

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA STRUCTURE TROPHIQUE ET DE L'ETAT ECOLOGIQUE DU BENTHOS AU NORD DE LA LAGUNE DE GHAR EL MELH

Ines KHEDHRI¹, A. ATOUI², M. BRAHIM² et A. AFLI¹

¹Laboratoire de Biodiversité Marine, ²Laboratoire du Milieu Marin,

Institut National des Sciences et Technologies de la Mer, 28 rue du 2 mars 1934, 2025 Salammbô – Tunisie

ines.khedhri@hotmail.fr

ملخص

مساهمة في دراسة التركيبة الغذائية والحالة الإيكولوجية للمجتمعات الحيوانية القاعية في شمال بحيرة بوغرة : تصنف بحيرة غار الملح كموقع رامسار (معاهدة دولية للحفاظ والاستخدام المستدام للمناطق الرطبة). بسبب تزايد الأنشطة الاقتصادية من حولها تعرضت بحيرة غار الملح منذ سنة 1994 إلى تدهور هام في نوعية المياه و التربة و نقص حاد في الموارد السمكية والثروة البيولوجية عموما. يُعتبر هذا العمل مساهمة بسيطة لدراسة الشبكة الغذائية للافقاريات القاعية وحالتها الإيكولوجية شمال بحيرة غار الملح، بعد بضع سنوات من توسيع قناة البوغاز الرابطة بين البحيرة والبحر المفتوح. لقد تم اقتناء عينات من الرواسب على مستوى ثلاث محطات قبالة مدينة غار الملح خلال ربيع 2017. وتبين النتائج المتحصلة عليها بأن مجتمع الافقاريات القاعية عموما قليل التنوع. أما متابعة العوامل الفيزيوكيميائية والمتعلقة بالتربة فقد أظهرت تجانسا بين محطات الدراسة. تظهر الشبكة الغذائية بدورها سيطرة المجموعات التي تتغذى على المواد العضوية على سطح الرواسب، مما يعني ضعف التركيبة الغذائية للافقاريات القاعية ورغم أن معظمها ينتمي إلى المجموعة الإيكولوجية الحساسة. وهذا ما يفسر أن المؤشرات الحيوية المستخدمة تصنف محطات الدراسة في حالة إيكولوجية ممتازة. كلمات مفاتيح : بحيرة غار الملح، الافقاريات القاعية، التركيبة الغذائية، الحالة الإيكولوجية.

RESUME

La lagune de Ghar El Melh est un site Ramsar soumis à des activités anthropiques croissantes. Elle connaît depuis 1994 une dégradation importante de la qualité des eaux et des sédiments, une réduction de ses ressources halieutiques et de sa richesse biologique en général.

Le présent travail est une contribution à l'étude de la structure et de l'organisation trophique de la macrofaune benthique dans la partie nord de la lagune de Ghar El Melh, quelques années après l'élargissement de la seule passe de communication "El Boughaz" qui relie la lagune à la mer ouverte. Trois stations ont été échantillonnées en face de la ville de Ghar El Melh au cours du printemps 2017. Les résultats obtenus montrent que la communauté macro-zoobenthique y est généralement peu diversifiée. Le suivi des paramètres physico-chimiques et édaphiques montre une homogénéité spatiale de cette partie de la lagune. L'organisation trophique, à son tour, montre une dominance des espèces dépositives de surface traduisant ainsi une faible structuration des communautés benthiques et un état de déséquilibre trophique même si la quasi-totalité des espèces sont des espèces sensibles appartenant au groupe écologique 1. Ainsi les indices biotiques utilisés (AMBI et BENTIX) classent les trois stations dans un état écologique excellent.

Mots clés: lagune de Ghar El Melh, macrofaune benthique, structure trophique, état écologique.

ABSTRACT

Contribution to the study of the trophic and ecological structure of the benthos in the north of the lagoon of Ghar El Melh : The lagoon of Ghar El Melh is a Ramsar site subject to anthropogenic activities. The lagoon ecosystem has been progressively deteriorated since 1994. Its water/sediment quality, its fisheries resources and its biodiversity have been reduced.

The present work is a contribution to the study of the functional organization of the benthic macrofauna within the north part of the Ghar El Melh lagoon a few years after the extension of the El Boughaz channel which connects this lagoon to the open sea. Three stations in front of the Ghar El Melh town influences were sampled during spring 2017. Generally the results show a poor diversity of the benthic macrofauna. The registered values of the physico-chemical and sediment parameters show a spatial homogeneity of this part of the lagoon. The

trophic organization, in turn, showed the dominance of selective deposit feeders resulting in trophic imbalance despite they are sensible species belonging to the ecological group 1. This allows biotic indices (AMBI and BENTIX) to classify sampled stations at a high ecological status.

Keywords: lagoon of Ghar El Melh, benthic macrofauna, trophic structure, ecological status.

INTRODUCTION

Les invertébrés benthiques sont des indicateurs potentiellement puissants de l'état de santé de l'écosystème marin (Warwick, 1986; Dauvin, 1993; Blanchet *et al.*, 2008) grâce notamment (1) au fait qu'ils participent aux flux géochimiques étant placés dans l'interface eau-sédiment, ce qui fait d'eux d'excellents intégrateurs du changement de ces deux systèmes (Dauvin, 1993), (2) à leur sédentarité relative qui leur permet d'être un signal relativement clair des conditions environnementales proches, (3) à leur longévité qui assure une intégration des conditions environnementales sur plusieurs années leur permettant d'être utilisés dans l'évaluation des variations accidentelles et chroniques (Dauvin, 1993; Reiss et Kroncke, 2005), (4) au fait que certaines espèces sont des espèces commerciales ou en sont les proies, et enfin (5) au fait qu'ils sont constitués de groupes d'espèces de différentes tolérances au stress. Soucieuse de la dégradation continue du milieu marin en général, la communauté internationale s'est penchée, depuis quelques décennies, sur la conception d'indices basés sur ces communautés benthiques pour déceler l'état écologique des zones soumises à de fortes pressions anthropiques. Plusieurs programmes ont été avancés partout dans le monde, notamment ceux de l'Union Européenne en 2000 (Directive Cadre sur l'Eau, DCE) et des Etats Unis (Environmental Protection Agency) qui ont recommandé pour le diagnostic et la caractérisation de la qualité des milieux, l'utilisation d'indices biotiques basés sur les groupes fonctionnels ou groupes d'espèces qui subissent les mêmes effets et réagissent de manière identique dans leur environnement. Ces indices ont été largement utilisés (Borja *et al.*, 2000; Simboura et Zenetos, 2002; Bald *et al.*, 2005; Flaten *et al.*, 2006; Dauvin et Ruellet, 2007; Blanchet *et al.*, 2008; Hale et Helsthe, 2008; Lavesque *et al.*, 2009) et ont évolué en fonction des besoins depuis la mise en place du premier modèle de Hily (1984).

En Tunisie, l'application de cette approche a été tentée pour mesurer les états de dégradation de certains milieux côtiers et lagunaires (Afli *et al.* 2008 a-b, 2009a-b ; Ayari et Afli, 2008 ; khedhri *et al.*, 2017). Ainsi les lagunes tunisiennes étudiées dans ces travaux et qui sont essentiellement la lagune de Bizerte, la lagune Sud de Tunis, la lagune de Boughrara et la lagune de Ghar El Melh ont été caractérisées. Les trois premières ont montré de grandes fluctuations environnementales et

saisonniers et des signes de détérioration alors que dans la lagune de Ghar El Melh, les variables physico-chimiques et environnementales sont moins fluctuantes et l'état écologique s'est montré un peu plus satisfaisant quoique cette lagune connaît depuis 1994 une réduction de sa diversité halieutique suite à l'ensablement de la seule communication avec la mer (Mahmoudi *et al.*, 2002 ; Moussa *et al.*, 2005). Dans un travail sur la caractérisation des paramètres physico-chimiques et biologiques des eaux de la lagune de Ghar El Melh, Moussa *et al.* (2005) ont suggéré la création d'une nouvelle communication avec la mer autre que celle au niveau de «El Boughaz», qui a subi déjà des travaux de dragage et d'aménagement en 1996, et ceci pour améliorer la production de la pêche.

