



## Impact of the new pass on the eutrophication of the lagoon Marchica: Study of the two sites Bou Areg and Mohandis

A. Aknaif<sup>1</sup>, M. Akodad<sup>1</sup>, A. Moumen<sup>1</sup>, K. Ben Chekroun<sup>1</sup>,  
C. Elhamouti<sup>1</sup>, A. Bailal<sup>1</sup>, M. Baghour<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Observatoire de la lagune de Marchica de Nador et Région Limitrophes (Labo. OLMAN-RL), Faculté Pluridisciplinaire de Nador, Université Mohamed Premier, BP 300, 62700, Selouane, Nador, Maroc

Received 12 Jan 2015, Revised 28 Sept 2015, Accepted 28 Sept 2015

\*Corresponding authors: E-mail: [asmae\\_facul@hotmail.fr](mailto:asmae_facul@hotmail.fr), [mbaghour@hotmail.com](mailto:mbaghour@hotmail.com); Tel: (+212658605797)

### Abstract

Nador lagoon "Marchica" is one of the largest lagoons in the Mediterranean Sea, with a surface area of about 115 km<sup>2</sup>, with an exceptional geomorphology and biodiversity. The lagoon is located in north-eastern Morocco between 'cap trois fourche' and 'cap de l'eau'. The lagoon has biological, ecological and economic interests and thus constitutes a major challenge for the development of the region. It is also a fragile and sensitive environment. Its decontamination and durable protection is a priority and a prerequisite for the implementation of projects undertaken in the region. Uncontrolled discharges of domestic wastes and industrial effluents as well as raw sewage have stimulated the proliferation of algae, which causes oxygen consumption causing an imbalance in the ecosystem that tends towards eutrophication. Recently a new pass, wide and deep, connecting the Mediterranean Sea to the lagoon Marchica was opened, allowing the renewal of the lagoon water throughout the basin. This new channel of 300 meters in width and 6.5 meters in depth improved the water quality of this aquatic ecosystem. Samples taken from the lagoon were studied using two approaches: a) Analysis of different physico-chemical parameters of the lagoon waters such as pH, conductivity, dissolved oxygen, and nitrate content; b) The use of algae as bioindicators of pollution particularly the characterization of algae and the determination of chlorophyll and glucose content. The results obtained show that the plain of Bou Areg, a site polluted by nitrates and phosphates related to agricultural and industrial waste, contained high levels of nitrates. While in the site Mohandis, we found a net decrease in nitrate content and an increase in concentrations of dissolved O<sub>2</sub>, pH and the electrical conductivity. Finally, the new pass contributed significantly to the reduction of eutrophication of the lagoon by decreasing the total chlorophyll concentration and carbohydrates in *Gracilaria* and *Ulva* species.

