

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



Université Abbès Laghrou Khenchela
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département d'Ecologie et Environnement

Réf :

Mémoire de fin d'étude

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de
Master Professionnel

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : *Ecologie et environnement*

Spécialité : *Protection et Décontamination des Eaux et Sols Pollués*

Thème

Contribution à l'Etude du Fonctionnement
Hydrologique de l'estuaire de Mafragh
(Nord-Est d'Algerie)

*Présenté par : - Mr Boughedir Zakaria
- Mr Hebbaz Zema*

Soutenu publiquement le : 13 / 06 / 2015

Devant le jury :

Encadreur : Mr Ziouch Omar Ramzi (Maitre de conférence B, Université Abbass Laghrou Khenchela)

Président : Mr Houha Belkacem (Maitre de conférence A, Université Abbass Laghrou Khenchela)

Examineur : Mr Moudjari Zoubir (Maitre d'assistant A, Université Abbass Laghrou Khenchela)

Promo soutenu : juin 2015

Dédicaces

Grâce à Dieu, le tout puissant, j'ai accompli ce travail dans l'effort et l'abnégation : je dédie cette modeste contribution scientifique.

Aux deux êtres les plus chères au monde, mon père mon idole dans la vis, et

À la plus belle créature que Dieu a créée sur terre ,,,

À cet source de tendresse, de patience et de générosité,,,

À ma mère soleil de mes jours.

À tous mes frères et sœurs, ainsi que leurs enfants :Shaimaa, Minou, Micha, Midou, joujou, Tasneem.

*À toute ma famille, et mes amis, surtout **Karima***

*À mon binôme **ZAKARIA** et toute la famille **BOUGHEDIR***

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

Hebbaz Zemał

Dédicaces

Grâce à Dieu, le tout puissant, j'ai accompli ce travail dans l'effort et l'abnégation : je dédie cette modeste contribution scientifique.

Aux deux êtres les plus chères au monde, mon père mon idole dans la vis, et

À la plus belle créature que Dieu a créée sur terre ,,,

À cet source de tendresse, de patience et de générosité,,

À ma mère soleil de mes jours.

Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

À mes deux frères : Nadhir et Hachem.

Et ma chère sœur : Mounira, ainsi que son mari.

À toute ma famille surtout : Nabil et Toufik.

À tous mes amis notamment : mon intime Bilal. Karima, Toutou et ma chère Popouna

*À mon binôme **ZEMAL** et toute la famille **HEBBAZ**.*

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

Boughedir Zakaria

Remerciement

Nous remercions Dieu, le Tout Puissant, le Miséricordieux, qui nous a donné l'opportunité de mener à bien ce travail.

*Nous sommes ravis d'étendre nos sincères remerciements à l'égard de notre encadreur, Monsieur **Omar Ramzi ZIOUCH**, pour sa confiance, ses remarques et ses conseils, sa disponibilité et sa bienveillance, qui n'a ménagé aucun effort pour la bonne réussite de ces recherches.*

*Nous exprimons, aussi, toute nos gratitude et nos sincères remerciements aux membres du jury de la commission de suivie de ce travail notamment, Monsieur **Belkacem HOUHA** et Monsieur **Zoubir MOUDJARI**.*

A tous nos enseignants qui nous ont initiés aux valeurs authentiques, en signe de notre profond respect.

Sommaire

Première partie

Introduction	1
--------------------	---

Chapitre I : Définition, Caractéristiques et Classification des Estuaires

1. Définition des estuaires.....	3
2. Caractéristiques des estuaires.....	8
3. Classification des estuaires.....	10

Deuxième partie

Chapitre II : Matériel et Méthodes

1. Le système estuarien du Mafragh.....	15
1.1 Cadre géographique régional de la région d'étude.....	15
1.2. Situation géographique du bassin versant de la Mafragh.....	15
1.3. Mise en place du réseau hydrographique.....	17
2. Géomorphologie.....	23
2.1. Conditions météorologiques.....	24
2.1.1. Température atmosphérique.....	24
2.1.2. Précipitation et évaporation.....	24
2.1.3. Régime éolien.....	25
3. Echantillonnage et Méthodes d'analyse.....	27
3.1. Choix des stations.....	27
3.2. Relevés hydrologiques.....	28
3.3. Relevés bathymétriques.....	29
a) Profils transversaux.....	29
b) Profils longitudinaux.....	29
c) Estimation des volumes et des fractions d'eaux douce et salée.....	29

Chapitre III : Resultats

1. Hydrologie.....	31
1.1. Configuration morphologique de l'estuaire.....	31
1.1.1. El-Kébir.....	31
1.1.2. Bounamoussa.....	32
2. Distribution spatiale et verticale de la salinité.....	34
2.1. Distribution dans l'estuaire.....	34
2.1.1. El-Kébir.....	34
2.1.2. Bounamoussa.....	39
Discussion et Conclusion.....	44
Références bibliographiques.....	48
Résumés : -Résumé de Français.....	54
-Résumé d'Anglais.....	55
-Résumé en Arabe.....	56