Le présent travail mené au printemps de 2017 dans la le nord de la lagune de Ghar El Melh est une étude pluridisciplinaire portant sur les communautés zoobenthiques, les paramètres physico-chimiques de l'eau et sur la texture sédimentaire. Il vise à mieux comprendre l'état écologique actuel de la zone et à étudier les variations spatiales des paramètres abiotiques et la réponse communautaire des macroinvertébrés benthiques, d'autant qu'on dispose de données historiques sur ce même site (Afli *et al.*, 2009a), permettant de jalonner l'évolution à long terme de cet écosystème. Il vise aussi à tester l'applicabilité des indices biotiques dans un tel écosystème lagunaire.

MATERIEL ET METHODES

Site de l'étude

La lagune de Ghar El Melh est située dans le bassin Sud de la Méditerranée, au Nord de la Tunisie (37°06'–37°10'N et 10°08'–10°15'E) (Fig. 1). C'est un complexe lagunaire classé comme site Ramsar (Ramsar, 2007) abritant un nombre important d'oiseaux migrateurs (Ayache *et al.*, 2009 ; Dhib *et al.*, 2013a). Il comprend trois zones humides d'environ 35 km² (la lagune principale, Sabkhet El Ouafi et Sabkhet Sidi Ali El Mekki) et de profondeur variant entre 0,2 et 3,8 m (SCET-ERI, 2000). Le fond de la lagune est relativement vaseux (Rasmussen *et al.*, 2009) . La lagune de Ghar El Melh communique avec la mer ouverte par un seul canal, à l'Est, appelé «El Boughaz » dont la profondeur moyenne est de 0,8 m (Chakroun, 2004). Suite à un ensablement continu, cette passe a subi des travaux de dragage depuis 1996 (Moussa *et al.*, 2005). Les apports alluviaux subissent des variations saisonnières, ils sont faibles et limités

en été, et importants en hiver avec parfois la présence d'inondations exceptionnelles créant une connexion entre la lagune et l'oued Medjerda (Dhib *et al.*, 2013b).

Actuellement, les travaux de déplacement de l'embouchure de l'oued Medjerda vers le sud et des constructions de barrages sur ses rives ont nettement diminué les apports d'eau douce, à l'exception des

périodes de fortes crues (Ayache *et al.*, 2009). Ceci a engendré la présence d'un gradient de salinité croissant considérable au niveau de cette lagune (Dhib *et al.*, 2013a).

Echantillonnage et analyse de laboratoire

L'échantillonnage a été effectué au niveau de 3 stations au cours du printemps 2017 (Fig 1, Tab I).

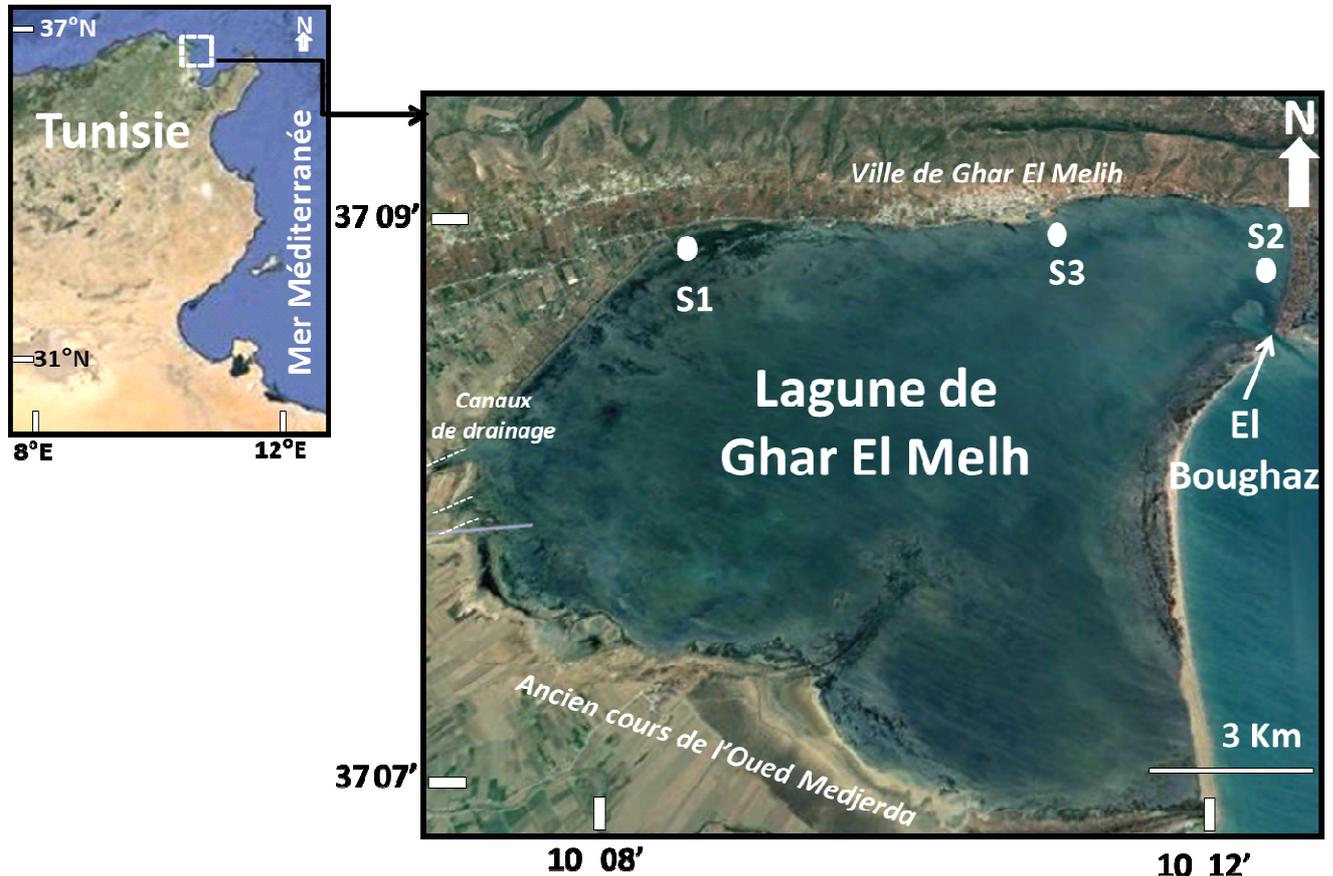


Figure 1: Situation géographique de la lagune de Ghar El Melh et localisation des stations échantillonnées au printemps 2017 (S1, S2 et S3).

Tableau I : Caractéristiques des stations d'échantillonnage dans la lagune de Ghar El Melh au printemps 2017.

