

**SCIENCES
DE LA NATURE**

**CHARACTERES HYDROLOGIQUES DE L' ESTUAIRE DU
MAFRAG : SALINITE ET MASSES D'EAUX**
Titre courant: HYDROLOGIE DE L'ESTUAIRE DU MAFRAG

Haridi Ahcène ;

Département des Sciences de la Mer, Faculté des sciences, Université d'Annaba,
Email: harididz2002@yahoo.fr Tel/fax : 038 87 10 62

Maat' Haha, Bendjedid Radia, Tazir Karima, Diaf assia, Ziouch Omar Ramzi :
Etudiants post graduant au Département des Sciences de la Mer

Pr Ounissi Makhlof ;

Département des Sciences de la Mer, Faculté des sciences, Université d'Annaba,
Adresse : B.P. 12, Annaba 23000, Algérie

**HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE MAFRAG ESTUARY:
SALINITY AND WATER MASSES**

ABSTRACT

The Mafrag estuary is a system of singular humid Mediterranean wetland by its hydrological regime and by the diversity of its hydrographical components. The distribution of the water masses has been investigated two times per month during the year 2005 in 4 stations of the Mafrag lower estuary in relation with the hydrological conditions. In winter, the estuary is entirely renewed by fresh water mass which flows at $20-30\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ and stops the marine intrusion. From the spring, the river is affected by a semi-diurnal tide conferring it as a core estuary according to a very stratified system of two layers. The temperature varied between $9-30^\circ$ with a annual thermal amplitude of 20°C . The surface salinity varied between 0.10-20 according to the season and to the water bottom. It only fluctuated between 28-36 except in flooding periods. It is a salt wedge estuary with a sharp halocline and strong stratification. The salt wedge layer occupies over 80% of the water column and stay unchanged during about 3 months. The hydrological cycle will start in winter when the salt wedge is entirely driven back to the sea and constitutes a large littoral plume.

Key words: Hydrology; Salinity; Water masses; Mafrag estuary; Littoral

**الخصائص الهيدرولوجية لمضيق مفرغ : الملوحة و الكتل المائية
ملخص**

يعتبر السهل الشمالي الشرقي للجزائر من أهم المناطق الرطبة في شمال إفريقيا حيث يتواجد المضيق البحري لمفرغ و الذي يمتد على طول منخفضات وادي بوناسومة و الكبير. و هو نوع نادر من التكتل المائية الضحلة على مستوى المنطقة المتوسطة حيث أنه خليط من المياه العذبة الوديانية و المياه البحرية خليج عنابة، و التي تتميز بطابع المد النصف نهاري. تمت متابعة خصائص الكتل المائية خلال سنة 2005 عبر أربع محطات. بينت النتائج انه خلال الشتاء تكون مياه مفرق عذبة ثم يتحول بداية الربيع الي مضيق وهذا بفعل مياه المد والجزر. يشهد المضيق تغير معتبر لدرجات الحرارة ($9-30^\circ$) حيث يصل الفرق الفصلي إلي 21 درجة. تتراوح الملوحة في المياه السطحية (0.10-20) بينما تتميز المياه العميقة بملوحة عالية (36) و هذا يعود إلى تعاقب الملوحة البحرية. إن توزع الكتل المائية في المضيق هو عبارة عن تراكب لطبقتين تحتل فيهما الملوحة حوالي 80% وتدوم على هذه الحالة مدة تسعة أشهر كاملة. تتجدد الدورة الهيدرولوجية لمضيق مفرغ بداية الشتاء حيث تنزح الملوحة إلي مستوى البحر مكونة بذلك خليط للكتل المائية الساحلية.

