

## Rôle des facteurs environnementaux et anthropiques dans la fluctuation saisonnière de l'organisation trophique de la macrofaune benthique dans la lagune de Boughrara (Sud-Est de la Tunisie), après l'extension de la passe de communication d'El-Kantra

Ines KHEDHRI<sup>1</sup> et Ahmed AFLI

Laboratoire de Biodiversité et Biotechnologies Marines, Institut National des Sciences et Technologies de la Mer, 28 rue du 2 mars 1934, 2025 Salammbô – Tunisie  
ines.khedhri@hotmail.fr

### ملخص

دور العوامل الطبيعية والبشرية في التغيرات الموسمية للتنظيم الغذائي للأفقرات القاعية في بحيرة بوغرارة (جنوب شرق البلاد التونسية)، بعد توسيع قناة القنطرة. تُعتبر بحيرة بوغرارة أهم وأوسع بحيرة في تونس. لكنها تمثل أيضا إحدى المنظومات البيئية الأكثر هشاشة في العقود الأخيرة بسبب تزايد الأنشطة الاقتصادية من حولها. يُعتبر هذا العمل مساهمة بسيطة لدراسة التغيرات الموسمية للشبكة الغذائية للأفقرات القاعية في بحيرة بوغرارة، بعد بضع سنوات من توسيع قناة الربط بين البحيرة والبحر المفتوح. لقد تم اقتناء عينات من الرواسب على مستوى ثلاثة عشر محطة تقع أساسا قبالة أهم مصادر التلوث موسميا خلال الفترتين 2009-2010 و2012-2013. وتبين النتائج المتحصل عليها بأن مجتمع الأفقرات القاعية عموما أقل تنوعا قرب قنوات الاتصال والواقعة تحت التأثير المزدوج لمياه البحر المفتوح ومياه البحيرة، وكذلك خلال مواسم فترة الدراسة الثانية مقارنة بالفترة الأولى. وتظهر الشبكة الغذائية بدورها تغيرات موسمية واضحة، ولكن تغلب عليها دائما سيطرة المجموعات التي تتغذى على سطح الرواسب من المواد العضوية، ويبدو أن التنظيم الغذائي للأفقرات القاعية في بحيرة بوغرارة أكثر ارتباطا بتوافر الموارد الغذائية منه بالاضطرابات. كلمات مفاتيح : بحيرة بوغرارة، الأفقرات القاعية، التركيبة الغذائية، التغيرات الموسمية

### RESUME

La lagune de Boughrara est la plus grande lagune tunisienne. Elle est soumise depuis des décennies à des contraintes naturelles et à l'impact des activités anthropiques, de plus en plus croissantes. Le présent travail est une contribution à l'étude de la variabilité saisonnière de la structure et de l'organisation trophique de la macrofaune benthique dans la lagune de Boughrara, quelques années après l'élargissement de la passe de communication d'El-Kantra reliant la lagune à la mer ouverte. Treize stations situées principalement en face des sources de contamination ont été échantillonnées saisonnièrement au cours des deux périodes 2009-2010 et 2012-2013. Les résultats obtenus montrent que la communauté macro-benthique est généralement peu diversifiée au niveau des stations laguno-marines qui sont sous l'influence des deux milieux, lagune et mer ouverte. La structure du peuplement benthique a montré une régression importante du nombre d'espèces et du nombre d'individus pendant les saisons de la deuxième période d'étude. L'organisation trophique, à son tour, a montré une fluctuation saisonnière nette, mais qui reste tout de même dominée par les dépositores de surface et qui semblent être liés plus à la disponibilité des ressources trophiques qu'aux perturbations.

**Mots clés :** lagune de Boughrara, macrofaune benthique, structure trophique, suivi saisonnier.

### ABSTRACT

**Role of environmental and anthropogenic factors in the seasonal fluctuation of the trophic organization of the benthic macrofauna in the Boughrara lagoon (SE Tunisia), after the extension of the El-Kantra channel :** The lagoon of Boughrara is the largest lagoon in Tunisia. For several decades it has been subject to the impact of increasing anthropogenic activities, and also to environmental stressors. The present work is a contribution to the study of the functional organization of the benthic macrofauna of the lagoon of Boughrara a few years after the extension of the El-Kantra channel which connects this lagoon to the open sea. In total, 13 stations facing the main prospective sources of disturbance were seasonally sampled during 2009-2010 and 2012-2013. Obtained results show that the benthic macrofauna community is generally poorly diversified at lagoonal-marine stations undergoing influences of both the marine and lagoon environment. The structure of the benthic macrofauna showed an important regression in number of species and in number of individuals during the seasons of the second period of study. The trophic organization, in turn, showed a clear seasonal fluctuation, but it still remains dominated by selective deposit feeders and appears to be more related to the availability of food resources than to disturbances.

**Keywords:** Lagoon of Boughrara, benthic macrofauna, trophic structure, seasonal monitoring.

## INTRODUCTION

Les écosystèmes côtiers, en tant qu'interface terre-mer, sont de plus en plus affectés par les activités humaines croissantes dans la frange littorale. L'industrialisation et le développement démographique sont les principales pressions exercées sur ces milieux côtiers. Le littoral tunisien s'étend sur plus de 1300 km dont autour de 575 km de plages sablonneuses (Bounouh, 2010). La côte est parsemée de tombolos et de lagunes représentant un patrimoine naturel riche et varié qui assure le maintien de diverses activités touristiques et archéologiques (Bounouh, 2010). Depuis plusieurs décennies, ces écosystèmes littoraux comme les lagunes et les estuaires ont été le théâtre d'un développement accéléré d'activités humaines qui a mené à des nuisances environnementales et à une surexploitation des ressources naturelles. En effet, qu'il s'agisse du développement urbain, industriel, agricole ou touristique, l'activité humaine exerce une pression de plus en plus grande sur le milieu marin en général et les lagunes en particulier (Bresler *et al.*, 2003; Magni, 2003; Daby, 2006; Huang *et al.*, 2007; Rao *et al.*, 2007). Les lagunes tunisiennes, tout comme les lagunes méditerranéennes en général, se caractérisent par de fortes fluctuations saisonnières et même journalières des paramètres physico-chimiques, notamment des conditions extrêmes de température et de salinité (Afli *et al.*, 2009).

Etant donné la complexité et la multitude des facteurs régissant la vie lagunaire, l'étude multidisciplinaire est imminente pour comprendre l'organisation et le fonctionnement de ces écosystèmes. Si les méthodes chimiques et physiques habituelles s'avèrent nécessaires pour juger de l'état de pollution du milieu marin, l'étude des communautés benthiques permet, quant à elle, de confirmer ou d'infirmer cette hypothèse (Afli *et al.*, 2008a; Aloui-Béjaoui & Afli, 2012). En effet, la macrofaune benthique constitue un outil de choix pour évaluer la qualité du milieu marin. C'est un bon indicateur de l'état de santé des écosystèmes et de la variabilité des conditions environnementales. D'une part, le macrozoobenthos représente une composante clé, indispensable pour l'organisation trophique puisqu'il est corrélé avec les conditions écologiques prévalant avec le sédiment et la colonne d'eau sus-jacente où se manifestent les multiples effets de l'enrichissement de la pollution des milieux (Borja *et al.*, 2000; Morrissey *et al.*, 2003; Salas *et al.*, 2004; Puente *et al.*, 2008) et, d'autre part, c'est une source de nourriture pour de nombreux consommateurs (Chaouti & Bayed 2011). La lagune de Boughrara communique avec la mer ouverte à travers deux passages, le canal d'Ajim, situé au nord-ouest, et le canal d'El-Kantra, au nord-est de la lagune et qui a été élargi en 2004-2007 de 12,5 à 160 m de largeur.

Les premiers travaux scientifiques dans la lagune de Boughrara ont débuté avec ceux de Seurat (1929), Zaouali (1971 ; 1974 ; 1977 ; 1980), Jedoui (1980), puis ceux de Daly-Yahia (1993), Romdhane *et al.* (1998), Ben khemis (2000), Romdhane (2001), Derbali *et al.* (2008) et, récemment, ceux de Guetat *et al.* (2012), Khedhri *et al.* (2015) et Khedhri (2016). La plupart de ces études se sont limitées à certains aspects biologiques, écologiques et hydrologiques pris séparément sans évoquer l'état général de l'écosystème.