Liste des figures

Chapitre I : Définition, Caractéristiques et Classification des Estuaires

Figure n°1 : Schéma représentatif d'un comportement hydrodynamique dans les estuaires.....	8
Figure n°2 : Schéma représentatif d'un aspect hydrosédimentaire.....	9
Figure n°3 : Schéma représentatif d'un estuaire à coin salé.....	10
Figure n°4 : Schéma représentatif d'un estuaire partiellement mélangés.....	11
Figure n°5 : Schéma représentatif d'un estuaire bien mélangés.....	11
Figure n°6 : Les différents types d'estuaires selon la classification de Le Floch (1961).....	12
Figure n°7 : Exemple de morphologies illustrant les différents types d'estuaires selon la classification de Pritchard (1960). Source : HU http://worldwind.arc.nasa.gov/	13

Chapitre II : Matériel et Méthodes

Figure n°8 : Cadre géographique du bassin versant de la Mafragh (Affoun, 2006).....	16
Figure n°9 : Contexte géographique de l'Oued du Mafragh et de son bassin versant. ☉: Barrages ; ⊙: Limite de coin salé. (Khélifi-Touhami et al. 2006).....	19
Figure n°10 : A gauche vue de l'embouchure de l'estuaire du Mafragh ouverte en période humide, à droite vue de l'estuaire amont, à 12 km de l'embouchure.....	22
Figure n°11 : Photos à gauche vue de l'embouchure de l'estuaire du Mafragh semi ouverte en période printanière, à droite vue de la fermeture de l'Embouchure de l'estuaire en période de sécheresse.....	22

Chapitre III : Résultats

Figure n°12 : Valeurs mensuelles moyennes de la température atmosphérique (a), des précipitations (b), de l'évaporation (c) et de la vitesse du vent (d) au cours de la période d'étude, de septembre 2004 – septembre 2006 (Source : la station météorologique des salines, Annaba). (Haridi., 2010).....	26
Figure n°13 : Positionnement des stations étudiées de l'estuaire du Mafragh en 2006. E : station embouchure, C : station confluence, K1-K10 : stations 1 à 10 de la branche El-Kébir, B1-B7 : stations 1-7 de la branche Bounamoussa.....	27
Figure n°14 : Configuration bathymétrique de l'estuaire du Mafragh de l'embouchure jusqu'à 11 kilomètres dans la branche El-Kébir le 26 février 2006.....	31
Figure n°15 : Configuration bathymétrique de l'estuaire du Mafragh de l'embouchure jusqu'à 7 kilomètres dans la branche Bounamoussa le 27 février 2006.....	33
Figure n°16 : Distribution des salinités de surface et de fond relevées lors des quatre campagnes en 2006 dans la branche d'El-Kébir.....	36

Figure n°17 : Distribution verticale et spatiale de la salinité entre l'embouchure et le Point kilométrique 11 (Pk11) dans la branche de l'estuaire El-Kébir lors des quatre campagnes saisonnières en 2006.....	37
Figure n°18 : Distribution verticale de la salinité dans les stations étudiées de la branche de l'estuaire El-Kébir lors des quatre campagnes saisonnières en 2006.....	38
Figure n°19 : Distribution des salinités de surface et de fond relevées lors des quatre campagnes en 2006 dans la branche Bounamoussa.....	41
Figure n°20 : Distribution verticale et spatiale de la salinité entre l'embouchure et le Point kilométrique 8 (Pk8) dans la branche de l'estuaire Bounamoussa lors des quatre campagnes saisonnières en 2006.....	42
Figure n°21 : Distribution verticale de la salinité dans les stations étudiées de la branche de l'estuaire Bounamoussa lors des quatre campagnes saisonnières en 2006.....	43
Figure n°22 : Situation haline saisonnière de la partie aval du complexe estuarien du Mafragh 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.....	46

Liste des Tableaux

Chapitre II : Matériel et Méthodes

Tableau n°1 : Données sur les Trois barrages en exploitation (d'après Mébarki, 2009, Haridi, 2010). AEP : Alimentation en eau potable ; IND : Industrie ; IRR : Irrigation.....**20**

Tableau n°2 : Données morphohydrologiques des oueds Bounamoussa et El-Kébir. Débits moyens mensuels étalés sur une série de 42 ans (1946-1988). D'après Labar (2003).....**21**

Tableau n°3 : Caractéristiques géographiques des stations étudiées. Les stations d'El-Kébir sont dénommées de K1 à K10 et les stations de Bounamoussa sont dénommées de B1 à B7.....**28**

Chapitre III : Résultats

Tableau n°4 : Caractéristiques morphométriques de la branche d'El-Kébir le 26 février 2006. R : rayon hydraulique ou largeur de la section mouillée, D : distance inter-station, Nr : nombre de relevés, Zm : profondeur moyenne, Sp : surface partielle, Qp : volume partiel.....**32**

Tableau n°5 : Caractéristiques morphométriques de la branche Bounamoussa le 27 février 2006. R : rayon hydraulique ou largeur de la section mouillée, D : distance interstation, Nr : nombre de relevés, Zm : profondeur moyenne, Sp : surface partielle, Qp : volume partiel.....**33**

Tableau n°6 : Fraction d'eau douce (F%) en chaque point de l'estuaire d'El-Kébir en période de coin salé (avril 2006).....**35**

Tableau n°7 : Fraction d'eau douce (F%) en chaque point de l'estuaire de Bounamoussa en période de coin salé (avril 2006).....**40**

Tableau n°8 : Comparaison de l'intervalle de variation haline dans différents estuaires dans le monde.....**46**

Introduction

Les domaines estuariens représentent des enjeux contradictoires en raison de leur position stratégique à l'interface continent-mer. Ils constituent des écosystèmes privilégiés, tout en concentrant des activités socio-économiques considérables : activités portuaires, industrielles, agricoles et de loisirs. Cette dualité s'est renforcée au cours des dernières années en raison de l'intégration des enjeux environnementaux, nécessitant une gestion durable des estuaires.

