Document généré le 4 juin 2025 04:05

Revue des sciences de l'eau
Journal of Water Science

Organisation et fonctionnement d'un écosystème côtier du Maroc : la lagune de Khnifiss
Organization and functioning of a Moroccan ecosystem: Khnifiss lagoon

J. Lakhdar Idrissi, A. Orbi, F. Zidane, K. Hilmi, F. Sarf, Z. Massik et A. Makaoui

Volume 17, numéro 4, 2004

URI : https://id.erudit.org/iderudit/705542ar
DOI : https://doi.org/10.7202/705542ar

Aller au sommaire du numéro

Éditeur(s)

Université du Québec - INRS-Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE)

ISSN

0992-7158 (imprimé)
1718-8598 (numérique)

Découvrir la revue

Citer cet article

Lakhdar Idrissi, J., Orbi, A., Zidane, F., Hilmi, K., Sarf, F., Massik, Z. & Makaoui, A. (2004). Organisation et fonctionnement d'un écosystème côtier du Maroc : la lagune de Khnifiss. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, *17*(4), 447–462. https://doi.org/10.7202/705542ar

Résumé de l'article

La lagune de Khnifiss, située au sud du Maroc, est une réserve biologique d'intérêt mondial pour l'avifaune. Des études pluridisciplinaires portant sur la physico-chimie des eaux, la biologie, la sédimentologie et les courants ont été réalisées par l'INRH dans la lagune en septembre 1998 et février 2001. Les résultats du courant obtenus montrent que la circulation des eaux à l'intérieur de la lagune est gérée par un courant alternatif et bidirectionnel : les courants du jusant sont plus importants que ceux du flot et varient également en fonction du rythme de la marée vive-eau/morte-eau. Ce mode de circulation des eaux attribue à la lagune une richesse en éléments azotés et phosphatés, surtout en période de vive-eau. La biomasse chlorophyllienne, assez importante dans la lagune, est causée par la richesse du milieu en éléments nutritifs et le phénomène d'upwelling qui se manifeste en été et au printemps dans la zone sud du Maroc. Ces études ont montré que la lagune de Khnifiss est un milieu propice à la conchyliculture. Néanmoins, l'installation de tout projet aquacole dans le site devra tenir compte de sa capacité trophique et de son équilibre écologique.

Tous droits réservés © Revue des sciences de l'eau, 2004

Ce document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter en ligne.

https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/

Cet article est diffusé et préservé par Érudit.

Érudit est un consortium interuniversitaire sans but lucratif composé de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université du Québec à Montréal. Il a pour mission la promotion et la valorisation de la recherche.

https://www.erudit.org/fr/

REVUE DES SCIENCES DE L'EAU, Rev. Sci. Eau 17/4(2004) 447-462

Organisation et fonctionnement d'un écosystème côtier du Maroc : la lagune de Khnifiss

Organization and functioning of a Moroccan ecosystem: Khnifiss lagoon

J. LAKHDAR IDRISSI[1]*, A. ORBI[1], F. ZIDANE[2], K. HILMI[1], F. SARF[1], Z. MASSIK[1], A. MAKAOUI[1]

Reçu le 4 novembre 2001, accepté le 23 février 2004**.

SUMMARY

The Moroccan coastal marine area has several zones that are targets for exploitation but must simultaneously be protected. Lagoons are considered to be among the most productive natural systems in the world, but they are also vulnerable systems due to natural and human constraints. Lagoons can also be a target of economic expansion. This is why an understanding about the state of these ecosystems is important in order to proceed with rational use of the resource. The Khnifiss lagoon, situated on the South Atlantic coast of Morocco, is a potential site for aquaculture and tourism if planned with an ecological awareness. The large surface area and high biological production for the avifauna qualify it to be among the four protected sites by the RAMSAR convention for humid zone conservation (lagoons of Khnifiss and Moulay Bousselham, lakes of Sidi Boughaba and Afennourir). The objective of this work was to complete previous studies and to estimate the nutritive richness of the Khnifiss lagoon. To understand the spatio-temporal variability in the water currents, and the physico-chemical and biological and characteristics of this lagoon, two surveys were organized in September 1998 and February 2001.

The Khnifiss lagoon (20 km long and 65 km^2 surface area) is situated between Tantan and Tarfaya (28°02'54" N, 12°13'66" W). It opens up into the Atlantic ocean by a narrow inlet called "Foum Agouitir", about 100 m wide. The lagoon continues upstream beyond a salt marsh, called "Sebkha Tazra". Physical, chemical and biological variables were monitored: temperature and salinity; dissolved oxygen, nitrates and phosphates; chlorophyll-a. The current (direction and intensity) and the sediment were also studied. Samples were collected four times from the surface and bottom waters during spring tide (ST), neap tide (NT), low tide (LT) and high tide (HT) during

1. Institut National de Recherche Halieutique (INRH) - 02, rue Tiznit, Casablanca (01) - Maroc. Tél. : 212 22 220249.
2. Faculté des Sciences Aïn Chock - Casablanca - Maroc. Km 7, Route El Jadida, Casablanca. Tél. : 212 22 230680. E-mail: zidanefatiha@hotmail.com

* Correspondance: jlakhdar@yahoo.com
** Les commentaires seront reçus jusqu'au 30 avril 2005.

two seasons (September 1998 and February 2001). Seven hydrological stations were sampled, representing the lagoon system and one reference station in a neighbouring zone (Hréf), which represents the marine zone of the lagoon. Temperature and salinity were measured with a multi-sensor probe. The chemical analyses were carried out according to methods suggested by AMINOT & CHAUSSEPIED (1983). Thirty (30) sediment samples were also collected. Currents were measured at two fixed points by two current-meters.

Based on the hydrological characteristics of the lagoon, especially temperature, salinity, water circulation and the nature of sediment, three zones were identified:

Zone I (downstream from the lagoon) was dominated by the ocean's influence and included the Hréf, H1 and H2 stations. Maximum depths varied from 2.5 to 6.6 m, depending on the tide and location. The concentrations of the different hydrological parameters were controlled by the plug effect of the oceanic environment. The most important current in the lagoon was recorded in this zone in the spring tide (ST: 110 $cm \cdot s^{-1}$). The sediment was coarse and important water - sediment exchange was caused by the strong current recorded in this zone.

Zone II (middle of the lagoon) was a transition zone with an intermediate oceanic influence. It was situated between the H3 and H5 stations. The size of the inlet and the important exchanges governed by currents caused by strong tides resulted in concentrations of the various parameters being similar to those in Zone I. Depths varied from 2.64 to 8.7 m. Waters were more saline during the LT and NT periods (36-41 practical salinity unit, or psu). The current decreased relative to that is zone I (56 $cm.s^{-1}$ in September 1998 and 78 $cm \cdot s^{-1}$ in February 2001). In this zone the current moved preferentially towards the right strand at high tide and toward the left strand at low tide.

Zone III (upstream in the lagoon) covered a different biotope compared to the first two zones. The waters were less deep (2.64 to 5.3 m) and included the stations H6, H7 and the upper part of the lagoon. This zone was characterized by a very low oceanic influence. Water temperature and salinity were higher, 24-26 °C and 41-44 psu respectively, during the LT and NT periods.

