

Etude pour la construction d'un ouvrage de communication au niveau de la chaussée romaine entre la lagune de Boughrara et la mer méditerranée

Mohammed Ayari ¹, Maher Allegue ², Iskander Tlili ^{3*}

¹ Ingénieur Principal chef service : Ministère de l'équipement, de l'habitat et de l'aménagement de territoire Direction générale de service aérien et maritime Montplaisir Tunis 1073.

² Ingénieur Principal chef centre : Ministère de l'équipement, de l'habitat et de l'aménagement de territoire Centre de service aérien et maritime Avenue Habib Bourguiba Immeuble STAR Monastir 5000.

³ Auteur correspondant- Ingénieur chercheur : Laboratoire d'Etude des Systèmes Thermiques et Energétiques Ecole Nationale d'Ingénieurs de Monastir Rue Ibn El Jazzar. 5019 Monastir. Tunisie. Iskander.Tlili@enim.rnu.tn

Résumé :

L'écosystème de la lagune de Bou Ghrara a connu une détérioration progressive ayant conduit à la régression de la diversité biologique et en particulier la réduction des ressources halieutiques secondaire à la pression anthropique croissante telle que la pollution provoquée par les rejets d'eaux usées des fermes aquacoles et d'eaux brutes par l'abattoir de Guellala, l'enrichissement en phosphates à partir des eaux du golfe de Gabès, en plus de l'affaiblissement du milieu par la construction de la chaussée romaine reliant Djerba au continent Tunisien qui a réduit les échanges entre la lagune et la mer conduisant à l'altération de l'hydrodynamique et à la dégradation de la qualité des eaux et des sédiments. Dans le cadre de lutte contre cette altération, des travaux de construction d'un ouvrage de communication entre cette lagune et la mer méditerranée au niveau de la chaussée romaine ont été programmés.

Abstract:

The ecosystem of the Bou Ghrara lagoon knew a progressive deterioration leading to the regression of the biological variety and especially the reduction of the halieutic resources resulting from the increasing anthropological pressure such as the pollution provoked by the rejection of waste water of aquacole farm and raw waters by the slaughterhouse of Guellala, the enrichment in phosphates coming from the gulf of Gabes waters, in addition to the affection of the lagoon by the Roman road linking Djerba with the continent which reduced the lagoon and the sea exchanges leading to the hydrodynamic alteration and to the degradation of the water and sediment quality. Aiming to solve these problems, a construction of a communication between this lagoon and the Mediterranean Sea regarding the Roman road was programmed.

Mots-clés :

Hydraulique maritime –données météorologiques–sédimentologie dynamique – bathymétrie –environnement physique

1 Introduction

L'écosystème de la lagune de Bou Ghrara a connu depuis quelques années une détérioration progressive ayant conduit à la régression de la diversité biologique et en particulier la réduction des ressources halieutiques, conduisant à la chute des revenus dans le secteur.

En effet, le milieu subit diverses actions anthropiques croissantes, ayant généré plusieurs sources de nuisance, notamment la pollution provoquée par les rejets directs d'eaux usées des fermes aquacoles, l'enrichissement en phosphates à partir des eaux du golfe de Gabès, les rejets d'eaux usées brutes par l'abattoir de Guellala et l'accroissement anarchique de l'exploitation des ressources halieutiques. En addition, la construction de la chaussée romaine et l'ensablement actuel de la baie d'El Kantara, sont responsables de la réduction des échanges mer lagune. En effet, l'analyse par modélisation du fonctionnement hydrodynamique de la lagune, a montré que les échanges à travers le canal sont très faibles, de l'ordre de 0,4%, que la stagnation des eaux au niveau des zones nord et sud ouest est inévitable et que le vent reste le seul facteur d'activation de la circulation interne et d'homogénéisation des eaux de la lagune. Le concours de ces actions a engendré la dégradation de la qualité des eaux et des sédiments se matérialisant par une eutrophisation et conduisant par voie de conséquence à l'altération de la qualité biologique de la lagune.

Dans l'objectif de résoudre ces problèmes, il a été nécessaire d'entreprendre une étude diagnostique précise des conditions actuelles du milieu.

