

Hydrologie et dynamique marégraphique de l'estuaire du Sebou (Gharb, Maroc)

Souad EL BLIDI & Mohamed FEKHAOUI

Université Mohammed V-Agdal, Institut Scientifique, Département de Zoologie et Ecologie animale, Laboratoire d'Hydrobiologie, B.P. 703 Agdal, Rabat. e-mail : el_bliidi@hotmail.com

Résumé. Dans le cadre de la connaissance du fonctionnement des estuaires et de l'évolution des facteurs abiotiques en fonction de la dynamique marine, une étude a été réalisée au niveau de l'estuaire du Sebou (Gharb). Le suivi de plusieurs paramètres tels que la température, l'oxygène, le pH, la salinité, le marnage et la vitesse du courant, ont permis de dégager un dynamisme fonctionnel spatio-temporel dénotant l'existence de deux gradients : le premier, aval-amont, très marqué, lié à l'hydrodynamique marine et aux apports océaniques ; le second en relation avec les apports en eaux amont. Globalement, deux masses d'eau conditionnées par les charges ioniques et la dynamique marégraphique se superposent à 2 m de profondeur, dégageant toutes les particularités de ce milieu très complexe.

Mots clés : Maroc, estuaire du Sebou, qualité des eaux, dynamique marégraphique.

Hydrology and tidal dynamics of the Sebou estuary (Gharb area, Morocco).

Abstract. In the setting of the knowledge on the running of the estuaries and the evolution of the abiotic factors in relation to the marine hydrodynamics, a survey has been conducted at the level of Sebou estuary (Gharb). The monitoring of several parameters such as temperature, oxygen, pH, salinity, tide and the current velocity provides an approach of a spatial-temporal functional dynamism, with two gradients. The first is represented by downstream-upstream gradient related to hydrodynamics and to the oceanic input. The second gradient is related to the upstream flow waters. Globally, there are two superposed water masses at 2 m depth conditioned by the ionic charge and the tidal hydrodynamics; they emphasize the particularity of this very complex aquatic system.

Key words : Morocco, estuary of the Sebou river, quality of waters, tidal dynamics.

INTRODUCTION

Situé au nord-ouest du Maroc, le bassin versant de l'oued Sebou, s'étend sur une superficie de 40 000 km² (Fig. 1). Ce bassin draine les versants sud du Rif et nord-ouest du Moyen Atlas. L'oued prend ses sources dans cette dernière chaîne et traverse la plaine du Gharb avant d'atteindre l'océan Atlantique.

Le climat de la plaine du Gharb est de type méditerranéen à influences atlantique et continentale. L'hydrologie du bas Sebou, liée aux variations saisonnières, reflète fidèlement celles des précipitations. Les apports amont sont actuellement régularisés par les barrages de garde Lalla Aicha et El Mjara ; cependant, ce régime hydrique est confronté à la dynamique marégraphique qui le conditionne.

L'estuaire de Sebou, zone de contact eau douce-eau salée, est caractérisé par une dynamique marégraphique particulière qui conditionne les différents paramètres du milieu, en particulier son hydrologie. Le manque de données sur la dynamique marégraphique nous a donc poussés à focaliser notre étude sur ce milieu, et à étudier certains paramètres physiques et chimiques, et leur évolution spatiale et temporelle. L'effet de la marée ainsi que la vitesse du courant ont été également étudiés.

MATERIEL ET METHODES

Pour l'étude de l'hydrologie de l'estuaire, plusieurs traceurs physiques et chimiques ont fait l'objet d'un suivi spatio-temporel : la température, le pH, l'oxygène dissous, la salinité, le marnage et la vitesse du courant. Quatre stations choisies sur le bas Sebou ont été visitées à 5 reprises entre avril et septembre 1995 (cf. Tabl. Annexe). Les échantillons

d'eau ont été prélevés tous les 0,5 m, de la surface jusqu'au fond et les différents paramètres ont été mesurés *in situ*.

Stations d'étude

La station S1 est située à l'embouchure du Sebou, au niveau du port de Méhdia. Les différents prélèvements ont été réalisés au niveau du chenal principal.

La station S2 est située dans la localité d'Ouled Berjal, à 10,5 km de l'embouchure en aval immédiat de la ville de Kénitra.

La station S3 est à 24 km de l'embouchure, dans la localité de Sidi Al Assal. Elle est située en amont de la ville de Kénitra.

La station S4 (Moghrane) est située à 54 km de l'embouchure du Sebou, et à quelques dizaines de km en aval du barrage de garde situé en amont.

Etude marégraphique

L'amplitude de la marée a été mesurée toutes les heures, pendant un cycle de marée lors de chaque campagne, au niveau de la station Port de Méhdia (embouchure). Ceci a été rendu possible par la présence d'une échelle limnimétrique. Des vérifications ont été réalisées à l'aide d'une échelle limnimétrique portable ou d'un poids avec corde graduée. Le marnage est exprimé en mètres.

La mesure de la vitesse du courant a fait l'objet d'une campagne également au niveau de la station de Méhdia. Ce paramètre a été mesuré sur le terrain à l'aide d'un courantmètre de type OTT Current Meter. La vitesse est exprimée en m/s.