En tant que zones de transitions entre le continent et la mer, Les estuaires sont des habitats qui peuvent fournir des services écosystémiques uniques pour le bénéfice de l'homme et maintenir la santé de l'écosystème marin. Les estuaires forment des écosystèmes aquatiques particuliers, caractérisés par d'intenses échanges et transformations chimiques, physiques et biologiques (Telesh, 2004). Il constituent donc de véritables zones filtres (Lisitzin, 1999; Conley et al., 2000). Ces zones agissent comme filtres en piégeant les nutriments et les contaminants et par les transformations biologiques de la matière introduite à la côte. On a pu suggérer que les estuaires fonctionnent comme de véritables zones tampon entre la rivière et la mer (Lisitzin, 1999).

Sur un autre plan écologique, des relations directes entre l'importance des apports en eaux douces et les nutriments qui s'en issus et la production biologique littorale sont maintenant bien établis (Deegan et al., 1986 ; Budgen et al., 1982; El-Sayed et van Gert, 1995 ; Estrada, 1996 ; Tsai et al., 1997 ; Postel et al., 1998 ; Daskalov, 1999). L'environnement côtier peut donc être hautement contrôlé par les enrichissements en nutriments d'origines fluviale et estuarienne. Pour comprendre la dynamique des écosystèmes côtiers, il est important d'étudier la structure et le fonctionnement des estuaires.

Les estuaires maintiennent d'importantes activités économiques: Ils ont effectivement un rôle clé au niveau des industries hydroélectriques (refroidissement des aménagements), ainsi qu'au niveau du commerce, permettant aux grands navires de pénétrer au cœur des plus grandes régions industrielles. Ils assurent aussi l'irrigation, la pêche, l'aquaculture, l'extraction de sédiments, la navigation, le transport, le tourisme et sont ainsi soumis aux modifications environnementales défavorables.

Bien que les estuaires restent parmi les plus importants systèmes résilients sur la terre, ils maintiennent pourtant encore leur attraction pour la vie sauvage, en dépit des activités anthropiques et des agressions terrestres (Elliot and McLusky, 2002). Ces écosystèmes offrent des potentialités unique au profit de l'homme : ils entretiennent la santé des écosystèmes par le piégeage des contaminants dans leurs sédiments alors qu'ils accueillent les poissons marins et les oiseaux migrateurs et leurs offrent les meilleurs conditions de fraye et de nourriture. On constate qu'au gradient de salinité, qui caractérise les estuaires, se superposent une large variété d'habitats pour les populations marines, saumâtres et dulçaquicole (Attrill et Rundle, 2004).

Les récentes études hydrologiques menées en 2003 sur oued Mafragh (Gouiez, 2006; Haridi et al, 2008; Khélifi-Touhami et al, 2006; Ounissi et al., 2002 ; Saker et Kennouche, 2003), ont fournis les premières observations hydrologiques et écologiques de cet estuaire.

L'objectif de la présente étude est de (1) faire une configuration bathymétrique de l'estuaire de Mafragh avec ces deux tributaires El-kébir et Bounamoussa, (2) décrire le fonctionnement hydrologique de l'estuaire Mafragh en relation avec l'intrusion marine.

L'étude comporte deux parties dont la première renferme le premier chapitre qui est strictement documentaire et qui expose brièvement l'évolution de la définition, les caractères et la classification des estuaires. La seconde est une partie d'un travail repris et modifié de (Ziouch, 2007., Ziouch, 2014) et qui englobe le deuxième chapitre qui consiste une description hydrologique et géographique du milieu et la méthodologie utilisée et le troisième chapitre s'attache à l'exposition les résultats de l'étude des différentes phases estuariennes. Le manuscrit s'achève par une discussion générale des résultats et une conclusion.

CHAPITRE I. DEFINITION, CARACTERISTIQUE ET CLASSIFICATION DES ESTUAIRES

1. Définition des estuaires

Un estuaire est caractérisé par la rencontre entre trois milieux naturels que sont la terre, le fleuve et la mer. Etymologiquement le mot « Estuaire » vient du latin de « Aestus » (la marée), lui même substantif du verbe « Aesto » (bouillonner). Selon l'observateur ou le domaine d'étude, la notion d'estuaire s'entend selon différents critères.

En hydrologie, un estuaire est défini par la zone d'influence de la marée dynamique sur un cours d'eau. Latéralement, l'estuaire inclut la plaine alluviale, notamment les berges et les zones humides connexes, ainsi que la frange littorale et la zone maritime proche (GIP Seine Aval, 2011).