On the basis of the hydrological zonation, the conjunction of the climate descriptors (moderate wind, rare precipitation, absence of storms, moderate air temperature) of the lagoon and the strong hydrodynamic influence in the lagoon suggest that the Knifiss lagoon is a relatively unconfined ecosystem. The hydrodynamics of this lagoon permit a fast water renewal rate and insure a good environmental quality. In addition, studies carried out on the healthiness of this lagoon demonstrated not only a healthy environment, but also healthy shellfish. This diagnosis seemed to be related to the geographical location and important rates of water exchange. However, the absence of continental freshwater sources leads to an important increase in salinity and temperature at the level of the upstream zone (zone III). Zone III therefore cannot be considered for shellfish breeding.

On the basis of the biological zones: With respect to the bathymetry of the lagoon (depths varied from 2.5 to 8.7 m), shellfish, in contrast to fish, require less water depth. Therefore, it is sufficient to search for a less turbulent zone, which offers sufficient planktonic food for the shellfish growth. In the Khnifiss lagoon, the taxonomy of the phytoplankton has not been yet studied. However, BENNOUNA (1999) demonstrated that the phytoplankton community was dominated by dinoflagellates and diatoms in the Oualidia and Sidi Moussa lagoons. RHARBI (2000) found that picophytoplankton were the principal breeding food source of oysters and clams in Oualidia lagoon. The source of shellfish for breeding is located in the neighbouring upwelling marine waters. Development projects planned for the lagoon must include an awareness programme for fishermen about the role that moderate and

responsible shellfish breeding programs can play in the preservation and reconstitution of the marine resource as well as in the improvement of their incomes.

Key-words : *shellfish culture, tidal current, Khnifiss lagoon, RAMSAR site, south of Morocco, upwelling area.*

RÉSUMÉ

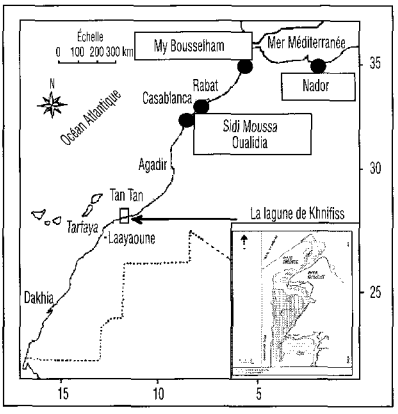
La lagune de Khnifiss, située au sud du Maroc, est une réserve biologique d'intérêt mondial pour l'avifaune. Des études pluridisciplinaires portant sur la physico-chimie des eaux, la biologie, la sédimentologie et les courants ont été réalisées par l'INRH dans la lagune en septembre 1998 et février 2001. Les résultats du courant obtenus montrent que la circulation des eaux à l'intérieur de la lagune est gérée par un courant alternatif et bidirectionnel : les courants du jusant sont plus importants que ceux du flot et varient également en fonction du rythme de la marée vive-eau/morte-eau. Ce mode de circulation des eaux attribue à la lagune une richesse en éléments azotés et phosphatés, surtout en période de vive-eau. La biomasse chlorophyllienne, assez importante dans la lagune, est causée par la richesse du milieu en éléments nutritifs et le phénomène d'upwelling qui se manifeste en été et au printemps dans la zone sud du Maroc. Ces études ont montré que la lagune de Khnifiss est un milieu propice à la conchyliculture. Néanmoins, l'installation de tout projet aquacole dans le site devra tenir compte de sa capacité trophique et de son équilibre écologique.

Mots clés : *conchyliculture, courant de marée, lagune de Khnifiss, site RAMSAR, sud du Maroc, upwelling.*

1 - INTRODUCTION

Le littoral marocain abrite le long de ses côtes des milieux susceptibles d'être protégés et mieux exploités. Les lagunes, faisant partie de ces milieux, comptent parmi les systèmes naturels les plus productifs au monde mais demeurent les plus fragiles et les plus vulnérables vis-à-vis des contraintes naturelles et anthropiques s'y exerçant. À cet égard, le milieu lagunaire se présente comme une cible d'expansion économique dont la connaissance profonde du fonctionnement s'impose en vue d'une gestion intégrée de ses espaces. Dans ce contexte, la lagune de Khnifiss, située au Sud du Maroc (figure 1), recèle des valeurs écologiques, biologiques et socio-culturelles remarquables. Elle constitue avec la lagune de Moulay Bousselham au Nord, les plus importantes zones humides marocaines en tant que sites d'escale et d'hivernage de plusieurs milliers d'oiseaux migrateurs. En raison de ces considérations, le site de Khnifiss a été inscrit en 1980 sur la liste des sites RAMSAR (les zones humides d'importance internationale), puis fut institué en réserve biologique permanente en 1983 (RAMSAR, 1993). Sur le plan de l'aquaculture, la lagune présente des atouts potentiels en conchyliculture notamment, l'élevage des huîtres et des pectéinidés. Cependant, fort peu de travaux se sont intéressés à l'étude du fonctionnement de ce remarquable sanctuaire d'oiseaux [BEAUBRUN, (1976), FEKHAOUI *et al.* (1988), LAKHDAR *et al.* (2000, 2002)].

L'objectif général de cette étude est l'élaboration d'un plan de gestion intégrée de la lagune. L'objectif spécifique vise la compréhension du fonctionnement actuel de son écosystème, par le biais des études physico-chimique, biologique, sédimentologique et courantologique qui ont été réalisées par l'INRH en septembre 1998 et février 2001.



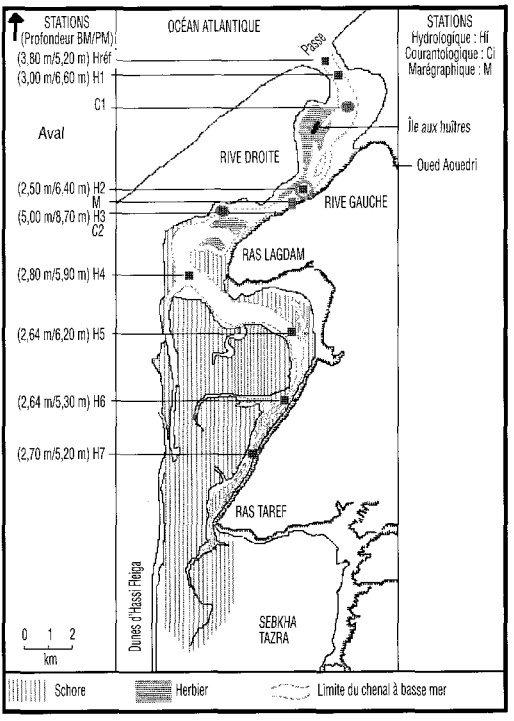


Figure 1 *(à gauche)* Situation géographique de la lagune de Khnifiss.
Location of the Khnifiss lagoon.

Figure 2 *(à droite)* Réseau d 'échantillonnage et profondeurs des stations dans la lagune de Khnifiss (LAKHDAR *et al.*, 2000).