2 Le milieu physique

La lagune de Bou Ghrara est un site d'exception tant pour la biodiversité terrestre que marine. Le devenir écologique de la lagune est actuellement menacé par le manque de renouvellement. Cette lagune est située dans le sud-est tunisien entre les méridiens 10°45' et 10°57' est et les parallèles 33°28' et 33°45' nord. C'est une sorte de mer intérieure bordée par l'île de DJerba du côté nord et par le continent du côté sud. Son bassin versant, dont la superficie est de 2394 km², est drainé par six principaux oueds qui se déversent dans la lagune. Elle couvre une superficie de 50000 hectares, présente une profondeur moyenne de l'ordre de 5m et est entourée de 5 sebkhas, qui correspondent à des dépressions planes, inondables et dont les sols salés interdisent toute végétation sur la plus grande partie de leur surface. Elle est le siège d'une importante activité aquacole avec deux fermes en fonctionnement. Le système de production adopté est, du type grossissement intensif dans des bassins en béton. Ce plan d'eau communique avec la mer par le canal Ajim-Jorf, large de 2.2 km et par une petite ouverture de 12 m de largeur, située sous le pont de la chaussée romaine dans le bassin d'El Kantara. Cette lagune est sujette à des phénomènes de marée, dont la valeur maximale de marnage, 80 cm en période de vives eaux, est enregistrée au niveau du port d'Ajim. La variation de la salinité mensuelle au cours de l'année 1999 / 2000 a montré un maximum de 48.8 en septembre et un minimum de 47 au mois de mai.

Un gradient croissant de salinité a été signalé depuis la zone à influence marine vers la rive sud de la lagune.

2.1 Données météorologiques

D'après les données de la station météorologique de l'aéroport de Djerba, entre 1981 et 1995 (43071 observations trihoraires), les vents calmes sont rares et ne représente que 3,6% de l'ensemble des observations. Les vents les plus forts sont essentiellement des secteurs Nord et Nord Nord-Est. Le vent dominant, avec une fréquence de 16% est du secteur Est.

Les vents peuvent avoir une importance capitale dans la sédimentation éolienne dans le bassin et leur rôle est d'autant plus important qu'ils soufflent en été sous forme de sirocco (vent sec et chaud), souvent assez fort s'accompagnant de colonnes de poussière (vent de sable). Les températures peuvent alors dépasser 45°C. A Djerba le sirocco souffle principalement d'Avril à septembre pendant moyenne 29 jours par an.

2.2 Sédimentologie et dynamique du littoral

2.2.1 Analyse de la granulométrie

La représentation en terme de pourcentage des fractions grossières (>63 μ m) et fines (<63 μ m) a permis de reconnaître la composition granulométrique des sédiments de la lagune comme le montre la figure 1.

Ainsi, à partir de l'analyse de ces deux fractions sédimentaires, on a distingué deux faciès dont la répartition coïncide approximativement avec les principales provinces bathymétriques : la mise en place de ces différents faciès sédimentaires est étroitement liées aux caractères hydrodynamiques qui régissent la lagune.

2.2.1.1 Le faciès sableux

Il prédomine dans la frange côtière où la profondeur n'excède pas généralement les 3m, autour de l'îlot de Jilijet dans les chenaux de Jorf, d'Ajim et d'El Kantara.

2.2.1.2 Le faciès vaseux ou lutitique

Il caractérise le fond de deux dépressions, une centrale et l'autre sud-occidentale de la lagune. La fraction fine (ou lutite) représente plus de 80% des dépôts. Ce type de faciès a été également rencontré au niveau des ports de Bou Ghrara et de Hassi Jallaba. Il marque le passage du faciès sableux côtier au faciès vaseux profond.

On distingue le faciès sablo-vaseux où la fraction fine n'excède pas les 40%, relayé par le faciès vaso-sableux où la fraction lutitique est généralement comprise entre 40 et 80%.

Il est à souligner que les apports fluviaux sont très irréguliers et parfois spectaculaires (crûte de 1969), compte tenu du type du climat aride qui caractérise le sud tunisien. L'individualisation des deux cônes deltaïques dans la partie méridionale de la lagune manifeste la contribution remarquable de ces oueds (El Morra et Smar) dans l'alluvionnement du bassin de Bou Ghrara.