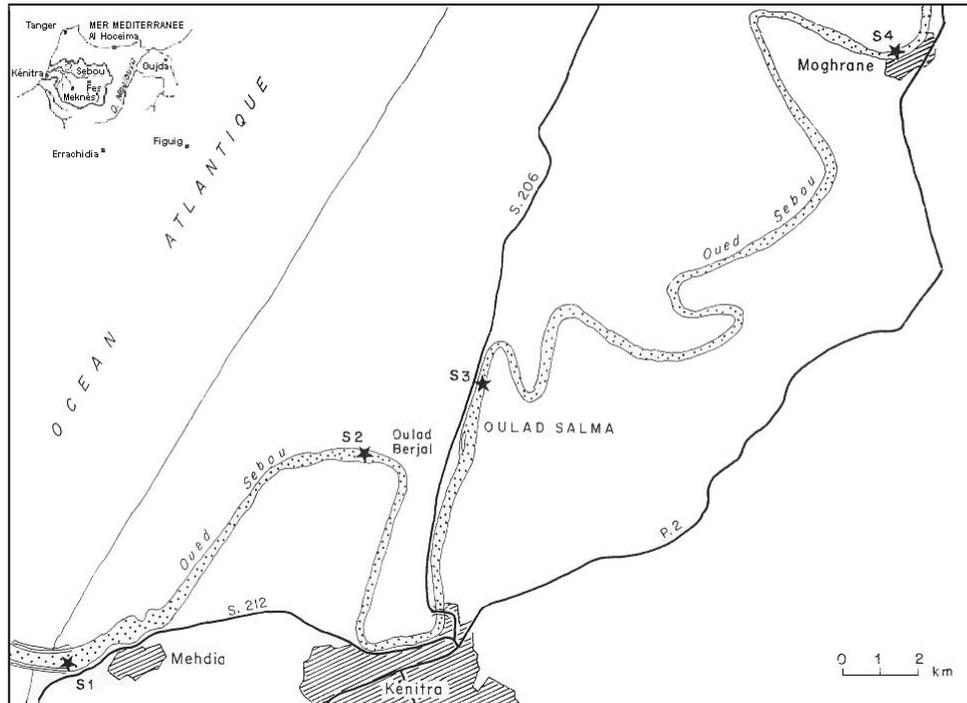


Figure 1. Localisation des stations d'étude sur l'oued Sebou.

Etude physico-chimique

Prélèvement des échantillons

Les échantillons d'eau ont été prélevés au niveau de chaque station, lors de chaque campagne, à partir d'une barque, à l'aide de la bouteille de « NIO » de 1,5 litres de capacité et tous les demi-mètres, de la surface jusqu'au fond. Une fois à l'extérieur, les différents paramètres ont été mesurés *in situ*.

Méthodes d'analyse

Température. Les relevés ont été effectués à l'aide d'un thermomètre à mercure gradué au 1/10 de °C.

Salinité. Les mesures de la salinité (exprimée en ‰) ont été faites à l'aide d'un salinomètre de type YSI (modèle 33 S.C.T Meter).

pH. Les mesures ont été effectuées à l'aide d'un pH-mètre ORION Research, Ionalyser modèle 607 A avec électrode spécifique ORION combinaison pH 91-05.

Oxygène dissous. Exprimé en mg/l, ce paramètre a été mesuré à l'aide d'un oxymètre ORION Research, Ionalyser modèle 607 A, avec électrode spécifique O₂.

RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats (Figs 2 à 7) montrent une variabilité spatio-temporelle importante, avec des particularités liées à la dynamique marégraphique.

La température (Fig. 2)

Evolution spatio-temporelle

L'évolution spatio-temporelle est difficile à retracer à cause du décalage horaire entre les points de prélèvement ;

néanmoins, l'écart thermique journalier enregistré pour une même station, est de l'ordre de 8°C (campagne 1995). Ce même écart thermique a été enregistré lors de la campagne la plus chaude (mai 1995), où un maximum de température de l'ordre de 29,5°C a été enregistré à la station S3. Ceci pourrait suggérer une certaine stabilité saisonnière, imposée par les influences marines.

Au cours du cycle de marée étudié lors de la campagne d'octobre 1995, a été relevée une baisse de la température enregistrée en fin d'après-midi, qui pourrait être due à l'effet d'insolation. Cette même constatation a été faite par El Kaim (1972) et El Herradi (1989).

Pour les stations les plus en aval, la température augmente en s'éloignant de l'embouchure. Ceci est dû à la diminution de l'influence des eaux marines, généralement plus froides, et à l'effet de continentalité.

