

INTÉRÊT DES *CHARACEAE* COMME BIOINDICATEURS DE LA QUALITÉ DES EAUX : LE CAS DES ZONES HUMIDES DE NUMIDIE (NORD-EST ALGÉRIEN)

Hanene ZOUAÏDIA^{1,2}, Gérard DE BÉLAIR¹, Mohamed BENSLAMA¹, Ingeborg SOULIÉ-MÄRSCH³ &
Serge D. MULLER^{3*}

¹ Université Badji Mokhtar d'Annaba, Laboratoire de recherches en sols et développement durable, Faculté des Sciences, 23000 Annaba, Algérie.

² Ecole préparatoire des Sciences de la Nature et de la Vie, Beaulieu, El Harrach, Alger.

³ Université Montpellier-2, CNRS/IRD, Institut des Sciences de l'Évolution (ISE-M), case 061, Place E. Bataillon, 34095 Montpellier-Cedex 05, France.

*Auteur correspondant : S.D. Muller, smuller@univ-montp2.fr

SUMMARY.— *Interest of the Characeae as bioindicators of water quality: the case of wetlands in Numidia (NE Algeria)* – Characeae surveys and water physico-chemical studies have been performed during four years (2007-2011) on 41 wetlands of Numidia (NE Algeria). Among the 12 species inventoried in the region, four are rare in North Africa and one, *Nitella batrachosperma*, is new for Algeria. Comparison between Characeae communities and phosphate contents shows that (1) Characeae have nearly disappeared from habitats that contain high levels of orthophosphates ($> 780 \mu\text{g.l}^{-1}$), (2) three species of *Chara* (*C. globularis*, *C. gymnophylla* and *C. vulgaris*) characterize medium-polluted habitats ($213\text{-}780 \mu\text{g.l}^{-1}$), where they are often present as discontinuous populations, and (3) the *Nitella* (*N. opaca* and *N. translucens*) are good indicators of low water pollution ($< 70 \mu\text{g.l}^{-1}$). In addition to the sole presence of a given species, the physiological appearance of the plants has to be taken into consideration as a sign of a healthy population.

RÉSUMÉ.— 41 zones humides de Numidie (NE Algérie) ont fait l'objet d'inventaires des Characeae et de mesures physico-chimiques de l'eau durant 4 années (2007-2011). Parmi les 12 espèces recensées dans la région, quatre sont rares à l'échelle de l'Afrique du Nord et une, *Nitella batrachosperma* s'avère nouvelle pour l'Algérie. La comparaison entre les assemblages de Characeae et les teneurs en orthophosphates montre que (1) les Characeae ont quasiment disparu des milieux les plus chargés en orthophosphates ($> 780 \mu\text{g.l}^{-1}$), (2) trois espèces de *Chara* (*C. globularis*, *C. gymnophylla* et *C. vulgaris*) caractérisent les milieux moyennement pollués ($213\text{-}780 \mu\text{g.l}^{-1}$) où elles sont souvent présentes sous forme de populations discontinues et (3) les *Nitella* (*N. opaca* et *N. translucens*) sont de bons indicateurs de faible pollution de l'eau ($< 70 \mu\text{g.l}^{-1}$). En complément de la simple présence d'une espèce, l'état physiologique des plantes est à prendre en considération pour indiquer une population saine.

Les *Characeae* (Charales, Charophyta) représentent un groupe de macrophytes non-vasculaires, vivant dans les milieux aquatiques d'eau douce ou saumâtre. Ces plantes jouent un rôle important dans le maintien de l'équilibre et du fonctionnement des écosystèmes dans lesquels elles vivent (Grillas *et al.*, 2004). Elles constituent souvent des lieux de refuge et de reproduction pour diverses espèces de la faune aquatique et benthique. Les herbiers de *Characeae* sont aussi des frayères et des sites d'alimentation privilégiés pour les populations de poissons. Le zoobenthos (insectes, crustacées et gastéropodes) qui habite et/ou broute les herbiers sert de nourriture à de nombreuses espèces de poissons (Zaneveld, 1940 ; Guerlesquin & Podljeski, 1980). Elles constituent enfin la principale ressource alimentaire de certains Anatidés, comme la Nette rousse *Netta rufina* (Van den Berg & Coops, 1999).

En dépit des études antérieures qui ont, pour la plupart, porté sur l'ensemble de l'Afrique du Nord, ce groupe d'algues est encore mal connu en Algérie. Les premières mentions algériennes de *Characeae* ont été faites par Braun (1868), qui utilise des échantillons récoltés par divers botanistes et décrit 12 espèces en Algérie. Quelques années plus tard, Nordstedt (1889) reprend ces résultats, additionnés des premières récoltes de L.C. Trabut, puis Hy (1913) mentionne quelques

récoltes nord-africaines dans son étude sur les *Characeae* de France. De nouvelles récoltes sont faites par Gauthier-Lièvre (1931) dans le cadre de ses travaux sur la flore des zones humides d'Algérie et du Nord-ouest tunisien. Elle mentionne en particulier, pour la région d'El Kala (NE algérien), *Chara braunii* au lac d'Oubeira, ainsi que *Nitella opaca* et *N. translucens* au lac Sidi Freïtis. L'ensemble de ces récoltes, conservées dans le formol et en herbier au Muséum d'Histoire Naturelle de Paris, était resté en grande partie indéterminé, jusqu'à ce qu'elles soient réétudiées par G. Feldmann, dans le cadre d'une révision des *Characeae* nord-africaines (Feldmann, 1946). En ce qui concerne l'Algérie, cette publication comprend également l'étude systématique d'échantillons récoltés par R. Maire et conservés au laboratoire de Botanique Générale de la Faculté des Sciences d'Alger. Ces données furent enfin reprises dans les listes d'espèces établies par Corillion (1957), dans son ouvrage sur les *Characeae* d'Europe. Plus récemment, des relevés intensifs et des suivis de la végétation des zones humides de la Numidie effectués pendant plus de 20 ans par De Bélair (2005) ont recensé de nombreuses localités à *Characeae*, sans toutefois faire de déterminations spécifiques.

Le présent travail s'appuie plus particulièrement sur cette dernière publication, en se focalisant sur les habitats à *Characeae* recensés et en y ajoutant l'étude systématique des *Characeae* et la caractérisation de leur milieu. L'importante diversité spécifique, présente sur un territoire aussi restreint, offre en effet une opportunité unique d'étudier l'influence des variables abiotiques sur la structuration régionale des communautés charophytiques. Certains paramètres (salinité, alcalinité, pH, profondeur de l'eau, turbidité) sont reconnus pour discriminer des groupes d'espèces en fonction de leur tolérance au sel (e.g. *Chara aspera/galioïdes* ; Flor-Arnaud *et al.*, 2006 ; Soulié-Märsche, 2008) ou aux carbonates (*Chara vs. Nitella* ; Guerlesquin & Podlajski, 1980 ; Elkhiaï *et al.*, 2002 ; Boissezon, 2008). L'influence des polluants comme le phosphore par exemple est en revanche moins bien connue, et les études existantes donnent des informations contradictoires. Par exemple, Forsberg (1965a,b) a montré que la croissance des *Characeae* étaient physiologiquement inhibée par des teneurs élevées en phosphore et a défini un seuil de 20 µg.l⁻¹ pour le développement d'herbiers luxuriants. Ce résultat a été confirmé plus récemment par plusieurs travaux (Melzer *et al.*, 1977 ; Forsberg *et al.*, 1990 ; Simons & Nat, 1996). Cependant, Henricsson (1976), en répétant les expériences de Forsberg, conclut que la préférence de *Chara* spp. pour les basses concentrations en phosphore dans la nature ne serait pas due à sa toxicité mais à la compétition avec d'autres producteurs primaires. Ce point de vue a été soutenu par plusieurs autres chercheurs (Lang, 1981 ; Blindow, 1988, 1992 ; Simons *et al.*, 1994). Blindow (1988), en particulier, suggère que les différentes espèces de *Characeae* étudiées pourraient présenter une sensibilité différente au phosphore.