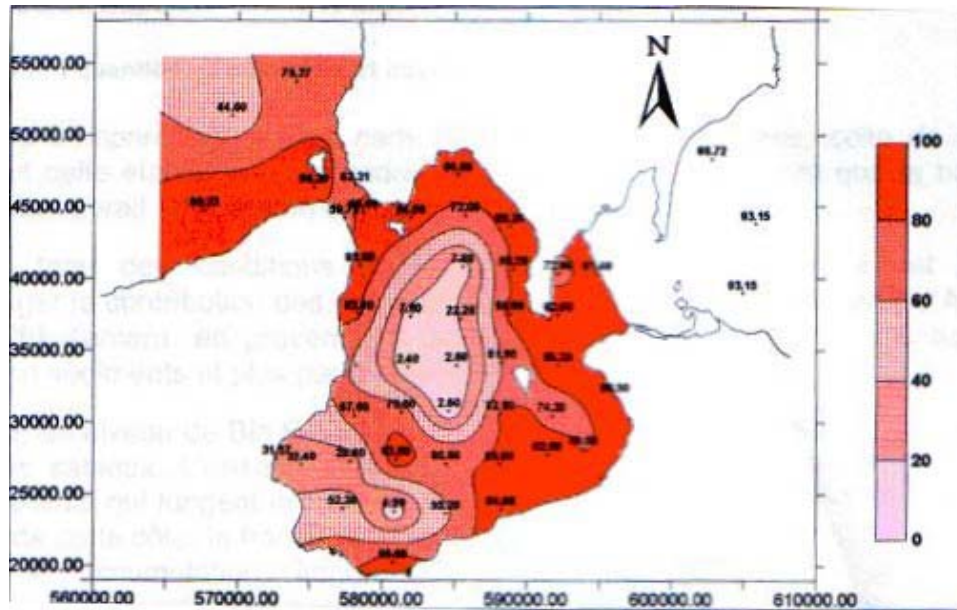


Figure 1 : variation de la teneur en fraction $> 63 \mu\text{m}$ (en %) dans les sédiments de la lagune de Bou Ghrara

En plus des apports fluviaux, on peut également invoquer le rôle joué par la déflation éolienne, y active dans la région, dans l'alimentation de la lagune en matériel sédimentaire.

2.2.2 Evaluation quantitative du transport littoral

L'analyse comparée des deux cartes de répartition des lutites celle de JEDOUÏ (1979) et celle établie dans le cadre de cette étude, laisse croire que le bassin de Bou Ghrara serait affecté d'un engorgement assez marqué. Compte tenu des conditions hydrodynamiques de la lagune, il est possible d'envisager la contribution des courants de marée, transitant par le canal d'Ajim et canal d'El Kantara, en provenance du golfe de Gabès dans l'alimentation de la lagune en sédiments et plus particulièrement en fraction argileuse. En outre, au niveau de Bin El Ouediane, le fond marin est caractérisé par l'extension du faciès sableux. L'ensablement de cette zone est favorisé par les courants de dérive littorale qui longent la façade orientale de l'île de Djerba et portant vers le sud. Le long de cette côte, le transit sédimentaire est de plusieurs milliers de m^3 . Il serait à l'origine de l'accumulation d'importantes quantités de sédiments surtout dans l'avant cote des parties centrales et distales de la presqu'île de Borj El Kastil; dans cette zone des hauts fonds ont pris naissance et certains émergent partiellement par basse mer. Ce flux sédimentaire favorise le comblement de cette zone et le développement d'une guirlande de hauts fonds formant une barrière sableuse dans le prolongement de la flèche de Borj El Kastil. Cette dynamique sédimentaire constitue une vraie menace pour la pérennité des chenaux de marée dont notamment celui de l'Oued El Kebir qui représente actuellement l'unique canal de communication de la lagune de avec la mer, du côté Est.

2.3 Données océanographiques

2.3.1 Bathymétrie

Le levé bathymétrique réalisé au cours de la présente étude confirme bien l'existence de chenaux au niveau des communications mer-lagune, de haut fonds et de bassins.

La lagune de Bou Ghrara se distingue par l'individualisation de deux dépressions :

- une dépression centrale assez bien étendue.
- une dépression sud-occidentale d'extension limitée.

La profondeur maximale atteint les 19m avec des moyennes allant de 3 à 8 m selon le bassin. A la cote zéro NGT, la lagune de Bou Ghrara a une surface d'environ 430km², une profondeur moyenne de 5.2 m et un volume d'eau total égal à environ 2220millions de m³. La seule communication de la lagune avec la mer est établie à travers les chenaux d'Ajim au nord et d'El Kantara à l'est.