Sampling network and station depths in the Khnifiss lagoon (from LAKHDAR *et al., 2000).*

2 – MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 Site d'étude

Longue de 20 km et d'une superficie de 65 km^2, la lagune de Khnifiss ou « Naïla » (28°02'54''°N,12°13'66''°W) est située sur la côte atlantique sud du Maroc, à 170 km au nord de Laâyoune et orientée selon un axe NE-SW. Cette lagune s'ouvre sur l'océan Atlantique par une passe étroite appelée « Foum

Agouitir », d'une centaine de mètres de largeur et se prolonge vers une saline connue sous le nom de « la Sebkha Tazra ». Les profondeurs du chenal principal sont en moyenne comprises entre 5 et 6 mètres dans la passe puis diminuent en direction de l'amont (figure 2).

Le climat de cette lagune se situe dans l'étage bioclimatique saharien où les vents dominants, de direction Nord-Nord-Ouest à Nord-Est, sont les vents alizés éléments moteurs du phénomène d'upwelling [ORBI et NEMMAOUI (1992)]. Selon OUCHCHAM (1996), des vents violents soufflant du Sud-Est, Sud, Est et Nord-Est dans les environs de la lagune (vers Tarfaya) ont des vitesses maximales de l'ordre de 34,2 $m.s^{-1}$, alors que les vents modérés sont de secteurs Nord-Nord-Est, Nord-Est et Nord. L'aridité de la zone fait que les précipitations ne dépassent pas en moyenne 41 mm par an [OUCHCHAM(1996)]. Les apports en eaux douces sont presque absents et les seuls apports continentaux au sein de la lagune proviennent de l'oued Awdri, généralement à sec, qui débouche sur la saline Sebkha Tazra (figure 2).

2.2 Échantillonnage et analyses

Le réseau d'échantillonnage comprend 7 stations hydrologiques (H1 à H7) représentatives du milieu lagunaire et une station référence (Hréf) représentative de la zone marine (figure 2). Les mesures et les prélèvements d'eaux ont été effectués en surface et au fond, en périodes de vive-eau (VE) et de morte-eau (ME), à basse mer (BM) et à pleine mer (PM) durant les saisons de septembre 1998 et février 2001. La température et la salinité ont été mesurées à l'aide d'une multisonde de marque Aanderaa. L'oxygène dissous, les éléments nutritifs (nitrates, phosphates) et la chlorophylle-a (Chl-a) ont été analysés selon les méthodes standards décrites par AMINOT & CHAUSSEPIED (1983). Les échantillons de sédiment, au nombre de 30, ont été prélevés dans la zone intertidale des deux rives de la lagune. Le courant a été mesuré à deux stations C1 et C2, à l'aide de courantomètres de marque « Aanderaa » (figure 2).

3 - RÉSULTATS

3.1 Les courants

Sur la façade atlantique marocaine, l'intensité du courant est faible. En s'approchant de la zone littorale (estuaires, lagunes, baies), ce courant est renforcé par les courants de marée semi-diurne dont l'intensité varie en fonction de l'amplitude de marée et des saisons.

3.1.1 Variation du courant

Dans la lagune de Khnifiss, les mesures de courant effectuées en septembre 1998 et février 2001 ont montré un courant alternatif par rapport à l'axe du chenal principal. À la station C1, l'intensité du courant en septembre 1998 atteint des valeurs maximales de l'ordre de 110 $cm.s^{-1}$ (figure 3a). À la station C2, l'intensité maximale du courant est plus importante en février 2001

(78 cm.s^{-1}) qu'en septembre 1998 (56 cm.s^{-1}) (figures 3a, 3b). Ces résultats montrent, d'une part, que le courant dans la lagune est plus important en aval qu'en amont et que le courant à la station C2 est plus intense en février 2001, correspondant ainsi à l'amplitude maximale de marée en cette saison (3,43 m) d'autre part. Par ailleurs, les résultats du courant en marée de VE, montrent que le courant en C2 est plus important durant le jusant : la vidange de la lagune (5 h 30 mn) se fait donc plus rapidement que son remplissage (6 h 30 mn). En période de ME, le courant devient généralement moins important qu'en VE, en conséquence le temps de vidange des eaux en mortes-eaux (6 h 00 mn) serait plus important que celui des vives-eaux (6 h 30 mn).

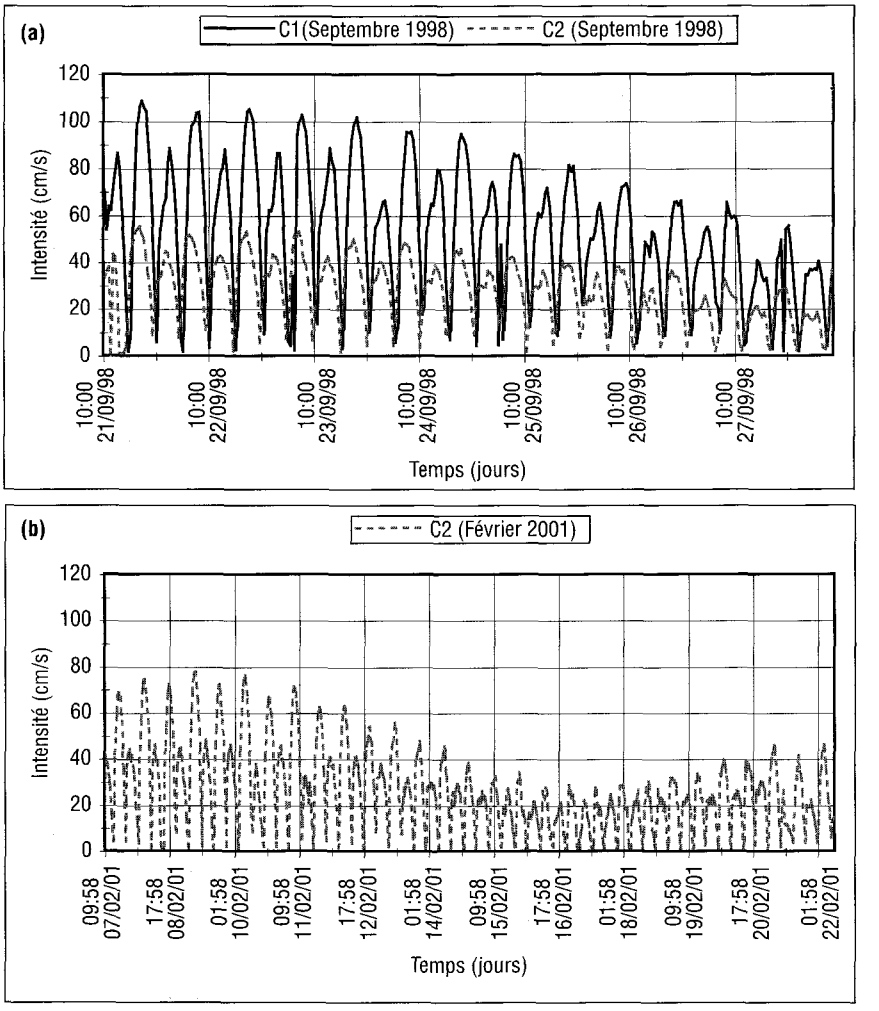


Figure 3 Intensité du courant (cm/s) (a et b) enregistrée durant septembre 1998 et février 2001 au niveau des deux stations C1 et C2.