Sur le plan **morphologique**, l'estuaire est défini comme une vallée fluviale ouverte sur l'océan. Cet espace est une zone d'affrontement des deux milieux marins et fluviaux. Une dissymétrie du flot (mouvement horizontal de l'eau avec un décalage plus ou moins important, de la marée montante) et jusant (bis, descendante) opère. Des phénomènes alluvionnaires actifs et complexes sont présents à l'image du bouchon vaseux.

En biologie l'estuaire est un écosystème individualisé, productif et fragile. Cette zone d'écotone (rencontre entre deux écosystèmes) rencontre des espèces appartenant à l'un ou l'autre des écosystèmes. A l'interface du bassin versant et de l'océan, les estuaires et deltas sont des lieux où s'exacerbent les facteurs physiques, écologiques et les pressions anthropiques. Ils jouent également un rôle important dans la préservation des cycles migratoires de nombreuses espèces de poissons.

Un estuaire semble donc se définir de façon première par ses caractéristiques physiques et naturelles, mais nous verrons que d'autres critères sont nécessaires à la définition d'un tel espace...

A l'origine. La notion de salinité prévalait. Pour Ketchum (1951) l'estuaire « est la zone dans laquelle les eaux d'origine marine sont diluées de manière mesurable par les eaux douces ».

La définition spatiale de l'estuaire comme un système, revient à Fairbridge (1980) qui propose: « un estuaire est un bras de mer pénétrant une vallée fluviale jusqu'à la limite amont de propagation de la marée, habituellement divisible en 3 secteurs:

- Un bas estuaire ou estuaire marin;
- Un estuaire moyen, sujet à d'importants mélanges entre eaux douces et eaux salées;
- Un haut estuaire ou estuaire fluvial, caractérisé par de l'eau douce sujet aux actions quotidiennes de la marée.

Les limites entre ces trois secteurs sont variables et sujettes aux constantes variations du débit fluvial. »

Les variations des composantes du système (débit fluvial, marée) évoluant de manière continue dans le cadre géomorphologique, empêchent une définition précise des limites géographiques d'un estuaire.

Raymond et al (2003) Un estuaire est la portion de l'embouchure d'un fleuve où l'effet de la mer ou de l'océan dans lequel il se jette est perceptible. La zone estuarienne ne se limite pas à la composante saumâtre des eaux, mais correspond plus généralement aux espaces impactés par l'effet dynamique de la marée sur les eaux fluviales. Les estuaires se trouvent donc à l'interface des zones marines et continentales et subissent à ce titre ces deux types d'influence, plus ou moins marquées au cours d'un cycle annuel. En effet, l'estuaire défini comme un écotone mouvant présentant des limites dont l'appréciation est délicate et repose généralement sur l'analyse du mouvement des masses d'eau douces et salées, sur la base du flot principal ou moyen de la marée. Chaque estuaire est un système physique et écologique dynamique et unique, incluant des zones humides, des méandres sans cesse remodelés au gré des courants, des charges de matières en suspension apportées par le fleuve. Selon la nature du contexte géologique et du bassin versant, le climat et les interventions humaines historiques et contemporaines interviennent sur la structuration d'un estuaire. L'estuaire est aussi le lieu où la force du fleuve est ralentie.

Van Straaten et Kuenen (1957) considèrent le critère sédimentologique et définissent les estuaires comme une catégorie de formes littorales où se rencontrent les eaux salées et eaux douces et qui s'ensuivent d'une dynamique particulière et des mécanismes sédimentaires spécifiques. Parce que ce sont des lieux de contact dans lesquels abondent les éléments nutritifs, les estuaires sont très favorables à la vie végétale et animale. Les estuaires apparaissent donc comme des lieux d'échanges très efficaces d'énergie et de matière entre le domaine marin et le domaine terrestre.

Les aménagements dont les estuaires ont été l'objet depuis le milieu du siècle dernier, ont profondément modifié non seulement leur géométrie mais aussi les processus hydrologiques et sédimentologiques naturels. Les estuaires sont des espaces littoraux très sensibles à l'intervention humaine qui bouleverse très vite l'équilibre de l'écosystème.

En 1964, l'océanographe F. P. Shepard propose comme critère de reconnaissance la présence en zone deltaïque de fibres de bois et l'abondance d'huîtres en milieu estuarien. Mais ce critère est aussi peu efficace que ceux que l'on peut tirer des propriétés dynamiques ou de la morphologie de l'environnement pour faire une séparation tranchée entre estuaire et delta.

La meilleure définition semblerait être celle de C. Francis Bœuf (1947), pour lequel l'estuaire correspond au cours inférieur du fleuve remonté sur une certaine distance par la marée.

Les règlements maritimes sont restés conformes à cette étymologie: l'estuaire forme la partie océanique externe du système. La zone continentale située en amont étant appelée « rivière maritime ».

Pour les géologues, le phénomène estuarien est particulier au Quaternaire. La transgression flandrienne, due à la fonte des glaciers, correspond à une remontée brutale du niveau de la mer dont l'équivalent n'a pas été reconnu au cours des temps géologiques, à tel point que l'on ne connaît pas de forme estuarienne fossile.