Ces deux chenaux sont topographiquement très différents. En effet :

- Le canal d'Ajim, beaucoup plus profond, est constitué de l'ouest à l'est par :
 - le chenal de jorf profond d'environ 16m.
 - un haut fond de 3m à 8m de profondeur.
 - le chenal d'Ajim de profondeur environ 14m.
 - une zone de profondeur faible, d'environ 2m.
- Le canal d'El Kantara, large d'environ 13.7m, a une profondeur très faible n'excédant pas 2 m sauf dans la partie centrale, au niveau du pont, où cette profondeur est de l'ordre de 3 m. à l'entrée de la lagune ce chenal se heurte à un haut fond de faible profondeur excédant rarement 1.5 m et s'étalant sur tout le bassin compris entre la chaussée romaine et Ras Terbella .ce n'est qu'à l'ouest de Ras Terbella où l'on commence à atteindre les isobathes -2 et -3 m.

2.3.2 La houle

La lagune de Bou Ghrara, abrité par l'île de Djerba, n'est que faiblement influencée par la houle au large. Par contre, au moment des fortes tempêtes, levées généralement par des vents de secteur nord, l'influence de la houle devient importante. Son action se manifeste surtout au niveau de la falaise de jorf qui est directement exposée à ce phénomène et aux courants qui en résultent. Ailleurs, dans la lagune, elle est peu importante. A l'intérieur de la lagune, les houles sont principalement générées par les vents locaux, se déplaçant en général d'Est en ouest. Au niveau du port de Bou Ghrara, se sont probablement les clapots d'Est et surtout de Nord-Est qui sont les plus forts. D'après LCHF (1978), les caractéristiques de la houle à Bou Ghrara sont les suivantes :

- La houle significative annuelle serait de : 0.7 à 0.8 m
- La houle significative décennale serait de : 0.9 à 1.1 m ;
- Les périodes seraient de : 3.2 à 4 secondes.

2.3.4 Calcul des courants locaux

L'étude hydrodynamique de la lagune a été réalisée à l'aide d'un modèle à 2 dimensions, intégrée sur la hauteur (MEFHYD). ce type de modèle à 2 D a été déjà utilisé avec succès pour l'étude de lagunes peu profondes et non stratifiées en Tunisie (lacs de Tunis Nord et Sud, Hergla , Ichkeul , Sabkhet Ben Ghaiadha). Afin de disposer de données mesurées nécessaire au calage du modèle hydrodynamique, des campagnes de mesure ont été entrepris. Il s'agit de mesures simultanées de quelques paramètres à savoir :

- Les vitesses et direction des courants de chenaux
- Les vitesses et direction du vent
- La marée