الكلمات المفتاحية : هيدرولوجيا ; الملوحة ; الكتل المائية ; مضيق مفرغ ; الساحل

INTRODUCTION

Un estuaire est la partie d'un fleuve affectée et contrôlée par la marée. Dans les estuaires à régime macrotidal, l'eau marine pénètre plusieurs dizaines à plusieurs centaines de kilomètres dans le continent (la Gironde, la Loire, la Seine en France, par exemple) et provoque un hydrodynamisme particulier. En régime microtidal, comme en Méditerranée, l'intrusion d'eau marine dans le continent étant limitée au maximum à 2-3 dizaines de kilomètres, le débit des fleuves conditionne ainsi la limite de l'entrée marine. Cette limite, dite coin salé, avance et recule selon le débit des eaux douces fluviales. Lors des crues d'hiver et parfois de printemps, le coin salé est reculé jusqu'à la mer. En période d'étiage le coin salé avance dans le continent et gagne une bonne partie de la rivière. Il s'agit en Méditerranée d'estuaire atypique à coin salé très stratifiés (IBANEZ et al., 2000, IBANEZ & PRAT, 2003, KHELIFI-TOUHAMI et al., 2006) avec l'eau douce en surface et l'eau marine au fond. En Méditerranée, ces hydrosystèmes sont considérés comme fleuves à marée ou comme lagunes et sont donc peu connus sous la vocation d'estuaire (BARNES, 1994; GUELORGET & PERTHUISOT, 1992). L'objectif de cette étude est de déterminer les masses d'eaux estuariennes et les conditions halines régnant dans l'estuaire, considérées comme paramètres directeurs de ces milieux à salinité variable.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

L'estuaire du Mafrag (Fig. 1) s'étend sur 20 Km avec une profondeur variant entre 1 et 8m selon la saison et le lieu. Le système estuarien du Mafrag est formé par les oueds Bounamoussa et El-Kébir et par les marécages des plaines littorales. Il s'agit d'un système de zones humides singulier en Méditerranée (KHÉLIFI-TOUHAMI et al. 2006) par son régime hydrologique et par la diversité de ses composants hydrographiques (oueds, marais, estuaire, dunes littorales). L'estuaire du Mafrag est alimenté par Oued El-Kébir, Oued Bounamoussa et par leurs marécages. Le bassin versant avec 3 200 Km² s'étend jusqu'aux frontières tunisiennes. Il reçoit les eaux agricoles et les effluents domestiques et industrielles. L'estuaire se déverse sur une rive littorale très exposée aux vents du Nord et du Nord-Ouest. Son parcours traverse, à l'approche du littoral, une masse de dune littorale très mouvante sur sa rive Est. Il s'ensuit un colmatage accentué lors des périodes d'étiages (3-4 mois).

Les stations étudiées (Fig. 1) ont été choisies selon un plan d'échantillonnage à choix raisonné. La station Embouchure E située à environ 100m du niveau du rivage (N 36° 50' 745: E 7° 56' 880), la station Confluence C, se situe à environ 1Km (N 36° 50' 362: E 7° 58' 380) de la mer au point de confluence des rivières-estuaires Bounamoussa et Kébir. La station du Kébir K (N 36° 50' 123 : E 7° 57' 662) et de Bounamoussa B (N 36° 50' 90: E 7° 57' 540) sont situées à environ 1Km de leur confluence. Les relevés de température (°C) et de salinité (Practical Salinity Unit ou psu) ont été effectués à l'aide d'un multiparamètre type WTW 197 i. (Fig.1)