L'étude présentée ici s'appuie sur des relevés dans 41 zones humides (dont 33 à *Characeae*) du Nord-Est algérien. Elle a pour objectifs : (1) de mettre à jour l'inventaire de la diversité régionale de ce groupe, dont les études précédentes remontent à plus de 50 ans, (2) d'évaluer l'impact de la pollution par les orthophosphates sur les assemblages et les populations des différentes espèces recensées, et (3) de préciser sur cette base l'intérêt des *Characeae* comme bioindicateurs de la qualité des eaux.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

RÉGION ÉTUDIÉE

La Numidie correspond à la partie nord-orientale de l'Algérie et constitue l'extrémité orientale du Tell (Marre, 1992). Ce territoire s'étend le long de la Méditerranée depuis la frontière tunisienne jusqu'à la plaine de Guerbès-Senhadja. La limite sud est constituée par les reliefs collinéens de l'Atlas tellien. L'Oued Seybouse divise cette région en deux grands secteurs : la Numidie orientale qui comprend le complexe humide d'Annaba-El Kala, et la Numidie occidentale, qui comprend le complexe humide de Guerbès-Senhadja et le lac Fetzara (Fig. 1). Située dans l'étage bioclimatique thermoméditerranéen subhumide à humide, cette région abrite les zones humides les plus riches de tout le Maghreb (Samraoui & De Bélair, 1998 ; De Bélair, 2005), avec des cortèges floristiques de différentes origines biogéographiques

(méditerranéenne, septentrionale, tropicale, atlantique). L'importance conservatoire de ces milieux humides est reconnue depuis plusieurs décennies et a conduit à la création du Parc National d'El Kala et à leur inscription en tant que sites RAMSAR (Direction Régionale des Forêts, 1998, 2001, 2002). Toutefois, en dépit de quelques études récentes, surtout hydrogéologiques (Khammar, 1981 ; Majour & Ouelaa, 1990 ; Samraoui & De Bélair, 1997), le fonctionnement et la biodiversité de ces zones humides sont encore très mal connus au niveau national et international (Britton & Crivelli, 1993).

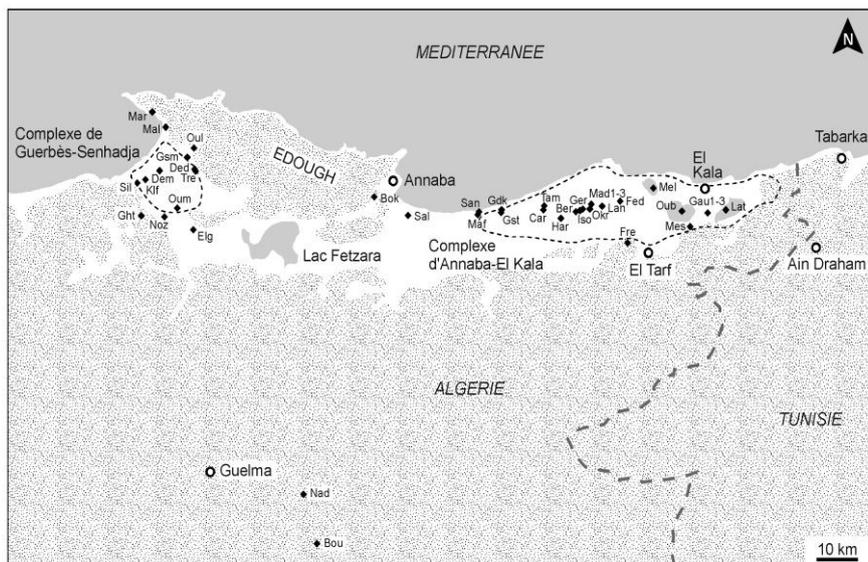


Figure 1.— Situation géographique des stations étudiées (Numidie, Nord-Est algérien).

SITES D'ÉTUDE

41 zones humides, situées entre les latitudes 36°22'23"N et 37°04'07"N et les longitudes 07°11'42"E et 08°26'35"E ont été étudiées (Fig. 1). Ces sites ont été choisis sur la base de l'existence d'études antérieures mentionnant la présence de *Characeae* (Gauthier-Lièvre, 1931 ; Feldmann, 1946 ; De Bélair, 2005) et de la facilité d'accès (proximité d'une route) pour permettre des visites régulières et répétées. Parmi ces 41 anciennes localités, seules 33 abritent toujours des *Characeae* aujourd'hui (13 sont situées en Numidie occidentale et 20 en Numidie orientale). Les 8 stations dont les assemblages de *Characeae* décrits dans le passé (Feldmann, 1946 ; Corillion, 1957 ; De Bélair, 2005) ont aujourd'hui disparu sont Garâat Dakhla, Guerâat El Guelb, Garâat Nouar Zouaoua, Garâat Sidi M'Hammed, Garâat Stah, Oued Maboun, Lac Noir, Lac Tonga (Tab. I). L'eau de ces stations a également été analysée afin de la comparer à celle des milieux présentant toujours des communautés charophytiques et d'évaluer ainsi les causes probables de leur disparition.

Les sites ont été classés en trois catégories en fonction de leur régime hydrologique, d'après la typologie définie par Ferchichi-Ben Jamaa *et al.* (2010) : milieux permanents (IP) ; milieux semi-permanents (IH), dans lesquels la partie centrale du plan d'eau reste submergée pendant l'été ; milieux temporaires (IT), avec une période d'assèchement complet variant de 4 à 6 mois (Tab.I).

RELEVÉS FLORISTIQUES

Le travail de terrain s'est déroulé de janvier 2007 à juillet 2011. Durant ces 4 années, des relevés de la flore des *Characeae* ont été réalisés régulièrement de manière mensuelle, hormis durant les périodes d'assez des mares temporaires. Une première identification a été réalisée sur place avec la loupe de terrain, et le stade de développement des espèces et l'étendue de la végétation *in situ* ont été systématiquement notés. Des échantillons de plantes ont été conservés dans du formol à 4 % et sur des feuilles d'herbier pour une détermination ultérieure au laboratoire, à l'aide des flores de Corillion (1957) et de Krause (1997). Les données d'abondance par espèce ont été estimées visuellement selon quatre catégories définies dans le cadre de ce travail : 0, absence ; 1, quelques individus ; 2, petite population ; 3, herbier continu.

TABLEAU I

Caractéristiques générales des 41 stations étudiées dans la région de la Numidie (Nord-Est algérien). Régime hydrologique: IH, semi-permanent ; IP, permanent ; IT, temporaire. *Stations anciennes dont les Characeae ont disparu