**Keywords:** Marchica lagoon, Mediterranean Sea, algae, chlorophyll, glucose, physico-chemical parameters.

## Impact de la nouvelle passe sur l'eutrophisation de la lagune de Marchica : Etude des sites de Bou Areg et Mohandis

### Résumé

La lagune de Nador « Marchica » est l'une des plus importantes lagunes de la Méditerranée par sa taille, avec une superficie de 115 km<sup>2</sup>, sa géomorphologie et sa biodiversité. Elle se situe dans le nord-est marocain entre le Cap des Trois Fourches et le Cap- de-l'Eau. Elle présente un intérêt à la fois biologique, écologique et économique. Elle constitue ainsi un enjeu considérable pour le développement de la région. C'est aussi également un milieu fragile et sensible. Sa dépollution et sa protection durable sont une priorité et un préalable indispensable à la mise en place des projets engagés dans la région. Les déversements des effluents, des rejets domestiques dans la lagune, auxquels s'ajoutent les différents polluants en provenance des bassins versants stimulent la prolifération des algues, ce qui provoque une consommation d'oxygène entraînant un déséquilibre de l'écosystème qui tend vers l'eutrophisation. Récemment, une nouvelle passe, large et profonde, reliant la mer méditerranée à la lagune de Marchica a été réalisée, permettant le renouvellement de l'eau de la lagune dans tout le bassin. Ce qui améliorerait vraisemblablement la qualité de l'eau de cet écosystème laguno-marin. Les échantillons prélevés de la lagune ont été étudiés selon deux approches : a) L'analyse de différents paramètres physico-chimiques de l'eau de la lagune tels que : le pH, la conductivité électrique, l'oxygène dissous, et la teneur en nitrate; b) l'utilisation des algues comme bioindicateurs de la pollution notamment l'identification des algues et la détermination des concentrations en chlorophylle et en glucose. Les résultats obtenus montrent que la plaine de Bou Areg, un site pollué par des nitrates et des phosphates liés aux rejets agricoles et industriels, contenait des niveaux élevés de nitrates. Tandis que

dans le site de Mohandis on a observé une diminution des teneurs en nitrates et l'augmentation des concentrations d'O<sub>2</sub> dissous, de pH et de la conductivité électrique. Enfin, la nouvelle passe a contribué d'une manière significative à la diminution de l'eutrophisation de la lagune en diminuant la concentration en chlorophylle totale et en glucides chez les algues *Gracilaria* et *Ulva*.

**Mots clés:** Lagune de Marchica, Méditerranée, algues, chlorophylle, glucose, paramètres physico-chimiques

## 1. Introduction

Les lagunes côtières sont définies comme des écosystèmes peu profonds qui sont reliés à la mer par une ou plusieurs admissions restreintes [1]. Elles sont caractérisées par une grande instabilité de leurs facteurs physico-chimiques [2]. Les lagunes côtières et les marais salants retiennent davantage l'attention à l'échelle internationale en tant que zones humides. Sous ce qualificatif sont groupés au Maroc prairies humides, estuaires, lagunes, embouchures, plages et les parties les moins profondes de la mer [3].

La lagune de Marchica est la plus grande lagune au Maroc, avec une superficie de 115 km<sup>2</sup>. Elle se situe dans la région du Rif au nord-est marocain entre le cap des trois fourches et le cap de l'eau. Les déversements des effluents des rejets domestiques (agricoles ou industriels) dans la lagune stimulent la prolifération des algues, ce qui provoque une consommation d'oxygène entraînant un déséquilibre de l'écosystème qui tend vers l'eutrophisation [4].

La lagune de Nador subit une agression anthropique considérable par les eaux usées trop chargées en matières organiques et en éléments azotés et phosphatés en plus d'autres substances chimiques de nature divers notamment les métaux lourds et les hydrocarbures [5].

Récemment (juin 2010), une nouvelle passe, large et profonde, reliant la mer méditerranée à la lagune de Marchica a été réalisée, permettant le renouvellement de l'eau de la lagune dans tout le bassin. Ce qui améliorerait vraisemblablement la qualité de l'eau de cet écosystème laguno-marin.

L'objectif de la présente étude est d'évaluer les effets de la nouvelle passe sur l'état de la santé de Marchica et la possibilité d'utiliser les algues comme bioindicateurs pour la biosurveillance de la qualité de l'eau de la lagune.

## 2. Matériel et Méthodes

### 2.1. Echantillonnage

L'échantillonnage a été effectué dans deux sites différents de la lagune de Marchica, l'une est considérée comme site polluée et l'autre considérée comme non polluée (Bou Areg et Mohandis, respectivement) (figure 1). La localisation des sites d'échantillonnage a été réalisée à l'aide d'un GPS (MAP 60 CSx GARMIN). L'échantillonnage des algues a été faite d'une manière simple avec les mains, à une profondeur de 30 cm à 1,5 m suivant les espèces récoltées. Les campagnes d'échantillonnage ont été réalisées pendant deux périodes différentes (Janvier 2011 et Juin 2013).