	Longitude	Latitude	Profondeur	% fractions sédimentaires	
Stations	(E)	(N)	(m)	(<63µm)	(>63µm)
S1	10°16'18''	37°16'75''	0,3	0,644	99,356
S2	10°22'17''	37°15'77''	0,5	0,334	99,666
S3	10°19'85''	37°16'97''	1	1,172	98,828

Sur terrain, les mesures de la température, la salinité, du pH et de l'oxygène dissous ont été effectuées à l'aide d'un Multi paramètres 340i /SET (WTW). Des échantillons d'eau de surface ont été également prélevés, et ont été conservés à moins de 4°C dans une glacière afin de déterminer ultérieurement la teneur en principaux sels nutritifs (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , P-total et N-total) avec Bran-Luebbe Autoanalyseur 3 (APHA, 1992).

La concentration en chlorophylle *a* a été déterminée selon la méthode de Lorenzen et Jeffrey (1980) et qui consiste à mesurer la fluorescence à l'aide d'un spectromètre aux longueurs d'onde 750 nm et 665 nm préalablement étalonné par la solution d'acétone à 90%.

Les échantillons de sédiment destinés aux analyses granulométriques ont été séchés à 50 °C, pesés et ensuite tamisés sous l'eau sur un tamis de mailles carrées de 63µm de côté pour se débarrasser de la fraction fine. Le refus est ensuite séché et passé durant 10 minutes sur une série de tamis de type AFNOR dont les mailles (en µm) varient de 63 à 1250 (63, 100, 125, 160, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000 et 1250).

L'échantillonnage de la macrofaune benthique a été réalisé à l'aide d'un quadra de 0,25 m² à raison de trois répliques à chaque station. Chaque échantillon a été ensuite tamisé sous jets d'eau de mer sur tamis de mailles carrées de 1mm de côté. Le refus a été conservé au formol (7%) dans des bocaux étiquetés portant les indications relatives à chaque station. Au laboratoire, les échantillons ont été triés. Les invertébrés macrobenthiques recueillis ont été ensuite conservés dans l'alcool dilué à 70% pour être identifiés 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

Pour l'analyse granulométrique, des courbes semi logarithmiques du pourcentage cumulé des refus de tamis ont été établies pour chaque station. Les indices de classement des particules comme la moyenne (Mz), l'écart-type (σ) et le coefficient d'asymétrie (Skewness) ont été calculés selon Folk et Word (1957). Le mode de transport a été déterminé avec le diagramme de Passega (1957).

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 (RS, nombre d'espèces recueillies), de l'abondance (A, nombre d'individus au m²), de l'indice de Shannon-Wiener (H') (Shannon et Weaver, 1963) et de l'indice de Pielou ou équitabilité (J') (Pielou, 1966).

Les espèces identifiées ont été classées dans des groupes trophiques selon la classification de Fauchald

et Jumars (1979), modifiée ensuite par Grall et Glémarec (1997), Hily et Bouteille (1999), Afli et 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, etc.).

-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 débris 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 sabillaridés, serpulidés).

-Dépositivores de surface (DS) : se nourrissent de particules organiques, support de bactéries et d'algues unicellulaires, qui se déposent sur le sédiment (polychètes sédentaires, mollusques bivalves, crustacés, etc.).

Les deux indices biotiques AMBI (AZTI Marine Biotic Index) (Borja *et al.*, 2000) et BENTIX (Simboura et Zenetos, 2002) ont été calculés afin d'évaluer la réponse des communautés benthiques vis-à-vis de la dégradation des conditions environnementales du milieu en se basant sur les dominances relatives des 5 groupes écologiques (GE) établis par Glémarec et Hily (1981) (GE 1 : espèces sensibles; GE 2: espèces indifférentes; GE 3: espèces tolérantes; GE 4: espèces opportunistes de second ordre et GE 5: espèces opportunistes de premier ordre). Ces deux indices sont utilisés conjointement parce que l'efficacité du premier peut être réduite dans le cas où le nombre de taxons et/ou d'individus dans une station sont faibles (Borja et Muxika, 2005) et le deuxième est indépendant du type du substrat et du volume de l'échantillon (Simboura et Zenetos, 2002).

La significativité statistique des paramètres abiotiques (température, salinité, oxygène dissous, pH, NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , P-total et N-total) et des paramètres biotiques (RS, A, J', H', chlorophylle *a*, AMBI et BENTIX) ont été testés par le test de Student en utilisant le logiciel STATISTICA8.

RESULTATS

Analyse de l'eau

Le tableau II exprime les teneurs en principaux paramètres physico-chimiques et en chlorophylle *a* dans la lagune de Ghar El Melh au printemps. Certains paramètres enregistrent d'importantes teneurs, à l'instar de l'ammonium et des nitrates. Par contre, les autres paramètres (oxygène dissous, nitrites et phosphates) montrent des teneurs plus faibles

La station S1 enregistre des valeurs élevées pour la plupart des paramètres: nitrites (0,269 $\mu\text{mol/l}$), nitrates (2,97 $\mu\text{mol/l}$), ammonium (12,34 $\mu\text{mol/l}$), phosphates (0,21 $\mu\text{mol/l}$), chlorophylle *a* (4,95 mg/m^3), pH (8,22), azote total (20,54 $\mu\text{mol/l}$) et phosphore total (3,65 $\mu\text{mol/l}$) (Tab II).

Tableau II : Variation des principaux paramètres physico-chimiques dans la lagune de Ghar El Melh au printemps 2017. T: température; S: salinité; O₂: oxygène dissous; pH; NO₂⁻: nitrite; NO₃⁻: nitrate; NH⁴⁺: ammonium; PO₄³⁻: phosphate, NT: azote total; PT: phosphore total et Chl *a* : chlorophylle *a*.

Paramètres	Stations		
	S1	S2	S3
T (°C)	16	17,5	18
S	36,5	38,2	37,1
O ₂ (mg/l)	5,17	5,23	5,69
pH	8,22	8,17	8,05
Chl <i>a</i> (mg/m ³)	4,95	3,62	3,26
NO ₂ ⁻ ($\mu\text{mol/l}$)	0,269	0,198	0,247
NO ₃ ⁻ ($\mu\text{mol/l}$)	2,97	2,35	2,81
NH ⁴⁺ ($\mu\text{mol/l}$)	12,34	9,20	11,64
PO ₄ ³⁻ ($\mu\text{mol/l}$)	0,21	0,16	0,18
NT ($\mu\text{mol/l}$)	20,54	17,63	20,32
PT ($\mu\text{mol/l}$)	3,65	3,50	3,12

Ces mêmes paramètres ont enregistré des valeurs plus faibles au niveau de la station S2 (0,198 $\mu\text{mol/l}$ pour les nitrites ; 2,35 $\mu\text{mol/l}$ pour les nitrates ; 9,20 $\mu\text{mol/l}$ pour l'ammonium ; 0,16 $\mu\text{mol/l}$ pour les phosphates et 17,63 $\mu\text{mol/l}$ pour l'azote total), hormis la chlorophylle *a*, le pH et le phosphore total. La température de l'eau de surface au printemps est de 16°C à la station S1, 17,5°C à la station S2 et 18°C à la station S3. Pour la salinité, la plus forte valeur (38,2 psu) est mesurée à la station S2, la plus proche de la mer est la moins touchée par les apports d'eaux continentales. En s'éloignant de la mer, cette valeur diminue, elle est de 37,1 psu à la station S3 et 36,5 psu à la station S1. La concentration en oxygène dissous est plus importante à la station S3 (5,69 mg/l) qu'aux stations S1 (5,17 mg/l) et S2 (5,23 mg/l). Le pH est alcalin et fluctue entre 8,05 à la station S3 et 8,22 à la station S1. Les teneurs en chlorophylle *a* sont de 3,26 mg/m³ à la station S3, de 3,62 mg/m³ à la station S2 et de 4,95 mg/m³ à la station S1. Le phosphore total présente des valeurs presque comparables ; 3,12 $\mu\text{mol/l}$ à S3, 3,50 $\mu\text{mol/l}$ à S2 et 3,65 $\mu\text{mol/l}$ à S1.