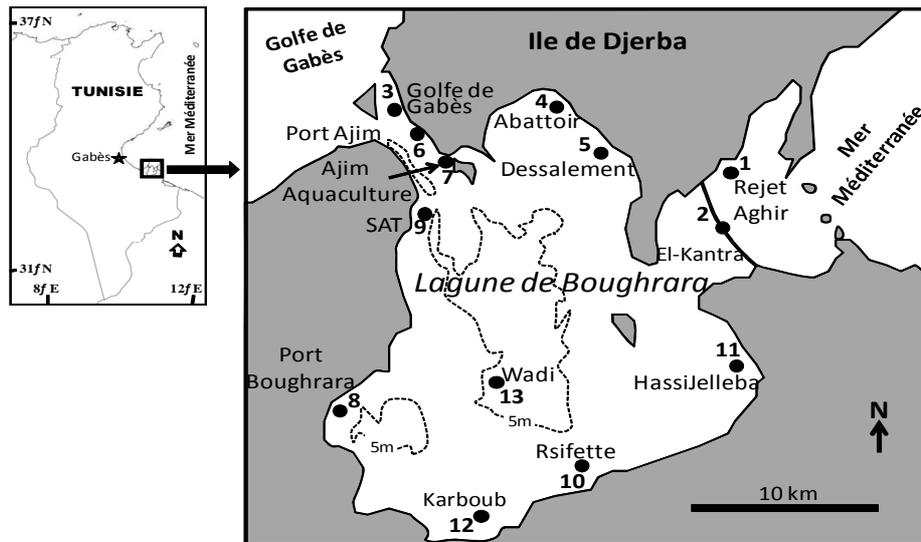
Visant à mieux comprendre les réponses du benthos aux variations de l'environnement, ce travail consiste à classer les organismes en groupes fonctionnels, sur la base de leur régime et mécanisme alimentaires. En effet, la répartition d'espèces à l'intérieur de groupes exploitant le même type de ressources permet de simplifier l'analyse de la structure des communautés benthiques et de leur fonctionnement.

Ainsi, cette étude a pour objectif d'étudier la variabilité saisonnière de l'organisation trophique des communautés de macrofaune benthique dans la lagune de Boughrara après les travaux d'élargissement de la passe d'El-Kantra, et ceci pendant les deux périodes 2009-2010 et 2012-2013. Les principaux paramètres physico-chimiques des eaux et des sédiments seront mesurés saisonnièrement et analysés afin d'apporter des éléments de réponse quant à l'état trophique de la lagune, ce qui mettrait en exergue l'impact de l'extension des passes de communication lagune-mer sur l'écosystème de la lagune en général.

## MATERIEL ET METHODES

### *Site de l'étude*

La lagune de Boughrara est située dans le Sud-Est Tunisien (Fig 1). Elle est limitée au Nord par l'île de Djerba et au Sud par le continent. Avec une superficie d'environ 500 km<sup>2</sup>, elle est la plus grande de toutes les lagunes tunisiennes. Elle communique avec le golfe de Gabès par deux passages ; le canal d'Ajim (large de 2,2 km) situé au Nord-Ouest de la lagune, et une petite communication à l'Est (ou canal d'El-Kantra) large de 12,5 m au niveau d'un petit pont situé au milieu de la chaussée romaine reliant l'île de Djerba au continent. Cette communication a subi en 2004-2007, un élargissement de 160 m de largeur, ce qui a permis un échange d'environ 6,9 millions de m<sup>3</sup> d'eau par jour au lieu de 0,8 million de m<sup>3</sup> auparavant. Le climat est typiquement méditerranéen de type semi-désertique, très souvent caractérisé par de faibles précipitations et de hautes températures estivales ; le bilan hydrique est souvent fortement déficitaire (Zaouali, 1977)



**Figure 1:** Situation géographique de la lagune de Boughrara et localisation des stations de prélèvement

La variation saisonnière de la température de l'eau de surface est, de ce fait, remarquable dans la lagune de Boughrara, elle est en moyenne de 21°C et varie de 26°C en été à 18°C en hiver (Guetat *et al.*, 2012). Comparée à la salinité de la mer environnante, la salinité des eaux de la lagune Boughrara est très élevée. Elle oscille en moyenne entre 48,8 psu selon Ben Rejeb Jenhani & Romdhane (2002), 42,19 psu selon Ben Aoun *et al.* (2007) et 43 psu selon Guetat *et al.* (2012).

La fluctuation saisonnière des principaux paramètres physico-chimiques des eaux et des sédiments dans la lagune de Boughrara a déjà fait l'objet d'une étude détaillée durant ces deux mêmes périodes (Khedhri *et al.*, 2015). En 2009-2010, la température, la salinité, l'oxygène dissous et le pH montrent de fortes fluctuations saisonnières et spatiales, mais qui restent tout de même nettement moins prononcées par rapport aux autres paramètres, à l'instar des nitrates, des nitrites, de l'ammonium et des phosphates (pouvant dépasser à certains endroits les 500µg/l) (Khedhri *et al.*, 2015). Par contre pour la période 2012-2013, les valeurs saisonnières enregistrées montrent une forte baisse des substances nutritives par rapport à 2009-2010 dans toute la lagune (à titre d'exemple, les nitrites et les phosphates ne dépassent pas 1µg/l) et une hausse nette du taux d'oxygène dissous. Les autres paramètres montrent une variabilité saisonnière nette, mais une atténuation de

la variabilité spatiale due certainement à une homogénéisation des eaux de la lagune suite à l'ouverture des passes de communication lagune-mer (Khedhri, 2016).

La lagune de Boughrara a été sujette avant les travaux de restauration à des phénomènes de marées avec des processus d'eutrophisation assez fréquents, entraînant très souvent des dégâts importants (Daly Yahia & Romdhane, 1996 ; Romdhane *et al.*, 1998 ; Ben Rejeb Jenhani & Romdhane, 2002). En plus de ces conditions hydrodynamiques et climatiques variables, la lagune subit des nuisances d'origine anthropique, notamment l'accroissement démographique et industriel sur ses rives (Ben Rejeb Jenhani & Romdhane, 2002). Les rejets d'eaux usées et chargées en sels nutritifs et en matière organique des fermes aquacoles sur les deux rives de la lagune, le trafic maritime et les activités de pêche dans les ports de Jorf, Ajim, Boughrara et Hassi Jalleba, l'entrée des eaux du golfe de Gabès chargées en phosphore minéral et le faible échange d'eau entre la lagune et la mer ouverte représentent les principales sources de nuisance et qui ont tendance à dégrader l'écosystème de la lagune de Boughrara.

#### **Echantillonnage et analyses de laboratoire**

L'échantillonnage a été effectué à 13 stations et au cours de 9 campagnes saisonnières réparties sur les deux périodes 2009-2010 et 2012-2013 (Fig 1, Tab I).

**Tableau I:** Caractéristiques des stations d'échantillonnage

Stations	Latitude (N)	Longitude (E)	Profondeur (m)	Sédiment (<63µm)	
				2009-2010	2012-2013
1	10°55'52''	33°41'30''	0,5	7,79	0,77
2	10°55'32''	33°39'33''	2,3	31,81	4,08
3	10°44'16''	33°43'17''	1,1	4,07	0,65
4	10°50'00''	33°44'00''	0,4	2,82	1,85
5	10°50'35''	33°34'27''	0,4	1,86	0,44
6	10°44'37''	33°42'59''	1,0	4,11	1,42
7	10°45'42''	33°41'55''	1,0	0,83	2,36
8	10°41'29''	33°32'21''	1,1	11,25	0,51
9	10°14'21''	33°39'45''	0,5	5,11	0,50
10	10°54'52''	33°31'30''	0,5	2,75	3,80
11	10°56'23''	33°34'55''	0,3	3,99	7,93
12	10°52'44''	33°30'59''	0,2	1,0	37,94
13	10°42'21''	33°32'16''	10,5	10,45	11,76

Les stations proches de la côte ont été échantillonnées à pied et les stations plus profondes à bord d'une barque motorisée. L'échantillonnage de la macrofaune benthique a été réalisé à l'aide d'un quadra, manipulé par un plongeur équipé d'un scaphandre autonome. Trois répliques ont été prélevées à chaque station/campagne, totalisant ainsi une superficie totale de 0,5m<sup>2</sup> pour la première période (2009-2010) et 0,75m<sup>2</sup> pour la deuxième période (2012-2013). Chaque échantillon a été ensuite tamisé à l'eau de mer sur des mailles carrées de 1mm de côté, et le refus du tamis a été conservé au formol (dilué à 7%) dans des bocaux étiquetés portant les indications relatives à chaque station.

