
Soumis le : 15 Avril 2011

Forme révisée acceptée le : 18 Novembre 2011

Email de l'auteur correspondant :

harididz2002@yahoo.fr

Le phosphore dissous dans la rivière-estuaire du Mafrag: Répartition et niveaux de concentrations

Ahcène HARIDI *, Fatma-Zohra TAAMMALLAH *, Omar-Ramzi ZIOUCH *, Makhoulf OUNISSI *

* Département des sciences de la mer, Université d'Annaba

Résumé

Le phosphore est un élément essentiel à toute forme vivante, il est très largement utilisé en agriculture, dans les activités domestiques et devient souvent excessivement abondant dans les milieux aquatiques. L'apport exagéré dans les écosystèmes aquatiques occasionne le phénomène d'eutrophisation. Les teneurs des différentes formes du phosphore dissous ont été suivies dans 10 stations du système estuarien du Mafrag en 2008. Les formes analysées du phosphore dissous sont : les orthophosphates (PO_4^{3-}), les polyphosphates (P_2O_5), le phosphore total dissous (PTD) et le phosphore organique dissous (POD) a été déduit. La salinité des eaux profondes a varié entre 0-35,5psu selon la saison et celle de la surface a fluctué seulement entre 0-12,7 psu. On considère que l'estuaire est hautement riche en phosphore avec une moyenne de 8,54 μ moles. l^{-1} pour la fraction totale répartie équitablement entre la forme organique (50%) et inorganique (50%).

Mots-clés : Température, salinité, Phosphore total dissous, phosphore organique dissous, Estuaire du Mafrag.

Abstract

Phosphorus is essential to every form of life. It is widely used in agriculture and domestic activities and often becomes overly abundant in aquatic environments. The exaggerate contribution in aquatic ecosystems causes eutrophication. The levels of different forms of dissolved phosphorus were monitored in 10 stations of the estuarine Mafrag system in 2008. The analyzed forms of dissolved phosphorus are orthophosphates (PO_4^{3-}), polyphosphates (P_2O_5) and dissolved organic phosphorus (POD). The salinity of the deep water is ranged from 0-35, 5 psu depending on the season and between 0-12,7 psu for the surface. It is considered that the estuary is highly rich in phosphorus with an average of 8,54 μ moles. l^{-1} for the total fraction divided equally between the organic form (50%) and inorganic (50%).

Keywords: Temperature, Salinity, Total dissolved phosphorus, organic dissolved phosphorus, Mafrag estuary.

1. Introduction

Le phosphore est présent dans des molécules essentielles au déroulement de nos processus vitaux majeurs tels que la respiration, le transfert d'énergie (ATP) et la reproduction (ADN). Dans les milieux naturels, le phosphore est peu abondant et constitue souvent le premier des facteurs limitant de la production végétale. Cependant, son abondance naturelle a été quasiment modifiée par l'homme, par son essor industriel et son système de production agricole [1, 2, 3] devenu de plus en plus intensif. Selon l'activité humaine exercée au niveau du bassin versant, le phosphore prend la nature conséquente. En effet, Les rejets domestiques constituent la nature ponctuelle du phosphore alors que la nature

diffuse proviendra des rejets agricoles. L'essentiel de la charge en phosphore dans les rejets liquides arrive aux cours d'eau par les affluents, et la quantification de cette charge ainsi que leur évolution spatiotemporelle ne peut être admis que par le dosage continu des différentes formes de phosphore introduit dans le réseau hydrographique, c'est la routine de la surveillance continue [4]. Dans le même contexte et à une échelle régionale, la directive européenne (2000/60/CE) [5] stipule dans son préambule le principe suivant « *l'eau n'est pas un bien marchand comme les autres mais un patrimoine qu'il faut protéger, défendre et traiter comme tel* ». De plus, l'article 36 de la dite directive mentionne ce qui suit: « *l'évolution de l'état des eaux doit être surveillée par les états membres sur la base systématique et comparable dans l'ensemble de la communauté. Ces informations sont nécessaires pour fournir aux états*