Seuls les phosphates montrent une différence significative entre les stations ($p < 0,001$), alors que le reste des paramètres physico-chimiques mesurés et la chlorophylle *a* présentent des différences non significatives ($p > 0,05$).

Analyse granulométrique

Les analyses granulométriques montrent une teneur plus importante de la fraction grossière (>63 μm) aux stations S1 (98,82%) et S3 (99,66%), alors qu'à la station S2 le sédiment est constitué de sable moyen. Les courbes granulométriques montrent deux formes (Fig 2). La première (S2) est sous forme d'un S à forte pente, bien redressée et bien régulière. Une telle forme de courbe montre que le stock sédimentaire est homogène et que les conditions d'énergie sont adaptées à la charge transportée. La deuxième forme caractérise les stations S1 et S3, et reflète un faciès hyperbolique.

La position des points représentatifs des sédiments superficiels des stations d'échantillonnage sur le diagramme de Passega (1957) (Fig 3) montre deux différents modes de transport des sédiments dans la lagune de Ghar El Melh. Le premier est un transport essentiellement par roulement et par suspension gradée représenté par la branche (PO) du diagramme de Passega. Les sédiments correspondant à ce mode de transport sont les sables de la station S2. Le deuxième mode est un transport exclusivement par roulement (branche ON) caractérisant les sédiments grossiers au niveau des stations S1 et S3 (Fig 3).

La macrofaune benthique

Les valeurs enregistrées de la richesse spécifique (RS) sont de 3 espèces à la station S3, 4 espèces à la station S1 et 9 espèces à la station S2. L'abondance (A) montre à son tour des valeurs de quelques dizaines d'individus au m², elle est de 80 ind./m² à S3 et 34 ind./m² à S1 (Fig 4). L'indice de Shannon-Wiener (H') est très fluctuant dans la lagune de Ghar El Melh. Il est de 0,74 bits/ind. à S3, 1,6 bits/ind. à S1 et 2,62 bits/ind. à S2. L'équitabilité (J') est nettement plus faible à S3 (0,46), la valeur la plus élevée a été enregistrée à S2 (0,82), alors que S1 enregistre une valeur de 0,80. Les indices biotiques AMBI et BENTIX basés sur la polluo-sensibilité des espèces de la macrofaune benthique classent les stations de la lagune dans un état écologique excellent (Fig 5).

Le test de Student réalisé sur les paramètres de la macrofaune benthique montre une différence significative ($p < 0,05$) pour la richesse spécifique (RS), l'abondance (A), l'indice de Shannon-Wiener (H') et AMBI. Alors que l'équitabilité (J') et BENTIX ne présentent pas de différences significatives entre les stations.

La répartition des groupes trophiques (Fig 6a) a révélé globalement la dominance des déposivores de surface au niveau des stations S1 et S3 avec des pourcentages respectivement de 82% et 87%. Les détritivores sont plus présents à S2 avec 55% et à S3 avec 15%. Pour les suspensivores et les herbivores, ils sont présents seulement à S1, par contre les carnivores sont présents uniquement à S2 avec 35%.

Le groupe écologique 1 des espèces sensibles domine les stations S1 et S3, avec des proportions de 82% et 90% respectivement (Fig 6b). Le groupe 2 des espèces indifférentes est représenté au niveau des

stations S2 et S3, mais avec des abondances plus faibles. L'apparition du groupe écologique 3 au niveau de la station S1 (12%) et S2 (19%) indique que la lagune recourt des risques de dégradation.

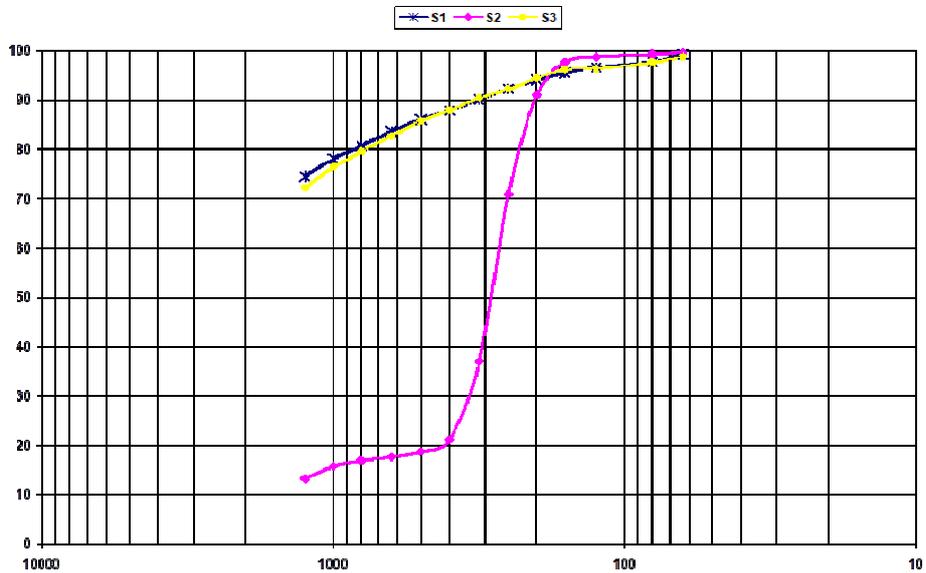


Figure 2: Courbes granulométriques cumulatives dans la lagune de Ghar El Melh au printemps 2017.

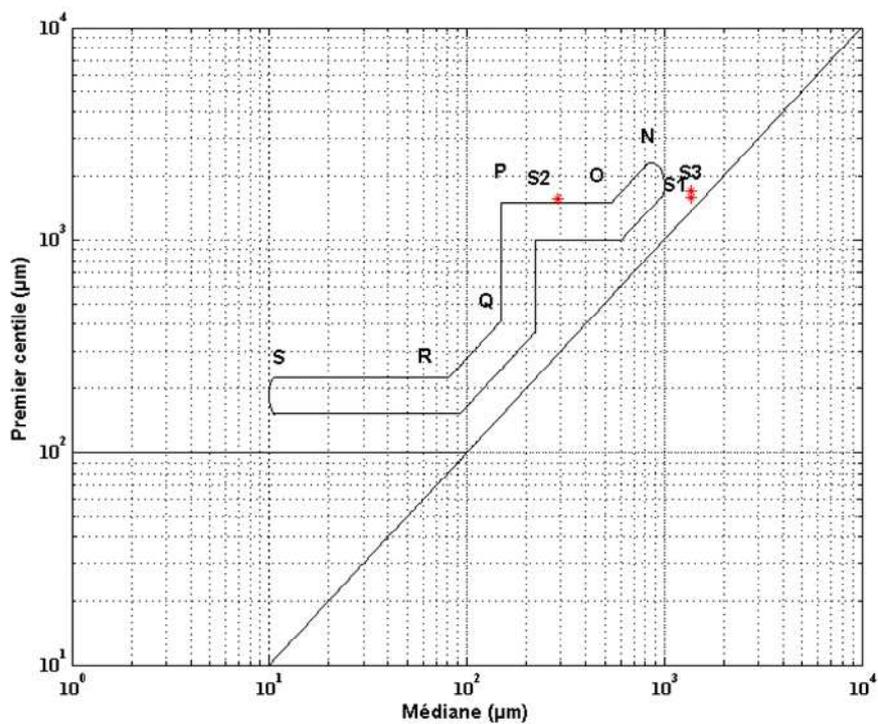


Figure 3: Mode de transport de Passega dans la lagune de Ghar El Melh au printemps 2017.