Current intensity (cm/s) (a and b) during September 1998 and February 2001 at the C1 and C2 stations.

3.1.2 Analyse spectrale du courant

La figure 4 présente le spectre brut des composantes du courant et confirme, d'une part, la prédominance de la composante axiale du courant qui présente ainsi plus d'énergie que sa composante transversale. Ceci s'explique par la dominance d'un courant de marée par rapport à la configuration du chenal principal de la lagune. D'autre part, cette figure met clairement en évidence la composante semi-diurne (M2) du courant (de période 12 h 25) qui domine largement le cycle des marées dans la lagune de Khnifiss. D'autres sous-composantes du courant telles que M3 et M4 qui sont, au fait, des sous-harmoniques de la composante M2, dominent également dans les hautes fréquences (ou faibles périodes) dues à la déformation de l'onde de marée M2 au niveau des faibles profondeurs dans la lagune de Khnifiss. Le spectre d'énergie met aussi en évidence dans les basses fréquences (ou hautes périodes) une énergie de moindre amplitude comparativement à celle de la marée semi-diurne (M2). À défaut de disposer de séries temporelles de vent, les périodes situées entre quelques heures à quelques jours peuvent être attribuées à la manifestation des vents dans la lagune de Khnifiss.

3.1.3 Temps de résidence des eaux

Le temps de résidence des eaux dans la lagune (T_{RES}) a été estimé à partir de la formule du prisme de marée suivante [DYER *et al.* (1973)] : $T_{RES} = V/V_0$, Où : V est le volume de la lagune [surface (S) × profondeur moyenne (Pmoy)] et V_0 est le volume d'eau apporté à la lagune durant un cycle de marée [surface (S) × hauteur de marée (h)].

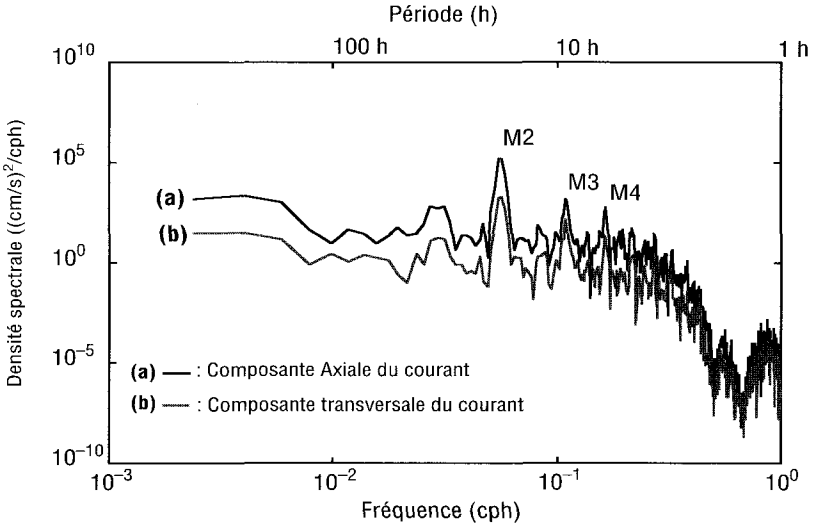


Figure 4 Énergie spectrale du courant à la station C2 dans la lagune de Khnifiss (février 2001).

Current spectral density at the C2 station in the Khnifiss lagoon (between February 7 and 21, 2001).

Durant un cycle de marée, de période 12 h 25, le temps de résidence des eaux dans la lagune (T_{RES}) est de :

– T_{RES} = 4,4 cycles de marée en période de ME
($S = 65.10^6$ m^2, P_{moy} = 5 m, h = 1,14 m, $V = 325.10^6$ m^3, $V_0 = 74,1.10^6$ m^3).

– T_{RES} = 1,5 cycle de marée en période de VE
($S = 65.10^6$ m^2, P_{moy} = 5 m, h = 3,39 m, $V = 325.10^6$ m^3, $V_0 = 220,35.10^6$ m^3).

Cependant, cette formule suppose que toute l'eau apportée lors d'un cycle de marée (V_0) se mélange instantanément avec le volume V, ce qui est peu probable. Elle suppose aussi que toute l'eau mélangée qui sort de la lagune durant le jusant ne revient pas au cours du flot suivant. Donc, le T_{RES} calculé dans les deux cas, est la limite inférieure du temps de renouvellement qui est généralement beaucoup plus long.

3.2 Le sédiment

L'étude sédimentologique réalisée dans la lagune en septembre 1998 [LAKHDAR *et al.* (2000)] a montré l'existence de trois principaux faciès sédimentaires : sableux, sable vaseux et vase sableuse (figure 5). La majeure partie des sédiments est constituée de vase sableuse, principalement située le long de la rive gauche de la zone avale et des schorres de la zone amont (figure 5). L'hydrodynamisme de ces zones est relativement calme, ce qui leur attribue une richesse en matières organiques. Par contre, la zone située le long de la rive gauche de la première branche du chenal vers l'amont est caractérisée par des sables vaseux. La rétention des sables fins par les herbiers (qui dominent cette zone) est accentuée par une diminution des courants en amont au niveau de la passe et des chenaux, les sédiments sont essentiellement sableux et ces endroits de dépôt sont caractérisées par de fortes turbulences et une faible teneur en matière organique.

3.3 Étude physico-chimique

3.3.1 Dans la zone côtière de la lagune (TanTan - Tarfaya)

Les études réalisées par l'INRH entre 1997 et 1999 dans la zone côtière avoisinant la lagune (28°-28°30'N), ont révélé une importante activité des remontées d'eau profonde en périodes printanière et estivale [MAKAOUI *et al.* (2000), ORBI *et al.* (1998)]. Ce phénomène a été marqué par des basses températures (16,5 °C) et des teneurs importantes en phosphates (66,5 µg/l). Selon le même auteur, cette situation s'est répercutée sur la richesse du milieu en Chl-a, où le maximum a été enregistré en été (13,8 mg·m^{-3}) suite au phénomène d'upwelling. Pendant l'hiver 1997, cette zone a connu une faible activité de la résurgence d'eau qui s'est manifestée par une élévation de la température de surface (18,5 °C) et une diminution des teneurs en Chl-a dépassant rarement 1 mg·m^{-3} [MAKAOUI *et al.* (2000)].