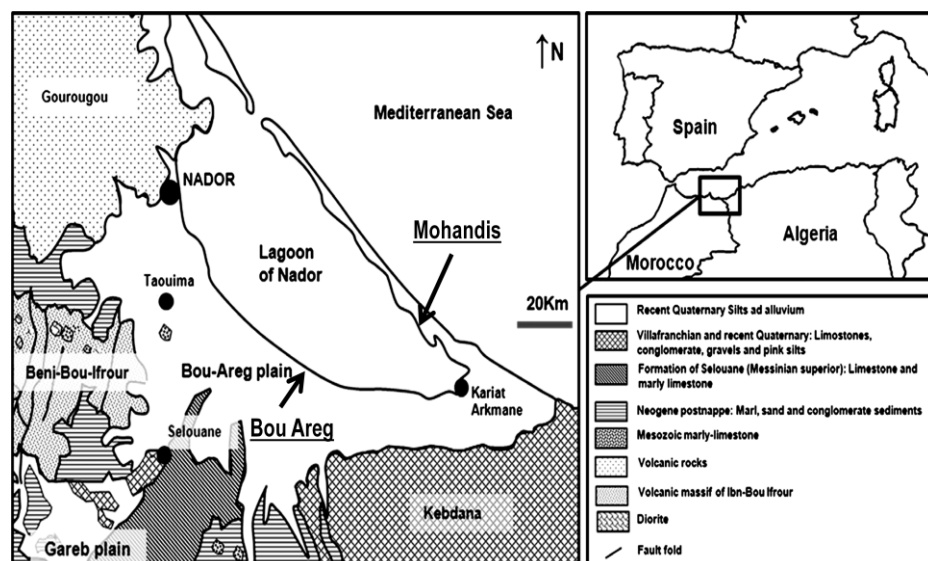


Figure 1: Localisation des zones d'étude selon Re et al. [6] et El Yaouti et al. [7]

## 2.2. Analyse des paramètres physico-chimiques de l'eau

Les principaux paramètres physico-chimiques analysés des eaux de la lagune sont: le pH par un pH-mètre portable de marque *SUNTEXTS*; la conductivité électrique par un conductivimètre *Cond6 + de* marque *EUTECH Instrument*, la teneur en nitrate par dosage colorimétrique à l'aide de salicylate de sodium et l'oxygène dissous mesuré à l'aide d'un oxymètre *DO6+* de marque *EUTECH Instruments*. Ces analyses physico-chimiques ont été réalisées en double répétitions.

## 2.3. Analyse des algues

Après la récolte, les algues sont lavées plusieurs fois en utilisant de l'eau de robinet et l'eau distillée afin d'éliminer tout corps étranger qui pourrait influencer l'évaluation des activités biologiques. Les algues sont ensuite séparées, identifiées puis séchées. La teneur en chlorophylles a et b ont été déterminés en selon la méthode de Lichtenthaler [8]; cette méthode est basée sur l'absorption de la lumière par les extraits de chlorophylles dans le méthanol pur (96-100%). Le dosage du glucose est réalisé par la méthode colorimétrique proposée par Irigoyen *et al.* [9] et le dosage de protéines est réalisé selon la méthode de Bradford [10]. Ces analyses ont été réalisés en 3 répétitions pour les chlorophylles et 5 répétitions pour le glucose et les protéines.