Profil vertical

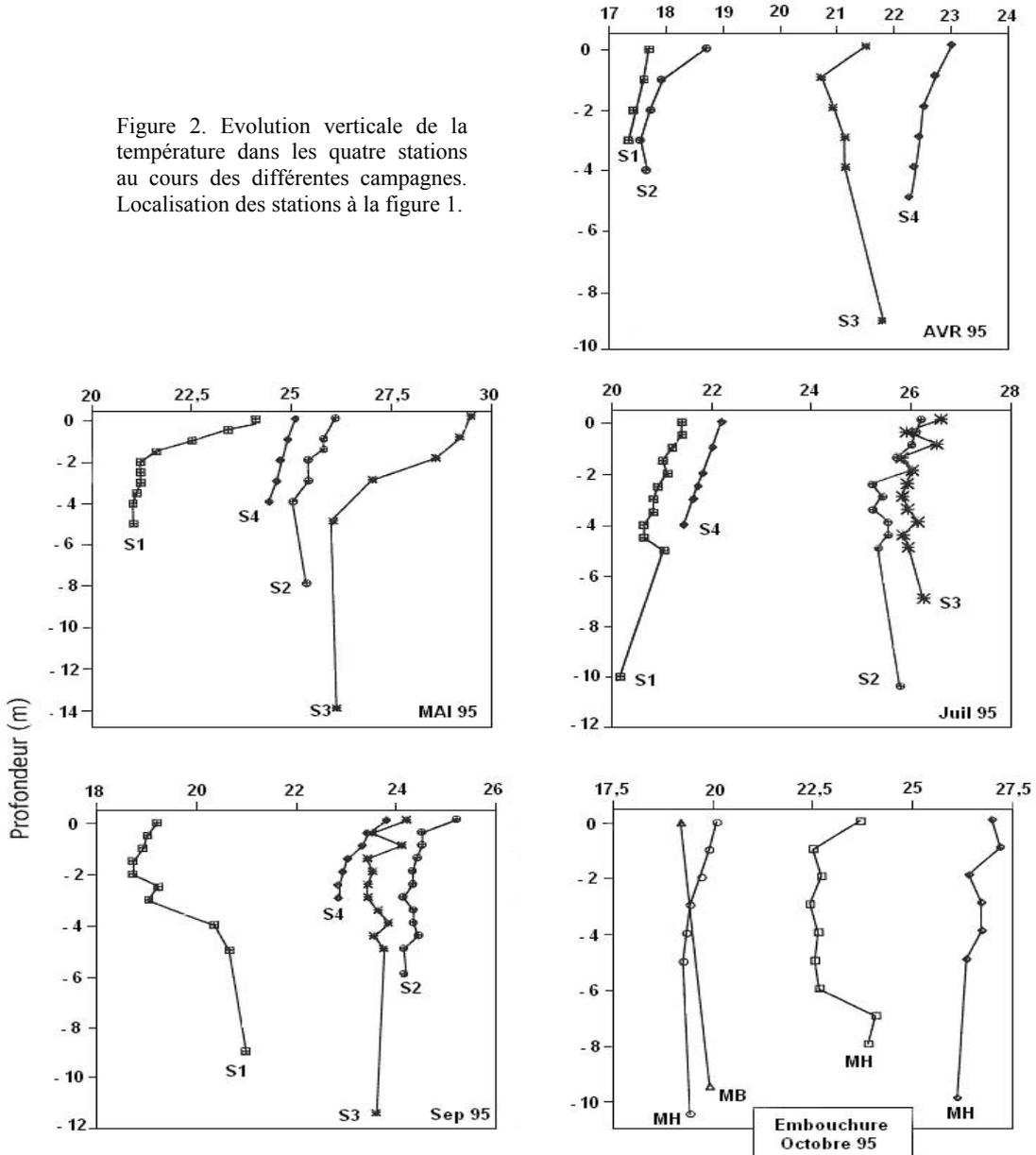
Le suivi de la variation verticale montre une stratification thermique à travers de la tranche d'eau. En effet, les eaux de surface sont beaucoup plus chaudes que les eaux profondes, aussi bien à marée basse qu'à marée haute.

La valeur minimale de température (17,2°C) a été enregistrée à la profondeur de 4 m, au niveau de la station S1.

Un gradient thermique apparaît à partir de 2 m de profondeur où on observe généralement une baisse de la température pour l'ensemble des stations lors des deux marées.

Ceci conforte l'hypothèse d'un remplissage et d'une vidange de l'estuaire de Sebou par le fond, où les eaux marines sont plus froides.

Figure 2. Evolution verticale de la température dans les quatre stations au cours des différentes campagnes. Localisation des stations à la figure 1.



Le pH (Fig. 3)

Variation spatio-temporelle

D'une manière générale, les eaux de l'estuaire sont très tamponnées. Le pH est de l'ordre de 8, en raison du système tampon développé par les carbonates et les bicarbonates qui sont importants dans ce milieu.