membres une base satisfaisante pour élaborer des programmes de mesures visant à réaliser les objectifs fixés par la présente directive ». A l'échelle nationale, la législation stipule dans son contenu l'idée de contrôle des eaux de surface. A titre d'exemple, nous citons le décret exécutif n°141- 06 [6] définissant les valeurs limite des rejets d'effluents liquides industriels. Aussi, la loi 02-02 [7] relative à la protection et la valorisation du littoral vise le contrôle des eaux de surface, et ce, par l'obligation de la dotation d'une station d'épuration (STEP) pour une agglomération urbaine de plus de 100 000 habitants. Enfin, le présent travail s'inscrit dans le contexte précité dans ce préambule, et vise le suivi de la qualité des eaux de surface de la rivière estuaire du Mafrag.

2. Milieu & méthodes

2.1. Milieu

Le complexe estuarien du Mafrag est un écosystème microtidal, formé par deux rivières permanentes (Bouamoussa et El-Kébir) et de leurs marécages environnants (600 km²). Le bassin versant du Mafrag s'étend sur 3200 km², incluant deux barrages (Cheffia & Mexa) construits respectivement sur Bouamoussa et El-Kébir (Fig. 1). Le bassin versant (350 000 habitants) est exploité pour l'agriculture et l'élevage. L'irrigation des terres agricoles est assurée en grande partie par les rivières tributaires de l'estuaire. L'agriculture y est essentiellement intensive et l'industrie se limite à de petites usines agro-alimentaires. La précipitation moyenne annuelle est de l'ordre de 800 mm et l'évaporation atteint 508 mm. Le cycle hydrologique du Mafrag dépend de la régulation des barrages et du taux de remplissage des marécages avoisinants [8]. En saison humide, le coin salé peut être chassé à l'embouchure et l'estuaire fonctionne

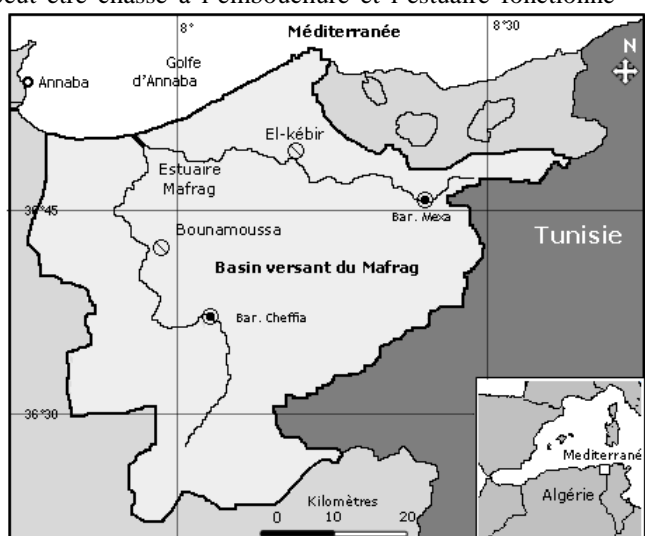


Figure 1 : Situation géographique de l'estuaire du Mafrag et de son bassin versant.

comme un fleuve ouvert, alors qu'en période sèche son recule ou son avancement est dû essentiellement au débit des deux tributaires [8, 9].

2.2. Méthodes

Afin de déterminer la variabilité spatiale des conditions hydrologiques et chimiques, les stations équidistantes de 2km ont été situées tout le long de l'estuaire, depuis l'embouchure jusqu'à 10,50 km dans la branche El-Kébir et 8 km dans la branche Bouamoussa (Tab. 1 & Fig. 2). Les caractéristiques des stations choisies sont résumées dans le tableau 1.