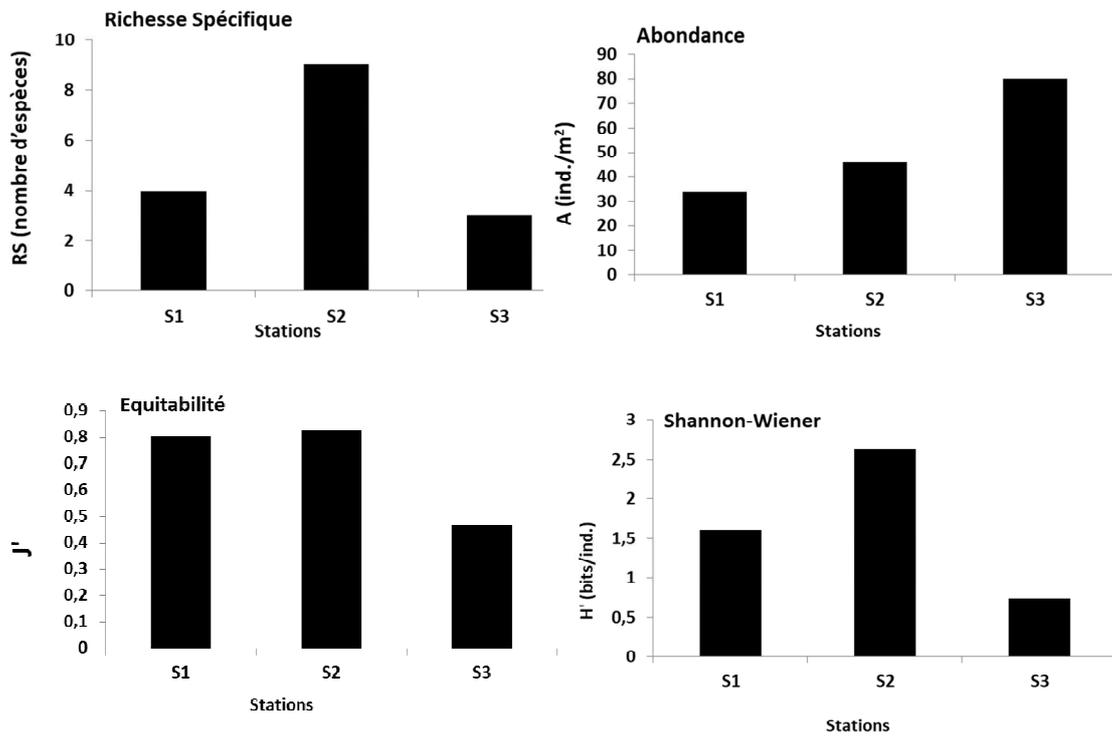


Figure 4: Variation des principaux paramètres de la macrofaune benthique dans la lagune de Ghar El Melh au printemps 2017. RS: richesse spécifique; A: abondance; J': Equitabilité et H': indice de Shannon-Wiener.

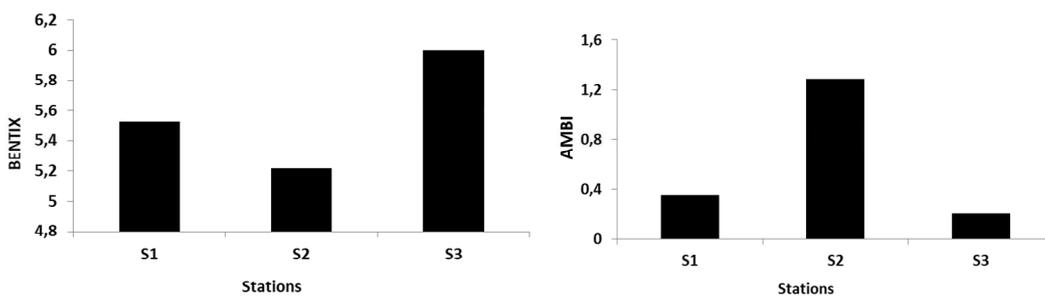


Figure 5: Variation spatiale des indices biotiques dans la lagune de Ghar El Melh au printemps 2017.

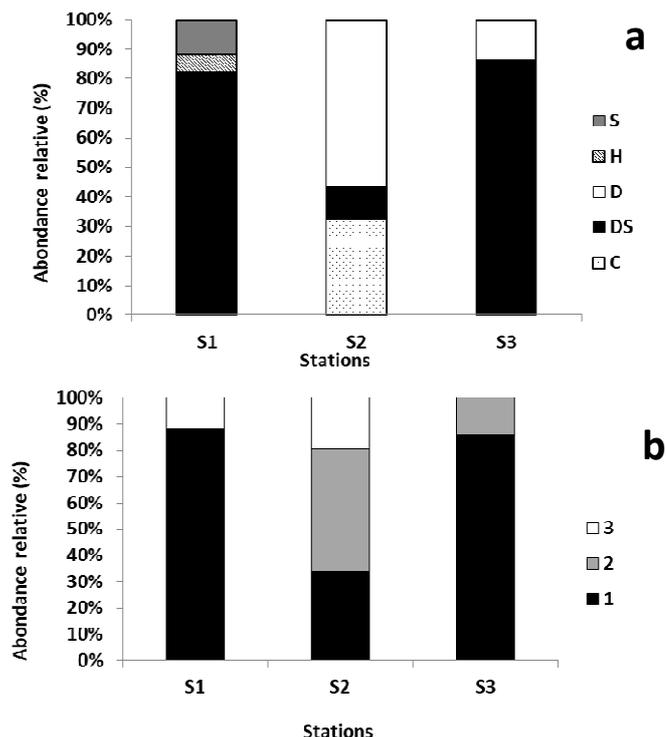


Figure 6: (a) Variation des dominances des groupes trophiques (S: suspensivores; H: herbivores; D: détritivores; DS: déposivores de surface et C: carnivores.) et (b) des groupes écologiques (1: espèces sensibles, 2: espèces indifférentes et 3: espèces tolérantes) dans la lagune de Ghar El Melh au printemps 2017.

DISCUSSION

Paramètres physico-chimiques et édaphiques et chlorophylle a

L'étude de certains paramètres de l'eau entreprise au printemps de 2017 dans la lagune de Ghar El Melh a permis de définir quelques traits de son fonctionnement hydrologique. La température de l'eau de la lagune de Ghar El Melh reste dans la gamme des valeurs enregistrées dans les milieux côtiers méditerranéens (Dhib *et al.*, 2016; Khedhri *et al.*, 2017). Par contre, la salinité ne montre pas de contrastes qui sont détectés souvent dans la plupart des lagunes tunisiennes précédemment citées, quoiqu'il existe une légère différence entre la valeur la plus élevée à la station S2, et les deux valeurs détectées aux deux stations S1 et S3. Cette différence est due semble-t-il à l'influence marine sur la station S2. Dhib *et al.* (2016) ont enregistré au niveau de cette même lagune des valeurs de salinité comprises entre 36,1 et 37,5 psu pour la même saison printanière et un pic de l'ordre de 51 psu en été qui est dû à l'évaporation très importante et à l'inexistence d'apports d'eau douce. Plus loin au Sud de la Tunisie, Khedhri *et al.* (2017) ont enregistré dans la lagune de Boughrara des valeurs de salinité très élevées qui ont pu atteindre 50 psu en hiver. Ces valeurs sont expliquées par la faible connexion avec la mer ouverte et le climat aride de la région. La valeur la plus élevée du pH (8,22) enregistrée sur la côte nord de la lagune caractérise la station S1 là où

la température présente la valeur la moins faible (16°C). Généralement, les trois valeurs de pH enregistrées sont corrélées positivement avec celles de la matière azotée sous forme ammoniacale. Des pH plus alcalins (8 à 8,6) ont été observés au niveau de cette même lagune par Dhib *et al.* (2016). Pour la concentration en oxygène dissous, les trois valeurs enregistrées sont relativement faibles par rapport au seuil recommandé pour la qualité des eaux marines et estuariennes qui est de l'ordre de 8 mg/l (CCME, 1996). Quatre ans après les travaux menés sur la passe de « El Boughaz », des teneurs moyennes en oxygène dissous variant de 6 mg/l en juin à 14 mg/l en janvier ont été enregistrées (SCET-ERI, 2000).