Code	Station	Altitude (m)	Latitude N	Longitude E	Surface (ha)	Régime hydrologique
Ber	Berrihane	14	36°50'05"	08°08'01"	0,04	IT
Bok	Boukhadra	1	36°52'26"	07°43'16"	0,2	IT
Bou	Boukraïma	333	36°22'23"	07°38'55"	0,2	IT
Car	Carrière	3	36°49'49"	08°04'05"	0,04	IT
Ded	Diar el Djedri	11	36°56'04"	07°20'14"	0,04	IT
Dem	Demnat Ataoua	217	36°56'04"	07°14'43"	0,002	IP
Elg	*El Guelb	24	36°49'20"	07°19'22"	0,03	IT
Fed	Fedjouj	16	36°50'07"	08°15'01"	0,07	IH
Fre	Frènes	25	36°46'43"	08°16'01"	0,08	IT
Gau1	Gauthier 1	30	36°50'14"	08°26'33"	0,005	IT
Gau2	Gauthier 2	30	36°50'13"	08°26'35"	0,005	IT
Gau3	Gauthier 3	28	36°50'12"	08°26'33"	0,02	IT
Ger	Gérard	20	36°50'31"	07°57'30"	0,04	IT
Ght	El Hadj Tahar	18	36°51'50"	07°15'57"	300	IP
Gsm	*Gueraat Sidi M'hammed	3	36°57'32"	07°18'29"	3,2	IT
Gud	*Gueraat Dakhla	16	36°50'48"	08°08'57"	4	IT
Gus	*Gueraat Stah	16	36°50'46"	08°09'01"	9	IH
Har	Harrîb sud	16	36°50'07"	08°07'18"	0,06	IT
Iso	Isoetes	5	36°50'44"	08°09'02"	0,03	IT
Klf	Kef Lala Fatima	26	36°55'04"	07°12'53"	0,06	IH
Lan	*Lac noir	37	36°51'19"	08°12'25"	5	IP
Lat	*Lac Tonga	0	36°44'15"	08°00'46"	2700	IP
Mad1	Madjen Zitoune 1	39	36°51'47"	08°10'31"	2,2	IH
Mad2	Madjen Zitoune 2	37	36°52'29"	08°10'18"	1,5	IT
Mad3	Madjen Zitoune 3	41	36°52'13"	08°10'09"	4	IT
Maf	Mafraqh	3	36°50'23"	07°56'55"	0,07	IH
Mal	Marsadelle	9	37°00'49"	07°15'36"	50	IH
Mar	Marsa	41	37°04'07"	07°12'11"	0,03	IT
Mel	Mellah	1	36°53'00"	08°20'00"	960	IP
Mes	Messida	26	36°48'46"	08°24'12"	0,05	IT
Nad	Nador	133	36°26'35"	07°36'10"	2	IH
Noz	*Gueraat Nouar Ezzouaoua	10	36°54'48"	07° 12'46"	13	IH
Okr	Okrera	22	36°50'53"	08°10'00"	5	IH
Oub	Lac Oubeïra	22	36°50'00"	08°23'00"	2400	IP
Oul	Oued el Annab	7	36°58'34"	07°20'02"	0,1	IP
Oum	*Oued Maboun	13	36°51'46"	07°17'12"	150	IP
Sal	Salines	5	36°50'34"	07°48'00"	0,1	IT
San	Sanglier	8	36°50'16"	07°56'46"	0,07	IH
Sil	Sidi Lakhdar	18	36°54'36"	07°11'42"	25	IP
Tam	Tamaris	4	36°49'52"	08°04'06"	0,04	IP
Tre	Treate	13	36°56'09"	07°20'14"	0,22	IT

CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES

Les principaux paramètres physico-chimiques du milieu, comprenant les éléments chimiques d'origine naturelle ou anthropique, ont été systématiquement mesurés dans les 41 sites prospectés. Les caractéristiques de l'habitat (profondeur de l'eau, température de l'air et de l'eau, pH) ont été notées lors de chaque visite des stations (en moyenne une fois par mois) entre décembre et août. La température de l'eau et le pH ont été mesurés *in situ* à l'aide d'un pH-mètre portatif, muni d'électrodes rechargeables. La profondeur de l'eau a été mesurée avec un bâton gradué. La conductivité et la teneur en oxygène dissous ont été dosées avec un conductimètre de type WTW L.F 1971. Des analyses granulométriques ont été effectuées pour chacune des stations d'étude afin de caractériser la nature du sédiment.

Durant la période de fructification des *Characeae*, qui correspond à leur développement maximal, des échantillons d'eau d'un litre ont été prélevés dans chaque zone humide pour les analyses physico-chimiques. Les échantillons ont été transportés dans une glacière jusqu'au laboratoire et conservés au frais. La quantification des matières en suspension (turbidité) a été réalisée par la méthode de filtration directe : le volume d'eau de l'échantillon (V) est versé sur le disque de filtration, qui, après essorage et séchage à 105°C, est pesé sur une balance électronique. Le taux du résidu sec a été déterminé par l'évaporation progressive de 500 ml d'eau dans une capsule placée à l'étuve à 105°C pendant 4 h. Après refroidissement, le taux du résidu sec est obtenu directement par pesée. Le dosage des chlorures (Cl⁻) a été effectué par la méthode de Mohr. La dureté totale (TH), le titre alcalimétrique complet (TAC), le magnésium (Mg²⁺) et le calcium (Ca²⁺) ont été déterminés par dosage complexométrique (titrimétrique) selon AFNOR (1997-1999) et Rodier (2009). Le dosage

des orthophosphates (PO_4^{3-}), nitrates (NO_3^-), nitrites (NO_2^-) et sulfates (SO_4^{2-}) a été effectué par lecture directe sur un spectrophotomètre (Thermo spectronic Genesys 8), à des longueurs d'onde de 415 (nitrates), 420 (sulfates), 435 (nitrites) et 650 nm (orthophosphates). Le dosage des nitrates a été fait selon la méthode décrite par Rodier (2009), en utilisant le salicylate de sodium. Les nitrites ont été dosés au réactif de Zambelli. Les sulfates ont été dosés à l'aide d'une solution de chlorure de baryum. Enfin, le dosage des orthophosphates a été effectué par hydrolyse de l'eau échantillonnée avec une solution d'acide sulfurique à 20 % portée à ébullition pendant 30 mn, puis par acidification avec une solution d'hydroxyde de sodium jusqu'à atteindre un pH de 2.

ANALYSE DES DONNÉES

Afin de connaître l'influence des caractéristiques physico-chimiques de l'eau sur la répartition des espèces de *Characeae*, des analyses multivariées ont été réalisées. La similarité entre les stations (41 au total, incluant les 8 sans *Characeae*) a été analysée en utilisant une classification hiérarchique ascendante (CHA) basée sur la distance de Ward et réalisée avec le logiciel PAST (Hammer *et al.*, 2001). La différence du taux de nutriments (nitrates, nitrites, orthophosphates et sulfates) entre les groupes de stations a été testée par des analyses non paramétriques de Kruskal-Wallis à l'aide du logiciel STATISTICA version 8 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, U.S.A.). Les relevés de végétation et les données des analyses physico-chimiques de l'eau des 30 stations d'eau douce contenant des *Characeae* (moyennes des valeurs mesurées entre 2007 et 2011) ont ensuite fait l'objet d'une analyse factorielle des correspondances (AFC) avec le logiciel STATOS (Roux, 1999).

RÉSULTATS

INVENTAIRE DES *CHARACEAE* DE NUMIDIE

L'inventaire des *Characeae* en Numidie révèle la présence de 12 espèces (7 *Chara* et 5 *Nitella*), qui se présentent dans 26 stations (sur les 33 étudiées contenant des *Characeae*) sous forme d'herbiers, avec un développement important des individus. Les herbiers sont le plus souvent composés de deux espèces (par exemple, *Nitella opaca* associé à *Chara connivens* ou *N. translucens*, *C. globularis* associé à *C. connivens*, ou *C. vulgaris* associé à *C. gymnophylla*).

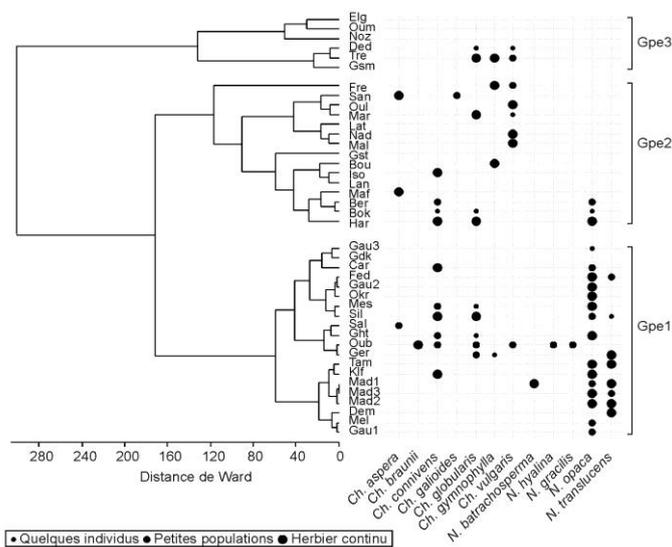


Figure 2.— Classification hiérarchique ascendante (CHA) réalisée sur 41 stations et 4 facteurs de pollution (PO_4^{3-} , NO_3^- , NO_2^- et SO_4^{2-}). Les codes des noms de stations sont donnés Tableau I.