En hydrologie, l'estuaire correspond à une zone de mélange entre les eaux marines salées et les eaux douces fluviales. C'est ainsi que l'on définit dans ce milieu mixte une marée de salinité et une marée dynamique.

En géographie, on oppose classiquement la notion d'estuaire à celle de delta. En 1907, de Lapparent considère que seules les mers à marées possèdent un estuaire, alors que les deltas n'existent que dans les mers sans marées. De nombreux exemples contredisent cette affirmation.

Un estuaire est une masse d'eau côtière semi-enfermée, qui a une connexion libre avec la mer et à l'intérieur de laquelle l'eau de mer est en dilution avec l'eau douce provenant du drainage tel Testre" (Cameron et Pritchard 1963).

Certains auteurs réservent le nom d'estuaire à la partie où l'on trouve des eaux salées (Francis Bœuf et P. Roa Morales 1947), pour sa part Ottmann 1965 propose d'appeler estuaire, toute la zone où se manifestent les phénomènes dynamiques, et de les subdiviser en deux parties: l'une "marine", où se manifeste la marée saline; et l'autre "fluviale", où se manifeste la marée dynamique mais où les eaux restent douces.

Ces zones sont définies en fonction de l'approche disciplinaire qui cherche à la décrire. Pinot (1998), professeur de géographie de la mer, donne une définition qui permet de comprendre comment naissent les formes générales des estuaires. Il les décrit comme " la basse vallée d'un fleuve, envahie par la mer lors de la dernière transgression, et progressivement transformée depuis par un comblement partiel, créateur de terre ferme, par lequel les irrégularités topographiques des berges sont colmatées, tandis que le chenal central, façonnés par les courants de marée qui s'ajoutent au débit du fleuve, a un calibre de plus en plus grand de l'amont vers l'aval." Pour être plus complet un écologue mettrait en valeur "l'interface d'échanges entre les domaines continentaux et marins" (Guézennec, L et al. 1999). Ici, nous insisterons sur l'aspect fonctionnel de cette zone de transition, afin de mettre en évidence les particularismes. Nous pourrions ainsi rajouter que les estuaires sont "des zones de transit et de stockage, caractérisé par une multitude de facteurs qui évoluent en interdépendance étroite et sont sous l'influence de la marée" (Guézennec, L. et al. 1999).

En fin, Donald W. Pritchard, grand spécialiste des estuaires, donnait en 1967 une définition précise, basée sur des considérations scientifiques :

« Un estuaire est constitué par une masse d'eau confinée ayant une connexion libre avec la mer ouverte et à l'intérieur duquel l'eau de mer est diluée d'une façon mesurable avec de l'eau douce issue du drainage du bassin versant ». Il est intéressant de remarquer que le mot "marée" n'a pas été cité, c'est pourtant elle qui est le "moteur" principal de son fonctionnement. C'est l'énergie introduite par la marée qui façonne l'intérieur de l'estuaire le rendant "évasé".

Un estuaire en quelques mots :

- . 2/3 de la population mondiale vit sur le littoral
- . Plus de 50% des villes de plus d'un million d'habitants sont situées sur un estuaire
- . Les estuaires sont des écosystèmes les plus productifs au monde.
- . Ceux sont aussi des systèmes aquatiques qui sont les plus modifiés et les plus menacés notamment par les pollutions humaines.

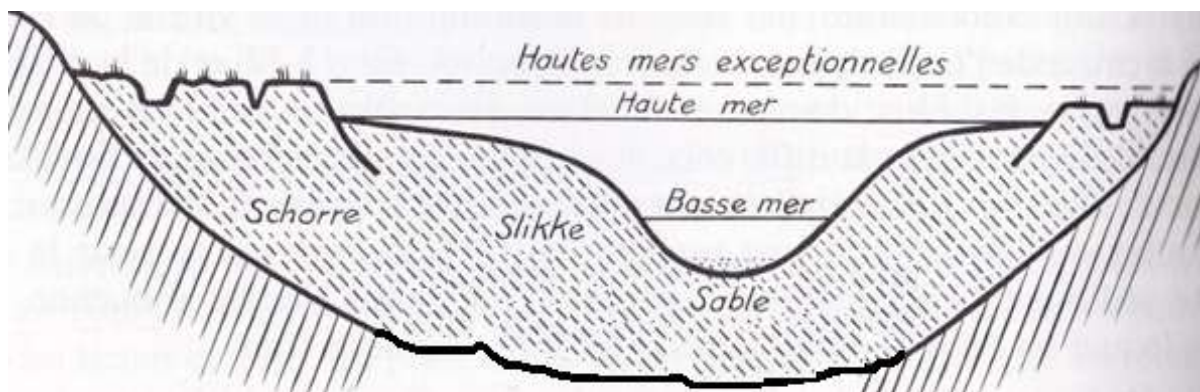
2. Caractéristiques des estuaires

Van Mierlo (1899) dit que les fleuves apportent à la mer des substances en solution, des quantités importantes de sables, de boues, voire de galets lorsque leur régime est torrentiel. A leur embouchure par suite de la diminution de la vitesse du courant, à cause de l'onde de marée et de la différence de densité entre les eaux douces et marines, les sables et silts en suspension se déposent.