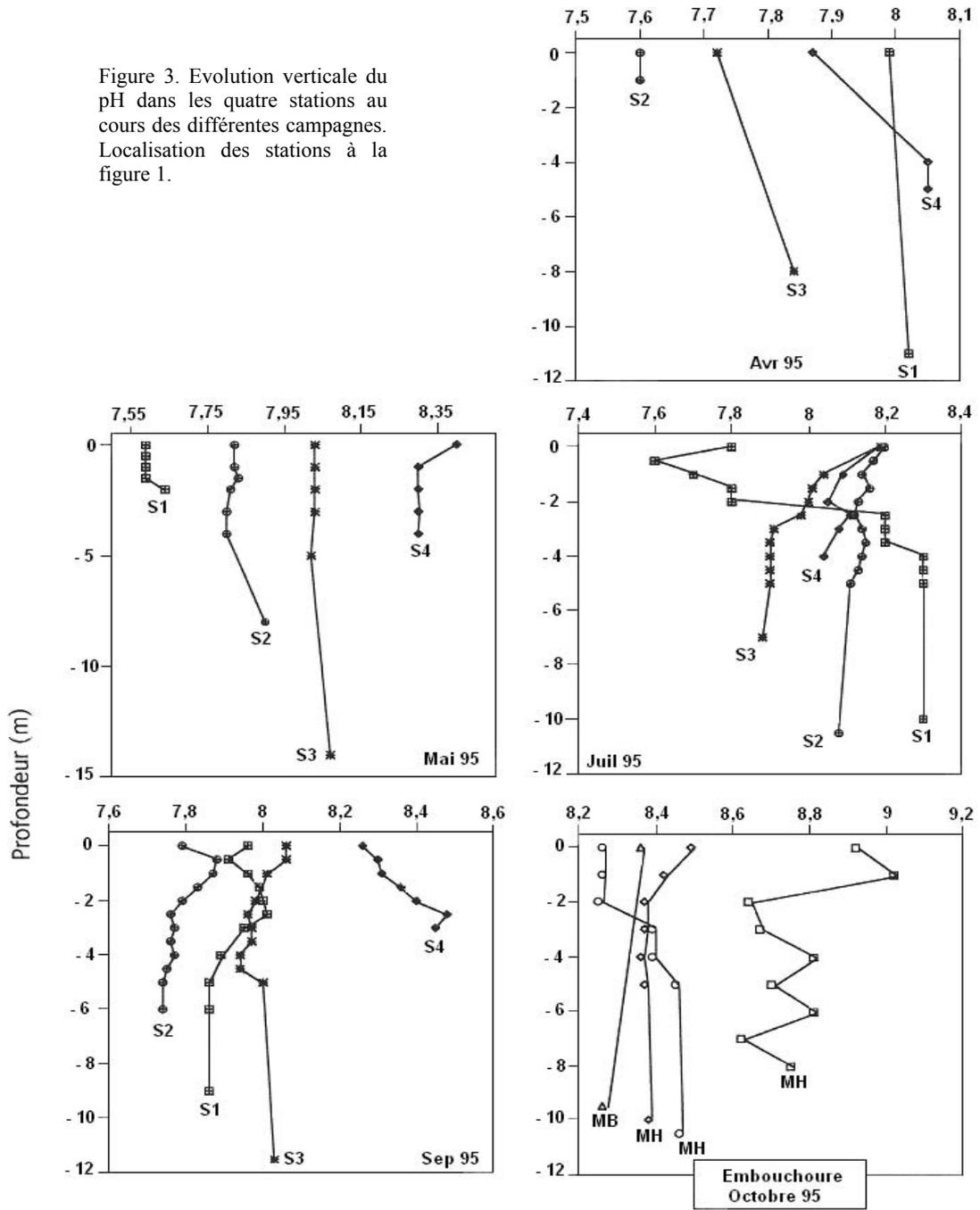
Les eaux amont sont légèrement plus basiques que les eaux aval proches de l'embouchure essentiellement à marée basse. Cette observation a été faite également dans l'estuaire du Bouregreg (Ezzaouaq 1991). En effet, à marée basse, les eaux amont sont sous la dépendance des eaux douces et de la masse polluante ramenée par le Sebou, qui entraîne une légère augmentation du pH, liée à la dégradation de la matière organique.

Par contre, les eaux les plus proches de l'embouchure enregistrent un pH moins alcalin à cause de la bonne oxygénation de la masse d'eau océanique, moins chargée en matière organique. Les variations saisonnières donnent des valeurs extrêmes de pH de l'ordre de 7,33 enregistrées lors de la campagne de juillet 1995 à la station S2, et de l'ordre de 9,02 enregistrées lors de la campagne d'octobre 1995, au niveau de la station du port de Méhdia.

Profil vertical

Comme pour la température, le profil vertical présente une stratification à partir de 2 m, où apparaît une variation du pH en fonction du cycle de marée. Pour les campagnes d'avril, de mai et de juillet 1995, les eaux profondes sont, à marée basse, légèrement plus basiques que les eaux de

Figure 3. Evolution verticale du pH dans les quatre stations au cours des différentes campagnes. Localisation des stations à la figure 1.



surface. Par contre, à marée montante, cas de la campagne de septembre 1995, les eaux profondes sont légèrement moins basiques que les eaux de surface.

En effet, le réchauffement des eaux superficielles, la charge organique ramenée par le flux polluant à marée basse et l'utilisation de l'oxygène dissous pour sa dégradation, sont à l'origine de l'augmentation du pH à marée basse dans les eaux profondes.