Pour le genre *Chara*, les trois espèces les plus abondantes, souvent associées, sont *C. globularis*, *C. connivens* et *C. vulgaris* (Fig. 2). *C. gymnophylla*, souvent considérée comme une variété de *C. vulgaris* (par exemple, Cirujano *et al.*, 2008), a été observée dans 4 stations, parfois

en herbier aquatique, mais également sous forme de coussinets dans les prairies humides. Cette dernière forme sub-terrestre, initialement décrite en tant que *C. vulgaris* subsp. *squamosa* par Corillion (1957), est considérée ici comme synonyme de *C. gymnophylla* (Krause, 1997). *C. braunii* n'a été trouvé que dans le lac Oubeïra. Les stations saumâtres abritent des herbiers de *C. aspera* et *C. galioides*.

Pour le genre *Nitella*, *N. opaca* est l'espèce la plus fréquente (18 stations), alors qu'elle était considérée comme rare en Afrique du Nord (Elkhiati *et al.*, 2002). *N. translucens* se révèle également fréquente (8 stations), tandis que *N. batrachosperma* (= *N. confervacea*) a été identifiée dans une seule des trois mares de Madjen Zitoune. La station la plus riche en espèces est le lac Oubeïra (2400 ha), qui abrite sur sa rive nord des herbiers de *C. braunii*, en mélange ou entouré de populations de *C. connivens*, *C. globularis*, *C. vulgaris*, *N. gracilis* et *N. hyalina*.

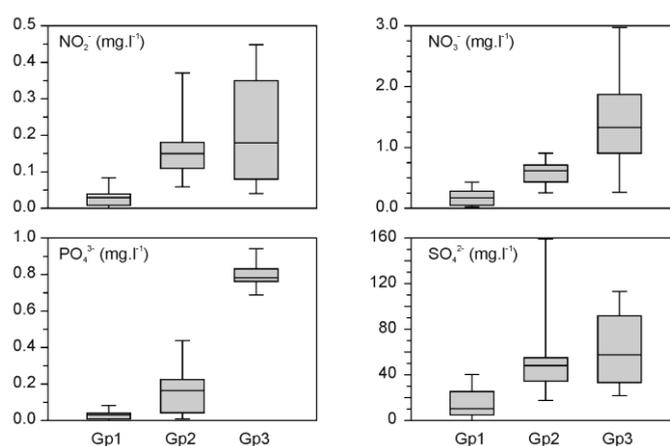


Figure 3.— Variation de la teneur en nutriments dans les groupes trophiques identifiés (médiane, 1^{er} et 3^e quartiles et valeurs extrêmes). Le nombre de stations des différents groupes est : Gp1, n= 20 ; Gp2, n= 15 ; Gp3, n= 6.

TYPLOGIE DE L'ÉTAT TROPHIQUE DES STATIONS

La classification hiérarchique ascendante (CHA ; Fig. 2) réalisée sur 41 stations et 4 facteurs de pollution (nitrates, nitrites, orthophosphates et sulfates) a permis de regrouper les différentes stations en 3 groupes selon leur état trophique (Figs. 2 & 3). Bien qu'il y ait une variation significative de la teneur en nitrites ($Chi^2 = 19,13$; $ddl = 2$; $p < 0,0001$), nitrates ($Chi^2 = 21,06$; $ddl = 2$; $p < 0,0001$), orthophosphates ($Chi^2 = 23,47$; $ddl = 2$; $p < 0,0001$) et sulfates ($Chi^2 = 20,76$; $ddl = 2$; $p < 0,0001$) entre les 3 groupes de stations, la teneur en orthophosphates reste la plus discriminante puisqu'elle permet de distinguer très nettement : (1) les stations non polluées, avec une moyenne de 28 $\mu\text{g.l}^{-1}$; (2) les stations moyennement polluées, avec une moyenne de 161 $\mu\text{g.l}^{-1}$; et (3) les stations très polluées, avec une moyenne de 800 $\mu\text{g.l}^{-1}$. Ce sont les stations du Groupe 3 (n= 6) qui sont les plus fortement chargées en nutriments ; inversement, celles du Groupe 1 (n= 20) et du Groupe 2 (n= 15) (représentant 85 % des stations étudiées) montrent des teneurs en nutriments respectivement faibles et modérées (Fig. 3). En ce qui concerne les teneurs en nitrates, seul le groupe 3, avec une moyenne supérieure à 1 mg.l^{-1} , est fortement chargé. Les valeurs des nitrites et des sulfates sont modérées, à l'exception de la station Frênes, qui présente une forte charge en sulfates qui peut être attribuée à des activités agricoles intensives (viticulture) à proximité. Les résultats de la Figure 3 montrent que seule la teneur en orthophosphates est significativement différente entre les 3 groupes de stations. Les teneurs en nitrates, nitrites et sulfates ne sont pas discriminantes.

FACTEURS STRUCTURANTS DES COMMUNAUTÉS CHAROPHYTIQUES

Bien que dans notre échantillonnage, les gammes de pH ne soient pas différentes pour les deux genres, les *Nitella* privilégient en général des eaux plus acides (médiane : pH 6,0) que les *Chara* (médiane : pH 7,0). Nous pouvons cependant noter le développement de *N. opaca* à pH 8,6 dans le lac semi-permanent d'Okjera. Les teneurs en calcium (Ca^{2+}) des stations avec des herbiers de *Chara* bien développés variaient de 22 à 390 mg.l^{-1} , et étaient sensiblement plus basses (de 6,7 à 45,1 mg.l^{-1}) dans les stations où les *Nitella* étaient abondants, ce qui confirme que ce genre est globalement calcifuge. La salinité des trois plans d'eau saumâtre variait entre 5 et 6 g.l^{-1} , avec des concentrations estivales atteignant 20 g.l^{-1} dans le site de Salines. La température de l'eau lors des prélèvements variait de 12,0°C (mois de janvier) à 29,4°C (juin/juillet) sur les quatre années d'observation.