La concentration la plus importante en chlorophylle a (4,95 mg/m³) a été enregistrée au niveau de la station S1, la plus éloignée de la mer et qui se trouve dans une zone d'eau stagnante. Cette station connaît probablement une légère poussée phytoplanctonique favorisée par les apports d'éléments nutritifs par drainage des terrains agricoles. Moussa *et al.* (2005) ont observé, dans cette même lagune, des teneurs qui oscillent entre 2,2 mg/m³ en février et 54 mg/m³ en été. Khedhri *et al.* (2017) ont donné des teneurs autour de 5,27 mg/m³ dans la lagune de Boughrara. Au mois d'avril, Béjaoui *et al.* (2010) ont trouvé, dans la lagune de Bizerte, des teneurs de 5,2-6,5 mg/m³. La teneur la plus faible en chlorophylle (a) (3,26 mg/m³) a été enregistrée à la station S3 en face du port de Ghar El Melh, donc dans la zone de passage des embarcations là où la colonne d'eau est

continuellement remaniée. Pour cette raison aussi, la concentration en oxygène dissous y est la plus élevée (5,69 mg/l) quoiqu'elle reste toujours en dessous des normes.

Le pH et la teneur en chlorophylle *a* évoluent en parallèle et inversement avec l'oxygène dissous, processus naturel en relation avec la production primaire. Ce dernier est plus importante à la station S1.

En ce qui concerne les nitrites, nitrates et phosphates, les teneurs sont comparables à celles obtenues par Dhib *et al.* (2016) dans la même lagune et qui ne dépassent pas 1 $\mu\text{mol/l}$ pour les nitrites et les phosphates. Cependant, pour l'ammonium et l'azote total, les teneurs enregistrées au cours de la présente étude sont nettement supérieures à celles données par Dhib *et al.* (2016), ce qui est probablement dû à une influence plus importante des rejets urbains et surtout agricoles, gorgés d'engrais azotés, sur ces stations situées sur les berges nord de la lagune. Les concentrations en phosphore total (3,65 $\mu\text{mol/l}$) sont presque similaires à celles observées par Dhib *et al.* (2016) dans la même lagune et au cours de la même saison printanière (3,13 $\mu\text{mol/l}$).

Généralement, les teneurs en nitrite (NO_2^-), nitrate (NO_3^-), ammonium (NH_4^+), phosphate (PO_4^{3-}), azote total (NT), phosphore total (PT) et chlorophylle *a* augmentent en allant de la communication avec la mer (S2) vers la station S1 la plus sujette aux alluvions continentaux témoignant d'un état d'eutrophisation. Ces derniers sont déjà signalés par Dhib *et al.* (2016) qui ont défini les principaux facteurs qui accentuent la prolifération des procaryotes hétérotrophes et des nanophytoplanctons, ce sont essentiellement la concentration en azote total et en phosphore total en rapport avec les rejets agricoles.

Il est donc évident que les grandes fluctuations des paramètres environnementaux en relation avec la température, les précipitations, la salinité et la forte présence du phytoplancton régissent le fonctionnement de l'écosystème lagunaire de Ghar El Melh, et que les activités anthropiques viennent accentuer les conséquences (Afli *et al.*, 2009a; Khedhri *et al.*, 2017).

L'analyse granulométrique au niveau des trois stations a révélé que les sédiments sont composés de sables moyens et grossiers. Khedhri *et al.* (2016) ont observé cette même répartition hétérogène des grains sédimentaires au niveau de la lagune de Boughrara. Cependant, au niveau de la même lagune de Ghar El Melh, Afli *et al.* (2009b) ont montré que la texture sédimentaire est essentiellement composée de sable fin. Pas loin de cette lagune, Brahim *et al.* (2013) ont montré que la lagune de Bizerte est constituée en grande majorité de sable-vaseux.

Les courbes cumulatives semi-logarithmiques de la fraction grossière des sédiments de surface des petits

fonds présentent des formes variées d'allure et donc de divergentes dynamiques (Riviere, 1952; 1953; Lafond, 1953; 1965; Despairies, 1974). Les représentations graphiques prennent la forme d'un S et la forme hyperbolique, indiquant la présence de modes de transport par roulement pour les stations S1 et S3 et par roulement et suspension gradée pour la station S2. Ce qui montre que l'hydrodynamisme est plus important dans cette dernière station proche de la communication avec la mer et qui est faible dans le reste des stations à l'intérieur de la lagune où les sédiments sont déposés par décantation. Ce même schéma correspondant au mode de transport par roulement est observé dans presque toutes les lagunes tunisiennes, comme la lagune de Bizerte (Brahim *et al.*, 2013) et la lagune de Boughrara (Khedhri *et al.*, 2016).

Tableau III: Indices granulométriques (in Φ) des sédiments superficiels de la lagune de Ghar El Melh au printemps 2017. σ : écart type; Skewness: coefficient d'asymétrie et Mz: Moyenne.

Stations	Moyenne	Ecart	Skewness
S1	-0,119	0,808	0,813
S2	1,351	0,997	-0,570
S3	-0,084	0,816	0,813

Peuplement macro-zoobenthique: bionomie, structure et organisation

Ce travail a permis d'inventorier, dans la lagune de Ghar El Melh au printemps, 160 individus de macro-zoobenthos répartis entre 13 espèces. Les crustacés sont les plus abondants, ils sont représentés essentiellement par l'espèce *Sphaeroma serratum* et sont suivis respectivement par les mollusques, les échinodermes et les polychètes.

En comparaison avec des travaux antérieurs, notamment ceux d'Afli *et al.* (2009b) et de Ben Romdhane et Ktari-Chakroun (1986) réalisés dans cette même lagune de Ghar El Melh, les tendances semblent légèrement variées; les mollusques qui présentaient la principale composante zoologique du macro-zoobenthos sont substitués par les crustacés dans cette présente étude.

Cette codominance mollusques/crustacés/annélides est commune dans les lagunes Méditerranéennes, comme celle de Bizerte (Afli *et al.*, 2009a) et de Boughrara (Khedhri *et al.*, 2017) en Tunisie et celle de Thau en France (Gangnery *et al.*, 2003).

Le peuplement macrobenthique au nord de la lagune de Ghar El Melh est, en termes de richesse spécifique (RS), similaire à celui décrit par Afli *et al.* (2009b) au niveau de la même lagune, avec des valeurs de RS allant de 1 à 15. Toutefois, les valeurs de l'abondance enregistrées (A) pour la même saison ont régressées, passant de 300 ind./m² (Afli *et al.*, 2009b) à 90 ind./m² dans cette présente étude. Mais, il faut

prendre ces chiffres avec beaucoup de précautions étant donné que l'effort d'échantillonnage est incomparable dans les deux études.

La faune benthique est généralement dominée par les organismes dépositives de surface. Ils sont représentés essentiellement par *Sphaeroma serratum* et *Abra alba* qui se nourrissent des particules organiques, support de bactéries et d'algues unicellulaires, déposées sur le sédiment. La dominance des dépositives de surface est liée généralement aux dépôts de matière organique qui sont plus importants dans les lagunes du fait des apports sédimentaires continentaux et du ralentissement des courants dans ce genre de milieux semi fermés.