## 3. Résultats et Discussion

### 3.1. Paramètres physico-chimiques de l'eau

Les analyses physico-chimiques des eaux sont parmi les paramètres les plus utilisés pour évaluer l'état de la santé des lagunes et les modifications des conditions physico-chimiques ont eu comme résultat un dysfonctionnement des équilibres écologiques avec une diminution de la biodiversité [5]. Dans cette étude, nous avons analysé le pH et la conductivité électrique (E.C.) (Tableau 1), la teneur en nitrate et l'oxygène dissous (tableau 2) dans les deux sites de Bou Areg et Mohandis. Le pH (tableau 1) est l'un des paramètres utilisé pour étudier l'état de santé des écosystèmes aquatiques, ainsi des concentrations très élevées de certains polluants comme les sulfates peuvent diminuer le pH de l'eau [11]. Dans la région de Mohandis on note une légère augmentation en 2013 par rapport à 2011. Cependant, pour le site de Bou Areg, on n'a pas trouvé une grande différence entre les deux années. La conductivité électrique (tableau 1), est proportionnelle à la concentration d'ions présents dans la solution et peut être utilisée comme indicatrice de la qualité des eaux [5]. On a obtenu une forte diminution de la conductivité électrique durant l'année 2013 par rapport à 2011 dans les deux sites grâce à l'ouverture de la nouvelle passe qui a permis le renouvellement de l'eau dans toute la lagune [12] et par conséquent la dilution des sels dissous.

**Tableau 1:** Paramètres physico-chimiques des sites de Bou Areg et Mohandis

	Bou Areg		Mohandis	
	Janvier 2011	Juin 2013	Janvier 2011	Juin 2013
<b>pH</b>	8,16	8	8,86	9,60
<b>C.E. (ms)</b>	60,5	28,1	148,9	61,4

C.E. : Conductivité électrique

Des approvisionnements croissants en nitrate provoquent la pollution des écosystèmes aquatiques et stimulent l'eutrophisation des estuaires [13-15]. Les teneurs en nitrates sont maximales (232,6 mg/l) dans le site de Bou Areg et minimales (161,7 mg/l) dans la région de Mohandis (tableau 2).

**Tableau 2:** Teneurs en  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{O}_2$  dissous dans les sites de Bou Areg et Mohandis analysées en Juin 2013.

	$\text{NO}_3^-$ (mg/l)	$\text{O}_2$ dissous (mg/l)
<b>Bou Areg</b>	232,6	4,05
<b>Mohandis</b>	161,7	13,76

Les plus fortes valeurs de l'oxygène dissous (tableau 2) sont enregistrées au niveau de Mohandis (13,76 mg/l) et les plus faibles concentrations (4,05 mg/l) sont rencontrées dans la région de Bou Areg. Boundi [5] a trouvé des résultats similaires avec des concentrations très élevées en oxygène dissous dans les sites les moins pollués (Oued Bouaroug: 8,5 mg/l) et les valeurs les plus basses dans les zones polluées (Oued Mrader : 6,87 mg/l). Ceci pourrait être le résultat d'une pollution organique intense qui se manifeste par une accumulation de carbone organique total et des nitrates et une diminution des concentrations en oxygène dissous.

La lagune de Nador subit une agression anthropique considérable par les eaux usées trop chargées en matières organiques et en éléments azotés et phosphatés en plus d'autres substances chimiques de nature divers notamment les métaux lourds et les hydrocarbures [5]. Les valeurs minimales de la conductivité électrique enregistrées durant l'année 2013 (tableau 1) sont dues à la diminution de la pollution au niveau de ces zones grâce à l'ouverture de la nouvelle passe durant les années 2010-2011 et qui permettait le renouvellement de l'eau de la lagune dans tout le bassin. Ce qui améliorerait vraisemblablement la qualité de l'eau de cet écosystème laguno-marin. Avant 2010-2011, l'étroitesse de l'ancienne passe (250 mètres de largeur et 3 mètres de profondeur) limitait l'échange de l'eau de la lagune avec la méditerranée, et depuis 2010, une nouvelle passe de 300 mètres de et de 6 mètres de profondeurs permet la régénération des eaux de la lagune qui subissait une eutrophisation du fait de la stagnation antérieure de ses eaux. Les fortes concentrations en nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) et les faibles teneurs en  $\text{O}_2$  dissous dans le site de Bou Areg (tableau 2) sont dues a la pollution agricole causée par une fertilisation excessive ou un usage intensif d'engrais et de pesticides en provoquant la contamination des eaux par une concentration élevée en nitrates, phosphates et polluants organiques qui pourraient entraîner l'eutrophisation de la lagune [16].