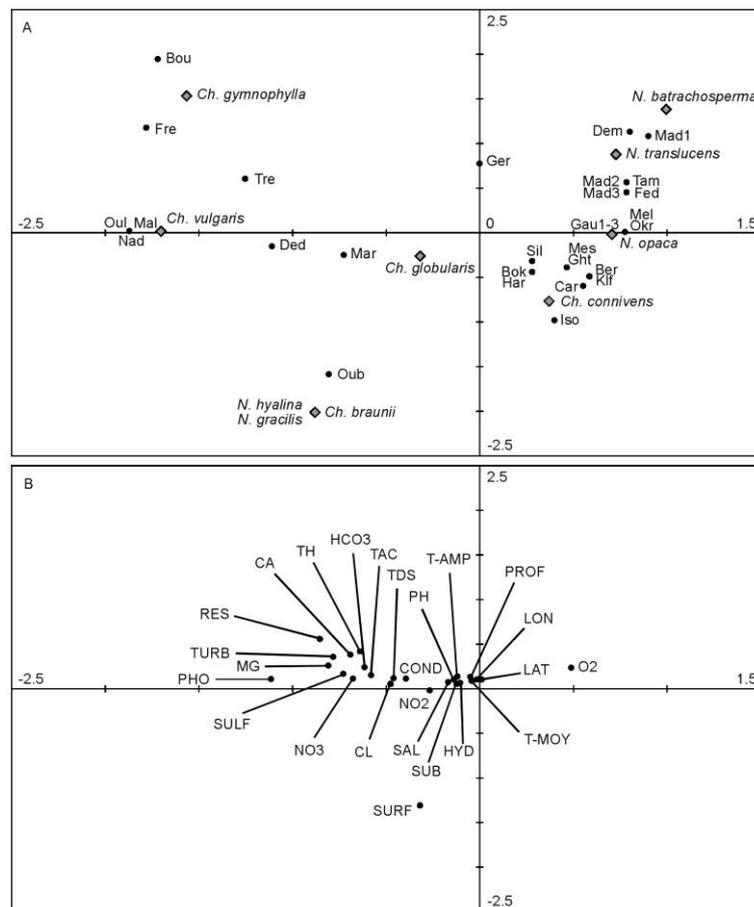


Figure 4.— Plan 1/2 de l'analyse factorielle des correspondances (AFC) réalisée sur les 30 stations d'eau douce, avec 12 espèces (A) et 25 variables (B). Les codes des noms de stations sont donnés Tableau I. CA, Calcium ; CL, Chlorures ; COND, Conductivité ; HCO₃, Bicarbonates ; HYD, Hypodéiode ; LAT, Latitude ; LON, Longitude ; MG, Magnésium ; NO₂, Nitrates ; NO₃, Nitrites ; O₂, Oxygène dissous ; PH, pH moyen ; PHO, Orthophosphates ; PROF, Profondeur ; RES, Résidus secs à 105°C ; SAL, Salinité ; SUB, Substrat ; SULF, Sulfates ; SURF, Superficie ; TAC, Titre alcalimétrique complet ; T-AMP, Amplitude des températures ; TDS, Taux de sels dissous ; TH, Titre hydrotimétrique ; T-MOY, Températures moyennes ; TURB, Turbidité.

L'analyse factorielle des correspondances (Fig. 4) réalisée à l'exclusion des trois sites saumâtres pour les 30 stations d'eau douce met en évidence sur le premier axe (valeur propre : 26,30 %) un gradient d'eutrophisation, avec des sites eutrophes caractérisés par des taux élevés en orthophosphates et autres nutriments, et par des eaux turbides et peu oxygénées. Elle individualise nettement une communauté tolérante à l'eutrophisation, composée de *Chara globularis*, *C. gymnophylla* et *C. vulgaris*, qui s'oppose à une communauté sensible à l'eutrophisation et principalement dominée par *Nitella translucens*, *N. opaca* et *N. batrachosperma*.

L'axe 2 de l'AFC (valeur propre : 19,56 %) est déterminé par le paramètre surface, et oppose les sites à grande richesse spécifique en *Characeae* tels que le lac Oubeira, avec trois espèces qui lui sont exclusives (*Chara braunii*, *Nitella gracilis* et *N. hyalina*), aux sites à faible richesse comme Boukraïma, qui n'abrite qu'une seule espèce (*Chara gymnophylla*).

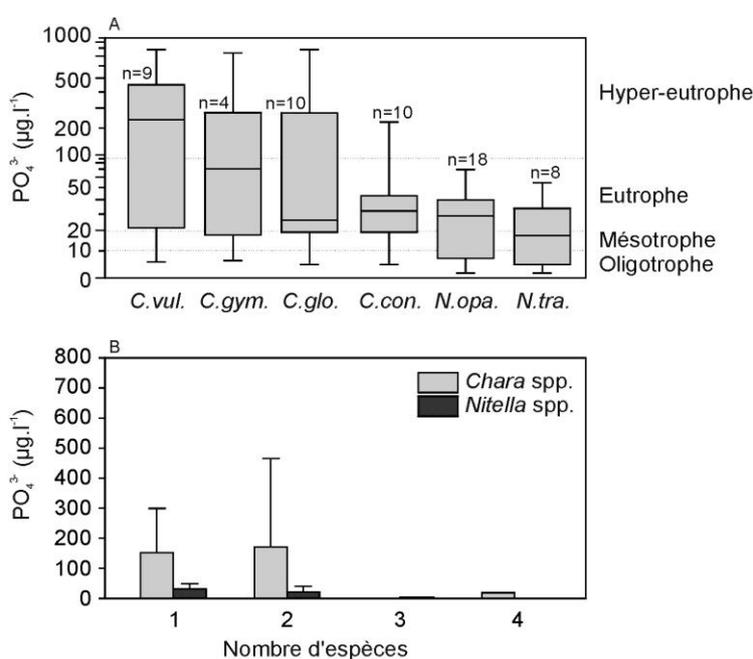


Figure 5.— Influence de la teneur en orthophosphates : (A) sur la distribution des espèces les plus abondantes en fonction du niveau trophique (à droite : comparaison avec les catégories trophiques selon Lambert-Servien *et al.*, 2006). Pour chaque distribution, sont données les médiane, 1^{er} et 3^e quartiles et valeurs extrêmes, sauf pour *Chara gymnophylla*, pour lequel les 4 stations où il est présent sont représentées. L'échelle de l'axe des ordonnées est logarithmique ; n, nombre de stations ; *C. con.*, *C. commivens* ; *C. glo.*, *C. globularis* ; *C. gym.*, *C. gymnophylla* ; *C. vul.*, *C. vulgaris* ; *N. opa.*, *N. opaca* ; *N. tra.*, *N. translucens*. (B) sur la richesse spécifique des genres *Chara* et *Nitella* (moyennes et écart-types pour les 41 stations étudiées).

La relation des diverses espèces aux orthophosphates est illustrée Figure 5. La Figure 5A confirme la tolérance de *Chara globularis*, *C. gymnophylla* et *C. vulgaris* aux fortes teneurs en PO_4^{3-} , mais montre également que ces espèces se développent très bien aussi dans la gamme de valeurs favorables aux *Nitella*. Cependant, la richesse spécifique des deux genres dans un milieu donné montre des réponses très différentes : elle n'est dépendante du degré de pollution que chez les *Nitella* (Fig. 5B).

TABLEAU II

Teneurs en nutriments (min - max) de l'eau pour les Characeae de Numidie. Une seule valeur est donnée pour les 5 espèces du bas du tableau, qui ne sont présentes que dans un seul site. NO_2^- , Nitrates (mg.l^{-1}) ; NO_3^- , Nitrites (mg.l^{-1}) ; PO_4^{3-} , Orthophosphates (mg.l^{-1}) ; SO_4^{2-} , Sulfates (mg.l^{-1}) ; N, nombre de stations où l'espèce était présente

Espèce	N	NO_3^-	NO_2^-	PO_4^{3-}	SO_4^{2-}
<i>C. aspera</i> Deth. ex. Wild.	3	0,400 - 0,840	0,012 - 0,060	0,030 - 0,048	13,89 - 40,38
<i>C. connivens</i> Salz. ex. A.Br.	11	0,050 - 0,470	0,021 - 0,275	0,005 - 0,213	6,05 - 51,46
<i>C. globularis</i> Thuil.	9	0,210 - 0,898	0,021 - 0,275	0,050 - 0,780	12,27 - 56,12
<i>C. gymmophylla</i> A.Br.	4	0,213 - 0,898	0,032 - 0,213	0,006 - 0,118	17,68 - 159,84
<i>C. vulgaris</i> L.	9	0,270 - 0,898	0,021 - 0,140	0,060 - 0,780	21,73 - 56,12
<i>N. opaca</i> Bruz.	18	0,025 - 0,470	0,001 - 0,275	0,001 - 0,069	0,03 - 51,46
<i>N. translucens</i> (Pers.) Ag.	7	0,025 - 0,353	0,002 - 0,074	0,001 - 0,036	5,24 - 47,95
<i>C. braunii</i> Gmel.	1	0,272	0,021	0,019	25,51
<i>C. galioides</i>	1	0,778	0,060	0,040	30,65
<i>N. batrachosperma</i> (Reichb.) A.Br.	1	0,028	0,004	0,002	3,14
<i>N. gracilis</i> (Smith) Ag.	1	0,272	0,021	0,019	25,51
<i>N. hyalina</i> (A.Br.) DC.	1	0,272	0,021	0,019	25,51

DISCUSSION

DIVERSITÉ RÉGIONALE DES CHARACEAE DE NUMIDIE

Les prospections réalisées ont permis d'observer un certain nombre d'espèces déjà signalées pour la région par Gauthier-Lièvre (1931), Feldmann (1946) et Corillion (1957, 1978), mais beaucoup n'ont pas été retrouvées (*Chara baltica*, *C. canescens*, *C. fragifera*, *C. mauretana*, *Lamprothamnium papulosum*, *Nitella capillaris*, *N. mucronata*, *N. tenuissima*, *Tolypella glomerata*). Bien que notre étude n'ait concerné que 33 milieux humides à *Characeae*, ce constat suggère un appauvrissement de la biodiversité de ce groupe, probablement en partie lié à la disparition de certains milieux (drainage, comblement, mise en culture). Toutefois, dans la plupart des sites anciens que nous avons revisités, nous avons retrouvé les espèces décrites dans le passé (lac Oubeïra, lac Sidi Freitis, etc.).