Ces résultats rejoignent ceux obtenus par Afli *et al.* (2009b) au niveau de la même lagune et ceux de Khedhri *et al.* (2017) au niveau de la lagune de Boughrara qui ont mentionné, également, la dominance des dépositives de surface aux stations lagunaires. Toutefois, la dominance des dépositives de surface n'est pas tout à fait systématique dans les lagunes tunisiennes et méditerranéennes, puisque d'autres groupes trophiques ont dominé nettement les communautés dans d'autres lagunes. C'est les cas des carnivores dans la lagune de Bizerte (Afli *et al.*, 2009a) et des détritivores dans la lagune de Smir (Chaouti et Bayed, 2011).

En termes de dominance des groupes d'espèces de polluo-sensibilité différente, le groupe écologique 1 est sans rival aux deux stations S1 et S3, ce qui témoigne d'un état écologique satisfaisant. Toutefois, la présence surtout dans la station S2, des espèces indifférentes et des espèces tolérantes qui attendent le moment propice pour proliférer (Grall et Glémarec, 1997; Glémarec et Grall, 2000; Aloui-Béjaoui et Afli, 2012), laisse entrevoir une menace environnementale si les facteurs de perturbation persistent encore. Pour cette raison la valeur de l'indice biotique AMBI est légèrement supérieure à 1,2, ce qui classe la station S2 en voie de déséquilibre écologique. Par ce même indice, les deux stations S1 et S3 s'avèrent appauvries mais de qualité écologique normale. Les valeurs de l'indice de diversité de Shannon (H') calculées dans cette étude montrent que la station S2 est polluée et que les deux stations S1 et S3 sont extrêmement polluées. H' s'avère plus sévère et classe la lagune dans un état écologique mauvais et médiocre indiquant la présence d'une pollution intense alors que l'AMBI montre que la situation n'est pas à ce point inquiétante. Toutefois, H' a été largement critiqué dans la littérature en tant qu'indice biotique, car il est initialement conçu pour décrire la façon dont les individus sont répartis entre les espèces présentes, et non pour décrire l'état écologique du milieu (Afli *et al.*, 2009a).

L'indice BENTIX classe les trois stations dans un état normal, même la station S2 qui présente un

pourcentage d'espèces indifférentes et tolérantes supérieur à celui des espèces sensibles. Les valeurs calculées du BENTIX sont entre 5,2 et 6, ce qui témoigne d'une qualité écologique élevée contrairement à nos observations sur le terrain (forte prolifération d'espèces végétales indicatrices de pollution et stagnation des eaux). La conception même de cet indice pose souvent problème. En effet, en réduisant le calcul par le regroupement des espèces sensibles (groupe écologique I) et des espèces indifférentes (groupe écologique II), le BENTIX risque de classer les espèces dans des groupes écologiques inappropriés, ce qui aggrave la situation lorsque le nombre de groupes est réduit (Borja *et al.*, 2004). Dans notre zone d'étude, seulement trois groupes écologiques (GE 1, GE 2 et G 3) sont présents, donc le BENTIX est plus sensible que l'AMBI qui s'avère plus applicable dans notre situation. Néanmoins, le résultat donné par ce dernier indice, doit être pris avec précaution surtout pour la station S1 là où la richesse spécifique et l'abondance sont faibles; condition qui réduit la fiabilité de l'AMBI d'après Borja et Muxika (2005).

Cet état écologique au nord de la lagune de Ghar El Melh a été aussi observé par Khedhri *et al.* (2017) dans la lagune de Boughrara qui s'est montrée en bon état écologique malgré la présence d'espèces opportunistes.

CONCLUSION

Cette étude a contribué à actualiser les connaissances sur la structure et l'organisation de la communauté de macrofaune benthique dans la lagune de Ghar EL Melh. Le cortège faunistique ainsi que l'état écologique y sont typiques de celui des lagunes tunisiennes. Une forte fluctuation des paramètres environnementaux comme l'oxygène dissous, la salinité et les éléments nutritifs peut déstabiliser l'organisation de la communauté présente dans ces milieux. De nouveaux travaux de dragage de la seule communication lagune-mer s'avèrent aujourd'hui nécessaires et urgents pour mieux accélérer le brassage des eaux de la lagune et homogénéiser les conditions physico-chimiques des eaux et des sédiments afin de rétablir l'équilibre de la structure et l'organisation des peuplements macro-zoobenthiques de cet écosystème qui pourrait recourir des risques environnementaux sérieux si les conditions se détériorent davantage.

Remerciements

Ce travail a été réalisé conjointement à l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer (INSTM) et l'Institut Supérieur de Biotechnologies de Béja (ISBB). Les auteurs remercient toutes les personnes ayant contribué à sa réalisation.

BIBLIOGRAPHIE

- 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. 2009a- Functional organisation 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., R. Chakroun., R Ayari. et P. Aissa. 2009b- Seasonal and spatial variability of the community and trophic structure of the benthic macrofauna within Tunisian lagoonal and marine coastal areas (southwestern Mediterranean). *Journal of Coastal Research*, 25: 140-149.
- 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.
- APHA. 1992- American Public Health Association. 1992- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. *American Public Health Association*, Washington, DC.
- Ayache F., J.R.Thompson., R.J. Flower., A.Boujarra., F. Rouatbi. et H. Makina. 2009- Environmental characteristics, landscape history and pressures on three coastal lagoons in the Southern Mediterranean Region: Merja Zerga (Morocco), Ghar El Melh (Tunisia) and Lake Manzala (Egypt). *Hydrobiologia*, 622 : 15-43.
- Ayari R. et A. Afli. 2008- Functional groups to establish the ecological quality of soft benthic fauna within Tunis bay (Western Mediterranean). *Vie et milieu*. 58 (1): 67-75.
- Bald J., A. Borja., I. Muxika., F. Franco. et V. Valencia. 2005- Assessing reference conditions and physico-chemical status according to the European Water Framework Directive: a case-study from the Basque Country (Northern Spain). *Marine Pollution Bulletin*, 50: 1508-1522.
- Béjaoui B., D. Ferjani., N. Zaaboub., A Chapelle. et M. Moussa. 2010- Caractérisation hydrobiologique saisonnière de la lagune de Bizerte (Tunisie). *Journal of Water Science*, 23: 215-232.
- Ben Romdhane M.S. et F. Ktari-Chakroun. 1986- Les peuplements benthiques de la lagune de Ghar El Melh. *Bulletin de l'Institut National Scientifique Technologique et Océanographique Pêche Salammbô*, 13 : 95-108.
- Blanchet H., N. Lavesque., T. Ruellet., J.C. Dauvin., P.G. Sauriau., N. Desroy., C. Desclaux., M. Leconte., G. Bachelet., A.L. Janson., C. Bessineton., S. Duhamel., J. Jourde., S. Mayot., S. Simon. et X. de Montaudouin. 2008- Use of biotic indices in semi-enclosed coastal ecosystems and transitional waters habitats – implications for the implementation of the European Water Framework Directive. *Ecological Indicators*, 8: 360-372.
- Borja A., J. Franco. et V. Pérez. 2000- A marine biotic index to the establish ecology quality of soft-bottom benthos within European estuarine coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*, 40: 1100-1114.
- Borja A., J. Franco, et I. Muxika 2004- The biotic indices and the Water Framework Directive : the required consensus in the new benthic monitoring tools. *Marine Pollution Bulletin*, 48, 405-408.
- Borja A. et I Muxika., 2005- Guidelines for the use of AMBI (AZTI's Marine Biotic Index) in the assessment of the benthic ecological quality. *Marine Pollution Bulletin*. 50, 787-789.
- Brahim M., A. Atoui. et B. Béjaoui. 2013- Etude de l'hydrodynamique sédimentaire de la lagune de Bizerte. *Revue Paralia*, Volume 6 : 111-114.
- Chakroun R. 2004- Réponse de la macrofaune invertébrée benthique à l'état de dégradation du milieu: Cas du Lac sud de Tunis et de la lagune de Ghar El-Melh. *Thèse de Doctorat* de l'Université de Carthage, Faculté des Sciences de Bizerte, 341p.
- CCME (Conseil canadien des ministres de l'environnement). 1996. Annexe XXII — Recommandations pour la qualité des eaux au Canada : mise à jour (décembre 1996), recommandations provisoires pour la qualité des eaux marines et estuariennes concernant des variables générales, dans *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement*, Conseil canadien des ministres des ressources et de l'environnement. 1987. Préparée par le Groupe de travail sur les recommandations pour la qualité des eaux.