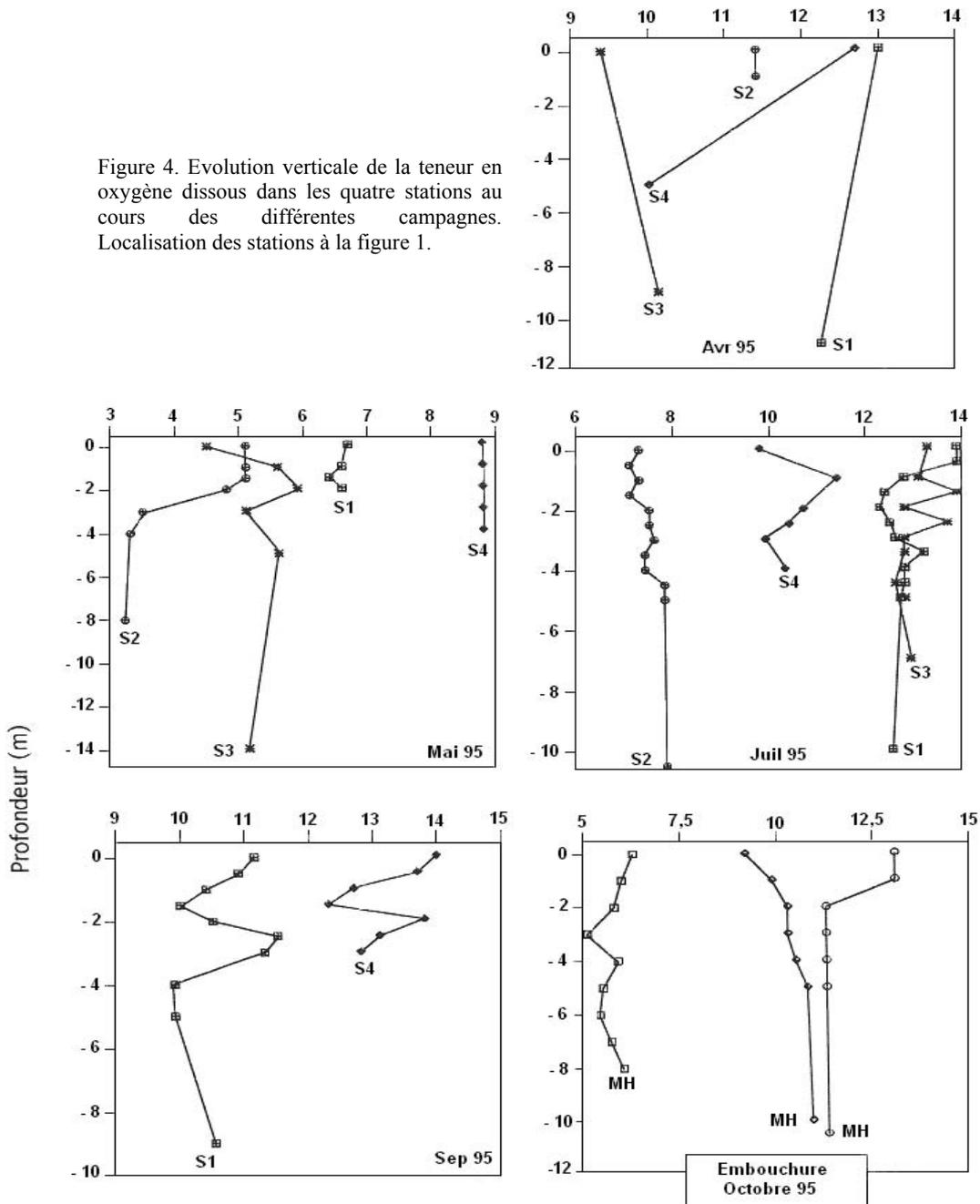
Oxygène dissous (Fig. 4)

Evolution spatio-temporelle

L'oxygène montre une variabilité spatio-temporelle importante, à l'exception de la campagne de mai 1995, où les teneurs en oxygène sont les plus faibles (valeur minimale enregistrée de l'ordre de 3,2 mg/l).

Pour les autres campagnes, l'estuaire de Sebou se caractérise par des teneurs relativement importantes, les

Figure 4. Evolution verticale de la teneur en oxygène dissous dans les quatre stations au cours des différentes campagnes. Localisation des stations à la figure 1.



valeurs les plus élevées étant enregistrées au niveau de l'embouchure, soumise aux influences directes des eaux marines oxygénées.

Les valeurs les plus faibles ont été relevées soit au niveau de la station S2 (campagne de mai et de juillet 1995), soit à la station S3 (campagne d'avril 1995). La position de ces deux points de prélèvement le long du trajet du déplacement de la charge polluante véhiculée par le Sebou, principalement à marée basse vers l'océan, ou déplacée en amont à marée haute, fait que les variations de l'oxygène

dans ces stations soient remarquables (situation de balancement).

Les eaux de la station S4, la plus en amont, soumises à une influence principalement fluviale, présentent des teneurs en oxygène dissous relativement élevées. Cette situation pourrait s'expliquer, d'une part, par l'absence d'apports organiques amont (le barrage de garde empêche leur descente vers l'embouchure), à l'origine d'une mortalité de poissons très importante dans cette retenue, et d'autre part, par la non remontée de la charge vers ce point qui est le

plus en amont en raison de la décantation de la charge le long du trajet et son piégeage au niveau du lit du cours d'eau (Fekhaoui *et al.* 1993).

Profil vertical

Le profil vertical de l'oxygène montre trois situations :

- situation d'homogénéisation, où l'on ne relève pas de stratification le long de la colonne d'eau pour l'ensemble des stations (station S4 - mai 1995, station S2 et station S3 - avril 1995, station S2 juillet 1995) ; le même phénomène a été relevé pour les autres paramètres ;
- situation de vidange (marée basse) ; observée lors des différentes campagnes, elle montre une chute de l'oxygène à partir de la limite de 2 m ; cette baisse est plus importante au niveau des stations 2 et 3, sous l'effet direct de la charge polluante du bas Sebou charriée en profondeur ;
- situation de remplissage (marée haute) ; après une baisse initiale induite par la remise en suspension des matériaux généralement organiques décantés lors de la marée descendante, l'oxygène connaît une augmentation due aux eaux marines profondes bien oxygénées et pauvres en matière organique ; néanmoins, d'autres facteurs peuvent interférer sur la solubilisation de l'oxygène, tels que le passage d'un état faiblement minéralisé et qui réduit la solubilité de l'oxygène.

Salinité (Fig. 5)

Variation spatio-temporelle

Les valeurs extrêmes de la salinité enregistrées au cours des différentes campagnes sont de 1,50 ‰ lors de la campagne de juillet 1995 dans la station S1, et de 19,5 ‰ lors de la campagne de septembre 1995 dans la station S2. Deux situations sont à relever dans l'évolution de la salinité de ce milieu : – à marée haute (campagne d'avril 1995), apparaît un gradient de salinité décroissant très accentué aval-amont ; on passe d'une salinité de l'ordre de 17 ‰ à la station S1, à une salinité de 1,50 ‰ à la station S4 ; l'effet de la masse d'eau s'atténue plus loin à l'intérieur ; à ceci s'ajoute l'arrivée de la masse d'eau douce amont, qui abaisse la salinité de cette station (lâcher épisodique de barrage et maintien d'un débit écologique) ; lors de cette campagne on remarque l'absence d'une stratification nette.

