de talève poule-sultane (*Porphyrio porphyrio*), de blongios nain (*Ixobrychus minutus*) et de martin-pêcheur (*Alcedo atthis*), ainsi que des populations migratrices potentiellement nicheuses de fuligule nyroca (*Aythya nyroca*) et de rousserole effarvate (*Acrocephalus scirpaceus*). Il abrite également le Cyprinidé endémique algéro-tunisien *Pseudophoxinus callensis*, et deux espèces de tortues aquatiques, l'émyde lépreuse (*Mauremys leprosa*) et la cistude d'Europe (*Emys orbicularis*). Sur cette base, la zone humide de Beni-Belaid, située à l'arrière d'un cordon dunaire, à l'embouchure de l'Oued El Kébir, a été classée comme site Ramsar en 2003. En dépit de ce statut, ce milieu n'a jamais été étudié en détail et ne fait encore aujourd'hui l'objet d'aucune mesure de gestion ou de protection, à l'exception d'une clôture grillagée installée depuis 2008 sur la rive sud du lac. Le plan d'eau est pourtant menacé, d'un côté par l'ensablement lié à l'action des courants marins et des vents qui entraînent un déplacement du cordon dunaire vers l'intérieur des terres, et d'un autre côté par l'empiètement des activités humaines (agriculture, pompage, pâturage, chasse, pêche) sur les habitats humides. Plusieurs parties du lac ont d'ailleurs disparu depuis 2003, parmi lesquelles des zones peu profondes localisées à l'extrémité est du site.

Cette situation inquiétante a motivé la présente étude, avec pour objectifs : (1) d'évaluer les richesses spécifique et phytocénotique du site et de préciser les déterminismes écologiques de la composition et de la structure de la végétation hydrophytique, (2) d'établir un état des lieux de la gestion et de la conservation de site juste après son classement Ramsar, et (3) de proposer sur ces bases, des éléments pour une gestion conservatoire appropriée. Ce travail est basé sur des données phytocénologiques recueillies toutes les saisons durant trois années successives (2003–2005). Afin d'analyser la structure et le fonctionnement de l'écosystème, la variation des communautés végétales a été prise en compte à la fois dans le temps (dynamique temporelle) et dans l'espace (structure spatiale).

2. Matériel et méthodes

2.1. Contexte géographique, géomorphologique et climatique

La région de Beni-Belaid est située dans l'une des séries géologiques complexes des zones côtières du secteur des massifs anciens de la petite Kabylie, dans le Nord-Est de l'Algérie (Fig. 1). Elle est délimitée par des chaînes montagneuses essentiellement formées de terrains métamorphiques, recouvertes de lambeaux argilo-gréseux d'âge oligo-miocène et traversées par des roches éruptives d'âge miocène [28]. Ces montagnes sont très accidentées et entaillées par de profondes vallées à évolution morphologique très rapide. La plaine elle-même se caractérise par des nappes de charriage, d'alluvions argileuses, de limons et de sables du Quaternaire. Sous l'influence directe de la Méditerranée, cette région est caractérisée par un bioclimat méditerranéen humide. Elle recueille plus de 1000 mm/an avec de larges fluctuations interannuelles (de 633 à 1202 mm/an sur la période 1995–2006), la période humide s'étendant sur huit mois (octobre à mai). Les températures moyennes mensuelles oscillent entre 15 °C durant l'hiver et 25 °C durant l'été [21,29].

L'Oued El Kébir, qui alimente la zone d'étude, prend sa source dans les chaînons montagneux de la Numidie occidentale, où il porte le nom d'Oued Rhumel. Il traverse la plaine de Belghimouze, avant de gagner la mer en franchissant un cordon littoral de faible largeur (au plus 300 m). En dépit de son étroitesse, le cordon littoral constitue un obstacle à l'écoulement des eaux en période

de basses eaux, entraînant ainsi la création de méandres. L'oued est actuellement dévié vers l'ouest, et éventre périodiquement le lido (Fig. 2). La zone humide étudiée, située sur la rive ouest de l'embouchure de l'Oued El Kébir, se trouve sur la commune d'Oued Adjoul, daïra d'El Ancer, à environ 32 km du chef-lieu de wilaya Jijel. Elle constitue le prolongement de la plaine alluviale de Belghimouze, d'une superficie de 1800 ha, alimentée par un réseau hydrographique très dense qui trouve son origine dans la chaîne montagneuse du Djebel Aourar (Fig. 1) [28]. Ce réseau hydrographique, caractérisé par de nombreuses confluences, est marqué par des crues annuelles puissantes qui entraînent le dépôt de limons organiques dans la plaine.

2.2. Site étudié

La zone humide de Beni-Belaid (36°52'36"N ; 06°06'16"E ; 0–3 m d'altitude ; Fig. 2) appartient aux domaines de l'état et est gérée par la Conservation des Forêts de Jijel. Elle occupe une dépression parallèle au littoral méditerranéen, limitée au nord par la Méditerranée et au sud par des terrains agricoles. Elle est alimentée par les eaux de pluie, par les résurgences de la nappe phréatique et, par intermittence, par l'Oued Adjoul qui sillonne diagonalement la plaine dans sa partie nord. Lors des crues de faible récurrence, peu dévastatrices, il se produit des débordements et des inondations qui constituent des marécages temporaires. Ce phénomène empêche l'exploitation agricole de décembre jusqu'en mars-avril. Le site a une grande importance sur le plan hydrologique : en période de faible pluviosité, il assure l'alimentation de l'aquifère de Belghimouze et en période de forte pluviosité, il participe à tamponner les crues, notamment par la rétention des eaux excédentaires de l'Oued Adjoul.

La zone humide est située entre deux cordons dunaires littoraux (Fig. 2). Le substrat, dominé par les sables (> 95 %) sur les rives au contact des dunes, devient argilo-limoneux au centre des plans d'eau. L'eau, d'un pH de 7,8, présente une conductivité moyenne de 600 $\mu\text{s}/\text{cm}$. La proximité d'un tel écosystème dulçaquicole avec le littoral, tout en étant exceptionnelle, n'est pas un cas isolé dans le Maghreb, puisque de tels milieux sont connus au Maroc Atlantique Nord (lac de Sidi Bou Rhaba [30]) et dans le complexe humide d'Annaba-El Kala [14,18]. La zone humide de Beni-Belaid représente en outre l'extrémité occidentale d'un ensemble de zones humides qui occupe les plaines littorales entre les Mogods (Tunisie) et la petite Kabylie (Algérie). Elle est constituée d'un plan d'eau permanent (prof. 2,5 m) à l'ouest et d'une zone temporaire à l'est (prof. 0,2–0,6 m) pour une superficie d'environ 10 ha. Les plans d'eau sont entourés par une ceinture de végétation palustre, essentiellement composée de *Bolboschoenus glaucus*, *Phragmites australis*, *Tamarix africana*, *T. gallica*, *Typha domingensis* et *Vitex agnus-castus*. Les hydrophytes sont représentés par des espèces libres comme *Ceratophyllum demersum* et *Lemna minor*, et des espèces radicales comme *Nymphaea alba*, *Myriophyllum spicatum*, *Persicaria amphibia*, *Potamogeton lucens*, *P. pectinatus* et *Zannichellia palustris*. À l'extrémité ouest

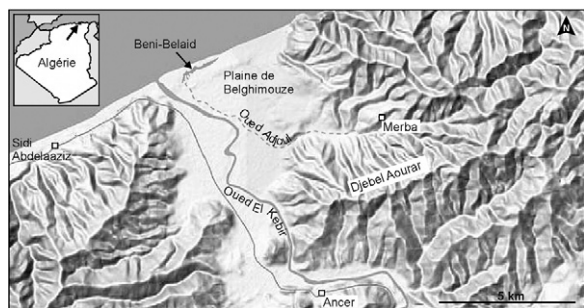


Fig. 1. Orographie et réseau hydrographique de la région de la zone humide de Beni-Belaid.

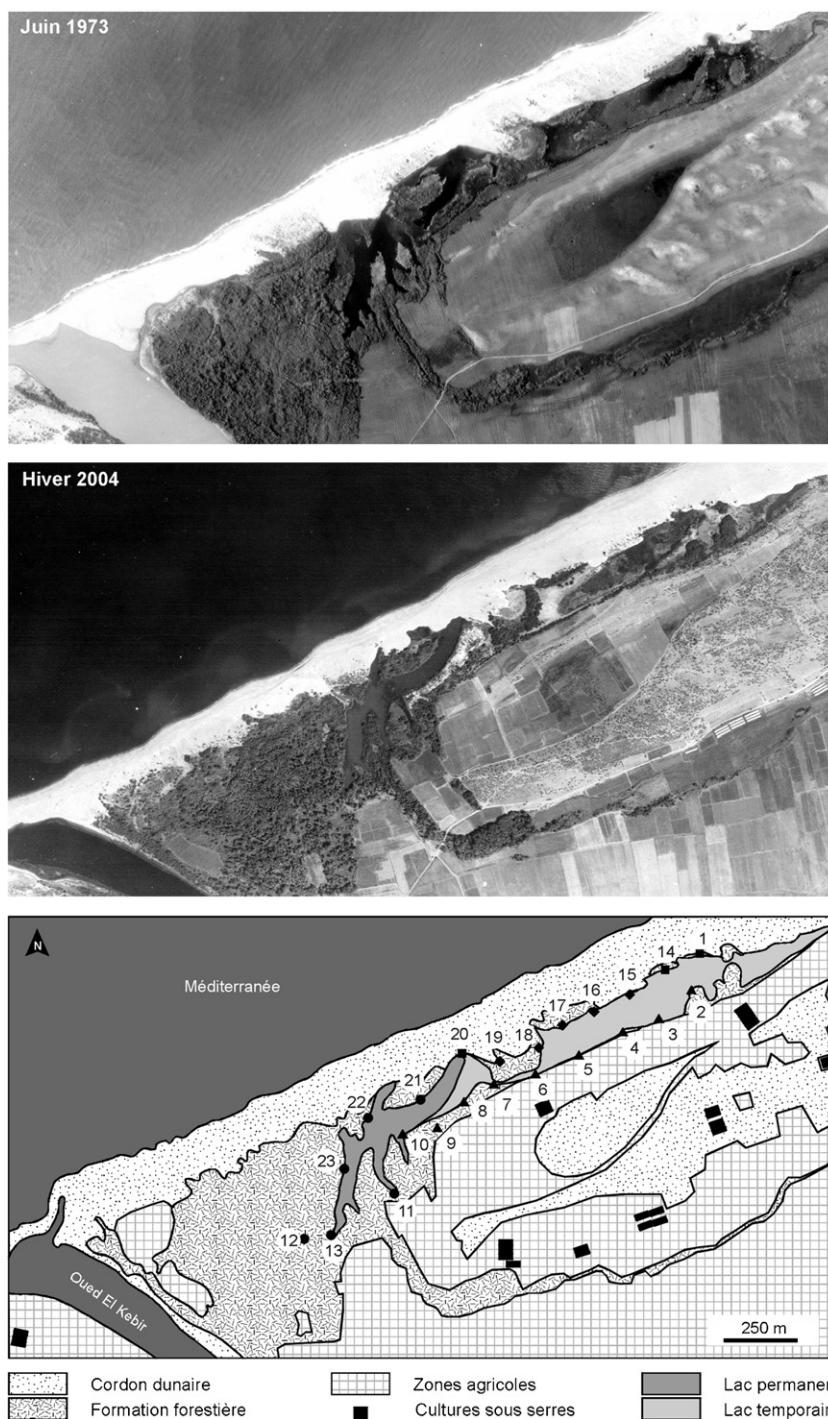


Fig. 2. Photographies aériennes de la zone humide de Beni-Belaid (1973, 2004 ; source : Institut national de cartographie et de télédétection d'Alger) et localisation des relevés floristiques réalisés autour du lac. La carte a été dessinée à partir de la photographie aérienne Google Earth du 24.06.2009.