- 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.
- Dauvin J.C. et T. Ruellet. 2007- Polychaete/amphipod revisited. *Marine Pollution Bulletin*, 55 (1-6): 215-224.
- Dauvin J.C. 1993- Le benthos: témoin des variations de l'environnement. *Océanis*, 19: 25-53.
- Despairies A. 1974- Degré de représentativité des groupes de grains dans le rythme. *Bulletin de la Société de Géologie de France*, 7(16), 624 p.
- Dhib A., M. Ben Brahim., S. Turki. et L. Aleya. 2013a- Contrasting key roles of *Ruppia cirrhosa* in a southern Mediterranean lagoon: reservoir for both biodiversity and harmful species and indicator of lagoon health status. *Marine Pollution Bulletin*, 76: 116-127.
- Dhib A., M. Ben Brahim., B. Ziadi., F. Akrouit., S. Turki. et L. Aleya. 2013b- Factors driving the seasonal distribution of planktonic and epiphytic ciliates in a eutrophicated Mediterranean Lagoon. *Marine Pollution Bulletin*, 74: 383-395.
- Dhib A., M. Denis., A. Barani., S. Turki. et L. Aleya. 2016- Ultra- and microplankton assemblages as indicators of trophic status in a Mediterranean lagoon. *Ecological Indicators*, 64: 59-71.
- 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.
- Flaten G.R., H. Botnen., G. Bjorn. et O.M. Kvalheim. 2006- Quantifying disturbances in benthic communities-comparaison of the community disturbance index (CDI) to other multivariate methods. *Ecological Indicators*, 7: 254-276.
- Folk R. et W. Word. 1957- Brazors river bors, a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrol*, 27: 3-26.
- Gangnery A., J.M. Chabirand, F. Lagarde., P. Le Gall., J. Oheix., C. Bacheret. 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.
- Glémarec M. et J. Grall. 2000- Les groupes écologiques et zoologiques d'invertébrés marins face aux dégradations de l'environnement côtier. *Bulletin de la société Zoologique de France*, 125 : 37-48.
- Glémarec M. et C.Hily. 1981- Perturbations apportées à la macrofaune benthique de la baie de Concarneau par les effluents urbains et portuaires. *Acta Oecologica Applicata*, 2 : 139-150.
- Grall J. et M. Glémarec. 1997- Biodiversité des fonds de maerl en Bretagne: approche fonctionnelle et impacts anthropiques. *Vie Milieu*, 47: 339-349.
- Hale S. et J.F. Helsthe. 2008- Signals from the benthos: development and evaluation of a marine index in the nearshore Gulf of Maine. *Ecological Indicators*, 8: 338-350.
- Hily C. 1984. Variabilité de la macrofaune benthique dans les milieux hyper-trophiques de la rade de Brest. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Bretagne Occidentale, Brest. 696 p.
- 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.
- Khedhri I., A. Afli. et L. Aleya. 2017- Structuring factors of the spatio-temporal variability of macrozoobenthos assemblages in a southern Mediterranean lagoon: How useful for bioindication is a multi-biotic indices approach? *Marine Pollution Bulletin*, 114: 515-527.
- Khedhri I., A. Atoui., M. Ibrahim., A. Afli. et L. Aleya. 2016- Assessment of surface sediment dynamics and response of benthic macrofauna assemblages in Boughrara lagoon (SW Mediterranean Sea). *Ecological Indicators*, 70: 77-88.
- Lafond L.R. 1953- Sur l'évolution granulométrique des sédiments dans le bassin de la Vilaine, *Bulletin de la Société de Géologie de France*, 6 : 75 p.
- Lafond L.R. 1965- Études littorales et estuariennes en zone tropicale humide. *Thèse de Doctorat d'État*, Orsay.
- Lavesque N., H. Blanchet. et X. de Moutaudouin. 2009- Development of a multimetric approach to assess perturbation of benthic macrofauna in *Zostera noltii* beds. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 368: 101-112.
- Lorenzen C. et J. Jeffrey. 1980- Determination of chlorophyll in seawater. *Technical Paper in Marine Science (UNESCO)*, 35: 574-576.
- Mahmmoudi E., B. Hamouda. et P. Aissa. 2002- Réponse des nématodes libres à la qualité des eaux et des sédiments de la lagune de Ghar El Melh (Tunisie) en été 1999. *Cahiers de Biologie Marine*, 43: 3-93.
- Moussa M., L. Bacchar. et R. Ben Khemis. 2005- La lagune de Ghar El Melh : Diagnostic écologique et perspectives d'aménagement hydraulique. *Revue des Sciences de l'Eau / Journal of Water Science*, 18 : 13-26.

- Passega R. 1957- Texture as characteristic of clastic deposition. *Annuaire de l'Association de Pétrol et de Géologie*, 41: 1952-1984.
- Pielou E.C. 1966- The measurement of diversity indifferent types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology*, 13: 131-144.
- 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.
- Ramsar. 2007- The List of Wetlands of International Importance. *Ramsar Bureau*, Gland.
- Rasmussen E.K., O.S. Petersen., J.R. Thompson., R.J. Flower., F. Ayache., M. Kraiem. et L. Chouba. 2009- Model analyses of the future water quality of the eutrophicated Ghar El Melh lagoon (Northern Tunisia). *Hydrobiologia*, 622: 173-193.
- Reiss H. et I. Kroncke. 2005- Seasonal variability of benthic indices: an approach to test the applicability of different indices for ecosystem quality assessment. *Marine Pollution Bulletin*, 50 : 1490-1499.
- Riviere A. 1952- Expression analytique générale de la granulométrie des sédiments meubles. *Bulletin de la Société de Géologie de France*, 61(2) : 155 p.
- Riviere A. 1953- Méthode d'interprétation de la granulométrie des sédiments meubles. *Revue de l'Institut français du pétrole*, Numéro spécial, 102-107.
- SCET-ERI. 2000- Étude de l'amélioration de la qualité de l'eau de la lagune de Ghar El Melh. *Rapport d'étude pour le Ministère de l'Agriculture*, Tunisie, 293 p.
- Shannon F.P. et W. Weaver. 1963. The Mathematical Theory of Communication. *University of Illinois Press, Urbana, IL*.
- Simboura N. et A. Zenetos. 2002- Benthic indicators to use in Ecological Quality classification of Mediterranean soft bottom marine ecosystems, including a new Biotic Index. *Mediterranean Marine Sciences*, 3: 77-111.
- Warwick R.M. 1986- A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. *Marine Biology*, 92: 557-562.