3.3.2 Dans la lagune

Les résultats des variables étudiées sont présentées sous forme de moyennes de la colonne d'eau, étant donné que les variations verticales enregistrées sont moins importantes que celles dues aux rythmes de marée

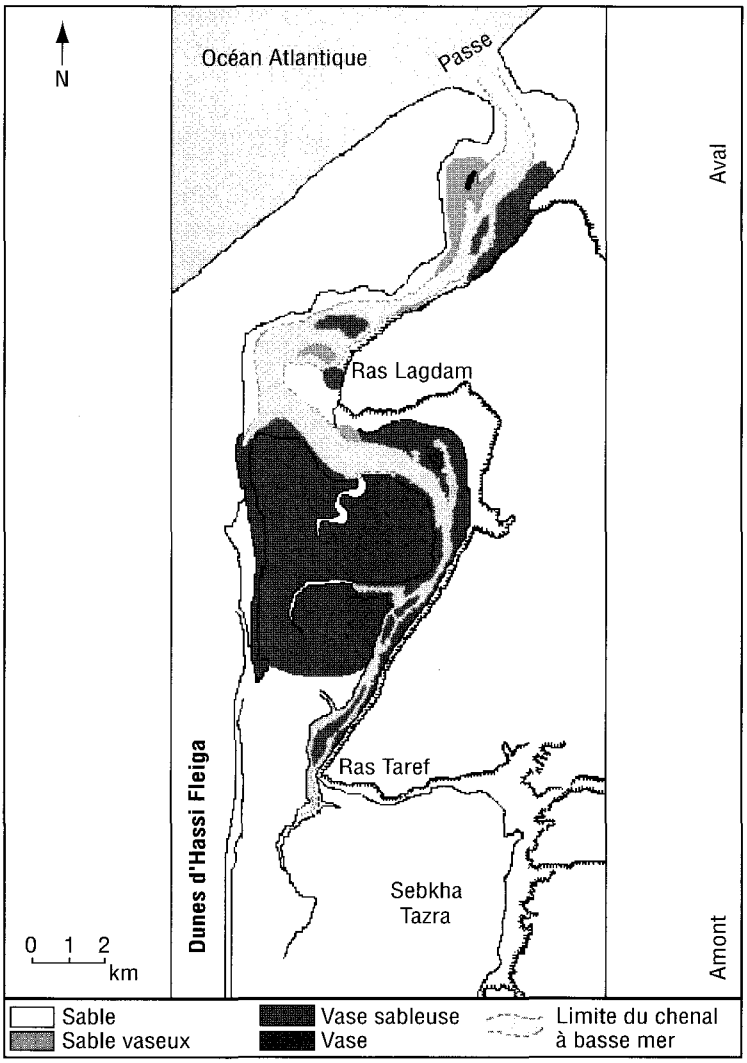


Figure 5 Répartition des faciès sédimentaires dans la lagune (LAKHDAR *et al.* 2000).

*Distribution of the sedimentary facies in the lagoon (*LAKHDAR *et al., 2000).*

(PM/BM et VE/ME) et à la saisonnalité.

La température

Les figures 6a et 6b montrent l'évolution de la température au niveau des huit stations hydrologiques. À PM, les eaux en février 2001 sont plus froides suite à une baisse des températures atmosphériques pendant la saison hivernale ; les températures fluctuent entre 16,1 °C (station Hréf) et 17,2 °C (station H7) ; on note un faible gradient thermique aval-amont ainsi qu'une

faible variation de la température des eaux entre les marées de VE et celles de ME. À BM, le gradient thermique aval-amont devient plus marqué et les eaux sont généralement plus chaudes qu'à pleine mer. De même, la variation saisonnière est nettement respectée et les eaux sont plus chaudes en septembre 1998 (21,5-24,4 °C) qu'en février 2001 (16,3-19,5 °C).

La salinité

Comme pour la température, la salinité présente un gradient croissant de l'aval vers l'amont (figures 6c et 6d). La salinité augmente progressivement à l'intérieur de la lagune avec des valeurs proches de celles de l'océan (34-35 psu) pour la station marine (Hréf) et des salinités élevées enregistrées dans les stations H5, H6 et H7, atteignant 44,1 psu à la station H7. Les stations H2, H3

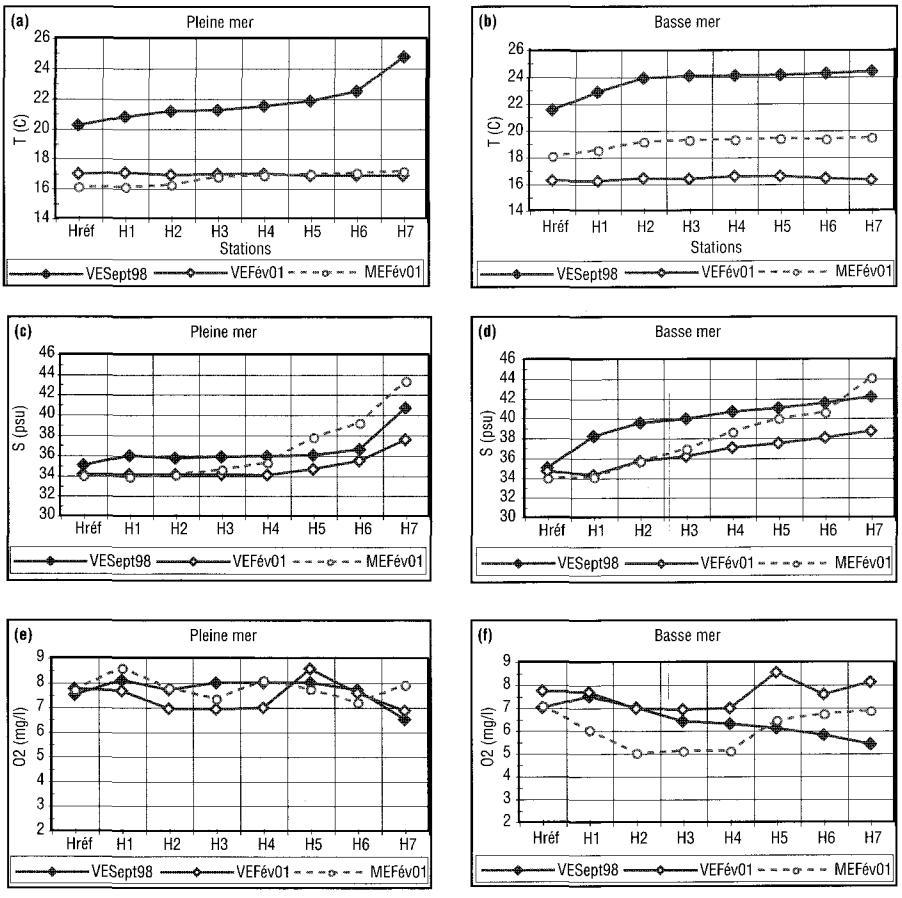


Figure 6 Température (a et b), salinité (c et d) et oxygène dissous (e et f) durant les marées de vive-eau (VE) et de morte-eau (ME) (septembre 1998 et février 2001).

Temperature (a and b), salinity (c and d) and dissolved oxygen (e and f) during spring tide (VE) and neap tide (ME) (September 1998 and February 2001).

et H4 montrent des valeurs intermédiaires de salinité (34-36 psu). En fonction des saisons, la salinité à BM est plus élevée en septembre 1998 qu'en février 2001, ce qui est probablement dû à une évaporation des eaux lagunaires suite à leur réchauffement en période estivale. La variation de la salinité selon l'amplitude de marée montre que les eaux sont nettement plus salines en ME qu'en VE. En effet, les courants en ME sont plus faibles et il y a donc moins d'échange entre la mer et la lagune, ce qui se traduit par un fort gradient de salinité à partir de la station H5.