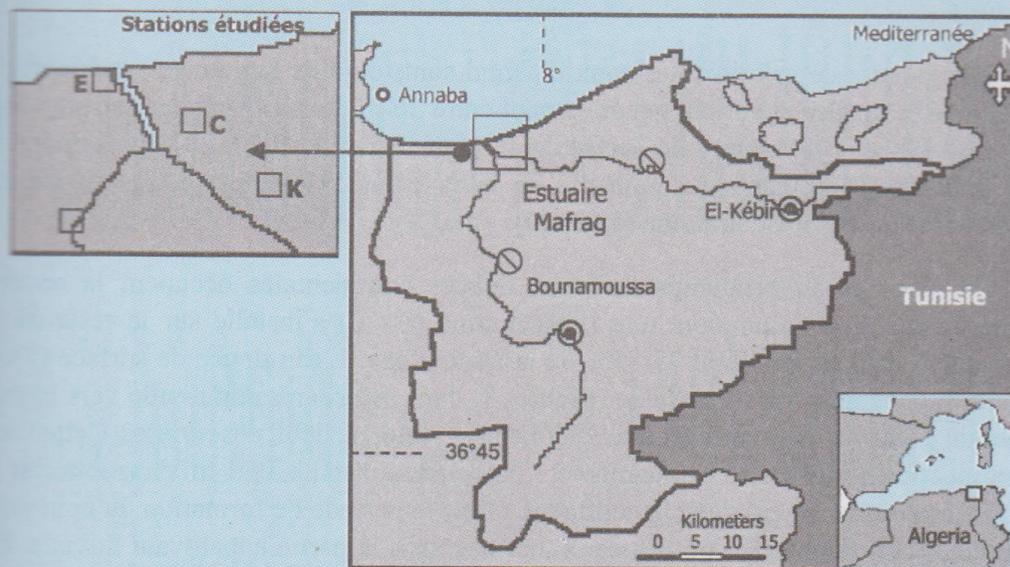


Figure 1. Localisation géographique du système estuarien du Mafrag et des stations de prélèvement. E: station embouchure ; C : station confluence ; B : station Bounamoussa ; K : station El-Kébir. W: Limite du coin salé; ⊙ : barrage

RESULTATS

Variations saisonnière et verticale des paramètres hydrologiques

Température

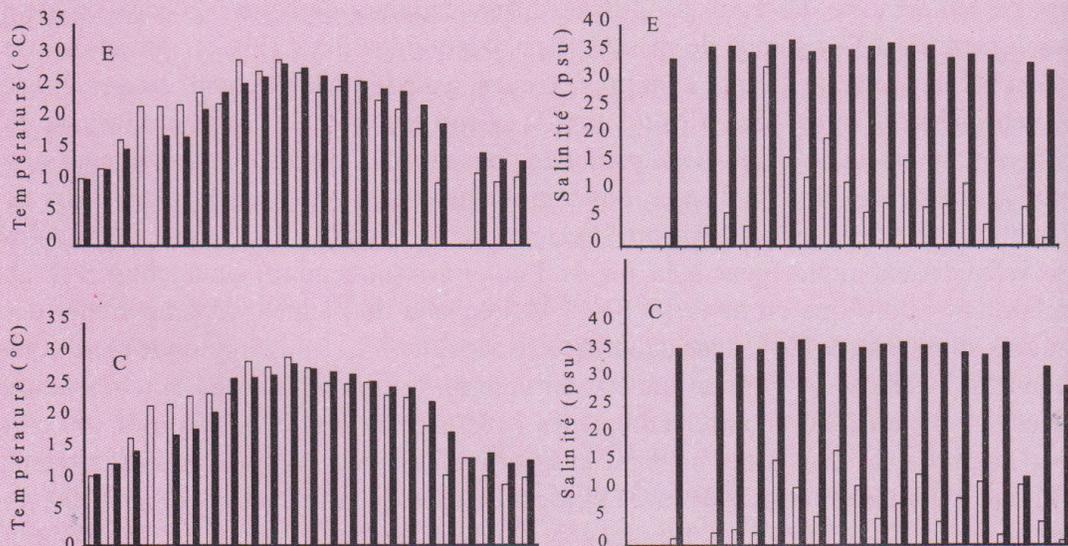
La température des eaux de surface diffère toujours de celle des eaux du fond soulignant déjà l'existence de masses d'eaux individualisées (Fig.2). Au printemps et en été, les eaux de surface sont plus chaudes mais le réchauffement est généralisé à l'ensemble de la colonne d'eau durant la saison estivale. Ce gradient s'inverse en automne et en hiver où les eaux profondes restent plus chaudes et témoignant non seulement de la faible influence des températures atmosphériques, mais aussi de l'individualité de la masse d'eau profonde et de sa forte inertie. Les eaux superficielles se refroidissent rapidement à la fin de l'automne (novembre) pour conserver un minimum calorifique en hiver (9-10°C). A l'échelle de l'année, la température des eaux a varié entre 9-30°C avec une forte saisonnalité (Fig. 2). L'amplitude thermique annuelle s'élève à 21°C pour une station donnée. La distribution de la température dans la colonne d'eau montre clairement l'isolement de la tranche d'eau (0-100 cm) par rapport à la lame d'eau sous-jacente particulièrement en hiver et au printemps (Figure 3). On peut remarquer sur la figure 3 l'existence d'une thermocline à 100 cm peu épaisse (20-50 cm) mais très accusée (3-5°C). Il s'agit d'une forte stratification thermique s'établissant en cette époque de l'année. Cette stratification s'atténue durant l'automne et l'été par suite d'un gain de chaleur au niveau des eaux profondes (10°C par rapport aux valeurs du printemps).