Au laboratoire, les échantillons de sédiment ont été rincés à l'eau douce dans le même tamis (1mm), et le refus du tamis a été ensuite versé dans un bac à fond blanc (effet de contraste) pour le tri. Les animaux recueillis ont été ensuite conservés à l'alcool dilué à 70% pour être identifier ultérieurement jusqu'au niveau spécifique, à l'exception des individus abîmés ou inconnus pour lesquels l'identification s'est arrêtée à des niveaux systématiques plus élevés (genre ou famille).

#### **Analyse des données**

Les principaux paramètres de structure de la macrofaune benthique ont été déterminés pour chaque station en utilisant le package PRIMER v6, il s'agit de la richesse spécifique (S, nombre d'espèces recueillies) et de l'abondance (A, nombre d'individus au m<sup>2</sup>).

La classification des espèces au sein des groupes trophiques est complexe du fait du manque

d'informations objectives sur leurs habitudes alimentaires. Les espèces identifiées ont été classées dans des groupes trophiques selon la classification de Fauchald & Jumars (1979), modifiée ensuite par Grall & Glémarec (1997), Hily & Bouteille (1999), Afli & Glémarec (2000), Pranovi *et al.* (2000) et Afli *et al.* (2008a):

-*Carnivores (C)* : ce sont des prédateurs armés pour capturer leurs proies (polychètes errantes, actines, hydraires).

-*Herbivores (H)* : ce sont des mangeurs d'algues ou brouteurs comme les oursins et les gastéropodes.

-*Détritivores (D)* : ce sont des animaux vagiles mangeurs de détritiques d'origine essentiellement végétale. Ce sont essentiellement des amphipodes, des isopodes et des tanaidacés.

-*Suspensivores (S)* : ils se nourrissent par filtration, dans la tranche d'eau au dessus du sédiment, des particules organiques en suspension (polychètes sabillaridées, serpulidés).

-*Dépositivores de surface (DS)* : se nourrissent de particules organiques, support de bactéries et d'algues unicellulaires, qui se déposent sur le sédiment. Essentiellement des polychètes sédentaires, des mollusques bivalves et des crustacés utilisant pour se nourrir la couche sédimentaire superficielle.

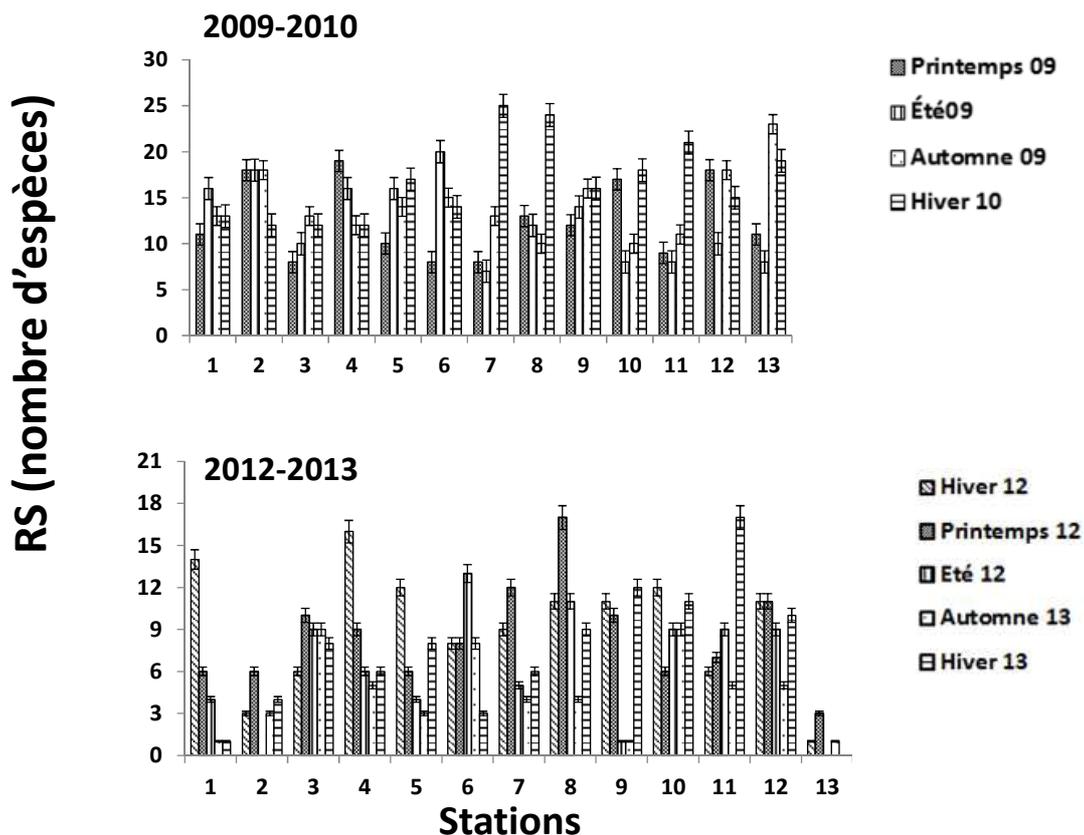
Pour tester statistiquement la significativité de la variabilité des groupes trophiques, leurs dominances ont subi une analyse des variances ANOVA en utilisant le logiciel STATISTICA8. L'analyse des variances a été utilisée quand l'homogénéité (le test de Bartlett) est achevée. Si l'hétérogénéité est

significative, les données sont alors transformées en  $\log_{10}(x + 1)$ .

Pour mieux comprendre la distribution saisonnière et spatiale des groupes trophiques et la relation entre ceux-ci et les stations d'échantillonnage, des analyses en composantes principales (ACP) ont été effectuées à l'aide du logiciel XLSTAT 2014 afin d'obtenir un résumé descriptif de ces observations numériques continues.

## RESULTATS

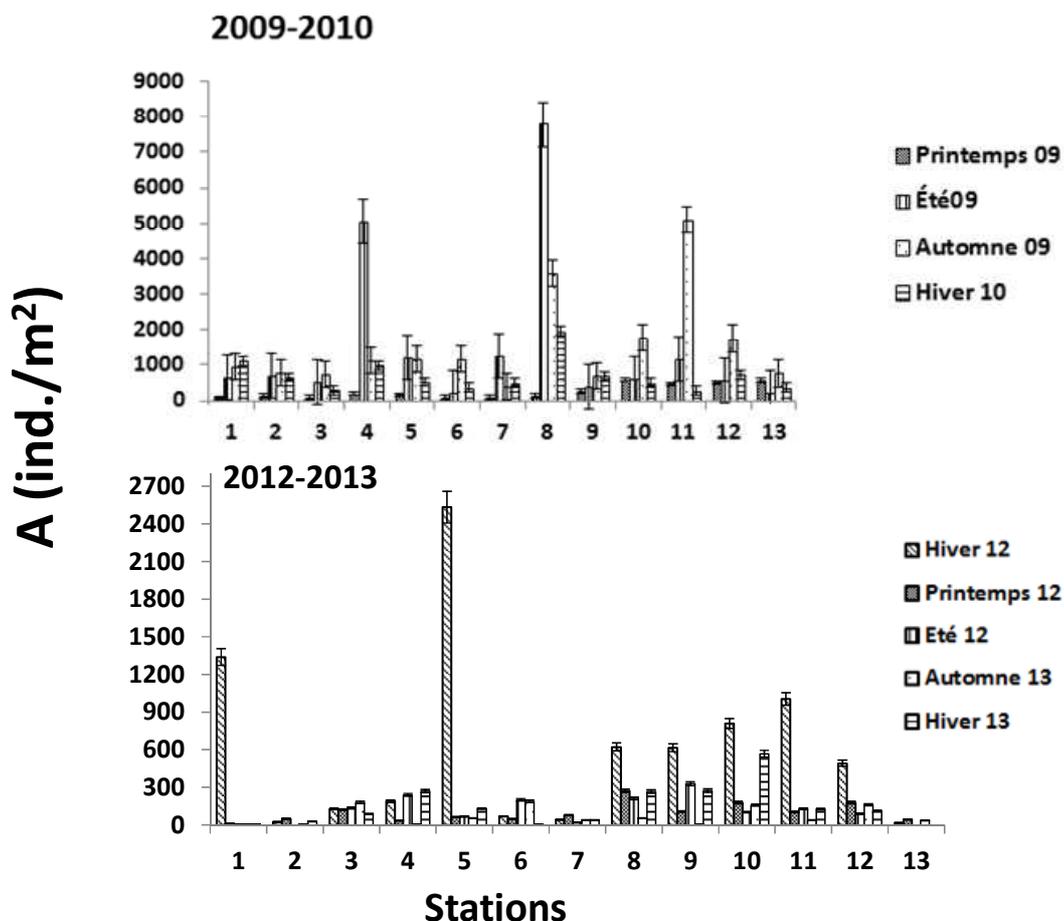
La richesse spécifique montre des fluctuations saisonnières nettement plus fortes en 2012-2013 par rapport à 2009-2010 (Fig 2). Dans la première période, les valeurs enregistrées varient de 7 espèces en été à 25 espèces en hiver à la même station 7. Alors que dans la deuxième période, la richesse spécifique varie de 0 espèce en été (stations 2 et 13) à 17 espèces au printemps (station 8) et en hiver 2013 (station 11).