L'oxygène dissous

Les concentrations de l'oxygène dissous sont très variables d'une station à l'autre et d'une période à l'autre (figures 6e, 6f). À BM, les eaux présentent de fortes variations entre les périodes de VE (6,9-8,5 $mg \cdot l^{-1}$) et de ME (5,1-8,1 $mg \cdot l^{-1}$) et un fort gradient de concentration de l'aval vers l'amont de la lagune. À PM, les eaux sont plus oxygénées et les valeurs sont moyennement comprises entre 6,4 et 7,3 $mg \cdot l^{-1}$. On note également de faibles variations entre les saisons et les périodes de ME et de VE. Ceci montre que, durant le flot, le renouvellement des eaux améliore les niveaux d'oxygène à l'intérieur de la lagune.

Les nitrates

Les concentrations moyennes des nitrates dans la lagune présentent une variation saisonnière et journalière (figures 7a, 7b). Les eaux sont généralement plus riches en nitrates en février 2001 qu'en septembre 1998. À BM, les zones, situées en aval et au centre de la lagune, sont plus riches en nitrates et les concentrations diminuent en progressant vers l'amont. Les valeurs sont comprises entre 80 $\mu g \cdot l^{-1}$ (H4) et 9,9 $\mu g \cdot l^{-1}$ (H7) (figure 7b). À PM, les eaux sont généralement moins riches et leurs concentrations varient entre 75,4 $\mu g.l^{-1}$ (H4) et 6,9 $\mu g \cdot l^{-1}$ (H7) (figure 7a).

Les phosphates

La distribution spatiale des phosphates montre deux évolutions dépendant de la marée et de la saison (figures 7c, 7d). Cette distribution est plus homogène à PM (97 $\mu g \cdot l^{-1}$) et les eaux sont généralement plus riches en phosphates en février 2001 (figure 7c). À BM, les concentrations moyennes des phosphates fluctuent entre 50 $\mu g \cdot l^{-1}$ (H2), 270,6 $\mu g.l^{-1}$ (H4) et les valeurs les plus élevées ont été relevées dans les stations H4, H6 et H7 (figure 7d). À PM, les concentrations sont comprises entre 50,5 $\mu g \cdot l^{-1}$ (H2) et 172,2 $\mu g \cdot l^{-1}$ (H6) (figure 7c). Ainsi, la masse d'eau de faible profondeur à BM, s'enrichit en phosphates par les échanges importants eau-sédiment.

La chlorophylle-a

Les figures 7e et 7f illustrent l'évolution des concentrations moyennes de la Chl-a durant notre période d'étude. Elles montrent que les eaux sont plus riches en février 2001 (1,1-2,8 $mg \cdot m^{-3}$) qu'en septembre 1998 (0,7-2,6 $mg \cdot m^{-3}$). À l'échelle spatiale, un gradient croissant de l'aval vers l'amont de la lagune a été relevé, et où les concentrations sont plus élevées à PM (1,4-2,6 $mg.m^{-3}$) qu'à BM (0,3-0,8 $mg \cdot m^{-3}$) pendant la marée de VE. Comparées aux figures 7a et 7b, ces pics de Chl-a correspondent à des chutes de concentrations des

nitrates durant la même période des mesures. Il est possible qu'un enrichissement de la lagune en Chl-a corresponde à un appauvrissement du milieu en nitrates. Par ailleurs, les résultats comparatifs des deux saisons d'étude montrent que la richesse du milieu en Chl-a est plus importante durant l'hiver/printemps où le processus de l'assimilation végétale est plus prononcé. Les résultats trouvés durant notre étude sont en parfait accord avec les travaux qui ont été réalisés entre 1997 et 1999 dans la zone côtière adjacente à la lagune [MAKAOUI *et al.* (2000)]. Par ailleurs, la comparaison avec les autres écosystèmes similaires, indique que la lagune de Khnifiss a une teneur en Chl-a comparable à celle rapportée par TOURNIER et PICHOT (1987) dans l'étang de Thau (0,9-2,15 mg·m^{-3}). Elle est par contre, inférieure à celle trouvée par LEFEBVRE *et al.* (1997) dans la lagune de Nador (0,2-6 mg·m^{-3}) et par FRISONI (1984) dans l'étang de Biguglia (valeur moyenne de 3 mg·m^{-3}).

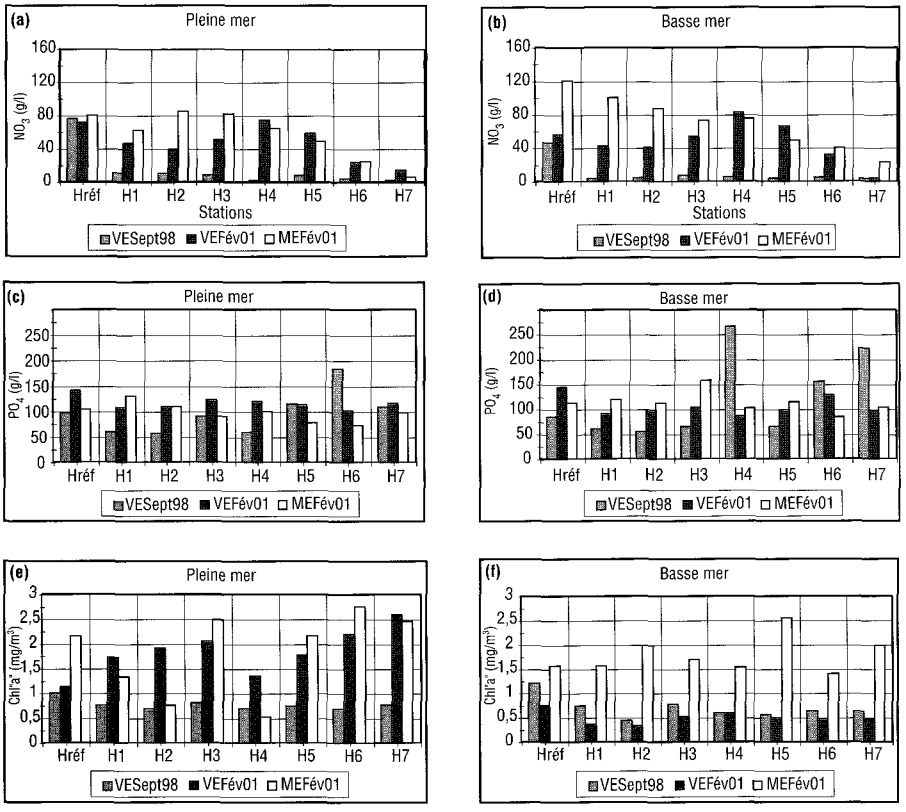


Figure 7 Éléments nutritifs (a,b,c,d) et Chl-a (e et f) durant les marées de vive-eau (VE) et de morte-eau (septembre 1998 et février 2001).

Nutritive elements (a,b,c,d) and Chlorophyll-a (e and f) during spring tide and neap tide (September 1998 and February 2001).