Salinité

Les valeurs de salinités des eaux du fond sont toujours largement supérieures à celles de la surface et varient généralement entre 30-36 tout au long des saisons (Fig. 2). En revanche la salinité de surface a fortement fluctué (0,10-20) conformément aux influences continentale dominante en hiver et au printemps ($S < 5$), ou marine dominante en été et en automne ($5 < S < 20$).

En hiver et au printemps les eaux douces continentales occupent la couche superficielle (0-80 cm) alors que l'eau marine ($S > 30$) s'installe sur le reste de la colonne d'eau, soit environ 75-85% de la lame d'eau. L'eau douce de surface ($S \approx 3$) flotte franchement sur l'eau salée (Figure. 3) dans sa progression rapide vers la mer coulant à une vitesse variable entre 35-75 cm. s⁻¹, selon le débit des rivières. Cette forte stratification s'affirme au printemps où l'halocline s'installe à 80 cm dans le Kébir et Bounamoussa et 50 cm dans le confluent. C'est la période de formation du coin salé, autrement dit la progression des eaux marines dans la partie auparavant fluviale. En été, la couche de surface est affectée par un brassage engendré par l'intensification des pénétrations marines au grès de la marée. Sur le plan hydrodynamique, l'estuaire fonctionne selon un système à deux couches mouvantes en sens inverse.

Les eaux marines presque quasiment isolées des eaux superficielles se déplacent très lentement vers le moyen et le bas estuaire alors que les eaux de surface subissent l'effet de marée. La marée entraîne un brassage limité aux premières dizaines de centimètres, n'affectant pas les eaux de fond (<80 cm). La constance de la salinité de ces eaux durant 6-9 mois, souligne l'isolement de cette tranche d'eau. Cette distribution des masses d'eaux aurait beaucoup de conséquences écologiques à la fois sur le fonctionnement de l'estuaire et de la côte voisine (Fig.2 et Fig.3)