**Figure 2:** Variation saisonnière de la richesse spécifique (RS) de la macrofaune benthique dans la lagune de Boughrara

L'abondance en 2009-2010, montre de très fortes variations saisonnières à certaines stations (stations 4, 8 et 11). Elle varie de quelques milliers d'individus au m<sup>2</sup> (7792 ind.m<sup>2</sup> à la station 8 en été ; 5094 ind.m<sup>2</sup> à la station 11 en automne et 5066 ind.m<sup>2</sup> à la station 4 en été) à quelques dizaines d'individus au m<sup>2</sup> au printemps (66 ind.m<sup>2</sup> à la station 1 ; 84 ind.m<sup>2</sup>

à la station 6 et 94 ind.m<sup>2</sup> à la station 7) (Fig 3). L'analyse de la variance (ANOVA), réalisée sur l'ensemble des valeurs de la richesse spécifique, confirme ces constations. Elle a montré une différence non significative entre les stations et les saisons de 2009-2010, et une différence significative entre les stations et les saisons de 2012-2013 (Tab II).



**Figure 3:** Variation saisonnière de l'abondance (A) de la macrofaune benthique dans la lagune de Boughrara

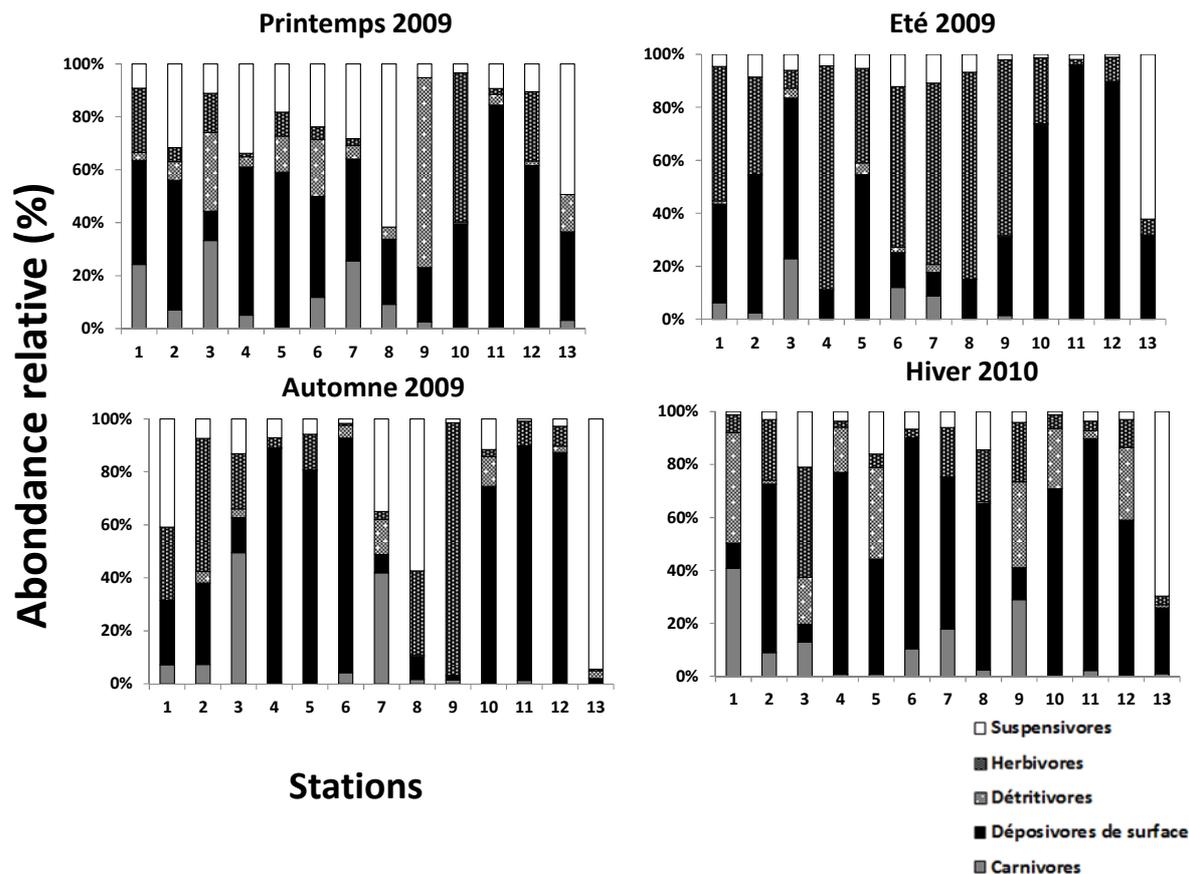
**Tableau II:** Analyse de la variance (ANOVA) effectuée sur la richesse spécifique (RS) et l'abondance (A). *dl* : degré de liberté; MS : moyennes des carrées et *P* : significativité.

Principaux effets	2009-2010					2012-2013				
	<i>dl</i>	RS		A		<i>dl</i>	RS		A	
		MS	<i>P</i>	MS	<i>P</i>		MS	<i>P</i>	MS	<i>P</i>
Stations	12	7,641	0,983	383	0,46	12	34,98	0,011	122E3	0,646
Saisons	3	53,15	0,38	547	0,037	4	47,13	0,027	654E3	<0,001

Quant aux saisons de 2012-2013, l'abondance totale révèle, à l'instar de la richesse spécifique, une régression remarquable, à l'exception des stations 1 et 5 en hiver 2012. Elle oscille aussi de quelques milliers d'individus au m<sup>2</sup> (2534 ind.m<sup>2</sup> à la station 5 et 1338 ind.m<sup>2</sup> à la station 1 en hiver 2012) à 0 individu au m<sup>2</sup> aux stations 13 (en hiver 2012 et été) et 2 (en été). L'analyse ANOVA ne montre pas de

différences significatives entre les stations, mais montre une différence significative entre les saisons, et ceci pour les deux périodes 2009-2010 et 2012-2013.

La répartition des groupes trophiques au cours des saisons de 2009-2010 (Fig 4) a révélé globalement la domination des déposivores de surface, à l'exception de la saison automnale dominée par les herbivores