### 3.2. Paramètres biochimiques des algues

Les mesures de croissance, biomasse et certains paramètres biochimiques des algues comme la concentration en protéines et en chlorophylles ont souvent été utilisées comme bioindicateurs de la mesure du niveau de pollution [17-19].

**Tableau 3 :** Comparaison entre la concentration en chlorophylle totale et en glucose chez les algues *Ulva* et *Gracilaria* collectées en 2011 et 2013 dans la région de Bou Areg

Espèces	Chlorophylle totale (mg 100g <sup>-1</sup> poids frais)		Glucose (mg g <sup>-1</sup> poids frais)	
	Janvier 2011	Juin 2013	Janvier 2011	Juin 2013
<i>Ulva</i> sp.	70,71±5,75a*	55,1±0,51a	0,61±0,18b*	0,16±0,02a
<i>Gracilaria</i> sp.	15,26±1,25b*	6,55±1,82b	5,52±0,15a*	0,07±0,02b

\* Source : Ben Chekroun *et al.* [17]

Les résultats d'analyses biochimiques des algues (tableau 3) montrent que les plus fortes valeurs en chlorophylle et en glucose ont été enregistrées durant l'année 2011 est les plus faibles ont été trouvées pendant l'année 2013. Le pigment chlorophyllien est l'un des indicateurs les plus utilisés dans la biosurveillance de la pollution par les éléments nutritifs (N et P) et l'eutrophisation des systèmes aquatiques [16]. López-Cantarero *et al.* [20] ont montré que les concentrations élevées de l'azote (N) rhizosphérique augmentent la concentration foliaire de chlorophylle et les concentrations exogènes de P sont directement corrélées avec la concentration en chlorophylle totale. La diminution de ces deux paramètres observée en juin 2013 est probablement due à une diminution de la pollution grâce à l'ouverture d'une nouvelle passe plus large et plus profonde (300 m de largeur et 6 m de profondeur) qui se manifeste par une diminution de l'eutrophisation et de la concentration en chlorophylle et en glucose.

Donc les faibles valeurs de chlorophylles totales observées en 2013 indiquent une diminution dans le taux de la photosynthèse [21], qui explique la baisse de la concentration de glucose durant cette année. Donc les algues constituent un compartiment privilégié pour la surveillance à long terme des cours d'eau, notamment parce qu'elles ont des exigences spécifiques et des tolérances variables à des gammes de paramètres de qualité des eaux différentes [22, 23].

**Tableau 4:** Teneur en protéines des algues récoltées dans les deux sites de Bou Areg et Mohandis

	Bou Areg	Mohandis
	mg.g poids frais	
<i>Ulva faciata</i>	14.17±0.06	16.86±0.53
<i>Ulva lactuca</i>	13.60±0.26	15.83±0.13
<i>Enteromorpha intestinalis</i>	14.74±0.04	9.21±0.14

Le tableau 4 présente les concentrations en protéines chez les d'algues récoltées dans les deux sites de Bou Areg et Mohandis. Ces résultats montrent que dans la zone de Bou Areg les concentrations étaient similaires chez toutes les espèces. Par contre, une forte diminution de la concentration en protéines a été observée chez les espèces d'*Enteromorpha intestinalis* récoltées dans la zone de Mohandis. Donc cette diminution est probablement due à la diminution de la pollution agricole dans le site Mohandis, ce qui a conduit, par conséquent, à des basses concentrations en nitrates (tableau 2). Cependant les quantités croissantes d'engrais utilisée dans la plaine de Bou Areg est responsable de l'augmentation de N et P dans l'eau de la lagune. Ce qui a conduit, par conséquent, à des niveaux élevés de l'eutrophisation et des concentrations supérieures en protéines chez l'*Enteromorpha intestinalis* [17].