du lac, s'étend une peupleraie âgée à *Populus alba*, dont le sous-bois comprend *Nerium oleander*, *Rosa sempervirens*, *Rubus ulmifolius* et *Smilax aspera*. Un cordon dunaire sépare le lac de la Méditerranée. Depuis la ligne de rivage, on rencontre successivement des plages colonisées par *Cakile maritima* et *Salsola kali*, des dunes vives dominées par un

couvert herbacé plus dense, caractérisé au printemps par *Calystegia soldanella*, et enfin, des dunes plus ou moins stabilisées, dominées par *Eryngium maritimum*, *Euphorbia peplis*, *Medicago marina*, *Otanthus maritimus*, *Pancretium maritimum*, *Phyla nodiflora*, et deux espèces très rares en Algérie, *Echinophora spinosa* et *Matthiola incana* [31]. Au

bord du lac, sur la dune, se développe une ceinture ligneuse composée de *R. sempervirens*, *R. ulmifolius*, *Retama raetam* subsp. *bovei*, *Tamarix africana*, *T. gallica* et *V. agnus-castus*. Enfin, des populations héliophytiques (*B. glaucus*, *Iris pseudacorus*, *P. australis*, *Schoenoplectus litoralis*, *T. domingensis*) sont développées en plusieurs points du lac, sur des substrats vaseux en permanence inondés. Une ceinture discontinue de *Scirpoides holoschoenus* et *Juncus acutus* marque la limite des eaux. Du côté sud, à l'opposé de la dune littorale, le lac est bordé par une zone temporaire, entièrement asséchée en été et transformée alors en espace agricole pour les cultures saisonnières, et par un cordon dunaire consolidé couvert d'une végétation à base de *R. raetam* subsp. *bovei*. Cette structuration complexe de la végétation témoigne de la grande diversité des conditions écologiques locales.

2.3. Échantillonnage et étude diachronique

Le site a fait l'objet d'un échantillonnage systématique durant trois années consécutives (2003 à 2005), à raison de quatre relevés par an (printemps, été, automne et hiver) sur 23 stations. Le recouvrement de chacune des 180 espèces floristiques observées lors des relevés a été estimé selon l'échelle (1–5) de Braun-Blanquet [32]. Le plan d'échantillonnage comportait des transects permanents distants les uns des autres de 50 à 150 m, orientés de l'extérieur vers l'intérieur du site et parallèles aux gradients hydrologiques (Fig. 2). Les relevés ont ainsi été effectués de manière à assurer une couverture exhaustive

de tous les types d'habitats susceptibles d'être mis en relation avec une modification écologique dans le site. Chaque transect comprenait plusieurs quadrats, dont la superficie (aire minimale) a varié entre 15 et 25 m². Des échantillons d'herbier ont été constitués, et les espèces récoltées ont été identifiées à l'aide des flores régionales [31,33,34]. La nomenclature botanique respecte [35].

L'étude actuelle, réalisée sur la base des relevés floristiques, a été complétée par l'étude de photographies aériennes datant de 1973 et 2004 (Fig. 2).

2.4. Analyses numériques

Les données floristiques ont été soumises à une analyse factorielle des correspondances (AFC) afin de déterminer la structure spatiale de la végétation, puis à une analyse discriminante (AD) dans le but de caractériser la dynamique temporelle. Cette dernière analyse a été basée sur la matrice de covariance issue d'une analyse en composantes principales (ACP). Les analyses multivariées ont été réalisées à l'aide des logiciels STATOS [36] et ADE-4 [37].

3. Résultats

3.1. Composition de la végétation

L'inventaire de la flore de la zone humide de Beni-Belaid, établi par [21] et dans le présent travail, révèle la présence locale de 201 espèces (Tableau 1), appartenant majoritairement aux Asteraceae (22 espèces), aux Poaceae

Tableau 1
Espèces recensées dans la zone humide de Beni-Belaid.

Code	Espèce	Synonyme(s)	Famille	Origine biogéographique
Alpl	<i>Alisma lanceolatum</i> With.	<i>A. plantago</i>	Alismataceae	Circumboréale
Algl	<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.		Betulaceae	Paléotempérée
Albu	<i>Alopecurus bulbosus</i> Gouan.		Poaceae	Méditerranéenne atlantique
Alse	<i>Alternanthera sessilis</i> (L.) R. Br.	<i>A. repens</i>	Amaranthaceae	Tropicale/subtropicale
Anar	<i>Anagallis arvensis</i> L.		Primulaceae	Cosmopolite/subcosmopolite
Anmo	<i>Anagallis monelli</i> L.		Primulaceae	Méditerranéenne
Anit	<i>Anchusa italica</i> Retz.	<i>A. azurea</i>	Boraginaceae	Eurasiatique
Anma	<i>Anthemis maritima</i> L.		Asteraceae	Méditerranéenne
Ashi	<i>Asperula hirsuta</i> Desf.		Rubiaceae	Méditerranéenne
Asae	<i>Asphodelus aestivus</i> Brot.	<i>A. microcarpus</i> , <i>A. ramosus</i>	Asphodelaceae	Méditerranéenne atlantique
	<i>Atriplex littoralis</i> L.		Chenopodiaceae	Eurasiatique
Atptr	<i>Atriplex prostrata</i> Boucher	<i>A. hastata</i>	Chenopodiaceae	Circumboréale
Bara	<i>Baldellia ranunculoides</i> (L.) Parl.	<i>Echinodorus ranunculoides</i>	Alismataceae	Méditerranéenne atlantique
Baam	<i>Battandiera amoena</i> (Batt.) Maire	<i>Ornithogalum amaenum</i>	Hyacinthaceae	Endémique Maroc–Algérie
Bean	<i>Bellis annua</i> L.		Asteraceae	Méditerranéenne
Besy	<i>Bellis sylvestris</i> L.		Asteraceae	Méditerranéenne
Bira	<i>Biscutella raphanifolia</i> Poirlet	<i>B. radicata</i>	Brassicaceae	Endémique Af. N
Blpe	<i>Blackstonia perfoliata</i> (L.) Huds. subsp. <i>perfoliata</i>	<i>B. perfoliata</i> . subsp. <i>eu-perfoliata</i>	Gentianaceae	Méditerranéenne
Bogl	<i>Bolboschoenus glaucus</i> (Lam.) S.G. Smith	<i>Scirpus maritimus</i>	Cyperaceae	Cosmopolite/subcosmopolite
Boof	<i>Borago officinalis</i> L.		Boraginaceae	Méditerranéenne
Brsy	<i>Brachypodium sylvaticum</i> (Huds.) P. Beauv.		Poaceae	Méditerranéenne
Brse	<i>Bromus secalinus</i> L.		Poaceae	Circumboréale
Brsq	<i>Bromus squarrosus</i> L.		Poaceae	Paléotempérée
Cam	<i>Cakile maritima</i> Scop.	<i>C. aegyptiaca</i>	Brassicaceae	Eurasiatique
Casp	<i>Calicotome spinosa</i> (L.) Link.	<i>Calicotome spinosa</i>	Fabaceae	Méditerranéenne
	<i>Callitriche obtusangula</i> Le Gall	<i>C. palustris</i> subsp. <i>obtusangula</i>	Callitrichaceae	Eurasiatique

Tableau 1 (Continued)