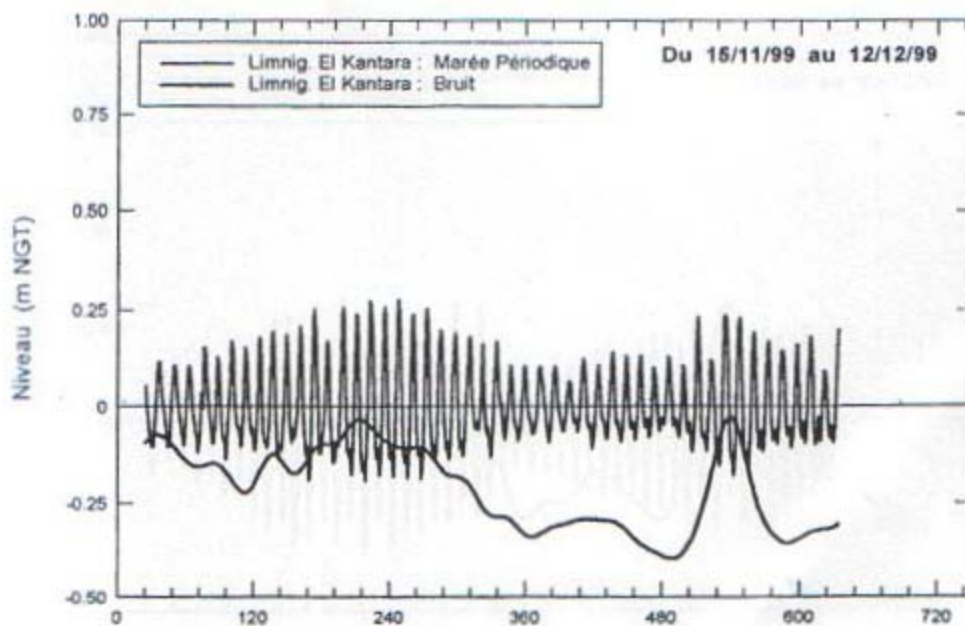


Figure 2 : Analyse des mesures de marée du marégraphe d'El Kantara

2.3.3 Mesures locales de la marée

Les mesures de la marée dans la lagune de Bou Ghrara ont été réalisées à l'aide trois limnigraphes installés dans trois points différents, à savoir le port d' Ajim, la chaussée romaine et le port de Bou Ghrara. Pour leur exploitation, ces enregistrements ont été traités à l'aide du logiciel de la marée TIDE dont le principe de traitement de la marée se base sur l'analyse harmonique d'une série temporelle du niveau de l'eau considérée comme étant composée d'oscillations de différentes périodes superposées à la valeur moyenne durant la période d'enregistrement.

3 Aménagement et effets sur l'environnement physique

3.1 Scénario d'aménagement

Le scénario d'aménagement retenu est la variante C1 qui propose un dragage localisé dans la lagune, soit un chenal, en plus de l'élargissement de la passe d'El Kantara. Les dimensions des différents ouvrages sont les suivants :

-L'élargissement de la passe d'El Kantara de 150m

-le chenal central passant par le canal d'El Kantara est de longueur 16 km, largeur de 200 m et de profondeur de 3 m , ce qui nécessiterait un volume de dragage d'environ 6 millions de m³.

L'opération de dragage du chenal qui consiste en un déplacement des sédiments de la zone de dragage vers une destination plus ou moins lointaine, viendra dans une seconde phase après l'élargissement de la passe d'El Kantara. En effet, il est recommandé de faire un suivi de l'impact de la nouvelle passe sur l'auto curage du chenal, en espérant qu'à lui seul suffirait de dégager le chenal et d'emporter petit à petit les sédiments qui ont engendré son colmatage.

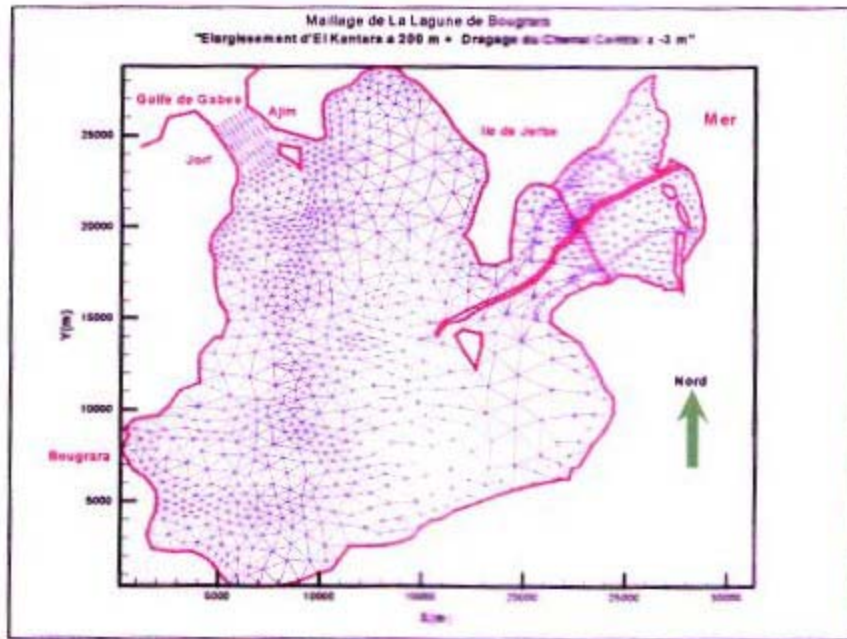


Figure 3 : Aménagement de la variante C1-(un chenal central)Maillage de la lagune de Bou-Ghrara Elargissement d' El Kantara à 200 m+dragage du chenal central à -3 m

3.2 Effets sur la circulation des eaux

Les effets sur l'environnement physique, dus à cet aménagement sont essentiellement d'ordre courantologique.