4 - DISCUSSION

Les différents résultats obtenus lors des campagnes de mesures montrent que la lagune de Khnifiss est un site gouverné essentiellement par la dynamique des cycles de marée. Les particularités hydrologiques de la lagune imposent au système un mode de circulation des eaux selon un rythme alternatif (flot et jusant) et bidirectionnel (axial et transversal). Cette circulation intralagunaire participe à l'oxygénation des masses d'eaux et à la richesse du site en produits azotés, phosphatés et en chlorophylle-a, en particulier durant le mois de février 2001 qui s'approche d'une situation printanière. Cependant, les taux élevés de salinité dans les deux tiers supérieurs de la lagune pourraient être expliqués par l'aridité de la zone et l'existence d'une saline en amont de la lagune. Le rythme hydrodynamique très actif de la lagune entraîne (1) une homogénéisation spatiale et verticale des masses d'eaux et (2) une diminution du temps de résidence de celles-ci. Ainsi, des valeurs normales de salinité sont observées à chaque marée montante.

Du point de vue capacité trophique, les eaux marines avoisinant la lagune constituent une source de nourriture pour les mollusques y vivant. Il est donc essentiel d'identifier les zones lagunaires à plus forte productivité planctonique. Dans la lagune de Khnifiss, le type de communauté phytoplanctonique n'est pas encore connu. Néanmoins, BENNOUNA (1999) a montré que dans des lagunes similaires, notamment la lagune de Oualidia, le phytoplancton est essentiellement composé de *Dinoflagellés* et de *Diatomées* ; et que ces dernières sont majoritaires. Dans cette même lagune, RHARBI (2000) a révélé la dominance du picophytoplancton comme source principale de nourriture de la population d'huîtres et de palourdes dans la lagune.

La lagune apparaît dans son ensemble comme un système homogène déconfiné. Cependant, les principaux résultats de notre étude montrent que la lagune peut être caractérisée par trois grandes zones ayant des degrés d'influences océaniques distincts (figures 8a, 8b) :

Zone I (aval de la lagune) : Ce secteur est géré par une dominance purement océanique et comprend les stations Hréf, H1 et H2. Les profondeurs varient entre 2,50 et 6,60 mètres selon la marée et selon les endroits. Les variables physico-chimiques de cette zone présentent des concentrations contrôlées par l'effet tampon du milieu océanique, ce qui reflète les faibles variations de température et de salinité observées entre les stations de la même saison. Le courant le plus important dans la lagune a été enregistré dans cette zone en marée de VE (110 $cm \cdot s^{-1}$) ; il s'oriente vers la rive gauche au flot et vers la rive droite au jusant. Le courant, généralement fort à cet endroit, fait que le sédiment est grossier et les échanges eau-sédiment sont importants. Cette forte agitation de la masse d'eau entraîne une faible sédimentation de la matière organique et défavorise, par conséquent, les processus de nitrification dans cette partie de la lagune.

Zone II (milieu de la lagune) : C'est une zone de transition avec une influence océanique intermédiaire. Elle est située entre la station H3 et la station H5. La grandeur de la passe et les échanges importants avec l'océan attribuent à cette zone des caractéristiques hydrologiques comparables à celles de

la zone I. Concernant la bathymétrie, les profondeurs varient plus entre 2,64 et 8,70 mètres. Le premier gradient de salinité apparaît à partir de la station H3, où les eaux accusent des valeurs plus élevées à BM d'une ME (36-41 psu). Dans cette zone, le courant diminue relativement par rapport à la zone I (56 $cm \cdot s^{-1}$ en septembre 1998 et 78 $cm \cdot s^{-1}$ en février 2001) et s'oriente préférentiellement vers la rive droite au flot et vers la rive gauche au jusant. La présence des premiers faciès sédimentaires à caractère vaseux dans les zones intertidales, lors de grandes marées de VE, montre une élévation des concentrations en nitrates (10-80 $\mu g \cdot l^{-1}$) et en phosphates (60-260 $\mu g \cdot l^{-1}$) à partir d'un sédiment riche en matière organique.

Zone III (amont de la lagune) : Cette zone couvre un biotope différent des deux premiers secteurs. Les eaux, moins profondes (2,64-5,30 mètres) et d'une très légère influence océanique, regroupent les stations H6, H7 et la partie supérieure en amont de la lagune. En septembre 1998, les eaux à BM d'une ME sont relativement plus chaudes (24-26 °C) et plus salées (41-44 psu). Le calcul du temps de résidence des eaux dans la lagune (T_{RES}) en fonction de l'amplitude de marée a montré qu'il est 3 fois plus grand en ME qu'en VE. Il est possible que, lors du jusant de la ME, la lagune reçoive en amont une eau qui a stagné assez longtemps (environ 55 h) ; elle devient donc très salée et surchauffée dans des endroits où la profondeur est faible et l'évaporation est importante. À marée montante d'une VE, pendant un T_{RES} = 1,5 cycle de marée (18 h 30 mn), le mouvement de grandes masses d'eaux à l'intérieur de la lagune, à travers les grands chenaux, entraîne une diminution bien nette des températures (16,45-16,60 °C) et des salinités (34,5-38,7 psu).

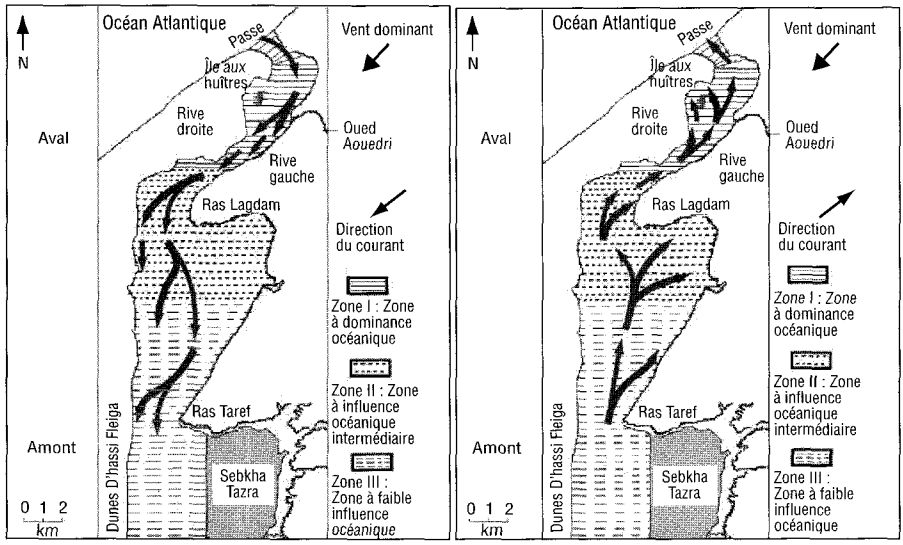


Figure 8 Circulation des eaux à l'intérieur de la lagune durant le flot (a) et le jusant (b).

Water circulation inside the lagoon during hight tide (a) and low tide (b).