Ces dix stations ont été suivies mensuellement entre janvier et décembre 2008. Conjointement aux prélèvements de l'eau de surface et du fond pour dosage des formes de phosphore, la température et la salinité de surface et du fond ont été relevées par un Multiparamètre de marque WTW 197i. Pour ce qui est de dosage chimique, le phosphore est présent dans les eaux sous trois formes : phosphore réactif soluble (SRP), phosphore organique non réactif ou soluble (SUP) et le phosphore particulaire (PP). Le SRP et le SUP formant la fraction du phosphore soluble (PS), et la somme de tous les composants c'est le phosphore total (PT). Les composés phosphorés d'origine organique dans l'échantillon total et dans la phase soluble sont obtenus par différence entre le phosphore total dissous et la somme des orthophosphates et des polyphosphates : $POD = PT_d - (PO_4^{3-} + P_2O_5)$. Il est à souligner que les polyphosphates dont la forme de présentation P_2O_5 se sont des composés obtenus par polycondensation d'orthophosphates, caractérisés par la répétition du même motif structural PO_3M où M est un cation tels que Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} . Les méthodes d'analyse de ces formes de phosphore ont été effectuées à partir de trois sous échantillons, selon les protocoles chimiques consignés dans la littérature [10, 11].

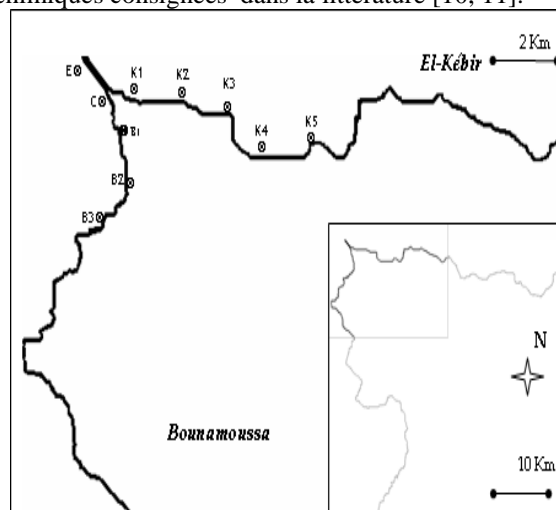


Figure 2: Positionnement des stations étudiées de l'estuaire du Mafrag en 2008. E : station embouchure, C : station confluence, K1-K5 : stations 1 à 5

de la branche El-Kébir, B1-B3 : stations 1-3 de la branche Bounamoussa.

Tableau 1 : Caractéristiques géographiques des stations étudiées. Les stations d'El-Kébir sont dénommées de K1 à K5 et les stations de Bounamoussa sont dénommées de B1 à B3.

Stations	Positionnement (latitude, longitude)	Profondeur (m)	Distance de l'Embouchure (km)
Embouchure(E)	N 36°50.739' E 07°56.913'	3	0,2
Confluence (C)	N 36°50.308' E 07°57.428'	4,5	1,1
K1	N 36°49.931' E 07°58.001'	4,1	2,3
K2	N 36°49.551' E 07°59.027'	3,3	4,2
K3	N 36°49.476' E 08°00.024'	2,2	6
K4	N 36°49.463' E 08°01.249'	1,6	8
K5	N 36°48.696' E 08°01.988'	2,2	10,5
B1	N 36°49.561' E 07°57.639'	1,7	2,6
B2	N 36°48.640' E 07°58.244'	2,2	4,6
B3	N 36°47.778' E 07°58.073'	2,2	6,4