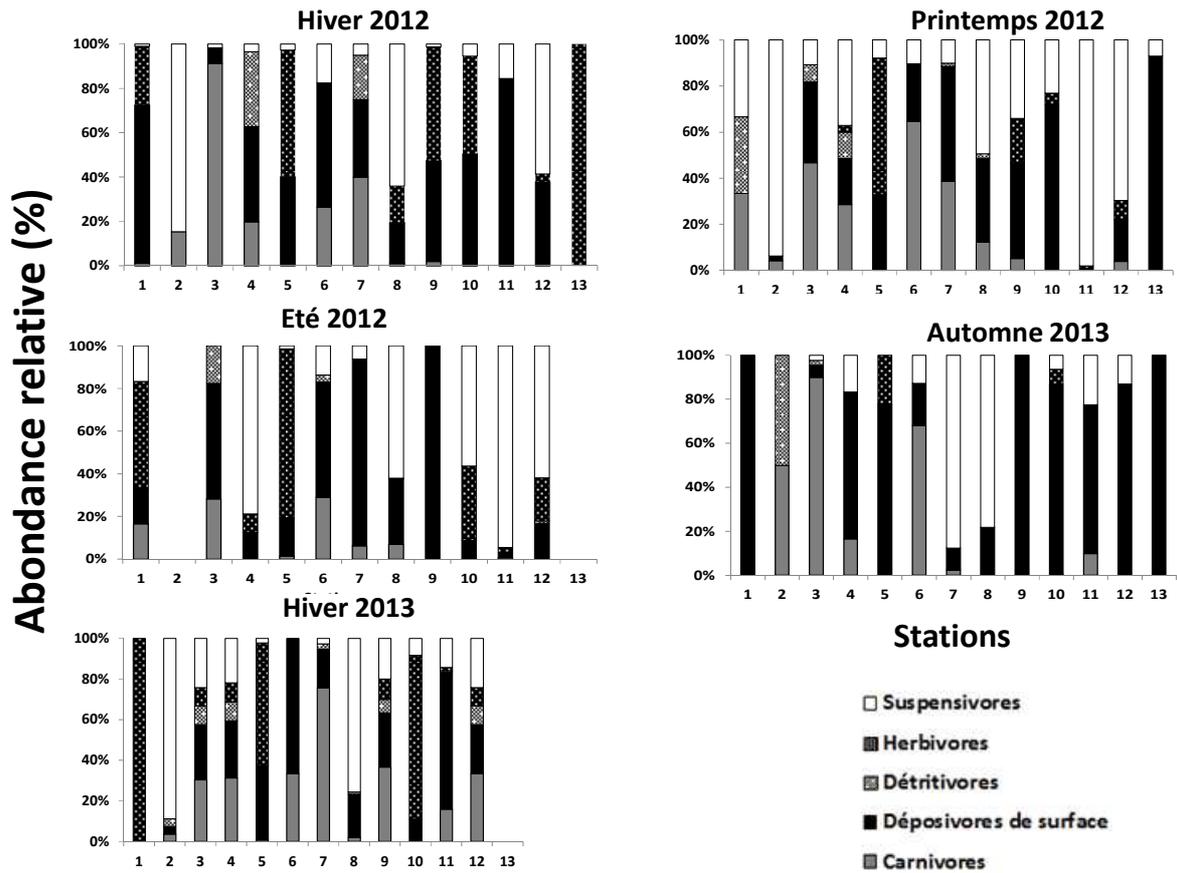


**Figure 4:** Variation saisonnière des groupes trophiques de la macrofaune benthique dans la lagune de Boughrara en 2009-2010

D'une façon générale, deux ou quelques groupes trophiques se succèdent à la place des leaders en 2009-2010. Les dépositives de surface dominent en été (60%), en hiver (51%) et au printemps (49%), et les autres groupes trophiques sont plus équilibrés en hiver (détritatives 16%, herbivores 13%, carnivores 11% et suspensives 10%) qu'au printemps (suspensives 22% et herbivores 17%). En été, les dépositives de surface dominent clairement (60%), suivis par les suspensives (17%) et les herbivores (16%), tandis ce qu'en automne les herbivores dominent largement (854 ind.m<sup>2</sup> ce qui représente 63%), suivis de loin par les dépositives de surface (28%). Toutefois, en termes d'abondance, les dépositives de surface n'ont pas régressé en automne par rapport aux autres saisons comme indiqué par les pourcentages (436 ind.m<sup>2</sup> en automne contre 109 ind.m<sup>2</sup> au printemps et 346 ind.m<sup>2</sup> en hiver), mais ce sont plutôt les herbivores qui se sont multipliés davantage en passant de 234 ind.m<sup>2</sup> (16%) en été à 993 ind.m<sup>2</sup> (63%) en automne.

En 2012-2013, la répartition saisonnière des groupes trophiques montre que globalement la structure trophique générale n'a pas changé par rapport à 2009-2010, mais elle est plus équilibrée et aucun groupe

n'a dépassé en moyenne sur toutes les stations les 50%. Les dépositives de surface sont toujours leaders, suivis des herbivores et des suspensives (Fig 5). La dominance des dépositives de surface est généralement comprise entre 43 et 50% (moyennes saisonnières sur toutes les stations), à l'exception du printemps 2012 et de l'hiver 2013 où elle a régressé respectivement à 36% (derrière les suspensives) et 23% (derrière les herbivores et les suspensives). Toutefois, en termes d'abondance, les dépositives de surface sont plus abondantes en hiver 2012 (299 ind.m<sup>2</sup>), alors que pendant les autres saisons leur abondance ne dépasse pas les 50 ind.m<sup>2</sup> (été 2012). Leur domination est forte essentiellement aux stations du sud (stations 10, 11 et 12) et du nord (stations 4, 5 et 6) de la lagune où elle dépasse en moyenne les 90%. Les herbivores dominent à 43% (42 ind.m<sup>2</sup>) en hiver 2013, mais sont plus abondants en hiver 2012 bien qu'ils soient en 2<sup>ème</sup> position après les dépositives de surface et ne représentent que 33% (200 ind.m<sup>2</sup>). Pendant les autres saisons, leur abondance ne dépasse pas 10 ind.m<sup>2</sup> (été 2012). La répartition spatiale des herbivores montre qu'ils sont concentrés essentiellement dans les endroits abrités des courants marins, à l'instar des stations 5, 9, 10 et 12.



**Figure 5:** Variation saisonnière des groupes trophiques de la macrofaune benthique dans la lagune de Boughrara en 2012-2013

Les suspensivores occupent la première position seulement au printemps 2012 avec 42% (40 ind.m<sup>2</sup>), et la 2<sup>ème</sup> position en été 2012 avec 39% (45 ind.m<sup>2</sup>) et en hiver 2013 avec 25% (25 ind.m<sup>2</sup>). Toutefois, ils sont plus abondants en hiver 2012 avec 78 ind.m<sup>2</sup> malgré qu'ils se limitent à la troisième position. La répartition spatiale des herbivores est plus homogène en 2012-2013 qu'en 2009-2010, puisqu'ils ne sont plus cantonnés aux passes de communication lagunier (stations 2 et 6), mais gagnent d'autres endroits de la lagune, notamment sa côte sud (stations 8, 11 et 12). Les carnivores sont plus présents en automne 2013 où ils occupent la 2<sup>ème</sup> position après les dépositives de surface avec 32% (23 ind.m<sup>2</sup>). Pendant les autres saisons, ils sont faiblement

représentés, 3% en hiver 2012 (17 ind.m<sup>2</sup>), 14% au printemps 2012 (13 ind.m<sup>2</sup>), 7% en été 2012 (8 ind.m<sup>2</sup>) et 8% en hiver 2013 (8 ind./m<sup>2</sup>). Les fortes abondances des carnivores ont été enregistrées aux alentours des passes de communications (stations 1, 3, 4, 6 et 7). Pour les détritivores, ils sont rarement et accidentellement rencontrés.

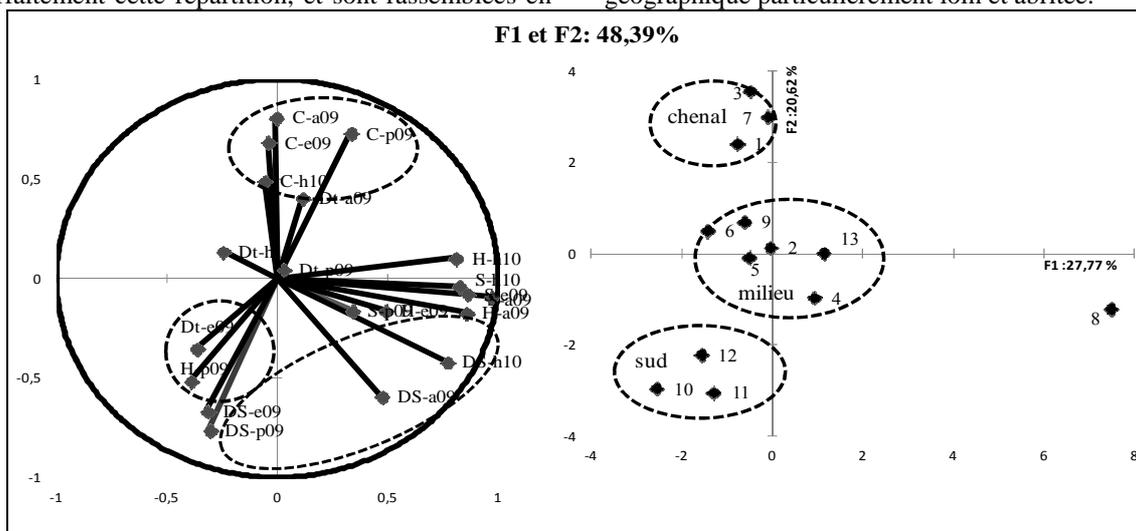
L'analyse ANOVA révèle que la différence saisonnière durant les deux périodes est significative juste pour le groupe trophique des dépositives de surface en 2012-2013 et pour le groupe des détritivores en 2009-2010 (Tab III). La différence spatiale est significative pour les carnivores en 2012-2013 et les suspensivores pour les deux périodes.