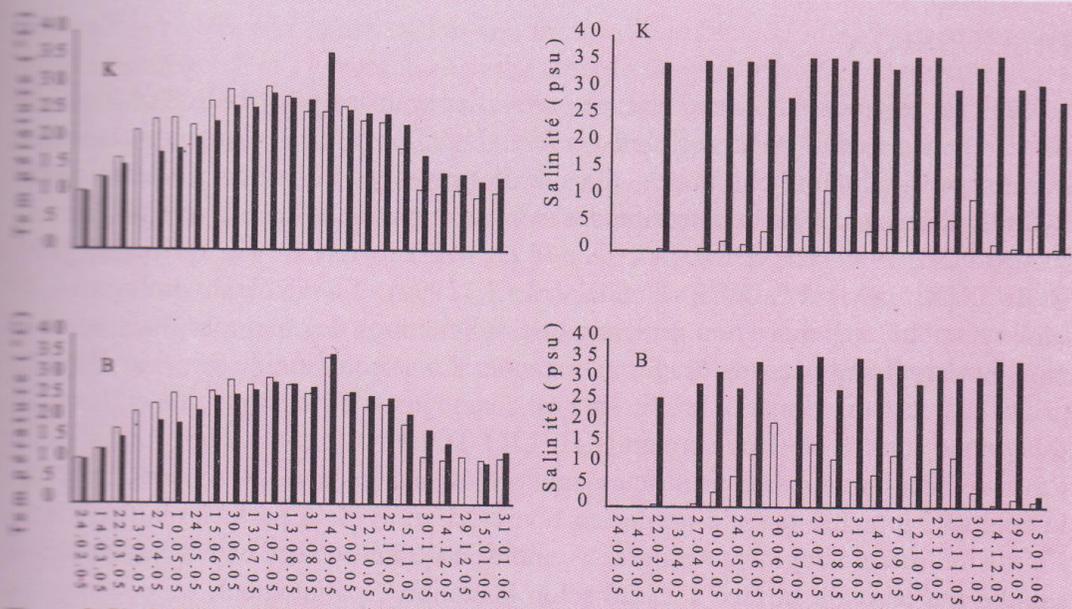


Figure 2. Variations saisonnières (février 2005 à janvier 2006) de la température et de la salinité des eaux superficielles et des eaux du fond dans les stations du système estuarien du Mafrag. E : Embouchure ; C : Confluence ; K : Kébir ; B : Boumoussa ; □ : Surface ; ■ : Fond

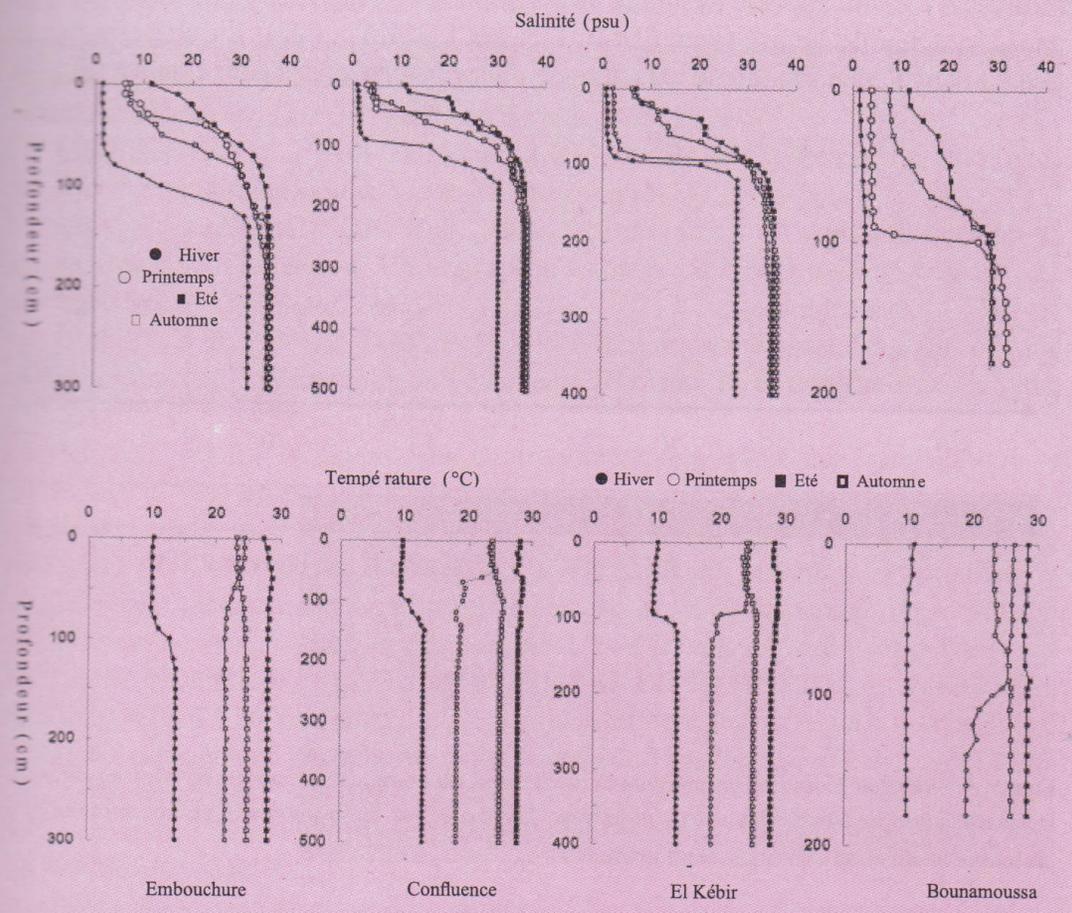


Figure 3. Distributions verticale et saisonnière de la salinité (en haut) et de la température (en bas) dans les stations étudiées du système estuarien du Mafrag en 2005.