## Conclusion

L'ouverture de la nouvelle passe et l'installation d'une station d'épuration au niveau du site de Bou Areg ont considérablement diminué la pollution de la lagune 'Marchica' et ont affecté d'une manière positive les paramètres physico-chimiques et la santé de la lagune de Nador. La nouvelle passe a amélioré la qualité de l'eau dans la lagune et de son écosystème favorisé par sa largeur et sa profondeur. La nouvelle STEP a aussi contribué à réduire la pollution dans la lagune de manière à cesser tout rejet d'eaux usées dans la lagune et favoriser sa préservation en utilisant une technologie de pointe basée sur les procédés des boues activées.

Des concentrations élevées en sels nutritifs favorisent la croissance des algues vertes et l'augmentation de la concentration en chlorophylles chez l'*Ulva* sp. Les algues vertes sont de très bons indicateurs de la pollution.

## Références

1. Pinot J. P., La gestion du littoral. Paris, Institut océanographique, 2 vol. (1998).
2. Amanieu M., Lasserre G., *Oceanol. Acta*, 4 (1982) 201.
3. Dakki M., Hamzaoui M., Les zones humides du Maroc: Rapport MedWet 2, Maroc. (1998).
4. Rybarczyk H., Elkaim B., Wilson J. G., Loquet N., *Oceanol. Acta*, 19 (1995), 131.
5. Bloundi M. K., PhD thesis, University Mohammed V, Fac. Sci. Rabat et ULP-EOST Strasbourg I, (2005).
6. Re V., Sacchi E., Martin-Bordes J.L., Aureli A., El Hamouti N., Bouchnan R., Zuppi G.M. *Appl. Geochem.*, 34 (2013) 181.
7. El Yaouti F., El Mandour A., Khattach D., Benavente J., Kaufmann O., *Appl. Geochem.*, 24 (2009). 16.
8. Lichtenthaler H. K., *Method. Enzymol.*, 148 (1987) 350.
9. Irigoyen J. J., Emerich D. W., Sánchez D. M., *Physiol. Plantarum*, 84 (1992) 55.
10. Bradford M.M., *Anal. Biochem.*, 72 (1976) 248.
11. Nduka J. K. *Sci. Res. Essays*, 3 (2008) 547.
12. Lamrini A., *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 40 (2013) 882.
13. Ryther J.H., Dunstan W.M., *Science*, 171 (1971) 1008.
14. Howarth R.W., *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 19 (1998) 89.
15. Nixon S.W., *Ophelia*, 41 (1995) 199.
16. Dedjiho C. A., Mama D., Dimon B. F., Chouti W., Alassane A., Fiogbe E. D., Sohounhloue C.K.D., *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 7 (2013) 2069.
17. Ben Chekroun K., Moumen A., Rezzoum N., Sánchez E., Baghour M., *Phyton - Int. J. Exp. Bot.*, 82 (2013) 31.
18. Harun M. M., Thorne-Miller B., *Mar. Biol. Germ.*, 65 (1981) 221.
19. Ramdani M., Master thesis, INRH Nador and Mohamed I Univesity, Oujda, Morocco, (2012).
20. López-Cantarero I., Lorente P.A., Romero L., *J. Plant Nutr.* 17 (1994) 979.
21. Rajcana I., Dwyerb L. M., Tollenaar M., *Field Crop. Res.*, 63 (1999) 13.
22. Stevenson R. J., Pan Y., *The Diatoms: Applications to the Environmental and Earth Sciences*, Cambridge University Press, Cambridge, UK. (1999).
23. Ben Chekroun K., Baghour, M., *J. Mater. Environ. Sci.* 4 (2013) 873.

(2015) ; <http://www.jmaterenvirosci.com>