3. Résultats

3.1. Paramètres hydrologiques

Les courbes de variations de la température présentent toujours la même allure au niveau de toutes les stations montrant une forte saisonnalité (fig. 3). La température des eaux de surface diffère de celle des eaux du fond soulignant l'existence de masses d'eaux individualisées. Au printemps et en été, les eaux de surface sont plus chaudes atteignant un maximum de 29,8°C. Le réchauffement se généralise à l'ensemble de la colonne d'eau durant la saison estivale avec un écart entre les masses d'eau de fond et de surface (0,06- 8,2°C). Le gradient de température s'inverse en automne et en début d'hiver où les eaux profondes restent plus chaudes par suite de la faible influence des températures atmosphériques. Les eaux superficielles se refroidissent rapidement à la fin de l'automne pour atteindre la valeur

minimale annuelle (8,8°C). A l'échelle de l'année, la température moyenne est de l'ordre de 19,9°C, l'amplitude thermique s'élève à 21°C reflétant une des caractéristiques de climat tempéré méditerranéen. Les salinités des eaux de fond sont différentes à celles de surface. Cette différence est bien due à la remontée d'eau salée dense au fond alors que l'eau douce flotte en surface. L'écart de salinité entre le fond et la surface peut aller jusqu'à 34 unités, cet intervalle a été observé dans les stations proches de l'embouchure. Toutefois, les relevés des salinités atteignent l'égalité, voire même s'annule dans les stations les plus reculées vers l'amont (B₃ ; K₄ ; K₅). En période sèche, l'écart entre les salinités de fond et de surface se réduit considérablement pour atteindre l'homogénéité de la colonne d'eau. A l'échelle de l'année, l'amplitude de variation s'élève à 35 psu et la moyenne annuelle de surface/ fond est de l'ordre de 10,50 psu (Fig.4).

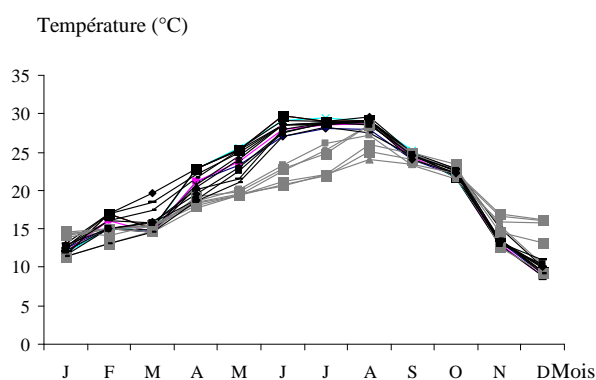


Figure 3. Variations saisonnières de la température (°C) de surface (en noir) et de fond (en gris) relevées aux niveaux des dix stations durant l'année 2008.

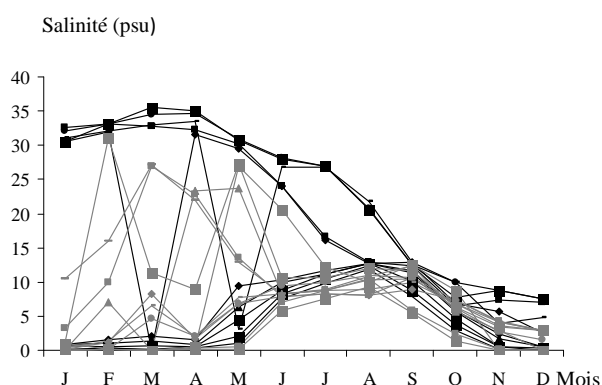


Figure 4. Variations saisonnières de la salinité (psu) de surface (en noir) et de fond (en gris) relevées aux niveaux des dix stations durant l'année 2008.