Synthèse des résultats du scénario d'aménagement :

Le tableau 1 montre que les débits à El Kantara ont augmenté par rapport à la situation actuelle pour atteindre une valeur maximale de **480 m³/s**. Le volume journalier moyen à travers El Kantara est de **16 millions de m³ d'eau**.

Ainsi les échanges à travers cette communication ont passé d'environ 0.37% dans la situation actuelle à 6.9% avec les aménagements de la variante C1 : soit 18.5 fois plus d'échanges avec une largeur environ 15 fois plus grande. Les échanges à travers le canal d'Ajim ont conservé le même ordre de grandeur. Le temps de séjour moyen des eaux serait alors dans ce cas de 9.66 jours.

Tableau 1 : synthèse des résultats de la variante C1-Marée minimale

<i>Variante</i>	<i>Débit max. Echangé à El Kantara (m³/s)</i>	<i>Volume Echangé à El Kantara (Mm³/jour)</i>	<i>% Du volume Total échangé</i>	<i>Volume Echangé Par mètre (Mm³/jour/m)</i>	<i>Temps de séjour (jours)</i>
<i>Situation actuelle</i>	27	0.8	0.37	0.06	10.5
<i>Largeur 200 m + Ichenal (dragage : 6.106 m³)</i>	480	16.0	6.9	0.08	9.66

3.3 Les vitesses à l'intérieur de la lagune

En ce qui concerne Les vitesses à l'intérieur de la lagune ; l'impact des aménagements des variantes C reste très faible sur la répartition des vitesses à l'intérieur de la lagune. En effet, l'augmentation des échanges à El Kantara n'affecte pas les vitesses dans la partie Sud-Ouest de la lagune qui est très éloignée de la chaussée romaine. Pour ce faire, nous avons choisi quelques points de référence situés dans les zones où, à l'état actuel, une stagnation des eaux a été remarquée. Il s'agit des 11 points (notés de A à K) qui sont localisés sur le tableau 2. Nous tenterons alors d'analyser l'évolution des vitesses moyennes dans ces points de référence et ce pour la variante C1 retenue, avec la marée moyenne et en absence de vent. Nous avons choisi de le faire avec la marée moyenne puisqu'elle représente une situation moyenne, donc en principe plus fréquente, du comportement hydrodynamique de la lagune. Ainsi, dans le tableau 2, nous comparons les vitesses moyennes dans les 11 points de référence et ce pour l'état actuel et la variante C1 retenue avec une marée moyenne et sans vent. L'analyse du tableau montre une certaine évolution des vitesses moyennes dans les points de

référence choisis par rapport à la situation actuelle de la lagune. Toutefois, cette évolution est très faible et même négligeable. En effet, les zones de stagnation détectées par le modèle hydrodynamique (principalement au sud de la lagune) sont situées à environ 25 kilomètres de l'une et/ou de l'autre des deux communications. C'est ce qui fait que l'augmentation des échanges à travers El Kantara n'a pas d'impacts sensibles sur les vitesses dans ces zones.

Tableau 2 : variation de la vitesse moyenne marée moyenne sans vent (Cm/s)

<i>Point</i>	<i>Situation actuelle</i>	<i>Variante C1</i>
<i>A</i>	<i>0.23</i>	<i>0.25</i>
<i>B</i>	<i>0.18</i>	<i>0.20</i>
<i>C</i>	<i>0.28</i>	<i>0.31</i>
<i>D</i>	<i>0.32</i>	<i>0.34</i>
<i>E</i>	<i>0.30</i>	<i>0.33</i>
<i>F</i>	<i>0.32</i>	<i>0.37</i>
<i>G</i>	<i>1.80</i>	<i>1.89</i>
<i>H</i>	<i>0.40</i>	<i>0.55</i>
<i>I</i>	<i>1.50</i>	<i>2.00</i>
<i>J</i>	<i>0.42</i>	<i>0.44</i>
<i>K</i>	<i>0.20</i>	<i>0.21</i>
MOYENNE	0.54	0.63

4 Effets sur la qualité des eaux et des sédiments

4.1 Effets sur la qualité des eaux

Du fait de l'augmentation des échanges à 1600% entre la lagune et la mer par l'élargissement de la passe d' El Kantara et le dragage d'un chenal central, la circulation interne au niveau des zones de stagnation sera améliorée d'environ 16%. par conséquent, le brassage des masses d'eau sera intensifié. Ce qui devra limiter par zones l'accumulation de la pollution lorsqu'elle a lieu.