Code	Espèce	Synonyme(s)	Famille	Origine biogéographique
	<i>Callitriche truncata</i> Guss.	<i>C. hermaphroditica</i> subsp. <i>truncata</i>	Callitricheaceae	Méditerranéenne atlantique
Case	<i>Calystegia sepium</i> (L.) R. Br.	<i>Convolvulus sepium</i>	Convolvulaceae	Paléotempérée
Caso	<i>Calystegia soldanella</i> (L.) R. Br.	<i>Convolvulus soldanella</i>	Convolvulaceae	Cosmopolite/subcosmopolite
Canu	<i>Carduus nutans</i> L.		Asteraceae	Eurasiatique
Cadis	<i>Carex distans</i> L.		Cyperaceae	Paléotempérée
Cadiv	<i>Carex divisa</i> Huds.		Cyperaceae	Méditerranéenne atlantique
	<i>Carex divulsa</i> Stokes subsp. <i>divulsa</i>		Cyperaceae	Eurasiatique
Cafl	<i>Carex flacca</i> Schreb. subsp. <i>serrulata</i> (Biv.) Greuter		Cyperaceae	Cosmopolite/subcosmopolite
Casy	<i>Carex sylvatica</i> Huds.		Cyperaceae	Eurasiatique
Cavu	<i>Carex vulpina</i> L.		Cyperaceae	Paléotempérée
Caco	<i>Carlina corymbosa</i> L. subsp. <i>corymbosa</i>	<i>C. involucrata</i> subsp. <i>corymbosa</i>	Asteraceae	Eurasiatique
Cari	<i>Catapodium rigidum</i> (L.) C.E. Hubb. subsp. <i>rigidum</i>	<i>Scleropoa rigida</i>	Poaceae	Eurasiatique
Cena	<i>Centaurea napifolia</i> L.		Asteraceae	Méditerranéenne
Cesp	<i>Centaurea sphaerocephala</i> L.		Asteraceae	Méditerranéenne
Ceca	<i>Centaureum candelabrum</i> Lindb.f.	<i>C. pulchellum</i> subsp. <i>grandiflorum</i>	Gentianaceae	Paléotempérée
Cegl	<i>Cerastium glomeratum</i> Thuill.		Caryophyllaceae	Cosmopolite/subcosmopolite
Cede	<i>Ceratophyllum demersum</i> L.		Ceratophyllaceae	Cosmopolite/subcosmopolite
Chmi	<i>Chamaemelum mixtum</i> (L.) All.	<i>Anthemis mixta</i> , <i>Ormenis mixta</i>	Asteraceae	Méditerranéenne
	<i>Chara globularis</i> Thuillier		Characeae	
	<i>Chara vulgaris</i> (L.) Wall.		Characeae	
Chma	<i>Charybdis maritima</i> (L.) Speta	<i>Urginea maritima</i>	Hyacinthaceae	Méditerranéenne atlantique
	<i>Chondrilla juncea</i> L.		Asteraceae	Eurasiatique
Cien	<i>Cichorium endivia</i> L. subsp. <i>divaricatum</i> (Schousb.) P.D. Sell	<i>C. intybus</i> L.	Asteraceae	Eurasiatique
Cisc	<i>Cirsium scabrum</i> (Poir.) Bonnet & Baratte		Asteraceae	Méditerranéenne
Cici	<i>Clematis cirrhosa</i> L.		Ranunculaceae	Méditerranéenne
Coju	<i>Coronilla juncea</i> L.		Fabaceae	Méditerranéenne
Coco	<i>Cotula coronopifolia</i> L.		Asteraceae	Introduite (Afrique australe)
Crla	<i>Crataegus laevigata</i> (Poir.) DC.	<i>Crataegus oxyacantha</i> L.	Rosaceae	Eurasiatique
Cral	<i>Crypsis alopecuroides</i> (Piller & Mitterp.) Schrad.		Poaceae	Paléotempérée
Cuep	<i>Cuscuta epithimum</i> L.		Cuscutaceae	Cosmopolite/subcosmopolite
Cuma	<i>Cutandia maritima</i> (L.) Barbey	<i>Scleropoa maritima</i>	Poaceae	Méditerranéenne
Cyac	<i>Cynanchum acutum</i> L.		Asclepiadaceae	Eurasiatique
Cyda	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.		Poaceae	Cosmopolite/subcosmopolite
Cycl	<i>Cynoglossum clandestinum</i> Desf.		Boraginaceae	Méditerranéenne
Cyca	<i>Cyperus capitatus</i> Vand.	<i>C. kalli</i>	Cyperaceae	Méditerranéenne atlantique
Cyer	<i>Cyperus eragrostis</i> Lam.		Cyperaceae	Introduite (Amérique)
Cyfu	<i>Cyperus fuscus</i> L.		Cyperaceae	Paléotempérée
Cyla	<i>Cyperus laevigatus</i> L. var. <i>distachyos</i> (All.) Coss. & Durand		Cyperaceae	Tropicale/subtropicale
Cylo	<i>Cyperus longus</i> L. subsp. <i>badius</i> (Desf.) Bonnier & Layens		Cyperaceae	Tropicale/subtropicale
Dagn	<i>Daphne gnidium</i> L.		Thymelaeaceae	Méditerranéenne
	<i>Daucus carota</i> L.		Apiaceae	Méditerranéenne
Depe	<i>Delphinium peregrinum</i> L.		Ranunculaceae	Méditerranéenne
Difu	<i>Dipsacus fullonum</i> L.	<i>D. sylvestris</i>	Dipsacaceae	Eurasiatique
Divi	<i>Dittrichia viscosa</i> (L.) Greuter	<i>Inula viscosa</i>	Asteraceae	Méditerranéenne
Ecspi	<i>Echinophora spinosa</i> L.		Apiaceae	Eurasiatique
Ecspb	<i>Echinops spinosus</i> L. subsp. <i>bovei</i> (Boiss.) Murb.	<i>E. bovei</i>	Asteraceae	Tropicale/subtropicale
Elpa	<i>Eleocharis palustris</i> (L.) Roem. & Schult.	<i>Heleocharis palustris</i>	Cyperaceae	Cosmopolite/subcosmopolite
Elfa	<i>Elymus farctus</i> (Viv.) Runemark subsp. <i>farctus</i>	<i>Agropyrum junceum</i> , <i>Elytrigia juncea</i>	Poaceae	Méditerranéenne atlantique
	<i>Elymus repens</i> (L.) Gould	<i>Agropyron repens</i>	Poaceae	Circumboréale
Eqra	<i>Equisetum ramosissimum</i> Desf.		Equisetaceae	Circumboréale
Erma	<i>Eryngium maritimum</i> L.		Apiaceae	Eurasiatique
Erpu	<i>Eryngium pusillum</i> L.	<i>E. barrelieri</i>	Apiaceae	Méditerranéenne
Ertr	<i>Eryngium tricuspdatum</i> L.		Apiaceae	Méditerranéenne
Euhi	<i>Euphorbia hirsuta</i> L.	<i>E. pubescens</i>	Euphorbiaceae	Méditerranéenne
Eupa	<i>Euphorbia paralias</i> L.		Euphorbiaceae	Méditerranéenne atlantique
Eupe	<i>Euphorbia pepilis</i> L.	<i>Chamaesyce pepilis</i>	Euphorbiaceae	Méditerranéenne atlantique
Fear	<i>Festuca arundinacea</i> Schreb. subsp. <i>arundinacea</i>	<i>F. elatior</i>	Poaceae	Circumboréale
Fica	<i>Ficus carica</i> L.		Moraceae	Méditerranéenne
Fipy	<i>Filago pygmaea</i> L.	<i>Evax pygmaea</i>	Asteraceae	Méditerranéenne
Fran	<i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl.	<i>F. oxyphylla</i>	Oleaceae	Eurasiatique
Gato	<i>Galactites tomentosa</i> Moench	<i>G. elegans</i>	Asteraceae	Méditerranéenne

Tableau 1 (Continued)

Code	Espèce	Synonyme(s)	Famille	Origine biogéographique
Gapa	<i>Galium palustre</i> L. subsp. <i>elongatum</i> (C.Presl) Lange	<i>G. elongatum</i>	Rubiaceae	Eurasiatique
Gemo	<i>Genista monspessulana</i> (L.) L.A.S. Johnson	<i>Cytisus monspessulanus</i>	Fabaceae	Méditerranéenne
Gedi	<i>Geranium dissectum</i> L.		Geraniaceae	Eurasiatique
Gifl	<i>Glaucium flavum</i> Crantz.		Papaveraceae	Méditerranéenne
Glse	<i>Glebionis segetum</i> (L.) Fourr.	<i>Chrysanthemum segetum</i>	Asteraceae	Cosmopolite/subcosmopolite
Hehe	<i>Hedera helix</i> L.		Araliaceae	Eurasiatique
Heco	<i>Hedysarum coronarium</i> L.		Fabaceae	Méditerranéenne
Hecr	<i>Helosciadium crassipes</i> W.D.J. Koch ex Rchb.	<i>Apium crassipes</i>	Apiaceae	Méditerranéenne
Hyhi	<i>Hyparrhenia hirta</i> (L.) Stapf.	<i>Andropogon hirtus</i>	Poaceae	Tropicale/subtropicale
Hyto	<i>Hypericum tomentosum</i> L.		Hypericaceae	Méditerranéenne
Irfo	<i>Iris foetidissima</i> L.		Iridaceae	Méditerranéenne atlantique
Irps	<i>Iris pseudacorus</i> L.		Iridaceae	Eurasiatique
	<i>Isolepis cernua</i> (Vahl) Roem. & Schult.	<i>Scirpus cernuus</i> , <i>S. savii</i>	Cyperaceae	Cosmopolite/subcosmopolite
Juac	<i>Juncus acutus</i> L.		Juncaceae	Cosmopolite/subcosmopolite
Juar	<i>Juncus articulatus</i> L. subsp. <i>articulatus</i>	<i>J. lamprocarpus</i>	Juncaceae	Circumboréale
Jubu	<i>Juncus bufonius</i> L.		Juncaceae	Cosmopolite/subcosmopolite
Juef	<i>Juncus effusus</i> L.		Juncaceae	Eurasiatique
Juin	<i>Juncus inflexus</i> L.		Juncaceae	Tropicale/subtropicale
Juox	<i>Juniperus oxycedrus</i> L.		Cupressaceae	Méditerranéenne atlantique
Laov	<i>Lagurus ovatus</i> L.		Poaceae	Méditerranéenne atlantique
Lemi	<i>Lemna minor</i> L.		Lemnaceae	Cosmopolite/subcosmopolite
Loma	<i>Lobularia maritima</i> (L.) Desv.	<i>Alyssum maritimum</i>	Brassicaceae	Méditerranéenne
Lomu	<i>Lolium multiflorum</i> Lam.		Poaceae	Méditerranéenne
Lona	<i>Loncomelos narbonensis</i> (L.) Raf.	<i>Ornithogalum pyramidale</i>	Hyacinthaceae	Méditerranéenne
Loco	<i>Lotus corniculatus</i> L. subsp. <i>preslii</i> (Ten.) P. Fourr.	<i>L. corniculatus</i> subsp. <i>decumbens</i>	Fabaceae	Eurasiatique
Lohi	<i>Lotus hispidus</i> Desf.	<i>L. subbiflorus</i>	Fabaceae	Méditerranéenne atlantique
Loor	<i>Lotus ornithopodioides</i> L.		Fabaceae	Méditerranéenne
Lupe	<i>Ludwigia peploides</i> (Kunth) P.H. Raven	<i>Jussieua repens</i>	Oenotheraceae	Introduite (Amérique)
Lyeu	<i>Lycopus europeus</i> L.		Lamiaceae	Circumboréale
Lyhy	<i>Lythrum hyssopifolia</i> L.		Lythraceae	Cosmopolite/subcosmopolite
Lyju	<i>Lythrum junceum</i> Banks & Sol.	<i>L. graefferi</i>	Lythraceae	Méditerranéenne
Lysa	<i>Lythrum salicaria</i> L.		Lythraceae	Cosmopolite/subcosmopolite
Main	<i>Matthiola incana</i> (L.) R. Br.		Brassicaceae	Eurasiatique
Mema	<i>Medicago marina</i> L.		Fabaceae	Méditerranéenne
Meaq	<i>Mentha aquatica</i> L.		Lamiaceae	Paléotempérée
Mepu	<i>Mentha pulegium</i> L.		Lamiaceae	Eurasiatique
Mesu	<i>Mentha suaveolens</i> Ehrh.	<i>M. rotundifolia</i>	Lamiaceae	Méditerranéenne atlantique
Mysp	<i>Myriophyllum spicatum</i> L.		Haloragidaceae	Circumboréale
Nata	<i>Narcissus tazetta</i> L.		Amaryllidaceae	Eurasiatique
Neol	<i>Nerium oleander</i> L.		Apocynaceae	Méditerranéenne
Nyal	<i>Nymphaea alba</i> L.		Nymphaeaceae	Eurasiatique
Oefi	<i>Oenanthe fistulosa</i> L.		Apiaceae	Eurasiatique
Onpe	<i>Oncostema peruviana</i> (L.) Speta	<i>Scilla peruviana</i>	Hyacinthaceae	Méditerranéenne atlantique
Onva	<i>Ononis variegata</i> L.		Fabaceae	Méditerranéenne
Otma	<i>Otanthus maritimus</i> (L.) Hoffmanns & Link	<i>Diotis maritima</i>	Asteraceae	Méditerranéenne atlantique
Pama	<i>Pancratium maritimum</i> L.		Amaryllidaceae	Méditerranéenne
Pare	<i>Panicum repens</i> L.		Poaceae	Tropicale/subtropicale
Pavi	<i>Parentucellia viscosa</i> L.		Scrophulariaceae	Eurasiatique
Paar	<i>Paronychia argentea</i> Lam.	<i>P. mauritanica</i>	Caryophyllaceae	Méditerranéenne
Padi	<i>Paspalum distichum</i> L.	<i>P. paspalodes</i>	Poaceae	Tropicale/subtropicale
Peam	<i>Persicaria amphibia</i> (L.) Gray	<i>Polygonum amphibium</i>	Polygonaceae	Eurasiatique
	<i>Persicaria salicifolia</i> (Willd.) Assenov	<i>Polygonum salicifolium</i>	Polygonaceae	Tropicale/subtropicale
Phmi	<i>Phalaris minor</i> Retz.		Poaceae	Tropicale/subtropicale
Phau	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin	<i>P. communis</i>	Poaceae	Cosmopolite/subcosmopolite
Phno	<i>Phyla nodiflora</i> (L.) Greene	<i>Lippia nodiflora</i>	Verbenaceae	Introduite (Amérique)
Pile	<i>Pistacia lentiscus</i> L.		Anacardiaceae	Méditerranéenne
Pllag	<i>Plantago lagopus</i> L.		Plantaginaceae	Méditerranéenne
Pllan	<i>Plantago lanceolata</i> L.		Plantaginaceae	Méditerranéenne
Plma	<i>Plantago major</i> L.		Plantaginaceae	Eurasiatique
Plse	<i>Plantago serraria</i> L.		Plantaginaceae	Méditerranéenne
Poma	<i>Polygonum maritimum</i> L.		Polygonaceae	Cosmopolite/subcosmopolite
	<i>Polypogon maritimus</i> Willd		Poaceae	Eurasiatique
Poal	<i>Populus alba</i> L.		Salicaceae	Paléotempérée
	<i>Potamogeton lucens</i> L.		Potamogetonaceae	Circumboréale
Pope	<i>Potamogeton pectinatus</i> L.		Potamogetonaceae	Cosmopolite/subcosmopolite
Prvu	<i>Prunella vulgaris</i> L.		Lamiaceae	Eurasiatique
Ptaq	<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn	<i>Pteris aquilina</i>	Dennstaedtiaceae	Cosmopolite/subcosmopolite
Pudy	<i>Pulicaria dysenterica</i> (L.) Bernh		Asteraceae	Eurasiatique
Raba	<i>Ranunculus baudotii</i> Godr.	<i>R. aquatilis</i> subsp. <i>baudotii</i>	Ranunculaceae	Cosmopolite/subcosmopolite