3.2. Le phosphore dissous

Les ions phosphates sont abondants toute l'année dans l'ensemble du système estuarien avec une valeur moyenne de $2,06 \mu \text{ moles.l}^{-1}$ (Fig. 5a). A l'échelle de l'année, l'amplitude des concentrations s'élève à $6,90 \mu \text{ moles.l}^{-1}$ (entre $0,06$ et $6,96$). Dans les milieux ouverts, la biodisponibilité des ions phosphate résulte de phénomène de désorption à la suite des écoulements de surface, hors les résultats montre paradoxalement que les teneurs en période sèche (juin - décembre) dépassent celles de la période humide (janvier - mai) dont les valeurs moyennes sont respectivement de l'ordre de $2,58 \mu \text{ moles.l}^{-1}$ et $1,56 \mu \text{ moles.l}^{-1}$. Les concentrations du fond sont légèrement supérieures à celles de surface avec un écart de $0,21 \mu \text{ moles.l}^{-1}$. Néanmoins, cet écart s'inverse parfois en faveur de surface surtout durant les mois d'avril et février. De telles exceptions semblent être en rapport avec les apports de ruissellements dans le bassin versant. En comparaison entre les deux branches composant l'estuaire, la branche El-Kébir est la plus riche avec une moyenne de $2,48 \mu \text{ moles.l}^{-1}$, suivie de l'exutoire (Embouchure et Confluence) avec $2,16 \mu \text{ moles.l}^{-1}$. La branche Bounamoussa paraît la plus pauvre avec seulement $1,56 \mu \text{ moles.l}^{-1}$. Sur le plan spatial, la distribution ne montre pas une tendance claire de l'aval vers l'amont.

Les polyphosphates en tant que deuxième forme dissoute, essentiellement d'origine continentale (agriculture et activité de lessive), sont abondants le long de l'année avec une moyenne annuelle de $2,16 \mu \text{ moles.l}^{-1}$. Les fluctuations annuelles ne sont pas claires et ne reflètent pas une tendance saisonnière précise (Fig. 5b). Toutefois, les moyennes calculées montrent une certaine supériorité des valeurs de surface par rapport au fond. Le léger écart entre les concentrations de surface ($2,21 \mu \text{ moles.l}^{-1}$) et du fond ($2,1 \mu \text{ moles.l}^{-1}$) peut être dû à un transfert supplémentaire véhiculé par l'écoulement de surface lors des épisodes de crue. De même, les teneurs de la période sèche ($2,35 \mu \text{ moles.l}^{-1}$) dépassent celles de période humide dont la moyenne est de $1,68 \mu \text{ moles.l}^{-1}$. La fraction organique dissoute (POD) dans l'estuaire est considérablement importante. Les valeurs ont variées entre $0,10$ et $12,93 \mu \text{ moles.l}^{-1}$ avec une moyenne annuelle de $4,2 \mu \text{ moles.l}^{-1}$ (Fig. 5c). Malgré que les valeurs moyennes calculées montre l'existence des écarts entre, la surface, le fond, la période sèche et humide, les courbes de variations de cet élément le long de l'année ne montrent pas de tendance claire que se soit saisonnières ou spatiales. D'une manière générale, les résultats montrent une richesse en phosphore total dissous (PTD = $\text{PO}_4^{3-} + \text{P}_2\text{O}_5 + \text{POD}$). La moyenne annuelle dans l'ensemble des stations atteint la concentration de $8 \mu \text{ moles.l}^{-1}$ (Fig. 5d).