– à marée basse, à l'exception de la station S4, généralement sous la dépendance des eaux amont douces, et la station S1 (embouchure) où on relève une salinité moyenne, la salinité des stations 2 et 3 dépend de l'heure de prélèvement par rapport à l'amplitude de la marée et la vitesse de déplacement de la masse d'eau ; lors des campagnes de mai et septembre 1995, le maximum de salinité a été enregistré au niveau de la station S2 ; par contre, le maxima du mois de juillet a été observé au niveau de la station S3 ; si à marée haute, nous avons relevé l'absence d'une stratification, à marée basse cette dernière est présente, avec cependant une inversion au niveau de la station S3 ; ceci est dû, comme nous l'avons soulevé précédemment, à la vidange de l'estuaire par le fond, principalement en aval (stations S1 et S2).

Profil vertical

Le profil vertical de la variation de la salinité en fonction de la profondeur montre une stratification ou la superposition

de deux masses d'eau différentes à partir de 2 m ; au delà de cette limite, la salinité ne subit pas de grandes variations ; ceci montre bien une homogénéisation des eaux profondes.

Cependant, si à marée haute la couche profonde est plus chargée en sels, à marée basse, deux cas se présentent :

- dans le cas des stations S1 et S2, s'enregistre la même situation qu'à marée haute, c'est à dire une salinité en profondeur supérieure à celle de la surface, et la présence d'une halocline à partir de 2 m ; ces deux stations restent toujours sous l'effet permanent des eaux marines ;
- dans le cas des stations 3 et 4, il y a une situation inverse, avec une diminution de la salinité à partir de 2 m, car l'effet de la marée est moins important que l'impact des eaux amont ; ceci pourrait être lié à la vidange de la retenue qui se fait sentir à ce niveau.

Hauteur de marée et vitesse du courant (Figs 6 et 7)

L'estuaire de Sebou est sous l'action de deux cycles de courants, dont la durée globale est légèrement supérieure à 24 h. Chaque cycle se compose de deux phases, dont l'une remplit l'estuaire à marée montante, tandis que l'autre le vidange lors de la marée descendante. Cependant, les durées du jusant et du flot ne sont pas égales. La durée de remplissage est légèrement plus longue que celle de vidange. Les résultats des mesures réalisées au port de Méhdia, en vives eaux, à la campagne d'octobre et de mai 1995, indiquent un marnage d'une hauteur de 3,10 et 3,20 m. Inversement, en mortes eaux (campagne de juillet 1995), il est seulement de 1,40 m. Les mesures de vitesse de courant relevées lors de la campagne 5, montrent que les valeurs les plus élevées rencontrées aussi bien à la surface qu'en profondeur ont été enregistrées 3 heures après l'étalement de basse mer (mi-marée) ; ces valeurs maximales diminuent ensuite progressivement jusqu'à atteindre 0 m/s (étalement haute mer).

La comparaison des amplitudes de la marée, calculées pour les différentes campagnes d'étude, montre que la campagne de mai 1995 a enregistré l'amplitude la plus importante. L'importance du marnage se manifeste par l'entraînement d'une grande masse d'eau pendant le flot, ce qui induit une élévation de la vitesse d'écoulement de cette masse d'eau.

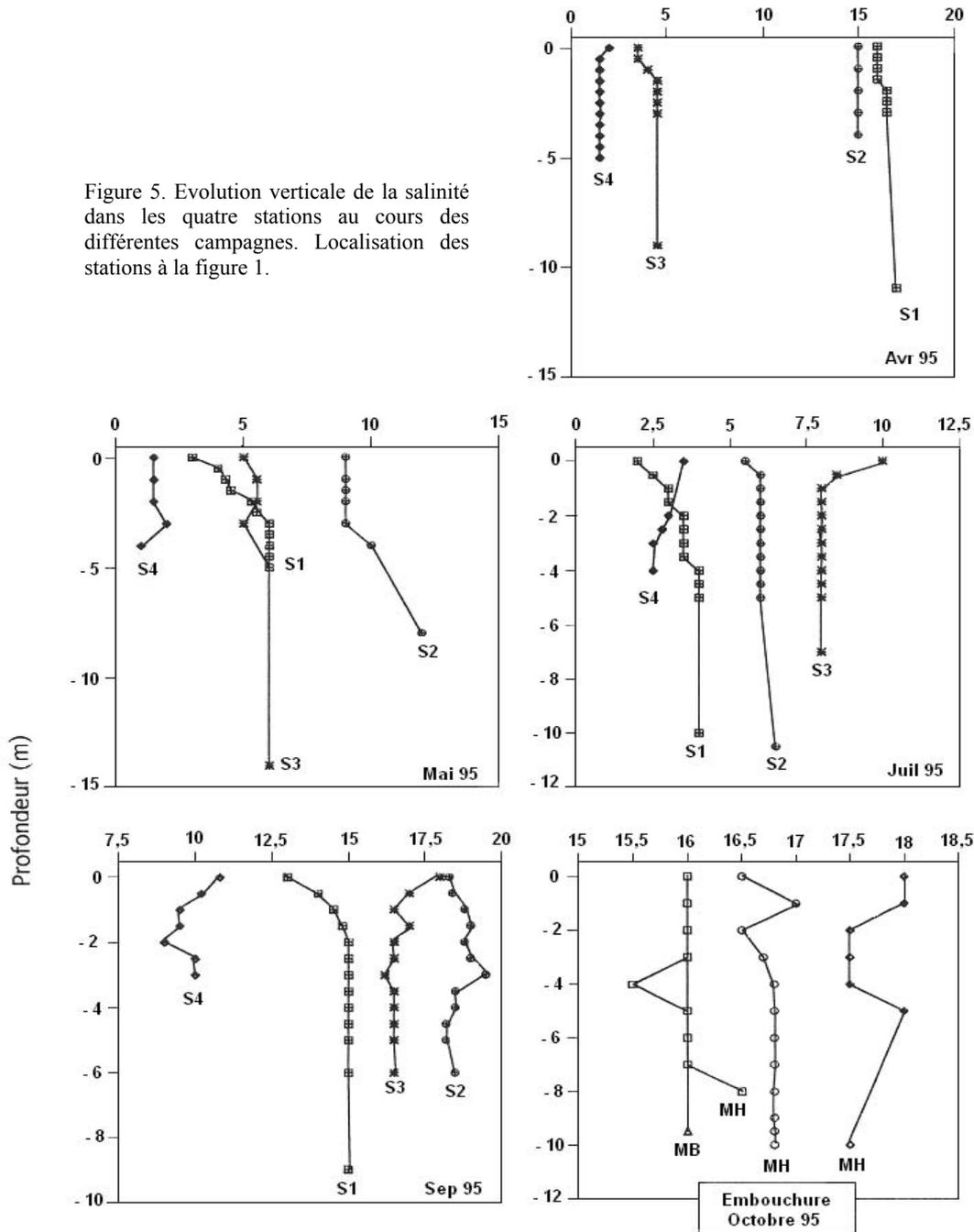
D'autre part, les vitesses en profondeur (à partir de 2 m) sont nettement supérieures à celles de surface, ce qui oppose l'estuaire de Bou-Regreg à celui du Sebou où les vitesses de surface dominant (Ezzaouaq 1991).