Tableau 1 (Continued)

Code	Espèce	Synonyme(s)	Famille	Origine biogéographique
Rabu	<i>Ranunculus bulbosus</i> L. <i>Ranunculus ophioglossifolius</i> Vill		Ranunculaceae Ranunculaceae	Eurasiatique Méditerranéenne
Rasc	<i>Ranunculus sceleratus</i> L. <i>Ranunculus trichophyllus</i> Chaix		Ranunculaceae Ranunculaceae	Paléotempérée Eurasiatique
Real	<i>Reseda alba</i> L. subsp. <i>alba</i>		Resedaceae	Eurasiatique
Rera	<i>Retama raetam</i> (Forssk.) Webb subsp. <i>bovei</i> (Spach) Talavera & Gibbs	<i>R. monosperma</i> subsp. <i>bovei</i>	Fabaceae	Méditerranéenne atlantique
Rose	<i>Rosa sempervirens</i> L. <i>Rubia peregrina</i> L.		Rosaceae Rubiaceae	Méditerranéenne Méditerranéenne atlantique
Ruul	<i>Rubus ulmifolius</i> Schott		Rosaceae	Eurasiatique
Ruco	<i>Rumex conglomeratus</i> Murray		Polygonaceae	Cosmopolite/subcosmopolite
Rupa	<i>Rumex palustris</i> Sm.		Polygonaceae	Eurasiatique
Saka	<i>Salsola kali</i> L.		Chenopodiaceae	Paléotempérée
Sava	<i>Samolus valerandi</i> L.		Primulaceae	Cosmopolite/subcosmopolite
Sami	<i>Sanguisorba minor</i> Scop <i>Scabiosa atropurpurea</i> L. subsp. <i>maritima</i> (L.) Arcang	<i>S. maritima</i>	Rosaceae Dipsacaceae	Eurasiatique Méditerranéenne
Scli	<i>Schoenoplectus litoralis</i> (Schrad.) Palla	<i>Scirpus littoralis</i>	Cyperaceae	Tropicale/subtropicale
Scho	<i>Scirpoides holoschoenus</i> (L.) Soj	<i>Scirpus holoschoenus</i>	Cyperaceae	Paléotempérée
Schi	<i>Scolymus hispanicus</i> L.		Asteraceae	Méditerranéenne
Seer	<i>Senecio erraticus</i> Bertol.	<i>S. jacobaea</i> , <i>Jacobaea</i> <i>vulgaris</i>	Asteraceae	Eurasiatique
Shar	<i>Sherardia arvensis</i> L.		Rubiaceae	Eurasiatique
Sico	<i>Silene coelirosa</i> (L.) Godr	<i>S. coeli-rosa</i>	Caryophyllaceae	Méditerranéenne
Sini	<i>Silene nicaensis</i> All	<i>S. arenicola</i>	Caryophyllaceae	Méditerranéenne
Siar	<i>Sinapis arvensis</i> L.		Brassicaceae	Paléotempérée
Smas	<i>Smilax aspera</i> L. <i>Tamarix africana</i> Poir		Smilacaceae Tamaricaceae	Méditerranéenne atlantique Méditerranéenne
Taga	<i>Tamarix gallica</i> L.		Tamaricaceae	Tropicale/subtropicale
Tesc	<i>Teucrium scordium</i> L. subsp. <i>scordioides</i> (Schreb.) Arcang	<i>T. scordioides</i>	Lamiaceae	Méditerranéenne
Toar	<i>Torilis arvensis</i> (Huds.) Link		Apiaceae	Paléotempérée
Trcae	<i>Trachelium caeruleum</i> L.		Campanulaceae	Méditerranéenne
Trcam	<i>Trifolium campestre</i> Schreb <i>Trifolium fragiferum</i> L.		Fabaceae Fabaceae	Paléotempérée Eurasiatique
Trrep	<i>Trifolium repens</i> L.		Fabaceae	Eurasiatique
Trres	<i>Trifolium resupinatum</i> L.		Fabaceae	Méditerranéenne
Tydo	<i>Typha domingensis</i> (Pers.) Poir ex Steud	<i>T. angustifolia</i>	Typhaceae	Circumboréale
Ulmi	<i>Ulmus minor</i> Mill. subsp. <i>minor</i>	<i>U. campestris</i>	Ulmaceae	Eurasiatique
Urfu	<i>Urginea fugax</i> (Moris) Steinh <i>Utricularia vulgaris</i> L.		Hyacinthaceae Lentibulariaceae	Méditerranéenne Circumboréale
Vesi	<i>Verbascum sinuatum</i> L.		Scrophulariaceae	Méditerranéenne
Veof	<i>Verbena officinalis</i> L. <i>Veronica anagalloides</i> Guss	<i>V. anagallis-aquatica</i> subsp. <i>anagalloides</i>	Verbenaceae Plantaginaceae	Paléotempérée Circumboréale
Viag	<i>Vitex agnus-castus</i> L.		Verbenaceae	Méditerranéenne
Vivi	<i>Vitis vinifera</i> L. subsp. <i>sylvestris</i> (C.C. Gmel.) Berger & Hegi		Vitaceae	Méditerranéenne
Vuli	<i>Vulpia ligustica</i> (All.) Link		Poaceae	Méditerranéenne
Xast	<i>Xanthium strumarium</i> L. <i>Zannichellia palustris</i> L. subsp. <i>pedicellata</i> Wahlenb. & Rosén	<i>Z. pedicellata</i>	Asteraceae Zannichelliaceae	Cosmopolite/subcosmopolite Cosmopolite/subcosmopolite

(20 espèces), aux Cyperaceae (16 espèces) et aux Fabaceae (14 espèces). Trente et une espèces sont rares, assez rares ou très rares [31,33], et certaines d'entre elles (*C. soldanella*, *E. spinosa*, *N. alba* et *P. amphibia*) sont abondantes localement. Les espèces recensées appartiennent essentiellement à cinq éléments d'origines biogéographiques différentes : l'élément eurasiatique/circumboréal, dominant avec 75 espèces (37,3 %), l'élément méditerranéen (61 esp. ; 30,3 %), l'élément cosmopolite/subcosmopolite (26 esp. ; 12,9%), l'élément méditerranéen atlantique (20 esp. ; 10,0%) et l'élément tropical/subtropical (15 esp. ; 7,5 %). L'élément endémique, quant à lui, n'est représenté que par deux espèces méso-xérophiles (*Battandiera amoena*, *Biscutella raphanifolia*), et au moins trois espèces sont introduites

(*Cotula coronopifolia*, *Cyperus eragrostis*, *Ludwigia peploides*). À ces dernières espèces, se rajoutent peut-être *Paspalum distichum* et *P. nodiflora*, dont le statut d'espèce indigène/introduite en Afrique du Nord n'est pas clairement établi.

3.2. Structure spatiale de la végétation

L'analyse factorielle des correspondances (AFC ; Fig. 3) met en évidence la coexistence de quatre communautés végétales distinctes, organisées selon deux gradients environnementaux :

- la communauté glyco-psammophile (relevés 15–19), développée sur sol sableux, sous l'influence de la mer,

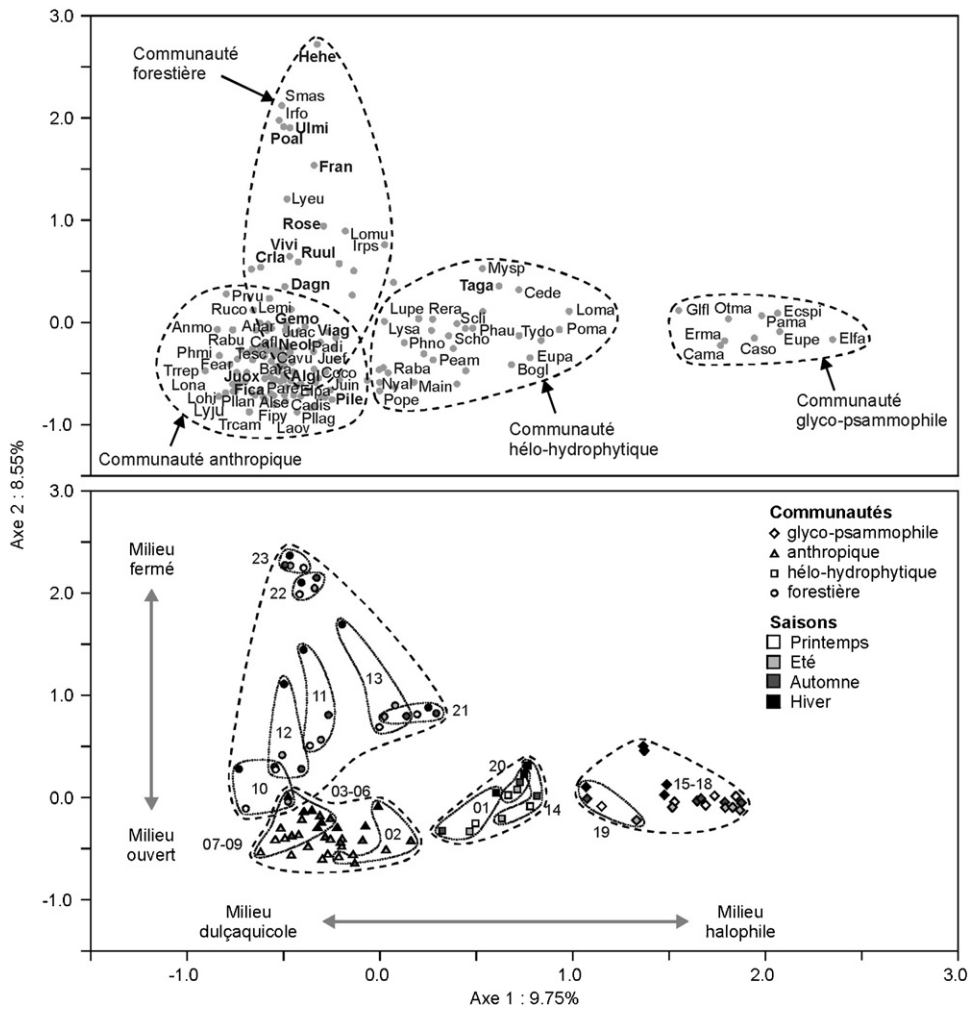


Fig. 3. Plan factoriel 1/2 de l'analyse factorielle des correspondances (AFC). Haut : espèces regroupées en communautés ; la signification des codes est donnée dans le Tableau 1 ; les espèces ligneuses sont notées en gras. Bas : stations, représentées chacune par quatre relevés (printemps, été, automne, hiver) ; les numéros sont ceux des stations.