D'autre part, la différence de charge ionique provoque la floculation des particules les plus fines (comme l'argile). Cette sédimentation encombre les estuaires des grands fleuves (bouchon vaseux).

Le dépôt essentiel de l'estuaire est la vase. Le milieu vivant joue un très grand rôle, notamment les bactéries qui interviennent activement dans la sédimentation du fer.

Selon Van Veen (1950) et Van Cauwenberghe (1966). La vase se sédimente sur les bancs et les berges en pente douce qui prennent un profil convexe et forme une slikke. Celle-ci est séparée par une micro falaise d'une étendue de vase consolidée et colonisée par des plantes halophiles (salicornes, spartéines) puis par des graminées. Ceci constitue le schorre qui peut aussi être appelé herbu ou pré-salé.



Source : Ocean Geo Encyclopedie universelle edition Gallimard.

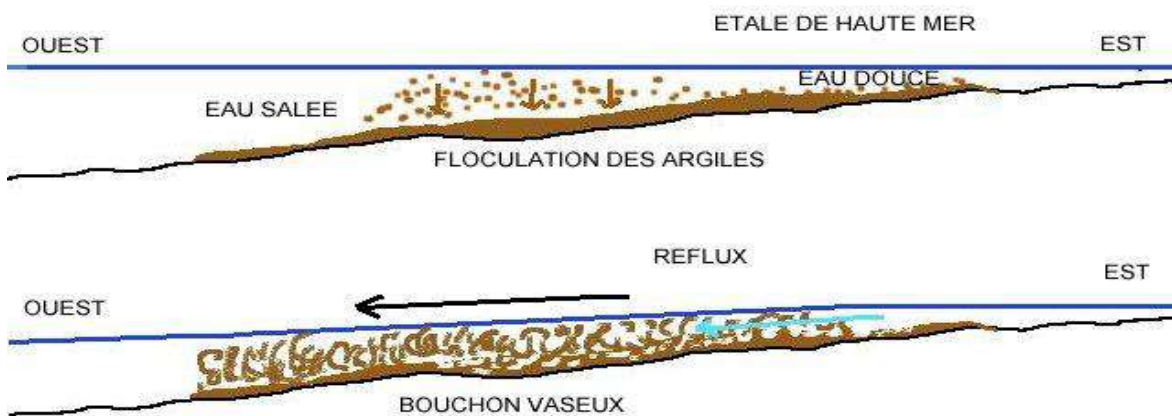
Figure 01 : Schéma représentatif d'un comportement hydrodynamique dans les estuaires.

On peut observer un comportement hydrodynamique dans les estuaires. Celui-ci résulte de deux phénomènes qui se superposent: le débit des affluents et la marée. En effet des écarts de débit peuvent exister entre la crue (correspond à la période de l'année où le débit d'un cours d'eau atteint son point le plus haut) et l'étiage (correspond à la période de l'année où le débit d'un cours d'eau atteint son point le plus bas (basses eaux)).

Au cours de la marée la force du fleuve s'oppose ou se conjugue à la puissance du flot ou du jusant (Le jusant est un terme maritime qualifiant la période pendant laquelle la marée est descendante).

Au cours du cycle lunaire qui est de 28 jours, l'amplitude de la marée qui est caractérisée par son coefficient, varie fortement. Il en résulte donc une alternance de vives eaux et de mortes eaux. En vives eaux l'amplitude maximale aux embouchures varie entre 5 et 7 mètres selon l'estuaire considéré.

On observe aussi un aspect hydrosédimentaire. L'interaction des courants de surface et les frottements induits par les courants sur le fond entraînent autour du point nodal la formation d'un stock sédimentaire désigné par les termes « bouchons vaseux » ou « maximum de turbidité ». Le bouchon vaseux est un endroit dans l'estuaire où les sédiments fins en suspension sont fortement concentrés (schéma ci-dessous).



Source: Ocean Geo Encyclopedie universelle edition Gallimard.

Figure 02 : Schéma représentatif d'un aspect hydrosédimentaire.

En fonction des caractéristiques hydrosédimentaires l'estuaire peut être classé en trois parties géographiques dont les tailles sont variables en fonction du débit fluvial : la zone "amont", la zone "centrale" et la zone "aval" (Van Veen, 1950 et Van Cauwenberghe, 1966).

3. Classification des estuaires

De nombreuses classifications, en grande majorité qualitative, ont été proposées pour les milieux estuariens, en fonction de critères hydrodynamiques, morphologiques ou biologiques. La première classification significative des estuaires est donnée par Pritchard (1955), basée sur les différents types de circulation des eaux estuariennes. En fonction du mode de mélange des masses d'eau douce et d'eau salée (Dyer et Taylor, 1973), Pritchard (1955) a défini trois types d'estuaires

- **Les estuaires à coin salé:**

C'est le cas lorsque le fleuve par son débit a plus de puissance que la marée : l'eau douce fluviale s'écoule au-dessus de l'intrusion saline. Entre l'eau salée et l'eau douce, un fort gradient de densité et de salinité caractérise l'halocline. Des échanges diffusifs se produisent à l'interface mais ne perturbent pas fondamentalement la stratification et le gradient de salinité reste suffisamment élevé pour donner naissance à des courants de densité. Il en résulte une circulation résiduelle étagée qui représente le mouvement des masses d'eau, abstraction faite des allées et venues liées aux courants de flot et de jusant Van Veen (1950). L'écoulement se fait vers l'amont au fond, sur environ le tiers ou le quart de la hauteur de la tranche d'eau, avec une vitesse décroissante. A l'extrémité amont de l'intrusion marine, le point nodal est le point de convergence où s'annule le courant de fond qui remonte l'estuaire et le courant fluvial qui, sur toute la tranche d'eau, le descend.