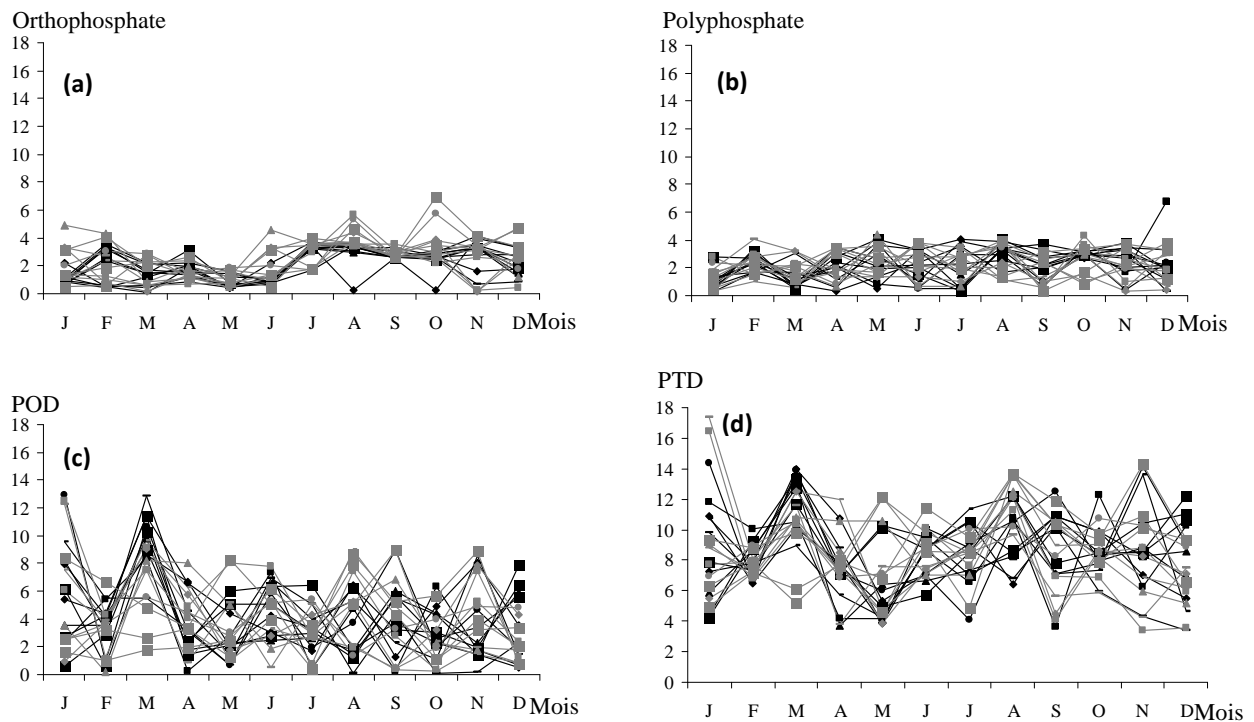


Figure 5. Variation annuelle de différentes formes de phosphore dissous (a, b, c & d) en μ moles. l⁻¹ aux niveaux des dix stations durant l'année 2008. Gris : fond, Noir : surface.

4. Discussion & conclusion

L'objectif principal de cette étude est le suivi des niveaux de concentrations de phosphore dissous dans les eaux de l'estuaire afin de connaître la qualité des eaux de surface et les variations interannuelles. L'étude en question s'inscrit dans le contexte de recherche sur les environnements littoraux, plus précisément les interactions océan/ continent et les transferts biogéochimiques de matières qui s'y produisent.

Sur le plan hydrologique, l'estuaire a connu deux phases hydrologiques très distinctes : une ouverture de l'embouchure durant les cinq premiers mois (hiver et printemps) et sept mois de fermeture (été et automne). Ce régime hydrologique qualifié déjà d'artificialisé par les aménagements d'amont (barrage Mexa et Cheffia), est largement contrôlé par la quantité annuelle de la pluviométrie. En effet, les quantités d'eaux drainées au niveau du bassin versant engendrent des situations de fermeture et d'ouverture interannuelle plus au moins variable. Par exemple, en 2002 l'estuaire a resté toute l'année colmaté par contre en 2005, il ne s'est fermé que pendant une semaine, alors qu'en 2006 / 2007 les deux phases sont équitables avec six mois chacun [8, 9]. De tels estuaires temporaires à embouchure se sont rencontrés

sous climat méditerranéen en Afrique du Sud et en Australie [12, 13, 14, 15].