comprend *C. maritima*, *C. soldanella*, *E. spinosa*, *Elymus farctus*, *E. maritimum*, *E. peplis*, *Glaucium flavum*, *O. maritimus* et *P. maritimum* ;

- la communauté héli-hydrophytique (relevés 01, 14, 20), développée dans les zones d'eau douce, à proximité du cordon dunaire, comprend des hydrophytes (*C. demersum*, *L. peploides*, *M. spicatum*, *N. alba*, *P. amphibia* et *Potamogeton pectinatus*) et des héliophytes (*B. glaucus*, *P. australis*, *S. litoralis*, *S. holoschoenus* et *T. domingensis*) ;
- la communauté anthropique (relevés 02–09), développée dans les zones cultivées inondables, comprend des espèces opportunistes ou tolérantes aux perturbations (*Carex flacca* subsp. *serrulata*, *C. coronopifolia*, *Juncus* spp., *L. minor*, *Lythrum* spp., *Phalaris minor*, *Plantago* spp., *Ranunculus bulbosus* et *Trifolium* spp.), ainsi que quelques espèces de ripisylve (*Alnus glutinosa*, *Carex divulsa* subsp. *divulsa*, *N. oleander* et *V. agnus-castus*) ;
- la communauté forestière (relevés 10–13 et 21–23), développée dans les zones boisées, comprend *Crataegus*

laevigata, *Fraxinus angustifolia*, *Hedera helix*, *Iris foetidissima*, *I. pseudacorus*, *Lolium muricatum*, *Lycopus europaeus*, *P. alba*, *R. sempervirens*, *R. ulmifolius*, *S. aspera*, *Ulmus minor* et *Vitis vinifera* subsp. *sylvestris*.

Ces deux gradients, qui expliquent 18,3 % de la variance totale, révèlent l'influence des perturbations, d'une part d'origine anthropique et d'autre part d'origine marine. Le premier axe révèle que la communauté glyco-psammophile, développée sur des sables non consolidés, remplace la communauté héli-hydrophytique suite à l'invasion du lac par les dunes de sables. Le second axe révèle que la communauté anthropique se développe quant à elle à la place des communautés héli-hydrophytique et forestière dans les zones soumises aux pratiques agropastorales.

3.3. Structure temporelle de la végétation

Une première AD, effectuée entre les trois années de suivi, n'a pas donné de résultat significatif. En revanche,

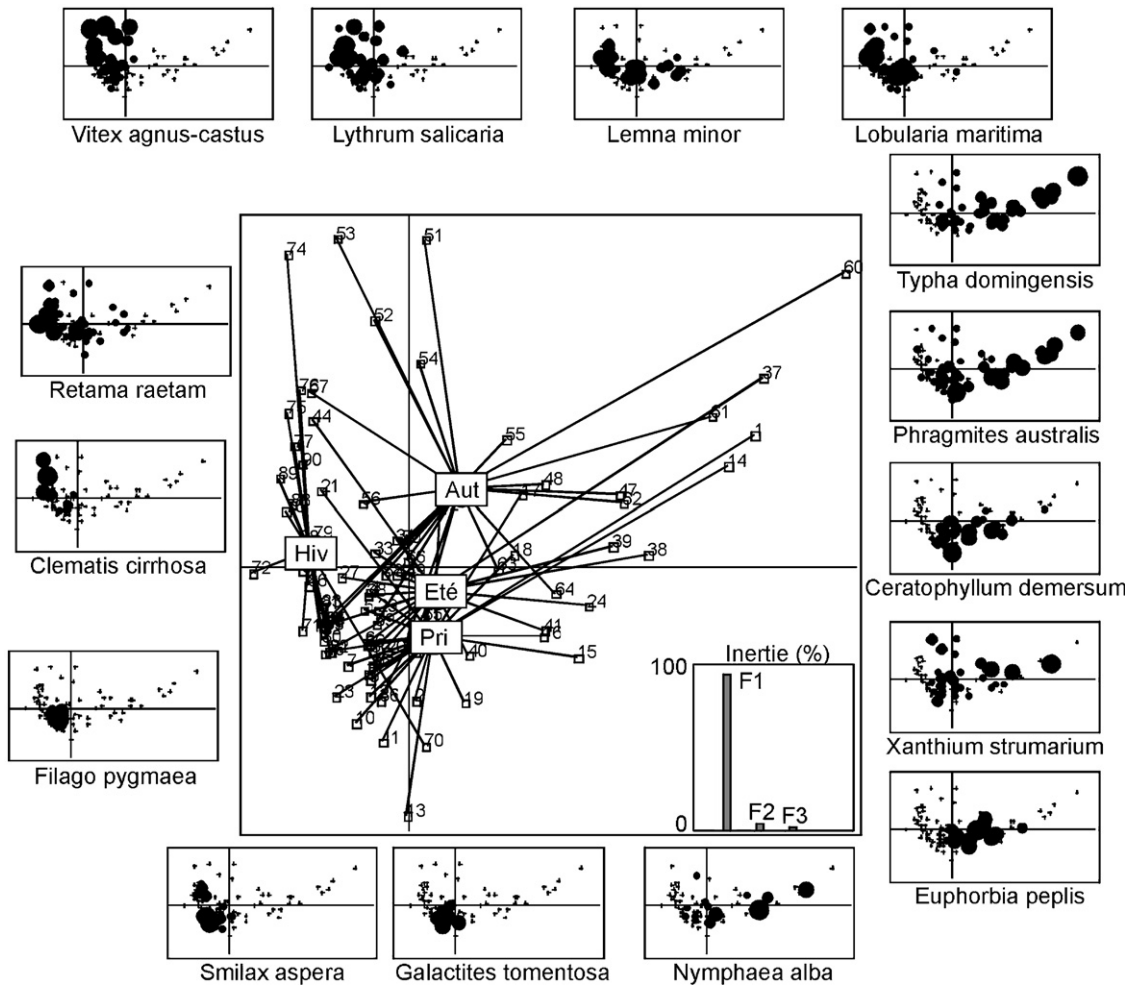


Fig. 4. Structure temporelle de la végétation des 23 stations. Plan factoriel 1/2 de l'analyse discriminante interclasses (3 années × 188 espèces végétales × 4 saisons). Les valeurs propres des trois premiers axes sont données sous forme d'histogrammes. Les barycentres correspondent aux saisons : Pri : printemps ; Eté : été ; Aut : automne ; Hiv : hiver. La succession des espèces est présentée en format réduit du plan factoriel principal. La distribution de chaque espèce est figurée par des cercles noirs, dont le diamètre est proportionnel à l'abondance. Les croix matérialisent l'absence de l'espèce.

l'analyse effectuée entre les quatre dates de relevés a révélé une co-structure significative entre les saisons et les espèces. Cette co-structure est décrite par les deux premiers axes, qui expliquent 98 % de la variance totale (Fig. 4). L'axe 1, qui explique à lui seul la presque totalité de l'information (94 %), oppose l'hiver aux autres saisons. L'hiver apparaît ainsi caractérisé par *Clematis cirrhosa*, *Filago pygmaea* et *R. raetam* subsp. *bovei* ; le printemps par *Galactites tomentosa*, *N. alba*, *S. aspera* ; l'été par *C. demersum*, *E. peplis*, *P. australis*, *T. domingensis* et *Xanthium strumarium* ; et l'automne par *L. minor*, *Lobularia maritima*, *Lythrum salicaria* et *V. agnus-castus*.

4. Discussion

4.1. Origine et diversité du cortège floristique

La zone humide de Beni-Belaid présente une grande richesse floristique, qui reflète la diversité des microhabitats

et des conditions écologiques (zones d'eau libre permanentes et temporaires, substrat sableux à limoneux, milieu ouvert à fermé... ; Fig. 2 et 3). Les quatre communautés mises en évidence par l'AFC (Fig. 3) représentent différents groupements phytosociologiques :

- classe *Ammophiletea* Br.-Bl. & Tüxen ex Westhoff, Dijk & Passchier 1946 (communauté glyco-psammophile) ;
- classe *Potamogetonetea pectinati* Tüxen & Preising 1942 corr. Oberd. 1979, ordre *Potamogetonetalia pectinati* W. Koch 1926 corr. Oberd. 1979, alliance *Nymphaeion albae* Oberd. 1957 (communauté hydrophytique) ;
- classe *Phragmiti-Magnocaricetea* Klika 1941 (communauté héliophytique), ordres *Phragmitetalia australis* Koch 1926 em. Pign. 1953 et *Scirpetalia compacti* Hejny in Holub et al. 1967 ;
- classe *Quercu-Fagetea* Br.-Bl. & Vlieg. 1937, ordre *Populetalia albae* Br.-Bl. ex Tchou 1948, alliance *Populion albae* Br.-Bl. ex Tchou 1948 (communauté forestière).