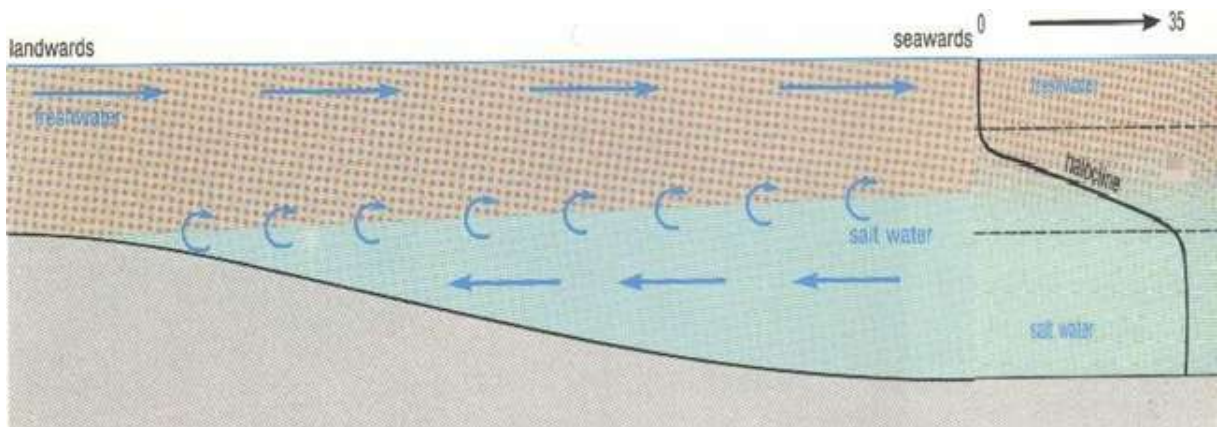


Figure 03 : Schéma représentatif d'un estuaire à coin salé (Dyer et Taylor, 1973).

- **Les estuaires partiellement mélangés**

C'est le cas lorsque le débit du fleuve est faible par rapport au prisme de marée. Les courants de flot et de jusant, par leur turbulence, mélangent suffisamment les deux masses liquides pour que le gradient vertical de salinité soit réduit. L'écoulement moyen résiduel tend à se diriger vers l'aval sur toute la hauteur d'eau.

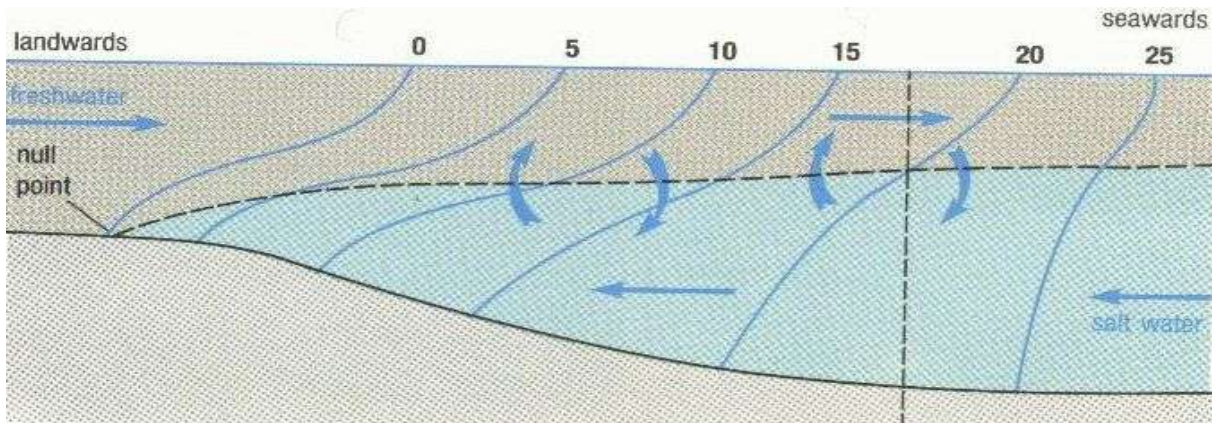


Figure 04 : Schéma représentatif d'un estuaire partiellement mélangés (Dyer et Taylor, 1973).

- **Les estuaires bien mélangés**

C'est le cas lorsque les courants de marée sont importants devant le débit fluvial. La salinité ne varie pratiquement pas avec la profondeur même si elle peut considérablement varier le long de l'estuaire, en fluctuant au rythme de la marée ou des variations du débit fluvial, et sur sa largeur.