**Tableau III:** Analyse de la variance (ANOVA) effectuée sur les groupes trophiques. *dl* : degré de liberté; MS: moyennes des carrées et *P* : significativité.

2009-2010											
Principaux effets	<i>dl</i>	Carnivores		Dépositives de surface		Détritatives		Herbivores		Suspensives	
		MS	<i>P</i>	MS	<i>P</i>	MS	<i>P</i>	MS	<i>P</i>	MS	<i>P</i>
Stations	12	102	0,24	665	0,14	4158	0,86	105	0,46	959	0,003
Saisons	3	116	0,18	126	0,045	265	0,005	252	0,06	101	0,082
2012-2013											
Principaux effets	<i>dl</i>	Carnivores		Dépositives de surface		Détritatives		Herbivores		Suspensives	
		MS	<i>P</i>	MS	<i>P</i>	MS	<i>P</i>	MS	<i>P</i>	MS	<i>P</i>
Stations	12	2349	<0,001	306	0,72	75,01	0,24	463	0,28	138	<0,001
Saisons	4	532	0,66	181	<0,001	44,58	0,58	919	0,46	8265	0,183

Les 2 axes de l'analyse en composantes principales (ACP) établie sur les dominances des groupes trophiques en 2009-2010 aux stations d'échantillonnage (Fig 6) montre que les groupes trophiques (ou les variables de l'analyse) sont individualisés et les carnivores sont opposés aux dépositives de surface, alors que les autres groupes trophiques sont au milieu de la représentation. Les stations (ou les observations de l'analyse) expriment parfaitement cette répartition, et sont rassemblées en

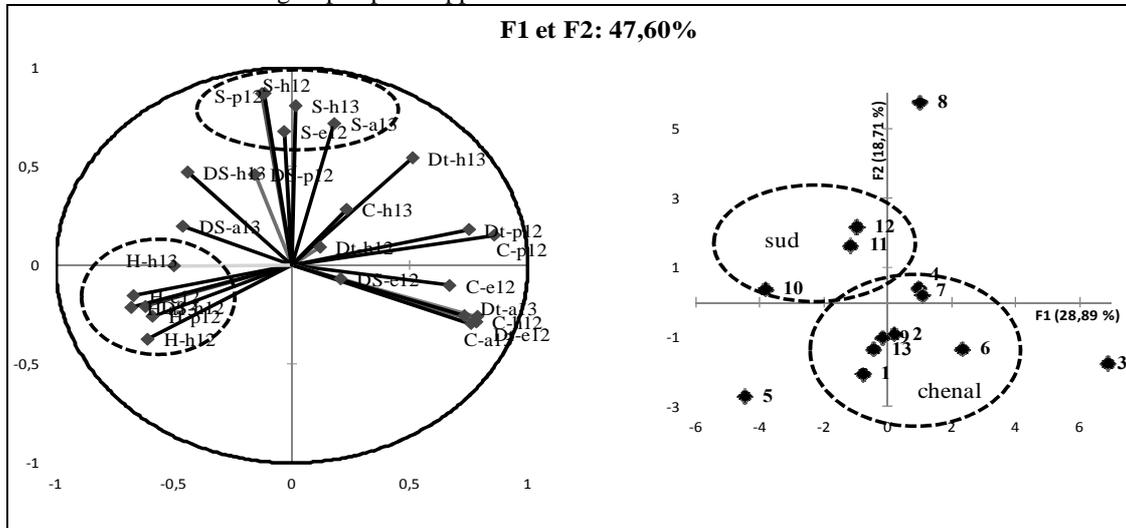
3 groupes bien consolidés et individualisés. Les stations sous influence marine (1, 3, et 7) et qui correspondent aux carnivores sont opposées aux stations du sud (10, 11 et 12) qui correspondent à 3 groupes trophiques différents (dépositives de surface, herbivores et détritatives), alors qu'au milieu de la présentation les stations du milieu de la lagune sont regroupées ensemble. Toutefois, la station 8 apparait bien isolée, à cause probablement de sa situation géographique particulièrement loin et abritée.



**Figure 6:** Analyse en composantes principales (ACP) effectuée sur les dominances des groupes trophiques aux stations d'échantillonnage (1 à 13) en 2009-2010 toutes saisons confondues. Ca: carnivores; Dt: détritatives; He: herbivores; Ds: dépositives de surface et Sp: suspensives.

L'autre analyse en composantes principales (ACP), établie sur les dominances des groupes trophiques en 2012-2013 (Fig 7), a mis en évidence un changement remarquable. Les groupes trophiques sont peu individualisés et plus rapprochés entre eux, et les stations se rassemblent en 2 groupes plus rapprochés

qu'en 2009-2010. Il s'agit des stations du sud (10, 11 et 12) et des stations sous influence des chenaux (1, 2, 3, 6, 7 et 9). Alors que les stations 5 et 8 apparaissent complètement isolées, la première semble correspondre aux suspensivores et la deuxième aux herbivores.



**Figure 7:** Analyse en composantes principales (ACP) effectuée sur les dominances des groupes trophiques aux stations d'échantillonnage (1 à 13) en 2012-2013 toutes saisons confondues. Ca: carnivores; Dt: détritovores; He: herbivores; Ds: déposivores de surface et Sp: suspensivores.

## DISCUSSION

Avant l'extension de la passe de communication d'El-Kantra (2004-2007), la lagune de Boughrara était très productive en raison de ses eaux chaudes et stagnantes et de son haut contenu nutritif qui augmentent la production phytoplanctonique et accélèrent souvent les conditions d'eutrophisation (Hamza & El Abed, 1994; Daly-Yahia & Kefi-Daly-Yahia, 2003). Les études effectuées 2 ans après cette extension montre que la lagune est toujours en danger d'eutrophisation, bien que les conditions se sont améliorées significativement (Guetat *et al.*, 2012).

D'après Khedhri *et al.* (2015), le suivi temporel des paramètres physico-chimiques montre une amélioration des conditions environnementales de la lagune entre les deux périodes de l'étude, notamment une baisse importante des substances nutritives et une hausse de l'oxygénation des eaux. Ce qui prouve que l'extension de la passe d'El-Kantra a eu un effet positif sur la qualité environnementale de la lagune.

Néanmoins, même si les conditions hydrobiologiques se sont améliorées, comparé à d'autres lagunes comme la lagune de Bizerte (Béjaoui *et al.*, 2010) et la lagune de Thau en France (Gangnery *et al.*, 2003), la lagune de Boughrara souffre toujours de certains perturbateurs. Il s'agit particulièrement de la température et la salinité qui jouent un rôle prépondérant dans la structuration et l'organisation des communautés et l'exclusion de certaines espèces ou groupes d'espèces dans les lagunes tunisiennes et

méditerranéennes en général (Afli *et al.*, 2008 b ; 2009).

Le peuplement macrobenthique de la lagune de Boughrara a montré une régression importante en nombre d'espèces et d'individus au cours des saisons de la deuxième période par rapport aux saisons de la première période. L'état du peuplement de macrofaune benthique est, en 2009-2010, similaire à celui de la lagune de Smir, avec des valeurs de RS allant de 10 à 24 (Chaouti & Bayed, 2011) et de A allant de 4460 à 34400 ind.m<sup>2</sup>, alors qu'en 2012-2013, il est similaire à celui de l'estuaire de Swan-canning en Australie (Wildsmith *et al.*, 2011). Ces derniers auteurs, ont noté aussi une importante diminution des valeurs de RS et de A suite à des travaux de restauration.

Les groupes trophiques sont exprimés dans ce travail en pourcentage pour discerner leurs dominances respectives. Mais ceci pourrait facilement induire en erreur dans le cas où les abondances sont très variables. C'est pour cette raison que l'interprétation des dominances doit tenir compte également des abondances.