Bien que développée sur une surface restreinte et hors des grandes plaines littorales de Numidie, la zone humide de Beni-Belaïd apparaît aussi riche que les grandes zones humides du Parc National d'El Kala [18]. Comme ces dernières, elle abrite un cortège floristique très riche sur le plan biogéographique, réunissant notamment à l'élément méditerranéen différencié in situ, un élément septentrional (eurasiatique/circumboréal), un élément occidental (méditerranéen atlantique) et un élément méridional (tropical/subtropical). Ce dernier est associé à une communauté d'insectes d'affinité afrotropicale, qui comprend notamment *Acisoma panorpoides* subsp. *ascalaphoides*, *Anisops sardea*, *Diplacodes lefebvrei*, *Hydrocyrius columbiae*, *Mesovelia vittigera* et *Trithemis annulata* [21]. En Afrique du Nord, ce cortège floristique est inféodé aux ambiances bioclimatiques subhumides et humides de l'étage thermoméditerranéen [38,39], ce qui traduit un déterminisme climatique fortement lié aux précipitations. Son origine est en partie la conséquence d'anciennes voies de migration des espèces végétales en provenance du nord, du sud et de l'ouest [40–42], qui peuvent être rapportées aux périodes pluviales du Quaternaire pour les flores tropicales/subtropicales et atlantiques, et aux périodes glaciaires pour les flores eurasiatiques/circumboréales [39,43]. Toutefois, la rareté des hydrophytes endémiques à l'échelle de l'Afrique du Nord suggère la persistance de flux génétiques continus, attribuables au moins en partie à l'avifaune migratrice [44,45]. La dispersion ornithochore des semences sur de longues distances est un phénomène encore mal connu, mais qui pourrait jouer un rôle plus important qu'on ne le pensait jusqu'à présent [46,47].

4.2. Mosaïque et dynamique temporelle de la végétation

La mosaïque végétale de la zone humide de Beni-Belaïd apparaît structurée par deux gradients environnementaux dominants : l'hydrologie et les perturbations d'origine anthropique (Fig. 3). Ce résultat confirme l'influence prépondérante de ces deux facteurs dans la structuration des communautés hydrophiles à l'échelle de l'Afrique du Nord [14,48,49]. À Beni-Belaïd, l'influence de l'hydrologie se traduit d'une part par un gradient topographique (successionnel), depuis les zones inondées de manière permanente (*Nymphaeion albae*), en passant par les zones inondées de manière temporaire (*Phragmitetalia* et *Scirpetalia*) jusqu'aux zones exondées la majeure partie de l'année (*Populion albae*), et d'autre part par un gradient de salinité, depuis les zones argilo-limoneuses dulçaquicoles jusqu'aux zones sableuses, sous l'influence des embruns salés. Ces gradients spatiaux sont clairement liés à l'origine fluviale de la zone humide, qui correspond à l'ensemble des bras morts anastomosés d'un ancien delta de l'Oued El Kébir, aujourd'hui coincé entre deux cordons dunaires (Fig. 2). Le gradient hydrologique présente également une composante temporelle, caractérisée par une cyclicité intra-annuelle liée au développement estival des communautés hydrophytique et héliophytique (Fig. 4). Un bras mort, encore actif en 1973 (Fig. 2), a été depuis complètement abandonné par le fleuve, ce qui a vraisemblablement augmenté le régime temporaire de l'extrémité est du plan d'eau. Cette influence complexe de l'hydrologie,

à la fois temporelle et spatiale, explique en grande partie la richesse spécifique et coenologique du site (Tableau 1), et traduit un équilibre précaire entre les influences marines et fluviales, sous le contrôle du climat méditerranéen. Cette situation a en outre permis le développement local de plusieurs plantes rares [18,21,31], dont 5 sont classées vulnérables (*N. alba*, *P. amphibia*, *Rumex palustris*) ou quasi-menacées (*Baldellia ranunculoides*, *Helosciadium crassipes*) dans la liste rouge des espèces de zone humide d'Afrique du Nord [50].

Comme le montrent les photographies aériennes (Fig. 2), les perturbations anthropiques ont, depuis plus de 30 ans, fortement affecté la rive sud du lac. La présence résiduelle d'espèces de ripisylve (par exemple, *A. glutinosa*, *C. divulsa* subsp. *divulsa*, *N. oleander* et *V. agnus-castus*) au sein des zones anthropisées (Fig. 3) indique que cette dégradation s'est essentiellement faite au détriment de la communauté forestière riveraine (*P. albae*). Ce constat se rajoute aux résultats déjà obtenus dans les complexes humides de Guerbès-Senhadja et d'El Kala [12,13,51–53] et dans d'autres régions du Maghreb [49,54,55], qui révèlent le déclin alarmant des formations hydrophytiques dulçaquicoles (mares temporaires, aulnaies, marais, tourbières...) de la rive sud de la Méditerranée.

La communauté anthropique se développe dans la zone de balancement des eaux, à l'interface entre le plan d'eau et les terres cultivées. Sa composition floristique comprend de nombreuses espèces opportunistes, parmi lesquelles des espèces nitrophiles (*Cichorium endivia* subsp. *divaricatum*, *C. coronopifolia*, *Glaucium flavum*, *L. minor*, *L. peploides*), des espèces adventives (*Delphinium peregrinum*, *Glebionis segetum*, *Hedysarum coronarium*, *Sinapis arvensis*) et des espèces stress-tolérantes (*Carduus nutans*, *Carlina corymbosa*, *Charybdis maritima*, *Dittrichia viscosa*, *G. tomentosa*, *J. acutus*, *Plantago* spp., *Pulicaria dysenterica*, *Scolymus hispanicus*, *X. strumarium*). L'augmentation de la pression de pâturage et de la fréquentation du site par les troupeaux de bovins et d'ovins au cours des dernières décennies est probablement responsable de l'érosion du cordon dunaire littoral, qui apparaît plus étroit en 2004 qu'en 1973 (Fig. 2). La remobilisation du sable piégé sur les dunes de front de mer suite à la disparition de leur couverture végétale menace directement les plans d'eau douce installés dans la dépression interdunaire. L'envahissement de la zone humide par le sable a déjà entraîné le colmatage de l'extrémité orientale du site. À l'impact du pâturage et de l'agriculture, se rajoute l'influence des pompages réalisés dans la nappe phréatique afin d'approvisionner en eau les cultures maraîchères développées sous serre et en plein champs, de part et d'autre de la dune consolidée au sud de la zone humide.

4.3. Menaces à court et moyen termes et implications pour la conservation

Le surpâturage est un des problèmes majeurs au Maghreb, où son impact a d'abord été mis en évidence sur les écosystèmes forestiers [39,56], avant que des travaux récents n'en révèlent les effets sur les zones humides [54,57]. Il s'y traduit essentiellement par le remplacement des communautés hydrophiles oligotrophes par des communautés

résistantes au stress, dominées par des thérophytes opportunistes dans les milieux temporaires [57] et par de grands héliophytes dans les milieux permanents [9]. Les zones humides méditerranéennes (de même que la grande majorité des écosystèmes méditerranéens) apparaissent toutefois adaptées à un pâturage extensif, sous l'influence duquel elles ont évolué depuis le Néolithique : l'abandon récent du pastoralisme sur la rive nord de la Méditerranée entraîne généralement la fermeture des milieux [58,59] et une baisse de la biodiversité [60]. Différentes études théoriques et empiriques [61–64] soulignent l'importance des perturbations d'intensité et de fréquence moyennes pour promouvoir et maintenir la diversité dans les communautés. Certains auteurs [65,66] préconisent même un usage raisonné pour générer une biodiversité supérieure à une situation de non-usage. À Beni-Belaid, le surpâturage se traduit, d'une part par le développement local d'un abondant cortège d'espèces stress-tolérantes, et d'autre part, par l'envahissement de la zone humide par les dunes, suite à l'érosion de leur couvert végétal. La suppression totale du pâturage sur le long terme, susceptible d'entraîner la fermeture du milieu et le développement de communautés monospécifiques compétitives [67], n'est toutefois pas souhaitable. En revanche, un contrôle strict de la pression de pâturage, ainsi que la protection totale des zones les plus sensibles comme le cordon dunaire, apparaissent nécessaires et urgents.

Le développement agricole très important des dernières décennies s'est traduit dans l'ensemble du Maghreb par le défrichement d'immenses superficies dans les plaines et les régions collinéennes, au détriment des écosystèmes forestiers (notamment l'*Oleo-Lentiscetum*) et des zones humides [63,68]. Outre leur destruction systématique, les zones humides d'Afrique du Nord souffrent également de l'accumulation des pesticides et fertilisants, qui se traduisent par une pollution et une eutrophisation croissante des eaux douces [69]. La protection de la zone humide de Beni-Belaid implique, dans un premier temps, de la préserver de l'influence directe des cultures par la restauration d'une ceinture boisée [70,71]. Cette ceinture pourrait également servir de barrière à la pénétration des espèces exotiques potentiellement envahissantes [72] et favoriser le maintien de la macrofaune (loutre, oiseaux) inféodée aux habitats riverains. Cette restauration ne peut toutefois se faire sans l'exclusion au moins temporaire du pâturage, et donc la mise en défens d'importantes portions du pourtour de la zone humide, comprenant les complexes dunaire environnants.

Les pompages intensifs, associés à la construction de barrages en amont de l'Oued El Kébir (Béni Haroun en 2005 et Boussiaba en 2009), sont susceptibles de modifier à court terme l'hydrologie de la plaine alluviale et de la zone humide, d'affecter le transport et le dépôt des alluvions par les cours d'eau, et d'entraîner une salinisation des sols [73]. De tels changements ont été mis en évidence au lac Ichkeul, en Tunisie [74,75], où les modifications des conditions environnementales ont entraîné des modifications de la salinité, et par voie de conséquence des cortèges floristiques [76] et faunistiques [77]. La baisse estivale du niveau d'eau, observée depuis 10 ans à Beni-Belaid, a déjà entraîné des modifications de la flore : plusieurs espèces

ont régressé (*H. crassipes*, *N. alba*, *P. amphibia*), tandis que d'autres se sont au contraire étendues (*C. demersum*, *L. minor*, *Ludwigia repens*, *M. spicatum*, *P. nodiflora*). Cette dégradation des habitats naturels affecte en outre les équilibres compétitifs, et peut favoriser le développement d'espèces exotiques, potentiellement envahissantes [78]. C'est le cas à Beni-Belaid pour *C. coronopifolia*, *C. eragrostis*, *L. repens*, et peut-être également pour *P. distichum* et *P. nodiflora*, connues pour poser d'importants problèmes dans diverses régions du pourtour méditerranéen [79,80]. Un autre exemple est fourni par le marais d'El-Kennar, située à une quinzaine de kilomètres du site étudié. Cette mare est affectée par les activités agricoles limitrophes, qui ont entraîné la prolifération de *N. alba* et *L. peploides*, qui ont totalement envahi le milieu au détriment des autres espèces [27].

La pression agropastorale favorise également les espèces indigènes opportunistes compétitives, comme *J. acutus* ou *B. glaucus* [48,67]. Enfin, la pêche, la chasse, le braconnage et le pillage des nids d'oiseaux sont pratiqués sans aucune gestion ni restriction sur la zone humide. Ces pratiques, bien que n'impactant pas directement la flore, sont susceptibles d'affecter les populations animales, déjà réduites et isolées et de modifier les équilibres écologiques.

5. Conclusions et perspectives pour la conservation

La présente étude met en évidence la très grande richesse biologique et écologique de la zone humide de Beni-Belaid, qui se situe au cœur du point chaud de biodiversité *Kabylie-Numidie-Kroumirie* [22]. Cette richesse apparaît clairement liée : (1) à la situation biogéographique du site, au carrefour de plusieurs influences bioclimatiques ; et (2) à son origine deltaïque, qui se traduit par une mosaïque d'habitats, induite par la superposition de gradients de durée de submersion, de profondeur d'eau, de salinité, de substrat et de perturbation. L'approche phytodynamique souligne le rôle des conditions environnementales, topographiques et hydrologiques, dans la structuration et la zonation des groupements végétaux riverains.