DISCUSSION

Dans la région méditerranéenne en particulier pour les pays du Sud (Afrique du Nord, Afrique du Sud, Australie, Sud des Etats-Unis), les estuaires sont non seulement soumis aux pollutions chimiques, mais à de graves perturbations de leurs cycles hydrologiques, à la suite de rétention des eaux en amont dans les barrages (MARGAT & VALLEE, 1999; BENBLIDIA et al., 1997; MILLIMAN, 1997; TURLEY, 1997; HODGKIN, 1981; PEARCE & GRIVELLI, 1994). Le Cycle hydrologique du Mafrag semble dépendre non seulement des régulations des barrages mais aussi du taux du remplissage des marécages avoisinants. En saison humide (hiver et début du printemps: décembre-mars), le coin salé est chassé jusqu'à l'embouchure et l'estuaire fonctionne comme un fleuve ouvert (KHÉLIFI-TOUHAMI et al. 2006). Le recule ou l'avancement du coin salé est strictement contrôlé par le débit des rivières. En 2005, le coin salé a reculé jusqu'à la mer en février et en avril. A partir de la fin d'avril, l'intrusion marine augmente progressivement jusqu'en octobre et fait augmenter la salinité des eaux de surface à 15-20 selon la station. Spatialement, les pénétrations marines progressent 20 km dans Le Kébir et environ 12 km dans Bounamoussa. Aux stations étudiées, reflétant les caractères de l'estuaire aval (ou estuaire maritime), la salinité a évolué durant l'année 2005 entre 0,10 et 20. Se basant sur cette gamme de salinité, la classification de l'estuaire ne correspond à aucune des catégories proposées par le système de Venise (voir ELLIOT & MCLUSKY, 2002). En un point donné, l'estuaire aval, peu prendre le caractère de plusieurs catégories dans l'année (Fig. 4).

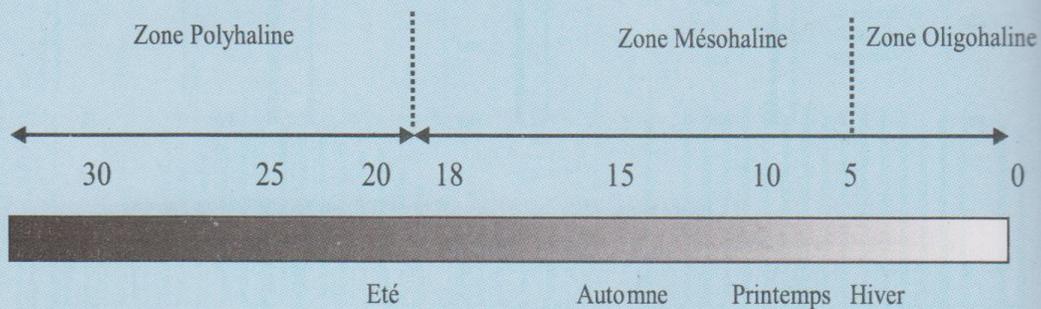


Figure 4. Situation haline saisonnière de la partie aval du complexe estuarien du Mafrag selon la classification de Venise des eaux saumâtres. L'estuaire est méso-polyhalin en été, mésohalin en automne et oligohalin en hiver et au printemps