En termes de fertilité, la mobilité très accrue du phosphore dans l'environnement est une caractéristique essentielle des écosystèmes terrestres qui supportent des systèmes de production intensive. Ainsi, le transfert de phosphore dans le réseau hydrographique n'est pas un phénomène passif : c'est un phénomène discontinu qui s'accompagne de changement de forme [16]. En effet, les eaux de l'estuaire sont riches en phosphore sous différentes formes mobiles, avec une moyenne annuelle de la fraction dissoute (toutes formes confondues) de l'ordre de $8 \mu\text{mol l}^{-1}$, répartie équitablement entre la forme inorganique et la forme organique. A l'exception des faibles valeurs de surface observées durant le mois de mai, et qui, serait dû à une intense consommation phytoplanctonique en cette période de l'année, la répartition de phosphore reflète une certaine stabilité le long de l'année. Cette stabilité entre, fond et surface, période sèche et humide, indique probablement l'existence d'une compensation entre les différentes formes de phosphore disponibles dans l'espace et le temps. De même, la diversité de l'origine du phosphore (endogène ou exogène) reconforte cette hypothèse. En comparaison entre les composés hydrographiques de l'estuaire, la branche El-Kébir est plus riche avec $8,94 \mu\text{mol l}^{-1}$, vient en deuxième ordre l'embouchure $8,65 \mu\text{mol l}^{-1}$.

moles. l⁻¹, puis la Bounamoussa avec seulement 8,03 µ moles. l⁻¹. Concernant le comportement du phosphore dans l'estuaire, les formes de phosphore dosées dans cette étude semblent être insuffisamment interprétables, et les résultats ne sont pas concluants dans la mesure où les fluctuations ne montrent pas de tendances claires voire même paradoxales, reflétant ainsi le caractère momentané de cet élément dans l'environnement [16]. Néanmoins, on peut considérer que les eaux de l'estuaire sont riches en phosphore et que la fraction dissoute (PO₄³⁻ ; P₂O₅ ; POD) est relativement constante le long de l'année. En terme de travaux de suivi sur l'estuaire, les résultats des cinq

dernières années [8,9] montrant que l'intervalle de variation des ions les plus biodisponibles du phosphore (PO₄³⁻) et les plus corrélés avec les teneurs de phosphore total dissous (n=12, r²= 0,97), oscille entre 1,23 et 5,32 µ moles.l⁻¹ avec une moyenne interannuelle de 2,68 µ moles.l⁻¹ proche de celle de la présente étude avec seulement 2,06 µ moles.l⁻¹. En comparaison avec d'autres milieux estuariens [3, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23], on peut considérer que les eaux du Mafrag sont riches en phosphore sans pour autant atteindre les teneurs des estuaires qualifiés de fortement anthropisés (Tab. 2).

Tableau 2:

Valeurs moyennes des phosphates et de phosphore total dissous dans différents milieux estuariens.

Sites	PO ₄ ³⁻	P _{total}	Auteurs
Swartkops (Afrique du Sud)	3,52	–	Scharler U <i>et al</i> , 2005 [17]
Gantos (Afrique du Sud)	0,32	–	Scharler U <i>et al</i> , 2005 [17]
Huon (Australie)	0,31	–	Alison M <i>et al</i> , 2004 [18]
Tweed (Australie)	0,39	–	Eyre B.D <i>et al</i> , 2000 [19]
Housatonic (USA)	1,71	–	Jennifer L K <i>et al</i> , 2006 [20]
Scheldt(France, Belgique) (Belgium/Netherlands)	5	–	Meire P <i>et al</i> , 2006 [21]
Ebro (Espagne)	0,5	–	Sierra JP <i>et al</i> , 2002 [3]
Liobregat (Espagne)	85	109	Rapport AEE/N°:4/2006 [22]
Hérault (France)	3,21	15	Rapport AEE/N°:4/2006 [22]
Tibre (Italie)	18,5	25	Rapport AEE/N°:4/2006 [22]
Mafrag (Algérie)	2,06	–	La présente étude

Références

[1]Miller, A. R., 1983. The Mediterranean Sea, A. Physical aspects. In: Ecosystems of the world. Estuaries and enclosed seas. B. H. Ketchum (ed), 26: 219-239. Journal of Marine Science, 58: 460–468.