Les résultats obtenus révèlent également de très importantes menaces à court et moyen termes, qui apparaissent essentiellement liées aux pratiques agropastorales intensives et à la modification de l'hydrologie locale par des pompages excessifs et la construction de barrages en amont. Ces menaces sont d'autant plus inquiétantes qu'il n'existe actuellement aucun suivi régulier des communautés animales et végétales, ni aucune gestion des pratiques humaines (agropastoralisme, chasse, pêche, pompage...), dans ou aux alentours de la zone humide. Ces constatations confirment des observations réalisées dans d'autres sites Ramsar de la région, comme le lac noir et le lac des oiseaux, détruits il y a une vingtaine d'années [12,13] ou la zone humide de Sidi Freitiss (complexe humide de Guerbès-Senhadja [19]), où toute la végétation riveraine a été défrichée et remplacée par des cultures irriguées directement par l'eau du lac. Cette situation soulève la question de la pertinence et de l'efficacité du statut de site Ramsar (<http://www.ramsar.org>), qui

n'entraîne dans la région étudiée aucune action de gestion conservatoire des sites considérés. Les méthodes et les connaissances permettant de juguler la pression croissante des activités anthropiques existent pourtant, et sont déjà appliquées avec succès dans diverses régions du bassin méditerranéens [9].

Le maintien du fonctionnement hydrologique du site et des équilibres écologiques apparaît sans aucun doute comme le principal enjeu de conservation. Pour cela, il semble incontournable de mettre très rapidement en défens la totalité de la zone humide et des complexes dunaires environnants, afin d'en préserver la biodiversité encore existante et de restaurer une ceinture forestière protectrice. Il apparaît également urgent de mettre en place un programme de suivi régulier des communautés végétales et animales, afin de pouvoir adapter les mesures conservatoires. Ce programme pourrait par exemple comprendre un suivi saisonnier des espèces rares et des principales espèces indicatrices de l'état du site, complété par des études approfondies tous les 5–10 ans.

Ces premières mesures ne seraient toutefois pas suffisantes pour assurer la pérennité des communautés biologiques de la zone humide de Beni-Belaid. La mise en clôture (réserve intégrale) du site par installation d'une clôture grillagée protectrice, bien que préservant à court terme les communautés végétales et animales des perturbations anthropiques, ne manquerait pas de poser des problèmes, notamment en termes d'isolement reproductif et de transfert d'énergie et de matière avec les écosystèmes adjacents. Cette fragmentation paysagère serait préjudiciable aux espèces, qui comme la loutre (*L. lutra*), exploite à la fois la zone humide et les berges de l'Oued El Kébir. Il apparaît ainsi indispensable de réfléchir, dans le cadre théorique des métapopulations [81], à la mise en place à moyen terme de corridors migratoires pour les diverses espèces animales et végétales entre Beni-Belaid et les zones humides proches.

L'ensemble de ces mesures conservatoires devrait en outre impérativement être accompagné d'une campagne de sensibilisation des populations locales sur l'intérêt de la conservation des milieux naturels, en vue de leur implication dans la gestion des sites [57]. Les compensations à la perte de terres cultivables peuvent être recherchées dans l'amélioration et le subventionnement des pratiques agropastorales dans les zones non protégées, dans la création d'emplois liés à la conservation, et dans le développement d'un écotourisme semblable à celui que connaissent actuellement les Parcs Naturels d'Europe et d'Amérique du Nord. L'implication des populations locales dans la gestion conservatoire permettrait d'implémenter des plans de gestion intégrant un pâturage extensif durant certaines périodes de l'année dans certaines zones afin d'y maintenir un régime intermédiaire de perturbations [61]. La préservation du site Ramsar de Beni-Belaid et de l'ensemble des zones humides du Maghreb, qui nécessite des mesures à la fois sur le court et le moyen terme, ne pourra être réalisée sans une réelle prise de conscience des pouvoirs publics et sans une volonté de trouver des compromis durables entre les intérêts agricoles et la conservation d'un patrimoine naturel unique.

Déclaration d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêts en relation avec cet article.

Remerciements

Ce travail a bénéficié du soutien financier de la faculté des sciences exactes et des sciences de la nature et de la vie de l'université de Jijel (Algérie), du projet CNEPRU (F : 1801/01/2003) et du programme EGIDE-CMEP Tassili (PHC 09mdu786). Nous remercions A. Chefrou et M. Saheb pour leur aide et leurs encouragements, ainsi qu'un relecteur anonyme, dont les commentaires ont été très appréciés. Cet article est la contribution ISEM 2011-090.

Références

- [1] P.A. Keddy, *Wetland Ecology: Principles and Conservation*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2000.
- [2] D.D. Williams, *The Biology of Temporary Waters*, Oxford University Press, Oxford, 2006.
- [3] P. Williams, M. Whitfield, J. Biggs, S. Bray, G. Fox, P. Nicolet, D. Sear, Comparative biodiversity of rivers, streams, ditches and ponds in an agricultural landscape in Southern England, *Biol. Conserv.* 115 (2004) 329–341.
- [4] J. Biggs, P. Williams, M. Whitfield, P. Nicolet, A. Weatherby, 15 years of pond assessment in Britain: results and lessons learned from the work of Pond Conservation, *Aquat. Conserv. Mar. Freshwat. Ecosyst.* 15 (2005) 693–714.
- [5] B. Oertli, N. Indermuehle, S. Angélilbert, H. Hinden, A. Stoll, Macroinvertebrate assemblages in 25 high alpine ponds of the Swiss National Park (Cirque of Macun) and relation to environmental variables, *Hydrobiologia* 597 (2008) 29–41.
- [6] U. Deil, A review on habitats, plant traits and vegetation of ephemeral wetlands—a global perspective, *Phytocoenologia* 35 (2005) 533–705.
- [7] F. Médail, H. Michaud, J. Molina, G. Paradis, R. Loisel, Conservation de la flore et de la végétation des mares temporaires dulçaquicoles et oligotrophes de France méditerranéenne, *Ecol. Médit.* 24 (1998) 119–134.
- [8] P. Quézel, La végétation des mares transitoires à *Isoetes* en région méditerranéenne, intérêt patrimonial et conservation, *Ecol. Médit.* 24 (1998) 111–117.
- [9] P. Grillas, P. Gauthier, N. Yavercovski, C. Perennou (Eds.), *Mediterranean temporary pools: volume 1. Issues relating to conservation, functioning and management*, Tour du Valat, Arles, 2004.
- [10] E. Cosson, Note sur la flore de la Kroumirie centrale, *Bull. Soc. Bot. Fr.* 32 (1885) 5–33.
- [11] L. Gauthier-Lièvre, Recherches sur la flore des eaux continentales de l'Afrique du Nord, Société d'Histoire Naturelle d'Afrique du Nord, mémoire hors-série, Alger, 1931.
- [12] B. Samraoui, G. de Bélair, S. Benyacoub, A much-threatened lake: Lac des Oiseaux in Northeastern Algeria, *Environ. Conserv.* 19 (1992) 264–267.
- [13] G. de Bélair, B. Samraoui, Death of a lake: Lac noir in Northeastern Algeria, *Environ. Conserv.* 21 (1994) 169–172.
- [14] G. de Bélair, Dynamique de la végétation de mares temporaires en Afrique du Nord (Numidie orientale, NE Algérie), *Ecol. Médit.* 31 (2005) 83–100.
- [15] J. Braun-Blanquet, Un joyau floristique et phytosociologique, « l'*Isoetion* » méditerranéen, *Bull. Soc. Sci. Nat. Nimes SIGMA* 42 (1935) 141–163.
- [16] G. Chevassut, Les groupements végétaux du marais de la Rassauta, *Ann. Inst. Nat. Agr. Elharrach Alger* (1956) 4–92.
- [17] G. Chevassut, P. Quézel, Contribution à l'étude des groupements végétaux des mares transitoires à *Isoetes velata* et des dépressions humides à *Isoetes histrix* en Afrique du Nord, *Bull. Soc. Hist. Nat. Af. Nord* 47 (1956) 59–73.
- [18] J.-M. Géhu, M. Kaâbache, R. Gherzouli, Phytosociologie et typologie des habitats des rives des lacs de la région d'El-Kala (Algérie), *Coll. Phytosoc.* 22 (1993) 297–329.
- [19] B. Samraoui, G. de Bélair, The Guerbes-Senhadja wetlands (NE Algeria), Part I: an overview, *Ecologie* 28 (1997) 233–250.
- [20] B. Samraoui, G. de Bélair, Les zones humides de la Numidie orientale : bilan des connaissances et perspectives de gestion, *Synthèse (Univ. Annaba)* 4 (1998) 90.