Par ailleurs, en se basant sur l'échelle de confinement basée sur la zonation biologique des écosystèmes paraliques [GUELORGET *et al.* (1982), (1983), GUELORGET et PERTHUISOT (1992)], nous avons constaté que la zone I, située à proximité de la mer, correspond à la zone de confinement I, où la macrofaune est composée essentiellement d'espèces thalassiques. La zone II (milieu de la lagune) correspond aux zones de confinement II, III et IV, et où on note l'absence de macrofaunes strictement marines (*Solen marginatus, Ruditapes decussatus, Venerupis pullastra, Cerastroderma edulis, Donax trunculus, Mytillus galloprovincialis* et *Perna picta*). Enfin, la zone III (amont de la lagune) se situe entre les zones de confinement V et VI : les populations rencontrées dans ces zones tolèrent des conditions hydrologiques extrêmes et sont dominées par *Notomastus sp* et *Nereis diversicolor*.

5 - CONCLUSION

En se basant sur les différents résultats de cette étude et de celles portant sur la salubrité du site et de ses coquillages [INRH, (2001)], la lagune de Khnifiss présente des caractéristiques hydrologique, trophique et hydrodynamique favorables à la conchyliculture. Trois zones (I, II et III) ont été identifiées dans la lagune en fonction des degrés d'influences océaniques. Dans la zone III, l'absence d'apports en eaux douces provoque une élévation considérable de la salinité et de la température : cette partie de la lagune est donc à exclure dans tout projet de développement de la conchyliculture. Au niveau des zones I et II, le renouvellement important des eaux lagunaires appuie le développement d'une activité conchylicole dans cette partie de la lagune. Néanmoins, dans la zone II, le choix de l'espèce en élevage devra tenir compte des taux élevés de salinité et des écarts halins observés entre le flot et le jusant. Aussi, le nombre de projets aquacoles dans cette lagune, classée site RAMSAR depuis 1980, devra-t-il prendre en considération son équilibre écologique et sa capacité tropique. Toutefois, la préservation de la lagune et l'exploitation rationnelle de ses ressources naturelles nécessitent l'élaboration d'un plan d'aménagement intégré de son espace. Cette présente étude offre les connaissances de base permettant d'élaborer un tel plan.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les deux arbitres anonymes pour leurs commentaires et corrections, le Pr V. KOUTITONSKY pour avoir participé à l'amélioration de ce travail et les scientifiques de l'INRH de Casablanca, tout particulièrement, Mlle N. EL MOUSSAOUI, Mme S. ZIZAH et M. A. AGOUZOUK pour leur collaboration. Nous remercions également M. M. NAJIH, chef du Centre Régional de l'INRH à LÂAYOUNE pour son aide et son soutien logistique durant les campagnes de mesures.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AMINOT A., CHAUSSEPPIED M., 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. *CNEXO*, Brest, 395 p.

BEAUBRUN P.C., 1976. La lagune de Khnifiss : premières observations sur les sédiments et l'hydrologie du milieu. *Bull. Inst. Scient.*, Rabat, 1, 65 p.

BENNOUNA A., 1999. Étude des populations phytoplanctoniques de la lagune de Oualidia (Maroc) ; dinoflagellés potentiellement nuisibles. *Mar. Life*, 10(1-2), 3-18.

DYER K.R ; TAYLOR P.A., 1973. A simple segmented prism model of tidal mixing in well-mixed estuaries. *Estua and coast marine Science*, 1, 411-418.

FEKHAOUI M., EL AGBANI M.A., BAYED A., 1988. The Khnifiss lagoon and adjacent waters : chemistry of the surface waters. Inst. Sci, Rabat, Maroc *Trav. Mém. Hors Série*, 35 p.

FRISONI G.F., 1984. Contribution à l'étude du phytoplancton dans le domaine paralique. Th. Doct. Ing. Univ. Languedoc. Montpellier, 171 p.

GUELORGET O., MAZOYER-MAYERE C., PERTHUISOT J.P., AMANIEU M., 1982. La production malacologique d'une lagune méditerranéenne : l'Étang du Prévost. Cannes, décembre 1982. *Rapp. Comm. Int. Mer.* 28(6), 107-112.

GUELORGET O., PERTHUISOT J.P., 1983. Le domaine paralique : Expressions géologiques, biologiques et économiques du confinement. Presse de l'École Normale Supérieure, série 156, n° 16, 128 p.

GUELORGET O., PERTHUISOT J.P. 1992. Paralics ecosystems Biological organisation and functionning. *Vie et Milieu*, 42(2), 215-251.

INRH, 2001. Étude sanitaire pour le classement du site d'élevage de la coquille saint-Jacques au niveau de la lagune de Khnifiss. Dép. Qual. et Sal du milieu marin, Note ministère de Pêche, 12 p.

LAKHDAR I.J., SARF F., EL MOUSSAOUI N., ORBI A., HILMI K., 2000. Étude pluridisciplinaire de la lagune de Khnifiss (Sud du Maroc). INRH, Casablanca, Maroc, Rapport. Trav. Doc n° 108, 114 p.

LAKHDAR I.J., ORBI A., HILMI K., ZIDANE F., 2002. Étude hydrochimique et courantologique d'un milieu paralique : la lagune de Khnifiss (Sud du Maroc). *Eau. Indus. Nuisance*, 252, 47-51.

LEFEBVRE A., GUELORGET O., PERTHUISOT J.P., DAFIR J.E., 1997. Évolution biogéologique de la lagune de Nador (Maroc) au cours de la période 1982-1993. *Océanol. Acta.*, 20(2), 371-385.

MAKAOUI A., ORBI A., LARISSI J., ZIZAH S., HILMI K., 2000. Principales caractéristiques océanographiques de la côte atlantique marocaine de 1994 à 1998. INRH, Casablanca, Maroc, Rapport. Trav. Doc n° 109, 52 p.

ORBI A., NEMMAOUI M., 1992. Fluctuation des vents et variabilité de l'upwelling le long de la Côte Atlantique Marocaine. INRH, Casablanca, Maroc, Rapport. Trav. Doc n° 75, 50 p.

ORBI A., HILMI K., LARISSI J., ZIDANE H., ZIZAH S., EL MOUSSAOUI N., LAKHDAR I.J., SARF F., 1998. Hydrologie et hydrodynamique des côtes marocaines : milieux paraliques et zones côtières. Expo 98, 68 p.

OUCHCHAM., 1996. Transit littoral et évolution morpho-sédimentaire de la côte Atlantique Sud Marocaine entre le Cap Ghir et le cap Juby. Validité du modèle de McLaren et Bowles (1985). Th. Doct. Univ. Rabat, 151 p.

RAMSAR, 1993. Wise use of wet lands : Resolution C.5.6. Fifth of the conference of the contracting parties to the Ramsar convention, Kushiro, Japan, June 1993. (1), 169-183.

RHARBI N., 2000. Importance des paramètres hydrologiques et phytoplanctoniques sur la croissance de l'huître « *Crassostrea Gigas* » en élevage dans la lagune de Oualidia. Th. Doct. État. Univ. Casablanca, 217 p.

TOURNIER H., PICHOT Y., 1987. Répartition de la chlorophylle-a dans l'étang de Thau : Richesse nutritive pour les mollusques d'élevage. *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, 49(1-2), 24 p.