La structure trophique des communautés benthiques montrée dans ce travail confirme les résultats obtenus par Bazairi *et al.* (2005) dans la lagune de Smir (Maroc) et ceux obtenus par Afli *et al.* (2008b) dans la lagune de Ghar El Melah (Tunisie) qui ont mentionné, également, la dominance des déposivores de surface aux stations intra-lagunaires. Ce groupe trophique est représenté dans la lagune de Boughrara

essentiellement par les deux gastéropodes *Cerithium vulgatum* et *C. scarbidium* qui se nourrissent des particules organiques, support de bactéries et d'algues unicellulaires, déposées sur le sédiment. Sa dominance est liée généralement aux dépôts de matière organique qui sont plus importants dans les milieux côtiers et lagunaires du fait des apports sédimentaires continentaux, et aussi du fait des dépôts de matière organique provenant du large et déposées sur le fond marin suite au ralentissement des courants (McLusky & McIntyre, 1988).

Toutefois, la domination des dépositives de surface n'est pas tout à fait systématique dans les lagunes tunisiennes et méditerranéennes, puisque d'autres groupes trophiques dominent nettement les communautés dans d'autres lagunes. Mais les travaux réalisés à ce jour montrent que la plupart des lagunes tunisiennes et méditerranéennes, sont dominées par un seul groupe trophique, voire deux groupes trophiques dans certains cas. A titre d'exemples, les carnivores dominent largement dans la lagune de Bizerte (Afli *et al.*, 2009) et les détritivores dans la lagune de Smir (Chaouti & Bayed, 2011).

Il est à noter que la présence constante des différents groupes trophiques dans la lagune de Boughrara durant les deux périodes de l'étude est certainement due à un ensemble de facteurs, notamment la disponibilité des ressources trophiques, mais probablement à la forte présence des carnivores qui empêchent toute monopolisation des ressources et laissent les autres groupes au deçà d'un certain seuil (Afli & Glémarec, 2000).

Le passage de la période 2009-2010 à la période 2012-2013 a été marqué par une régression générale de l'abondance. De ce fait, l'effectif de tous les groupes trophiques a diminué plus ou moins nettement. Mais en termes de pourcentages ou dominances, les carnivores et les suspensivores ont conforté leur dominance, sans toutefois augmenter leur abondance. Alors que les dépositives de surface sont restés dans les mêmes proportions (45%), et les détritivores et les herbivores ont nettement régressé.

Du point de vue de la variabilité saisonnière, les suspensivores sont plus abondants au printemps, alors que tous les autres groupes trophiques (carnivores, dépositives de surface, détritivores et herbivores) sont fréquents toute l'année, et leurs dominances semblent être liées à la disponibilité des ressources trophiques. Ainsi, les herbivores, par exemple, sont dominants durant l'été où la production primaire est naturellement plus intense du fait du prolongement de la photopériode avec la longueur de la journée et de la forte présence des sels nutritifs déjà acheminés par les oueds et les ruissellements pendant la saison pluvieuse (Gravina *et al.*, 1989 ; Grall & Glémarec, 1997).

Ceci semble être un signe de bonne santé de l'écosystème d'après Afli *et al.* (2009) et Aloui-

Béjaoui & Afli (2012), étant donné que dans les milieux perturbés ce sont les facteurs de perturbation qui régissent les communautés, alors que dans les milieux sains ce sont essentiellement la disponibilité des ressources trophiques et les interactions biotiques qui régissent la structure et l'organisation des communautés.

Les deux ACP, à leur tour, montrent qu'en 2009-2010 il y'avait une ségrégation nette entre les différentes parties de la lagune, les chenaux sous influence marine, le milieu de la lagune et le sud à hydrodynamisme faible. La situation change en 2012-2013 et cette ségrégation n'est plus aussi nette. Ceci prouve que le brassage des eaux suite à l'extension des passes de communication lagune-mer a engendré une certaine atténuation des paramètres physico-chimiques qui se manifeste, à son tour, dans la modération des valeurs mesurées et également une unification conséquente de la communauté de macrofaune benthique.

## CONCLUSION

Cette étude a fait état de l'écosystème de la lagune de Boughrara, deux ou trois ans après les travaux de restauration. Elle a contribué à améliorer les connaissances sur la structure et l'organisation de la communauté de macrofaune benthique.

Il est certain que les travaux d'extension des passes de communication au niveau d'El-Kantra ont accéléré les échanges d'eaux entre la lagune et la mer ouverte, ce qui a atténué les conditions environnementales à l'intérieur de la lagune (Khedhri *et al.*, 2015). Mais ces travaux semblent induire également des changements profonds au sein de la communauté de macrofaune benthique pouvant même atteindre la phase de transition (Afli, 1999 ; Khedhri, 2016). En effet, ces travaux ont certainement induit la remise en suspension des particules sédimentaires fines aux voisinages du fond, ce qui devrait avoir des conséquences sur les populations macrobenthiques, essentiellement sur les suspensivores que la vase remise en suspension risque d'obturer leur système de filtration. Il est certain que, dans de telle phase de transition, il faut plusieurs années pour ressentir des effets positifs sur la communauté benthique, car à ce stade une nouvelle structure est en train de se construire en présence de l'ancienne structure qui est en train de s'effondre.

## REMERCIEMENT

Ce travail entre dans le cadre du projet 'EBHaR' financé par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique. Les auteurs remercient toute l'équipe de terrain, M. Chokri Jbeli, M. Khaled Argoubi et M. Mohamed-Ali Oudi.

## BIBLIOGRAPHIE

- Afli A. 1999- Variabilité temporelle des peuplements macrobenthiques de la partie orientale du golfe du Morhiban (Bretagne). Thèse de doctorat. Université de Bretagne Occidentale (France). 192p.
- Afli A., R. Ayari et M. Brahim. 2008a- Trophic organization of the macro-zoobenthic assemblages within coastal areas subjected to anthropogenic activities. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 88: 663-674.
- Afli A.; R. Ayari et S. Zaabi. 2008b- Ecological quality of some Tunisian coast and lagoon locations, by using benthic community parameters and biotic indices. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 80 (2): 269-280.
- Afli A., F. Boufahja., S. Sadraoui., K. Ben Mustpha., P. Aissa et R. Mrabet. 2009- Functional organization of the benthic macrofauna in the Bizerte lagoon (SW Mediterranean Sea), semi-enclosed area subject to strong environmental/ anthropogenic variations. *Cahiers de Biologie Marine*, 50: 105-117.
- Afli A. et M. Glémarec. 2000- Fluctuation à long terme des peuplements macrobenthiques de la partie orientale du golfe du Morhiban (Bretagne, France). *Cahiers de Biologie Marine*, 41: 67-89.
- Aloui-Béjaoui N. et A. Afli. 2012- Functional diversity of the macro invertebrate community in the port area of Kerkennah Islands (Tunisia). *Mediterranean Marine Science*, 13 (1): 93-102.
- Bazairi H., A. Bayed et C. Hily. 2005- Structure et bio évaluation de l'état écologique des communautés benthiques d'un écosystème lagunaire de la côté atlantique marocaine. *Comptes Rendus Biologiques*, 328: 977-990.
- Bounouh A. 2010- Nouvelles approches en matière de protection et de gestion du littoral en Tunisie. *Méditerranée revues*, 115 (2): 45-53.
- Béjaoui B., D. Ferjani, N. Zaaboub, A. Chapelle et M. Moussa. 2010- Caractérisation hydrobiologique saisonnière de la lagune de Bizerte (Tunisie). *Revue des Sciences de l'Eau / Journal of Water Science*, 23 (3): 215-232.
- Ben Aoun Z., F. Farhat, L. Chouba et M.S. Hadj-Ali. 2007- Investigation on possible chemical pollution of the Boughrara lagoon, south of Tunisia, by chemical wastes. *Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer de Salammbô, Tunisia*, 34: 119-127.
- Ben Khemis R. 2000- Caractérisation environnementale d'un milieu lagunaire dégradé, la lagune de Boughrara. Projet de fin d'études, Institut National Agronomique de Tunisie, 364: 1-62.
- Ben Rejeb-Jenhani A. et M.S. Romdhane. 2002- Impact des perturbations anthropiques sur l'évolution du phytoplancton de la lagune de Boughrara (TUNISIE). *Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer de Salammbô, Tunisia*, 29: 65-75.
- Borja A., J. Franco et V. Pérez. 2000- A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*, 40: 1100-1114.
- Bresler V., O. Mokady, L. Fishelson., T. Feldstein et A. Abelson. 2003- Marine molluscs in environmental monitoring, II. Experimental exposure to selected pollutants. *Helgol Marine Research*, 57: 206-211.
- Chaouti A. et A. Bayed. 2011- Structure et organisation trophique du peuplement macrobenthique de la lagune méditerranéenne de Smir (Maroc). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie*, 33: 1-12.
- Daby D. 2006- Coastal pollution and potential biomonitoring of metals in Mauritius. *Water, Air and Soil Pollution*, 174: 63-91.
- Daly-Yahia M.N. 1993- Contribution à l'étude du milieu et du zooplancton de la lagune de Boughrara : systématique, biomasse et relations trophiques. Diplôme d'Etudes Approfondies, Université de Tunis II, Faculté des Sciences de Tunis, Tunisie. 215p.
- Daly-Yahia M.N. et Kefi-Daly-Yahia O. 2003- Distribution spatio-temporelle et dynamique du zooplancton de la lagune de Boughrara (année 1999-2000). *Revue de la Faculté des Sciences de Bizerte, Tunisie*, 2: 74-91.
- Daly Yahia M.N. et M.S. Romdhane. 1996- Contribution à la connaissance des cycles saisonniers du zooplancton de la mer de Boughrara (ensemble de la communauté zooplanctonique). *Revue de l'Institut National Agronomique de Tunisie*, 11 (1): 7-27.
- Derbali A., O. Jarboui., M. Ghorbel et N. Zamouri-Langer. 2008- Population, structure, distribution and relative abundance of *Cerastoderma glaucum* (Mollusca: Bivalvia) from the Boughrara Lagoon (Gulf of Gabès, Southern Tunisia). *Marine Biodiversity Records*, 2: 1-7.
- Fauchald K. et P.A. Jumars. 1979- The diet of worms, a study of Polychaete feeding guilds. *Oceanography and Marine Biology, Annual Reviews* 17: 173-284.
- Gangnery A., J.M. Chabirand, F. Lagarde, P. Le Gall, J. Oheix, C. Bacher et D. Buestel. 2003- Growth model of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, cultured in Thau Lagoon