[2]Conley, D. J., Kaas, H., Mohlenberg, H., Rasmussen, F.B. & Windolf, J., 2000. Characteristics of Danish estuaries. Estuaries, 23: 820-837.

[3]Sierra J.P *et al* ., 2002. Spatial distribution of nutrients in the Ebro estuary and plume. Continental Shelf Research 22 (2002) 361–378.

[4]Butler E. C. V., Blackburn S. I., Clementson L. A., Morgan P.P., Parslow J.S and Volkman J.K ., 2001. A survey strategy and environmental monitoring network for an estuary supporting finfish cage culture. ICES

[5]CE, 2000. Directive Européenne 2000/CE/60. Journal officiel de la communauté européenne du 23 octobre 2000 sur la politique de l'eau. PELONS 36 39/1/100 REV 1, Bruxelles.

[6]Journal Officiel de la République Algérienne. 2006. Décret exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels.9:5p.

[7]Journal Officiel de la République Algérienne. 2002. Loi N° 2-2 du 22 Dhou El-Kada 1422 correspondant au 5 février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral. 12 février 2002, 10: 5p.

[8]Haridi, A., Hadeif, H., Bendjedid, R., Tazir, K., Diaf, A., Ziouch, O-R & Ounissi, M., 2008. Caractères hydrologiques de l'estuaire du Mafrag : salinité et masses d'eaux. Sciences, Technologie & Développement. ANDRU., 3 :33-40.

[9]Kleifi-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 & Environement, 4(2): 340-346.

[10]Rodier J., 1984. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. pp (1365) :698-700p.

[11]Parsons T.R., Maita, Y. & Lalli, C.M. 1989. A manual of chemical and biological methods for sea water analysis. Oxford: Pergamon Press. 173 p.

[12]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.

[13]Whitfield A.K., 1992. A characterisation of southern African estuarine systems. Southern African Journal of Aquatic Sciences 18, 89-103.

[14]Perissinotto, R., Walker, D.R., Webb, P., Wooldridge, T.H. & Bally, R. 2000. Relationships between Zoo- and Phytoplankton in a Warm-temperate, Semi permanently Closed Estuary, South Africa. Estuaries, Coastal and Shelf Science 51,1-11.

[15]Froneman, P.W. 2004. Zooplankton community structure and biomass in a southern African temporarily open/closed estuary. Estuarine, Coastal and Shelf Science 60, 125-132.

[16]Dorioz J.M., Trevesani D., Vanteelant J.Y., 1997. Transfert diffus de phosphore dans les bassins versants agricoles vers les lacs.

- Impact, ordre de grandeur, mécanismes. In l'eau dans l'espace rural, INRA, Ed, 249-264.
- [17]Scharler U.M and Baird D., 2005. The filtering capacity of selected Eastern Cape estuaries, South Africa. *Water SA* 31:(4), 483-489 .
- [18]Alison, M., Featherstone, E., Butler, C. V. and Barry, V. O'Grady., 2004. Seasonal Cycling of Arsenic Species in a Stratified, Microtidal. Estuary (Huon River, Tasmania). *Estuaries*, Vol. 27, No. 1, p. 18-35
- [19]Eyer B.D., 2000. Regional evaluation of nutrient transformation and phytoplankton growth in nine river-dominated sub-tropical east Australian estuaries. *Marine ecology progress series* 205:(61), 61-83.
- [20]Jennifer L K., 2006. Nutrient Limitation in the Lower Housatonic River Estuary. *Estuaries and coasts* 29: (5), 831-840.
- [21]Meire P and al., 2006. Long-term change in dissolved inorganic nutrients in the heterotrophic Scheldt estuary. *Limnol. Oceanogr.*, 51(1, part 2), 2006, 409-423
- [22]AAE., 2006. Problèmes prioritaires pour l'environnement méditerranéen. Rapport AEE/N°:4/2006.