Une seule espèce est nouvelle pour l'Algérie : *Nitella batrachosperma*, qui a été identifiée dans une mare à eau très propre du complexe humide de Madjen Zitoune, dans la région d'El Kala. Quatre espèces n'ont été observées que dans une seule localité : *Chara braunii*, *C. galioides*, *Nitella gracilis* et *N. hyalina* (Tab. II). Ces quatre espèces sont rares dans la zone étudiée, ainsi que dans l'ensemble du Maghreb (Guerlesquin, 1978 ; Elkhiati, 1995 ; Krause, 1997). *Chara braunii*, déjà signalée avec *Nitella hyalina* dans le lac Oubeïra (Gauthier-Lièvre, 1931), a été récemment découverte dans la région de Sejenane en Tunisie (Ferchichi-Ben Jamaa *et al.*, 2010). Cette espèce, très rare en Afrique du Nord, est connue dans le Sud de l'Europe surtout dans des cultures inondables et des rizières (Guerlesquin & Podlejski, 1980 ; Krause, 1997), mais aussi dans de l'eau permanente (Soulié-Märsche & Vautier, 2004), comme c'est le cas au lac Oubeïra. Les deux espèces de *Nitella* n'ont également été mentionnées qu'occasionnellement au Maroc (Guerlesquin, 1978 ; Elkhiati, 1995) et dans la région d'El Kala en Algérie (Gauthier-Lièvre, 1931). Les quatre espèces constituent des enjeux conservatoires pour la région d'étude, et se rajoutent aux très nombreuses espèces de plantes rares et patrimoniales qu'abritent le Parc national d'El Kala et ses environs.

IMPACT DE LA POLLUTION SUR LES ASSEMBLAGES ET LES POPULATIONS DE CHARACEAE

Les *Characeae* sont considérées comme bioindicateurs de la qualité des eaux stagnantes, car elles déclinent rapidement en cas d'eutrophisation (Blindow, 1992 ; Del Pozo *et al.*, 2011 ; Lambert & Davy, 2011). Elles font notamment partie des plantes utilisées dans l'Index des

Macrophytes établi par Melzer (1999) pour des lacs de Bavière (Allemagne du Sud). Les études antérieures qui traitent de l'influence des polluants sur les *Characeae* se sont surtout focalisées sur le phosphore (Forsberg, 1964 ; Blindow, 1988 ; Lambert-Servien *et al.*, 2006 ; Del Pozo *et al.*, 2011). Nos résultats en Numidie confirment que cet élément, sous la forme d'orthophosphates (PO_4^{3-}), est le principal facteur de pollution affectant les communautés de *Characeae*. Forsberg (1965a) a établi en culture qu'une valeur de $20 \mu\text{g.l}^{-1}$ de phosphore provoquait une réduction de croissance de *Chara globularis*. Ces valeurs ont été retenues et corroborées par Melzer *et al.* (1977) pour des lacs de Bavière. En revanche, d'autres études ont montré des réponses très différentes de *Characeae* vis-à-vis du phosphore. En cultivant des boutures additionnées de phosphore (sous la forme de Na_2HPO_4), Blindow (1988) n'a trouvé aucune différence significative de croissance pour deux espèces (*Chara tomentosa* et *C. hispida*) entre des concentrations faibles et fortes (5 et $1000 \mu\text{g.l}^{-1}$, respectivement). Del Pozo *et al.* (2011) a même observé le développement de *Chara connivens* et *C. globularis* jusqu'à des teneurs en phosphore total extrêmement élevées (6884 et $3678 \mu\text{g.l}^{-1}$, respectivement).

D'autres facteurs d'eutrophisation, autres que le phosphore, peuvent avoir un effet sur le développement des *Characeae* ou l'inhibition de leur reproduction (Lambert & Davy, 2011). Les 8 sites étudiés desquels les *Characeae* ont disparu ne présentent pas aujourd'hui de différence significative en ce qui concerne les orthophosphates par rapport aux milieux abritant encore des *Characeae*. Cependant, dans plusieurs de ces sites, s'ajoutent des teneurs en nitrates élevées (entre 1 et 3mg.l^{-1} ; Fig. 3), ce qui les relègue dans la catégorie des eaux de mauvaise qualité selon l'échelle des valeurs seuils indiquées pour les eaux stagnantes dans le Guide du Ministère de l'Écologie Français (Anonyme, 2009). En outre, la localité à *Characeae* la plus chargée en orthophosphates (Diar el Djedri), qui n'abrite que des touffes éparées de *C. vulgaris* et *C. globularis*, présente également une forte teneur en nitrates ($0,9 \text{mg.l}^{-1}$), dont l'effet négatif a été récemment souligné par Lambert & Davy (2011). Ces observations suggèrent une synergie entre ces deux polluants, qui pourrait expliquer dans la région étudiée la disparition des *Characeae* des 8 stations étudiées, ainsi que leur déclin dans le site de Diar el Djedri.

L'influence de cette eutrophisation est surtout indirecte, se traduisant par la réduction de la pénétration de la lumière, liée à la turbidité des eaux chargées en nutriments ce qui accroît le phytoplancton et favorise le développement de macrophytes flottants (Ozimek & Kawalczewski, 1984 ; Simons *et al.*, 1994 ; Steinman *et al.*, 1997 ; Van den Berg *et al.*, 1998, 1999 ; Romo *et al.*, 2007). L'eutrophisation peut également engendrer une compétition avec les macrophytes angiospermiens submergés, défavorable aux *Characeae* pionnières et héliophiles (Lang, 1981 ; Blindow, 1992).

LES CHARACEAE, BIOINDICATEURS DE LA QUALITÉ DES EAUX ?

Dans notre étude, le phosphore a été dosé sous la forme d'orthophosphates, qui représentent la principale source régionale de cet élément, issu essentiellement des activités agricoles (fertilisants) mais qui peut aussi provenir des produits de lessive déversés dans les zones humides qui sont très souvent utilisées par la population locale comme lavoirs (Rhazi *et al.* 2001). La valeur de $780 \mu\text{g.l}^{-1}$ apparaît comme seuil maximal pour la présence de *Characeae* dans la présente étude. Les différentes espèces recensées montrent toutefois d'importantes différences dans leur tolérance aux orthophosphates : seuls *Chara vulgaris*, *C. gymnophylla* et *C. globularis* sont présents dans des eaux dont la teneur en orthophosphates excède $213 \mu\text{g.l}^{-1}$ (Fig. 5), mais ils ne s'y trouvent que rarement sous forme d'herbier et s'y maintiennent généralement sous des formes de petite taille, peu ou pas fructifiées et en touffes isolées. Lambert-Servien *et al.* (2006) définissent, d'après la teneur en phosphore total, les niveaux trophiques suivants : oligotrophe ($< 10 \mu\text{g.l}^{-1}$), mésotrophes ($10-20 \mu\text{g.l}^{-1}$), eutrophe ($20-90 \mu\text{g.l}^{-1}$), et hyper-eutrophe ($> 90 \mu\text{g.l}^{-1}$). Ces critères placent *Chara vulgaris*, et dans une moindre mesure *C. gymnophylla* et *C. globularis*, comme espèces tolérantes à l'hyper-eutrophie des eaux. Bien que ces espèces se développent également dans des eaux peu

polluées (Fig. 5). Une faible abondance et l'état physiologique de leurs populations (discontinue, sans reproduction, couleur jaune) joints à l'absence des autres espèces plus sensibles indiquent un état d'eutrophie relativement important (eutrophe à hyper-eutrophe).