Les vitesses de courant à marée montante sont légèrement supérieures à celles relevées à marée descendante. Ceci confirme que l'estuaire de Sebou se remplit plus vite qu'il ne se vidange, ce qui l'oppose encore à celui du Bou-Regreg dont la vidange se fait plus vite que le remplissage (Ezzaouaq 1991).

Le maximum de vitesse est atteint plus rapidement lors du jusant (45 mn après l'étalement). La plus grande masse d'eau quitte l'estuaire dès le début de vidange.

Enfin, les vitesses relevées à marée de vives eaux sont toujours supérieures à celles enregistrées pendant les marées de mortes eaux. Des vitesses de courant de 1,92 m/s pour un marnage de 3,1 m, ont été relevées. La même

Figure 5. Evolution verticale de la salinité dans les quatre stations au cours des différentes campagnes. Localisation des stations à la figure 1.



constatation a été réalisée par El Agbani *et al.* (1988) dans la lagune de Khnifiss, où les vitesses de courant relevées étaient de 0,91 m/s pour un marnage de 2,40 m et de 0,42 m/s pour un marnage de 1,60 m.

L'analyse des résultats montre également que l'estuaire du Sebou se remplit d'abord par le fond (vitesse du fond supérieure à celle de la surface), puis le remplissage se fait de façon homogène. La vidange se fait aussi d'abord par le fond, puis un changement dans le processus s'observe après 1 h 35 mn ; les vitesses du courant deviennent plus

importantes en surface qu'en profondeur, la masse d'eau profonde est ainsi plus dense et par conséquent moins transportable que la masse superficielle.

CONCLUSIONS

Au terme de cette étude, le suivi des différents paramètres considérés nous a permis de dégager deux grandes lignes du fonctionnement et du dynamisme de cet estuaire et particulièrement de son embouchure : la variation spatiale