- (Mediterranean, France). *Revue Des Sciences de l'Eau*, 215: 267-290.
- Grall J. et M. Glémarec. 1997- Biodiversité des fonds de maërl en Bretagne, approche fonctionnelle et impacts anthropiques. *Vie et Milieu*, 47: 339-349.
- Gravina M.F., A. Ardizzone, F. Scaletta et C. Chimenz. 1989- Descriptive Analysis and Classification of Benthic Communities in Some Mediterranean Coastal Lagoons (Central Italy). *Marine Ecology*, 10: 141-166.
- Guétat F., F. Sellem, F. Akrouf, M. Brahim, A. Atoui, M.S. Ben Romdhane et M.N. Daly-Yahia. 2012- Etat environnemental de la lagune de Boughrara et ses alentours deux ans après les travaux d'aménagement et d'élargissement du pont d'El-Kantara. *Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer de Salammbô, Tunisia*, 39 :149-160.
- Hamza A. et A. El Abed. 1994- Les eaux colorées dans le golfe de Gabès, bilan de sept ans de surveillance. *Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer de Salammbô*, 21: 66-77.
- Hily C. et M. Bouteille. 1999- Modifications of the specific diversity and feeding guilds in an intertidal sediment colonized by an eelgrass meadow (*Zostera marina*) (Brittany, France). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Section III- Sciences de la vie*, 322: 1121-1131.
- Huang H., J.Y. Wu et J.H. Wu. 2007- Heavy metal monitoring using bivalved shellfish from Zhejiang coastal waters, East China Sea. *Environmental monitoring and assessment*, 129: 315-320.
- Jedoui Y. 1980- Etude hydrologique et sédimentologique d'une lagune en domaine Méditerranéen: la bahiret de Boughrara (Tunisie). Thèse de Doctorat de troisième cycle. Université de Bordeaux I (France), 190p.
- Khedhri I. 2016- Variabilité temporelle de la macrofaune benthique en réponse aux variations des paramètres physico-chimiques dans la lagune de Boughrara (sud-est de la Tunisie) après l'extension des passes de communication d'El-kantra. Thèse de Doctorat, *Faculté des sciences de Tunis, Tunisie*, 196p.
- Khedhri I., H. Djabou et A. Afli. 2015- Trophic and functional organization of the benthic macrofauna in the lagoon of Boughrara – Tunisia (SW Mediterranean Sea). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 4: 647-659.
- Magni P. 2003- Biological benthic tools as indicators of coastal marine ecosystems health. *Chemistry and ecology*, 19: 363-372.
- McLusky D.S. et McIntyre A.D. 1988- Characteristics of the fauna In Postma H. et Zijlstra J.J. (eds). *Ecosystems of the world (27), Continental shelves*. Amsterdam: Elsevier, 131-151.
- Morrisey D.J., S.J. Turner, G.N. Mills, R.B. Williamson et B.E. Wise. 2003- Factors affecting the distribution of benthic macrofauna in estuaries contaminated by urban runoff. *Marine Environmental Research*, 55:113-136.
- Puente A., J.A. Juanes, A. García, C. Álvarez, J.A. Revilla et I. Carranza. 2008- Ecological assessment of soft bottom benthic communities in northern Spanish estuaries. *Ecological Indicators*, 8 (4): 373-388.
- Pranovi F., D. Curiel, A. Rismondo, M. Marzocchi et M. Scattolin. 2000- Determination of food sources for benthic invertebrates in a salt marsh (Aiguillon Bay, France) by carbon and nitrogen stable isotopes, importance of locally produced sources. *Scientia Marina*, 64: 303-388.
- Rao J.V., P. Kavitha, K. Srikanth, P.K. Usman et T.G. Rao. 2007- Environmental contamination using accumulation of metals in marine sponges, *Sigmadocia fibulata* inhabiting the coastal waters of Gulf of Mannar, India. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 89: 487-498.
- Romdhane M.S. 2001- Etude de l'amélioration de la qualité des eaux de la lagune de Boughrara. Compartiment Macrofaune benthique. Groupement SCET- Tunisie/Eco-Ressources International, 22 pp.
- Romdhane M.S., O. Kefi Daly Yahia., A. Benrejeb Jenhani et M.N. Daly Yahia. 1998- Ressources piscicoles et proliférations phytoplanctoniques dans les lagunes tunisiennes (Cas de Boughrara et Ghar El Melih). Centenaire de l'INAT 1998. [Actes du 1er séminaire International: Mobilisation, exploitation et conservation des ressources naturelles. INAT, 511-526 pp.
- Salas F., J.M. Neto, A. Borja et J.C. Marques. 2004- Evaluation of the applicability of a marine biotic index to characterize the status of estuarine ecosystems, the case of Mondego estuary (Portugal). *Ecological Indicators*, 4: 215-225.
- Seurat L.G. 1929- Observations sur les limites, les faciès et les associations animales de l'étage intercotidal de la petite Syrte (Golfe de Gabès). *Bulletin de la Station Océanographique de Salammbô, Tunisia*, 3: 1-72.
- Wildsmith M.D., T.H. Rose, I.C. Potter, R.M. Warwick et K.R. Clarke. 2011- Benthic macroinvertebrates as indicators of environmental deterioration in a large microtidal estuary. *Marine Pollution Bulletin*, 62: 525-538.

Zaouali J. 1971- La mer de Boughrara: les fonds et les peuplements végétaux. *Bulletin de l'Institut Océanographique et de Pêche de Salammbô, Tunisia*, 2: 229-235.

Zaouali J. 1974- Les peuplements malacologiques dans les biocénoses lagunaires tunisiennes. Etude de la biologie de l'espèce pionnière *Cerastoderma glaucum*. Thèse de Doctorat. Université de Caen, France. 190p.

Zaouali J. 1977- La mer de Boughrara : facteurs climatiques, physico-chimiques et édaphiques. *Bulletin de l'Office National de Pêches, Tunisie*, 1 (2): 193-205.

Zaouali J. 1980- Flore et faune benthiques de deux lagunes tunisiennes: le lac de Bizerte, Tunisie septentrionale et la mer de Boughrara, Tunisie méridionale. *Bulletin de l'Office National de Pêches, Tunisie*, 4: 169-200.