De plus, la comparaison de la qualité des eaux de la lagune avec celle de la mer (aussi bien pour le golfe de Gabès que la cote est de Djerba) pour les différents paramètres analysés, met en évidence des concentrations nettement plus élevées en faveur de la lagune. L'amélioration du brassage de la colonne d'eau permettra une meilleure oxygénation et par conséquent une minéralisation plus aisée. Cette amélioration de la situation sera particulièrement plus sentie au niveau de la baie d' El Kantara (dans toute la zone du chenal). Concrètement les eaux de la lagune après aménagement devraient avoir une concentration en sels nutritifs proche de celle de la mer (cote est de Djerba), c'est-à-dire une eau qui se situe dans la catégorie des eaux oligotrophes à mésotrophes. A long terme, un tel aménagement permettra la bio dépollution (lagunage naturel) du milieu, en assurant un régime hydraulique capable d'éliminer petit à petit toute source d'eutrophisation, jusqu'à marinisation totale du plan d'eau.

4.2 Effets sur la qualité des sédiments

L'un des risques qui sont difficiles à appréhender à ce stade de l'étude, est celui du dépôt des sédiments provenant de la mer dans les zones d'eau mortes de la lagune. Quoique le suivi vigilant de l'hydrodynamique de la sédimentologie de la

lagune pour nous prévenir suffisamment à temps de ce risque pour pouvoir entreprendre les travaux de dragage, il ne semble pas que ce risque soit à prendre en ligne de compte car la solution préconisée par l'étude est une solution intégrée comportant la réalisation simultanée de l'ouverture et des opérations de dragage (au moins le long des chenaux actifs). Avec l'élargissement de la passe d' El Kantara. Les conditions de circulation des eaux vont changer, ce qui impliquera par conséquent un changement dans le transport des sédiments à ce niveau, particulièrement à l'entrée de l'oued El Kébir dans la zone de Bine El Oudiane. L'augmentation des vitesses d'échange dans cette zone permettra aux courants de la marée d'avoir un effet érosif qui, à long terme, peut éliminer l'actuel tombolo en face de Borj El Kastil.

5 Conclusion

Les lagunes côtières représentent à la fois des sites caractérisés par une richesse biologique très importante ainsi que des lieux où l'exploitation de l'environnement par l'homme est intense et diversifiée. La lagune de Bou-Ghrara, milieu semi fermé présentant une communication limitée avec la mer, est considérée comme un milieu de plus en plus fragile et vulnérable en raison des contraintes naturelles ou anthropiques qui lui sont imposées. En effet, en plus des conditions hydrodynamiques et climatiques sévères (déficit notable en eau continentale, faible profondeur, circulation d'eau limitée, évaporation intense) la lagune continue à subir les nuisances des activités aquacoles, des installations portuaires, de divers rejets industriels contribuant à sa dégradation. Le diagnostic de l'état actuel du milieu, qui met en évidence la fragilité de celui ci, impose la mise en place d'une stratégie d'amélioration de la qualité des eaux. En effet, l'élimination et le traitement des rejets industriels (aquacoles et autres) couplés à une amélioration de la dynamique des eaux par élargissement des passes actuelles et création de nouvelles passes d'eau permettraient d'une part, d'éviter la formation des zones de confinement, considérées comme principaux précurseurs des développements phytoplanctoniques et d'autre part, de sauvegarder la pérennité de l'hydrosystème.

6 Références bibliographiques

1 IMPACT DES PERTURBATIONS ANTHROPIQUES SUR L'EVOLUTION DU PHYTOPLANCTON DE LA LAGUNE DE BOUGHRARA, (TUNISIE)
Amel BENREJEB - JENHANI et Mohamed Salah ROMDHANE Laboratoire Aquaculture et milieu. Institut National Agronomique de Tunisie.

2 Evolution et morphodynamique des îles barrières et des flèches littorales associées à des embouchures microtidales dans le Sud-Est tunisien Sameh MASMOUDI, Chokri YAÏCH & Messaoud YAMOUN