Les autres espèces étudiées se trouvaient dans des eaux nettement moins chargées, bien que leur tolérance aux orthophosphates apparaisse sensiblement plus élevée que dans les premières expériences de Forsberg (1965a, b). Les résultats obtenus permettent de distinguer deux groupes trophiques : un groupe d'eau méso-eutrophe essentiellement constitué de *Chara* spp., et un groupe d'eau oligo-mésotrophe dominé par *Nitella opaca* et surtout *N. translucens*. Les *Nitella* étant connues pour être des espèces calcifuges (Lambert & Davy, 2011), le pH pourrait également jouer un rôle déterminant pour ce dernier groupe. Les *Nitella* apparaissent ainsi dans notre étude comme les seules espèces réellement indicatrices de la bonne qualité des eaux. Le fait qu'elles se développent uniquement dans des teneurs en orthophosphates inférieures à 69 µg.l⁻¹ et que leur richesse spécifique diminue rapidement lorsque la charge en orthophosphates augmente (Fig. 5B) permet de les utiliser pour caractériser les milieux faiblement pollués. Les teneurs en orthophosphates relativement élevées, enregistrées pour 3 sites à *Nitella opaca* (Figs. 2 et 5A), peuvent s'expliquer par le développement précoce de cette espèce, généralement antérieur à l'apport et la concentration des polluants au cours de la saison.

CONCLUSION

L'inventaire et le suivi de 41 plans d'eau de Numidie (Nord-Est algérien) durant 4 années (2007-2011) ont permis de préciser la diversité taxonomique des Characeae de cette région (12 espèces), et d'y révéler quatre espèces rares à enjeu conservatoire, parmi lesquelles une espèce nouvelle pour l'Algérie (*Nitella batrachosperma*).

Les résultats obtenus confirment, pour la région étudiée, l'influence majeure des orthophosphates dans la composition des communautés charophytiques, et l'importante sensibilité des espèces du genre *Nitella*, qui apparaissent comme de bons indicateurs de la qualité des eaux. En comparaison avec des études similaires réalisées en Espagne (Del Pozo *et al.*, 2011) et en France (Lambert-Servien *et al.*, 2006), les teneurs en polluants relevées peuvent être considérées comme plutôt faibles. Malgré cela, nos résultats montrent une sensibilité importante de la plupart des espèces, notamment de *Nitella*, avec des seuils de tolérance bien inférieurs à ceux rapportés par Lambert-Servien *et al.* (2006) et Del Pozo *et al.* (2011). Ce constat pourrait être lié au fait que ces deux études ne prennent en compte que la présence des espèces, sans faire état ni de leur abondance ni de leur état physiologique.

Les données recueillies révèlent finalement le faible niveau de pollution actuel des eaux de la Numidie. Toutefois, la démographie croissante des zones rurales, la mécanisation des pratiques agricoles et l'exploitation de plus en plus forte du territoire, même au sein des aires protégées, représentent des menaces potentielles pour ces habitats naturels, et plus particulièrement pour les espèces vulnérables comme les *Characeae*. Le fait qu'un tiers des espèces de *Characeae* recensées aient une importance patrimoniale rend nécessaire et urgente la mise en place non seulement de mesures de protection, mais également de gestion des pratiques agro-pastorales dans le but de préserver l'intégrité de ces zones humides.

REMERCIEMENTS

L'étude a bénéficié de financements dans le cadre du programme Egide-CMEP Tassili (PHC 09mdu786). Nous remercions A. Mebarki et A. Bouhamla pour leur aide sur le terrain, le Laboratoire Sols et Développement Durable de la Faculté des Sciences de l'Université Badji-Mokhtar (Annaba) pour les analyses des polluants, le Laboratoire de l'Algérienne des Eaux pour les analyses physico-chimiques ainsi que L. Rhazi et deux relecteurs anonymes pour leurs commentaires constructifs. Cette publication est la contribution ISE-M no 2014-128.

RÉFÉRENCES

- AFNOR (1997-1999).— *Qualité physique et chimique de l'eau*. Agence française de normalisation (AFNOR), Paris.
- ANONYME (2009).— *Evaluation de l'état des eaux douces de surface de métropole. Guide technique*. Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'aménagement du territoire, Paris.
- BLINDOW, I. (1988).— Phosphorus toxicity in *Chara*. *Aquat. Bot.*, 32: 393-395.
- BLINDOW, I. (1992).— Decline of Characeae during eutrophication: comparison with Angiosperms. *Freshw. Biol.*, 28: 9-14.
- BOISSEZON, A. (2008).— *Préférences écologiques de quelques espèces de Characeae*. Master en Sciences Naturelles de l'Environnement. Mémoire 161, Laboratoire d'Ecologie et de Biologie Aquatique, Université de Genève.
- BRAUN, A. (1868).— Die Characeen Afrika's. *Monatsber. königl. Akad. Wiss., Berlin*, 782-800 & 873-944.
- BRITTON, R.H. & CRIVELLI, A.J. (1993).— Wetlands of southern Europe and North Africa: Mediterranean wetlands. Pp 129-194 in: *Wetlands of the World: Inventory, Ecology and Management*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- CIRUJANO, S., CAMBRA, J., SANCHEZ-CASTILLO, P.M., MECO, A. & FLOR-ARNAU, N. (2008).— *Carofitos (Characeae)*. Coll. Flora ibérica, Algas continentales. S. Cirujano (ed.), Real Jardín Botánico, CSIC, Madrid.
- CORILLION, R. (1957).— *Les Charophycées de France et d'Europe occidentale*. Imprimerie Bretonne, Rennes.
- CORILLION, R. (1978).— Les Characées du Nord de l'Afrique : éléments floristiques et distribution. *Bull. Soc. Et. Sci. Anjou NS*, 10: 27-34.
- DE BÉLAIR, G. (2005).— Dynamique de la végétation des mares temporaires en Afrique du Nord (Numidie orientale, NE Algérie). *Ecol. Médit.*, 31: 1-18.
- DEL POZO, R., FERNÁNDEZ-ALÁEZ, C., FERNÁNDEZ-ALÁEZ, M. & SANTIAGO, N.F., (2011).— Assessment of eutrophication effects on Characeae in Mediterranean ponds (North-Western Spain). *Fundam. Appl. Limnol.*, 178/3: 257-264.
- DIRECTION GÉNÉRALE DES FORÊTS (1998).— *Atlas des zones humides algériennes*. MedWet, Alger.
- DIRECTION GÉNÉRALE DES FORÊTS (2001).— *Atlas des zones humides algériennes d'importance internationale*, ED-Diwan, Alger.
- DIRECTION GÉNÉRALE DES FORÊTS (2002).— *Atlas des 26 zones humides algériennes d'importance internationale*. Living Waters Programm, Alger.
- ELKHIATI, N. (1995).— *Biotypologie et biogéographie des Charophycées du Maroc*. Thèse-ès-Sciences, Univ. Cadi Ayyad, Marrakech.
- ELKHIATI, N., SOULIÉ-MÄRSCHÉ, I., RAMDANI, M. & FLOWER, R. (2002).— A study of the subfossil oospores of *Nitella opaca* (Characeae) from Megene Chitane (Tunisia). *Cryptogamie Algol.*, 23: 65-73.
- FELDMANN, G. (1946).— Les Characeae d'Afrique du Nord. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord.*, 37: 64-118.
- FERCHICHI-BEN JAMAA, H., MULLER, S.D., DAOUD-BOUATTOUT, A., GHRABI-GAMMAR, Z., RHAZI, L., SOULIÉ-MÄRSCHÉ, I., OUALI, M. & BEN SAAD-LIMAM, S. (2010).— Structure de végétation et conservation des zones humides temporaires méditerranéennes : la région des Mogods (Tunisie septentrionale). *C.R. Biol.*, 333: 265-279
- FLOR-ARNAU, N., REVERTER, F., SOULIÉ-MÄRSCHÉ, I. & CAMBRA, J. (2006).— Morphological differentiation of *Chara aspera* Detharding ex Willdenow and *Chara galioides* De Candolle under different environmental variables. *Cryptogamie Algol.*, 27: 435-449.
- FORSBERG, C. (1964).— Phosphorus, a maximum factor in the growth of Characeae. *Nature*, 201: 517-518.
- FORSBERG, C. (1965a).— Nutritional studies of *Chara* in axenic cultures. *Physiol. Plant.*, 18: 275-290.
- FORSBERG, C. (1965b).— Ecological and physiological studies of Characeae. *Abstr. Uppsal. Diss. Sci.*, 53: 1-10.
- FORSBERG, C., KLEIVEN, S. & WILLEN, T. (1990).— Absence of allelopathic effects of *Chara* on phytoplankton *in situ*. *Aquat. Bot.*, 38: 289-294.
- GAUTHIER-LIÈVRE, L. (1931).— *Recherches sur la flore des eaux continentales de l'Afrique du Nord*. Mémoire hors-série. Société d'Histoire Naturelle d'Afrique du Nord, Alger.
- GRILLAS, P., GAUTHIER, P., YAVERCOVSKI, N. & PERENNOU, C. (2004).— *Les mares temporaires méditerranéennes. Volume 1: Enjeux de conservation, fonctionnement et gestion*. Station biologique de la Tour du Valat, Arles.
- GUERLESQUIN, M. (1978).— Nouvelle contribution à l'étude des Charophycées du Maroc nord-oriental (II). Pp 109-137 in: CNRS (ed.), *Étude de certains milieux du Maroc et de leur évolution récente*. Travaux de la RCP 249, Paris.
- GUERLESQUIN, M. & PODLEJSKI, V. (1980).— Characeae et végétaux submergés et flottants associés dans quelques milieux camarguais. *Nat. Monspel. Ser. Bot. Fasc.*, 36: 1-20.
- HAMMER, O., HARPER, D.A.T. & RAYAN, P.D. (2001).— Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontol. Electron.*, 4: 1-9.
- HENRICSSON, M. (1976).— *Nutritional studies of Chara globularis Thuill., Chara zeylanica Willd., and Chara haitensis Turpin*. Ph.D. Thesis, Uppsala, Sweden.