- [21] G. de Bélair, B. Samraoui, Le complexe de zones humides de Beni-Belaïd, un projet de réserve naturelle, Sci. Technologie Univ. Constantine 14 (2000) 115–124.
- [22] E. Vêla, S. Benhouhou, Évaluation d'un nouveau point chaud de biodiversité végétale dans le Bassin méditerranéen (Afrique du Nord), C. R. Biologies 330 (2007) 589–605.
- [23] F. Médail, P. Quézel, Biodiversity hotspots in the Mediterranean basin: setting global conservation priorities, Conserv. Biol. 13 (1999) 1510–1513.
- [24] N. Myers, Biodiversity hotspots revisited, BioScience 53 (2003) 916–917.
- [25] N. Myers, R.A. Mittermeier, C.G. Mittermeier, G.A.B. Da Fonseca, J. Kent, Biodiversity hotspots for conservation priorities, Nature 403 (2000) 853–858.
- [26] A.C. Stevenson, J. Skinner, G.E. Hollis, M. Smart, The El Kala National Park and environs, Algeria: an ecological evaluation, Environ. Conserv. 15 (1988) 335–348.
- [27] M. Bouldjedri, B. Mayache, G. de Bélair, Les plantes invasives des zones humides de la région de Jijel, nord-est Algérie, in : S. Brunel (Ed.), Proceedings of the International Workshop: Invasive plants in Mediterranean-type regions of the world, IUCN & Conservatoire Botanique National Méditerranéen, Mèze, 2005, , p. 285.
- [28] A. Marre, Le Tell oriental algérien de Collo à la frontière tunisienne, étude géomorphologique, OPU, Alger, 1992.
- [29] P. Seltzer, Le climat de l'Algérie, Imp. La Typo-Litho & J. Carbonel, Alger, 1946.
- [30] M. Ramdani, R.J. Flower, N. Elkhiati, M.M. Kraïem, A.A. Fathi, H.H. Birks, S.T. Patrick, North African wetland lakes: characterization of nine sites included in the CASSARINA Project Aquatic, Ecology 35 (2001) 281–302.
- [31] P. Quézel, S. Santa, Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales, 2 vols, CNRS, Paris, 1962–1963.
- [32] J. Braun-Blanquet, Plant sociology, the study of plant community (translation by H.S. Conard, G.D. Fuller), McGraw Hill Book, New York, 1932.
- [33] R. Maire, Flore de l'Afrique du Nord (Maroc, Algérie, Tunisie, Tripolitaine, Cyrénaïque et Sahara), 16 vols, Lechevalier, Paris, 1952–1987.
- [34] G. Pottier-Alapetite, Flore de la Tunisie (Angiospermes-Dicotylédones), 2 vols, Publications scientifiques tunisiennes, ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique, ministère de l'Agriculture, Tunis, 1979–1981.
- [35] E. Le Floch, L. Boulos, E. Vêla, Flore de Tunisie, catalogue synonymique commenté, Banque Nationale de Gènes, Tunis, 2010.
- [36] M. Roux, Statoscope (STATOS), version 1.7, logiciel de statistiques, Université d'Aix-Marseille-3, Marseille, 1999.
- [37] S. Doledec, D. Chessel, Rythmes saisonniers et composantes stationnelles en milieu aquatique. I. Description d'un plan d'observation complet par projection de variables, Acta Oecol. 8 (1987) 403–426.
- [38] P. Dimanche, A. Schoenenberger, Description des milieux des Mogods et de Kroumirie, Institut national de recherches forestières, Tunis, 1970.
- [39] P. Quézel, F. Médail, Écologie et biogéographie des forêts du Bassin méditerranéen, Elsevier, Paris, 2003.
- [40] J. Arènes, À propos des connexions ibérico-marocaines et siculo-tunisiennes, C. R. Somm. Seances Soc. Biogeog. 241 (1951) 67–72.
- [41] J. Braun-Blanquet, Irradiations européennes dans la végétation de la Kroumirie, Vegetatio Acta Geobot. 4 (1953) 182–194.
- [42] G. Pottier-Alapetite, Intérêt phytogéographique de la région de Sedjenane en Tunisie, Vegetation 8 (1958) 176–180.
- [43] R.J. Petit, S. Brewer, S. Bordács, K. Burg, R. Cheddadi, E. Coart, J. Cottrell, U.M. Csaikl, J.D. Deans, S. Fineschi, R. Finkeldey, P.G. Goicoechea, J.S. Jensen, A.O. König, A.J. Lowe, S.F. Madsen, G. Mátyás, R.C. Munro, I. Oledska, Identification of refugia and post-glacial colonisation routes of European white oaks based on chloroplast DNA and fossil pollen evidence, For. Ecol. Manag. 156 (2002) 49–74.
- [44] M. Reille, Contribution pollenanalytique à l'histoire holocène de la végétation des montagnes du Rif (Maroc septentrional), in: INQUA (Ed.), Recherches françaises sur le Quaternaire, Supplément au Bulletin AFEQ 50, 1977, pp. 53–76.
- [45] P. Quézel, Analysis of the flora of Mediterranean and Sahara Africa, Ann. Missouri Bot. Gard. 65 (1978) 479–534.
- [46] R. Nathan, Long-distance dispersal of plants, Science 313 (2006) 786.
- [47] A.L. Brochet, M. Guillemain, H. Fritz, M. Gauthier-Clerc, A.J. Green, The role of migratory ducks in the long-distance dispersal of native plants and the spread of exotic plants in Europe, Ecography 32 (2009) 919–928.
- [48] L. Rhazi, P. Grillas, M. Rhazi, J.C. Aznar, Ten-year dynamics of vegetation in a Mediterranean temporary pool in western Morocco, Hydrobiologia 634 (2009) 185–194.
- [49] H. Ferchichi-Ben Jamaa, S.D. Muller, A. Daoud-Bouattour, Z. Ghrabi-Gammar, L. Rhazi, I. Soulié-Marsche, M. Ouali, S. Ben Saad-Limam, Structure de végétation et conservation des zones humides temporaires méditerranéennes : la région des Mogods (Tunisie septentrionale), C. R. Biologies 333 (2010) 265–279.
- [50] N. García, A. Cuttelod, D. Abdul Malak (Eds.), The Status and Distribution of Freshwater Biodiversity in Northern Africa. The IUCN Red List of Threatened Species – Regional Assessment, IUCN, Gland, Switzerland, Cambridge, UK & Malaga, Spain, 2010.
- [51] J.M. Géhu, M. Kâabeche, R. Gharzouli, L'aulnaie glutineuse de la région d'El Kala (La Calle), Annaba, Algérie : une remarquable irradiation biogéographique européenne en Afrique du Nord, Fitosociologia 27 (1994) 67–71.
- [52] S.D. Muller, A. Daoud-Bouattour, D. Belouahem-Abed, I. Ben Haj Jilani, S. Ben Saad-Limam, M. Benslama, H. Ferchichi-Ben Jamaa, L. Rhazi, Z. Ghrabi-Gammar, Peat mosses (*Sphagnum*) and related plant communities of North Africa. I. The Numidian-Kroumirian range (Algeria-Tunisia), Flora Medit. 20 (2010) 159–178.
- [53] D. Belouahem-Abed, F. Belouahem, M. Benslama, G. de Bélair, S.D. Muller, Les aulnaies de Numidie (N.E. algérien) : biodiversité floristique, vulnérabilité et conservation, C. R. Biologies 334 (2011) sb:first-page>61–73.
- [54] L. Rhazi, P. Grillas, A. Mounirou Toure, L. Tan Ham, Impact of land use in catchment and human activities on water, sediment and vegetation of Mediterranean temporary pools, C. R. Acad. Sci. Paris Sci. Vie 324 (2001) 165–177.
- [55] S.D. Muller, A. Daoud-Bouattour, H. Ferchichi, Z. Gammar-Ghrabi, S. Limam-Ben Saad, I. Soulié-Marsche, Garâa Sejenane (northern Tunisia): an unknown and threatened biological richness, Eur. Pond Conserv. Network Newsletter 1 (2008) 7–8.
- [56] A. Benabid, Flore et écosystèmes du Maroc. Évaluation et préservation de la biodiversité, Ibis Press, Paris, 2000.
- [57] S. Bouahim, L. Rhazi, B. Amami, N. Sahib, M. Rhazi, A. Waterkeyn, A. Zouahri, F. Mesléard, S.D. Muller, P. Grillas, Impact of grazing on the species richness of plant communities in Mediterranean temporary pools (western Morocco), C. R. Biologies 333 (2010) 670–679.
- [58] M. Rhazi, P. Grillas, F. Médail, L. Rhazi, Consequences of shrub clearing on the richness of aquatic vegetation in oligotrophic seasonal pools in Southern France, Phytocoenologia 26 (2005) 489–510.
- [59] N. Mandaluniz, A. Aldezabal, L.M. Oregui, Atlantic mountain grassland-heathlands: structure and feeding value, Spanish J. Agric. Res. 7 (2009) 129–136.
- [60] S.E. Van Wieren, The potential role of large herbivores in nature conservation and extensive land use in Europe, Biol. J. Linnean Soc. 56 (1995) 11–23.
- [61] J.H. Connell, Diversity in tropical rain forest and coral reefs, Science 199 (1978) 1302–1310.
- [62] J.B. Wilson, The intermediate disturbance hypothesis of species coexistence is based on patch dynamics, New Zealand J. Ecol. 18 (1994) 176–181.
- [63] F. Médail, K. Diadema, Biodiversité végétale méditerranéenne et anthropisation : approches macro- et micro-régionales, Ann. Geogr. 651 (2006) 618–640.
- [64] E.J. Questad, B.L. Foster, Coexistence through spatio-temporal heterogeneity and species sorting in grassland plant communities, Ecol. Lett. 11 (2008) 717–726.
- [65] S.H. Roxburgh, K. Shea, J.B. Wilson, The intermediate disturbance hypothesis: Patch dynamics and mechanisms of species coexistence, Ecology 85 (2004) 359–371.
- [66] A. Barthes, A. Sandoz (coord.), Vie locale, ruralité, tourisme et paysages dans l'aire méditerranéo-alpine, Regards croisés franco-slovens sur la durabilité, Université de Provence, 2009.
- [67] M. Rhazi, P. Grillas, A. Charpentier, F. Médail, Experimental management of Mediterranean temporary pools for conservation of the rare quillwort *Isoetes setacea*, Biol. Conserv. 118 (2004) 675–684.
- [68] P. Quézel, Réflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen, Ibis Press, Paris, 2000.
- [69] N.E. Haycock, G. Pinay, Groundwater nitrate dynamics in grass and poplar vegetated riparian buffer strips during the winter, J. Environ. Qual. 22 (1993) 273–278.
- [70] W.T. Peterjohn, D.J. Correll, Nutrient dynamics in an agricultural watershed: observations on the role of riparian forest, Ecology 65 (1984) 1466–1475.
- [71] M. Brian, C. Hickey, B. Doran, A review of the efficiency of buffer strips for the maintenance and enhancement of riparian ecosystems, Water Qual. Res. J. Can. 39 (2004) 311–317.
- [72] J.E. Houlahan, P.A. Keddy, K. Makkay, C.S. Findlay, The effects of adjacent land use on wetland species richness and community composition, Wetlands 26 (2006) 79–96.
- [73] M. Acreman, L'hydrologie des zones humides, Station Biologique de la Tour du Valat, Arles, 2000.

- [74] A.C. Stevenson, R.W. Battarbee, Palaeoecological and documentary records of recent environmental change in Garaet El Ichkeul: a seasonally saline lake in NW Tunisia, *Biol. Conserv.* 58 (1991) 275–295.
- [75] G.E. Hollis, Implications of climate changes in the Mediterranean basin: Garaet Ichkeul and Lac de Bizerta, Tunisia, in : L. Jeftic, J.D. Milliman, G. Sestini (Eds.), *Climate Change and the Mediterranean*, UNEP/Edward Arnold, London, 1992, , p. 700.
- [76] A. Daoud-Bouattour, Z. Gammar-Ghrabi, S. Limam-Ben Saad, *Guide illustré des plantes du Parc National de l'Ichkeul*, ERI, Ariana, 2007.
- [77] N. Hamdi, F. Charfi, A. Moali, Variation of the waterbird community relying to the Ichkeul National Park, Tunisia, *Eur. J. Wildl. Res.* 54 (2008) 417–424.
- [78] V.H. Heywood, Changing attitudes to plant introduction and invasives, in : S. Brunel (Ed.), *Invasive Plants in Mediterranean type regions of the world*, 59, *Environmental Encounters Series*, Strasbourg, 2006, pp. 119–128.
- [79] P. Grillas, L. Tan Ham, A. Dutartre, F. Mesléard, Distribution de *Ludwigia* en France, étude des causes de l'expansion récente en Camargue, in: 15^e Conférence COLUMA, Journées Internationales sur le Lutte contre Les Mauvaises Herbes, ANPP, Versailles, 1992pp. 1083–1090.
- [80] S. Muller, Les espèces végétales invasives en France : bilan des connaissances et propositions d'action, *Rev. Ecol. Terre Vie* 17 (2000) 53–69.
- [81] I. Hanski, Metapopulation dynamics: brief history and conceptual domain, *Biol. J. Linnean Soc.* 42 (1991) 3–16.