Le système hydrique du Mafrag ressemble dans son cycle hydrologique à l'estuaire de l'Ebre en Espagne (IBANEZ & PRAT, 2003) et aux estuaires de l'Australie (HEARN & ROBINSON, 2002) et de l'Afrique du Sud (WHITFIELD, 1992). Les données hydrologiques montrent que l'estuaire change de régime rapidement et passe

de la phase estuaire en moins d'une semaine. Ce changement s'est effectué entre le 15 et 21 mars. La salinité étant le témoin fidèle de ces modifications, passant de 0,30 à 35 durant la troisième semaine de mars. Cette entrée marine s'est accompagnée d'une forte stratification des eaux qui perdure jusqu'en automne. La remontée des eaux de surface, par suite de l'intensification des entrées marines, s'accompagne d'un mélange aux frontières des deux couches. La couche profonde reste inchangée, pour la salinité, pendant plus de 9 mois et témoigne de sa stagnation et d'un mauvais renouvellement. Ce régime hydrologique devrait retentir sur le régime et la biologie de l'estuaire. Les études ultérieures devront permettre de mieux comprendre le cycle hydrologique du Mafrag afin de proposer un plan hydrologique de ce système interface.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARNES R. S. K., 1994. Critical appraisal of Guelorget and Perthuisot's concept of the paralic ecosystem and confinement to macrotidal Europe. *Estuaries, Coastal and Shelf Science* **38**: 41-48
- BENBLIDIA M., MARGAT J. & VALLÉE D., 1997. L'eau en région méditerranéenne (Centre d'Activité Régionale/Plan Bleu) Sophia Antipolis, 91p
- ELLIOT M., MCLUSKY D.S., 2002. The need for definition in understanding estuaries. *Estuaries, Coastal and Shelf Science* **55**: 815- 827
- GUELORGET, O., PERTHUISOT, J.P. 1992. Paralic ecosystems, biological organisation and functioning, *Vie & Milieu* **24**: 215-251
- HEARN, C. J., ROBINSON, B. J., 2002. On the effects of wind and tides on the hydrodynamics of a shallow Mediterranean estuary. *Continental Shelf Research* **22**: 2665-2672
- HODGKIN, E. P., LENANTON, R. C., 1981. Estuaries and coastal lagoons of south western Australia. In *Estuaries and Nutrients* (Neilson, B. J. & Cronin, L. E., eds). Humana Press, New Jersey, pp. 307-321
- IBÁÑEZ C., PRAT N., 2003. The environmental impact of the Spanish National Hydrological Plan on the lower Ebro river and delta. *Water Resources Development* **19** (3):485-500
- IBANEZ, C., CURCO, A., DAY, J.W., PRAT, N., 2000. Structure and productivity of microtidal Mediterranean coastal marshes, in: M. P. Weinstein & D. A. Kreeger (Eds) *Concepts and Controversies in Tidal Marsh Ecology* (Dordrecht, Kluwer
- KHÉLIFI-TOUHAMI M., OUNISSI M., SAKER I., HARIDI A., DJORFI S., ABDENOUR C., 2006. The hydrology of the Mafrag estuary (Algeria): Transport of inorganic nitrogen and phosphorus to the adjacent coast. *Journal of Food, Agriculture & Environment* **4** (2): 340-346
- MILLIMAN J. D., 1997. Blessed dams or damned dams? *Nature* **386**: 325-327
- PEARCE F., GRIVELLI A. J., 1994. Caractéristiques générales des zones humides méditerranéennes. *Publication Med Wet. Conservation des zones humides méditerranéennes*. Tour du Valat., 89p
- MARGAT J., VALLÉE D., 1999. Ressources en eau et utilisations dans les pays méditerranéens: Repères et statistiques, ed. Plan bleu. 200p

TURLEY C. M., 1997. The changing Mediterranean sea. A sensitive ecosystem?
Progress in oceanography **44**: 387-400

WHITFIELD, A. K., 1992. A characterization of southern African estuarine systems.
Southern African Journal of Aquatic Sciences **18**: 89-103

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le contexte de deux projets nationaux (ONEDD MATE/05/04 et F 3101/04/05).
Les auteurs remercient vivement l'ONNED pour son soutien financier et son efficacité administrative