- HY, F. (1913).— *Les Characées de France*. Mémoire 26, Société Botanique de France, Paris.
- KHAMMAR, C. (1981).— *Contribution à l'étude hydrogéologique de la vallée de l'Oued Kébir. Ouest de la wilaya de Skikda (Algérie)*. Thèse de doctorat. Université Scientifique et Médicale de Grenoble.
- KRAUSE, W. (1997).— *Charales (Charophyceae)*. Süßwasserflora von Mitteleuropa, vol. 18. H. Ettl, G. Gärtner, H. Heynig & D. Mollenhauer (eds.), Fischer Verlag, Stuttgart.
- LAMBERT, S.J. & DAVY, A.J. (2011).— Water quality as a threat to aquatic plants: discriminating between the effects of nitrate, phosphate, boron and heavy metals on Characeae. *New Phytol.*, 189: 1051-1059.
- LAMBERT-SERVIEN, E., CLÉMENCEAU, G., GABORY, O., DOUILLARD, E. & HAURY, J. (2006).— Stoneworts (*Characeae*) and associated macrophyte species as indicators of water quality and human activities in the Pays-de-la-Loire region, France. *Hydrobiologia*, 570: 107-115.
- LANG, G. (1981).— Die submersen Makrophyten des Bodensees 1978 im Vergleich mit 1967. *Internat. Gewässerschutzkommission für den Bodensee. Bericht*, 26: 1-64.
- MAJOUR, I.L. & OUELAA, K. (1990).— *Approches des transmissives dans la vallée du Kebir-Ouest*. Ingéniorat d'état en Géologie, Université d'Annaba.
- MARRE, A. (1992).— *Le Tell Oriental Algérien de Collo à la frontière tunisienne. Étude géomorphologique*. OPU, Alger.
- MELZER, A. (1999).— Aquatic macrophytes as tools for lake management. *Hydrobiologia*, 395/396: 181-190.
- MELZER, A., HABER, W. & KOHLER, A. (1977).— Floristisch-ökologische Charakterisierung und Gliederung der Osterseen (Oberbayern) mit Hilfe von submersen Makrophyten. *Mitt. Flor.-Soziolog. Arbeitsgem.*, 19/20: 139-151.
- NORDSTEDT, O. (1889).— *De Algis et Characeis*. Lunds Universitat Arsskript 25.
- OZIMEK, T. & KAWALCZEWSKI, A. (1984).— Long-term changes of the submerged macrophytes in eutrophic lake Mikolajskie (North Poland). *Aquat. Bot.*, 19: 1-11.
- RHAZI, L., GRILLAS, P., MOUNIROU TOURÉ, A. & TAN HAM, L. (2001).— Impact of land use in catchment and human activities on water, sediment and vegetation of Mediterranean temporary pools. *C.R. Acad. Sc. Paris Ser. III Sci. Vie*, 324: 165-177.
- RODIER, J. (2009).— *L'analyse de l'eau (9^e édition)*. Dunod, Paris.
- ROMO, S., VILLENA, M.J. & GARCIA-MURCIA, A. (2007).— Epiphyton phytoplankton and macrophyte ecology in a shallow lake under in situ experimental conditions. *Fundam. Appl. Limnol.*, 170: 197-209.
- ROUX, M. (1999).— *Statoscope (STATOS)*, version 1.7. Logiciel de statistiques. Université d'Aix-Marseille-3.
- SAMRAOUI, B. & DE BÉLAIR, G. (1997).— The Guerbes-Senhadja wetlands, N.E. Algeria. Part I: An overview. *Ecologie*, 28: 233-250.
- SAMRAOUI, B. & DE BÉLAIR, G. (1998).— Les zones humides de la Numidie orientale, bilan des connaissances et perspectives de gestion. *Synthèse*, 4: 1-90.
- SIMONS, J. & NAT, E. (1996).— Past and present distribution of stoneworts (*Characeae*) in the Netherlands. *Hydrobiologia*, 340: 127-135.
- SIMONS, J., OHRM, M., DAALDER, R., BOERS, P. & RIPS, W. (1994).— Restoration of Botshol (The Netherlands) by reduction of external nutrient load: recovery of characean community dominated by *Chara connivens*. *Hydrobiologia*, 275/276: 243-253.
- SOULIÉ-MÄRSCHÉ, I. (2008).— Characeae, indicators for low salinity phases in North African sebkhet. *J. Afr. Earth Sci.*, 51: 69-76.
- SOULIÉ-MÄRSCHÉ, I. & VAUTIER, J. (2004).— Écologie et cycle de *Chara braunii* (Charales) dans un habitat méditerranéen. *Vie Milieu*, 54: 37-45.
- STEINMAN, A.D., MEEKER, R.H., RODUSLY, A.J., DAVIS, W.P., & HAWANG, S.J. (1997).— Ecological properties of Charophytes in a large subtropical lake. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 16: 781-783.
- VAN DEN BERG, M.S. & COOPS, H. (1999).— *Stoneworts*. The Directorate-General for Public Works and Water Management, RIZA Report 98.055, Leylstad, NL.
- VAN DEN BERG, M.S., COOPS, H., MEIJER, M.L., SCHEFFER, M. & SIMONS, J. (1998).— Clear water associated with a dense *Chara* vegetation in the shallow and turbid lake Veluwemeer, The Netherlands. *Ecol. Stud.*, 131: 339-352.
- VAN DEN BERG, M.S., SCHEFFER, M., VAN NES, E. & COOPS, H. (1999).— Dynamics and stability of *Chara sp.* and *Potamogeton pectinatus* in a shallow lake changing in eutrophication level. *Hydrobiologia*, 408/409: 335-342.
- ZANEVELD, I. (1940).— The Charophyta of Malaysia and adjacent countries. *Blumea*, 4: 1-224.