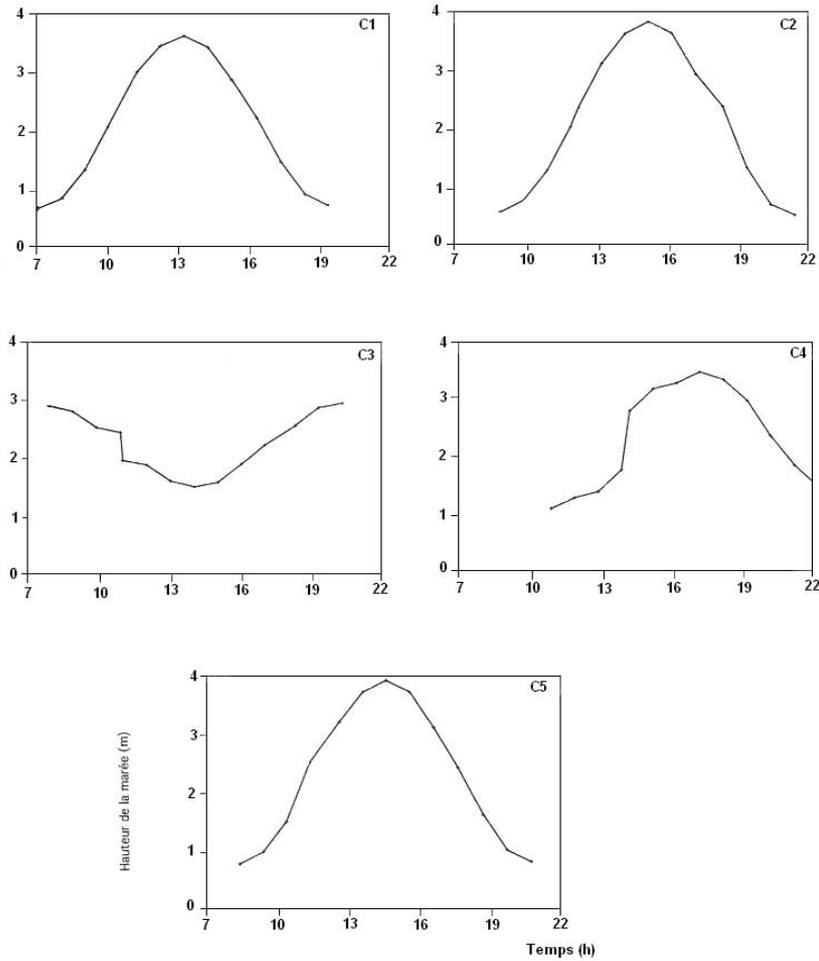


Figure 6. Evolution de la hauteur de la marée en fonction du temps au niveau de la station 1. C1, avril 95 ; C2, mai 95 ; C3, juillet 95 ; C4, septembre 95 ; C5, octobre 95.

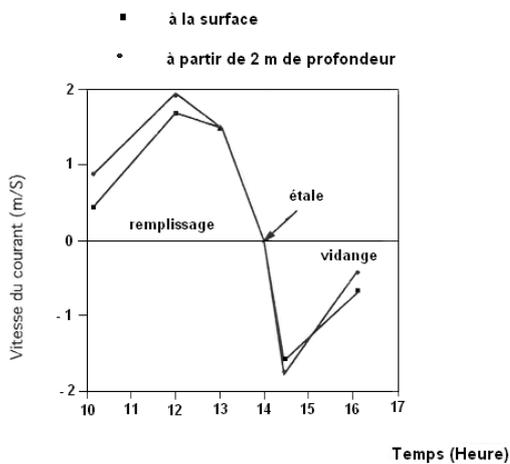


Figure 7. Evolution de la vitesse du courant en fonction de la marée dans l'embouchure du Sebou.

de ces paramètres qui induit un gradient aval-amont très marqué lié aux influences marines d'une part et aux eaux amont d'autre part.

Une variation verticale caractérisée par une stratification nette pour la température et la salinité et sensiblement plus complexe pour le pH et l'oxygène dissous.

L'individualisation de deux masses superposées à 2 m de profondeur montre que l'ensemble des paramètres étudiés sont conditionnés par les charges ioniques des eaux et la dynamique marégraphique.

La turbulence des eaux, en eau profonde, surtout à marée montante et lors des vives eaux permet une homogénéisation de cette masse profonde.

Par contre, à marée descendante, apparaît une dégradation de la qualité des eaux profondes liée au charriage de la charge polluante véhiculée par le Sebou.

Références

- El Agbani M., Fekhaoui M., Bayed A. & Schouten T. 1988. The Khnifiss lagoon and adjacent waters: hydrology and hydrodynamics. *Trav. Inst. Sci.*, Rabat, Mém. h. sér., 17-26.
- El Herradi E. 1989. *Contribution à l'étude du comportement des éléments chimiques dans l'estuaire du Sebou (côte atlantique marocaine)*. Thèse D.E.S, Ecole Norm. Sup. Takadoum, Rabat, 191 p.
- El Kaim B. 1972. Contribution à l'étude écologique d'un estuaire atlantique marocain : l'estuaire du Bou-regreg. Première partie, *Bull. Soc. Sci. Nat. Phys. Maroc*, Rabat, t. 52, 131-339.
- Ezzaouaq M. 1991. *Caractérisation hydrodynamique, physico-chimique et bactériologique des eaux superficielles de l'estuaire du Bou-regreg (Maroc) soumis aux rejets des villes de Rabat-Salé*. Thèse D.E.S, Fac. Sci. Rabat, 140 p.
- Fekhaoui M., Bennasser L., Seigle-Murandi F & Benoit-Guyod J.L. 1993. -*Water pollution in the Sebou river basin (Morocco)* - preliminary result. First Setac World Congress: Ecotoxicology and environmental chemistry - a global perspective. Lisbon, Portugal, March, 28-31.

Manuscrit déposé le 13 mars 2001

Annexe : Dates des Campagnes et heures de prélèvement des échantillons

Campagne 1 : 14 Avril 1995

S1- MH- 15h	S2- MH- 13 h 10 mn	S3- MB- 10 h 30 mn	S4-MB-11 h 30 mn
-------------	--------------------	--------------------	------------------

Campagne 2 : 16 Mai 1995

S1- MB- 9 h 15 mn	S2- MB- 11 h 30 mn	S3- MH- 15 h	S4-MB-13 h 30 mn
-------------------	--------------------	--------------	------------------

Campagne 3: 6 Juillet 1995

S1- étale- 9h	S2- MB- 10 h 30 mn	S3- MB- 12 h 15 mn	S4-MB-15 h 15 mn
---------------	--------------------	--------------------	------------------

Campagne 4: 29 Septembre 1995

S1- MB- 9 h 30 mn	S2- MB- 12 h 20 mn	S3- MH- 15 h	S4-MH-17 h 15 mn
-------------------	--------------------	--------------	------------------

Campagne 5: 25 Octobre 1995 réalisée uniquement au niveau de la station 1 (port de Méhdia).

S1- MH- 10 h 15 mn	S1- MH- 13 h	S1- MH- 14 h 45 mn	S1- MB-16 h 10 mn
--------------------	--------------	--------------------	-------------------