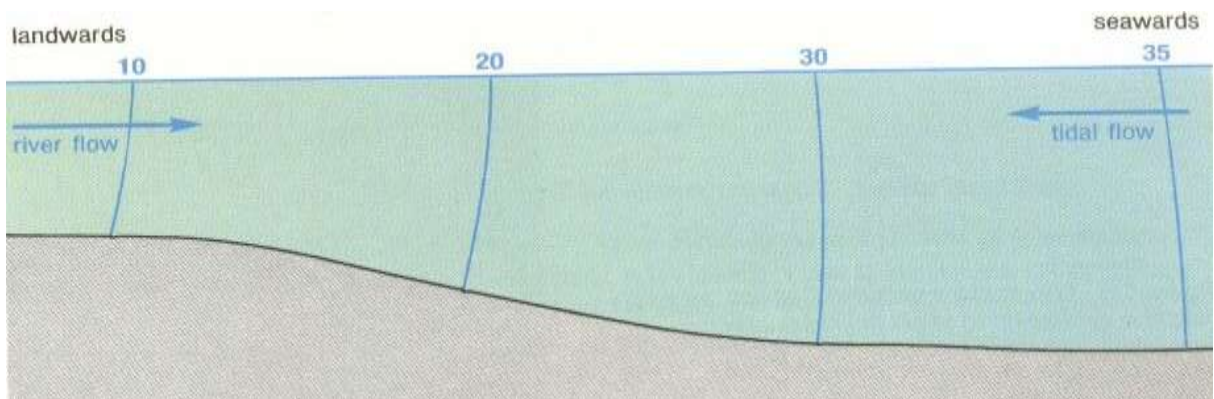


Figure 05 : Schéma représentatif d'un estuaire bien mélangés (Dyer et Taylor, 1973).

Cette classification ne prend pas en compte les variations temporelles et spatiales associées au mélange des masses d'eau liées aux variations du débit fluvial d'une part et aux variations de l'amplitude de marée d'autre part.

Simmons (1955) propose une classification simplifiée prenant en compte les variations du débit fluvial et de la marée. De même, la classification de Hansen et Rattray (1966) modifiée par Fischer (1976) permet de prendre en compte les variations temporelles et spatiales du mode de mélange des eaux douces et des eaux salées.

Le Floch en 1961 ainsi que Nichols et Biggs en 1985 proposent une classification qui se base sur les mécanismes de convergence liés à la morphologie de l'estuaire. Ces mécanismes sont d'une grande importance dans la dynamique estuarienne. Selon l'évolution de la convergence et du frottement Le Floch propose une classification qui permet de distinguer trois types d'estuaires :

- **Les estuaires hyposynchrones** : l'amplitude de la marée et les courants associés diminuent vers l'amont, la dissipation par friction étant supérieure à l'amplification par convergence
- **Les estuaires synchrones** : l'amplitude de marée et les courants associés restent constants longitudinalement, la dissipation et la convergence sont en équilibre
- **Les estuaires hypersynchrones** : l'amplitude de marée et les courants associés augmentent brusquement dans l'embouchure avant de diminuer vers l'amont, l'amplification par convergence étant supérieure au terme de friction.

Ci-dessous un schéma représentant la classification de Le floch

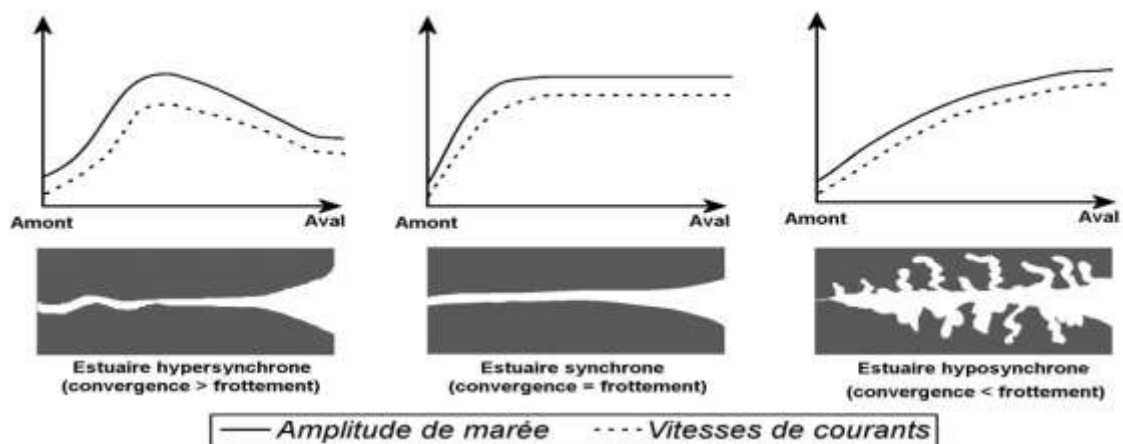


Figure 06 : Les différents types d'estuaires selon la classification de Le Floch (1961).

Pritchard (1960) propose également une classification en fonction de l'origine des estuaires, permettant de distinguer les vallées ennoyées (Fig 7, A) au cours de la transgression flandrienne, les fjords (Fig 7, B), les estuaires formés par la migration des barres littorales (Fig 7, C) et les estuaires d'origine tectonique (Fig 7, D).

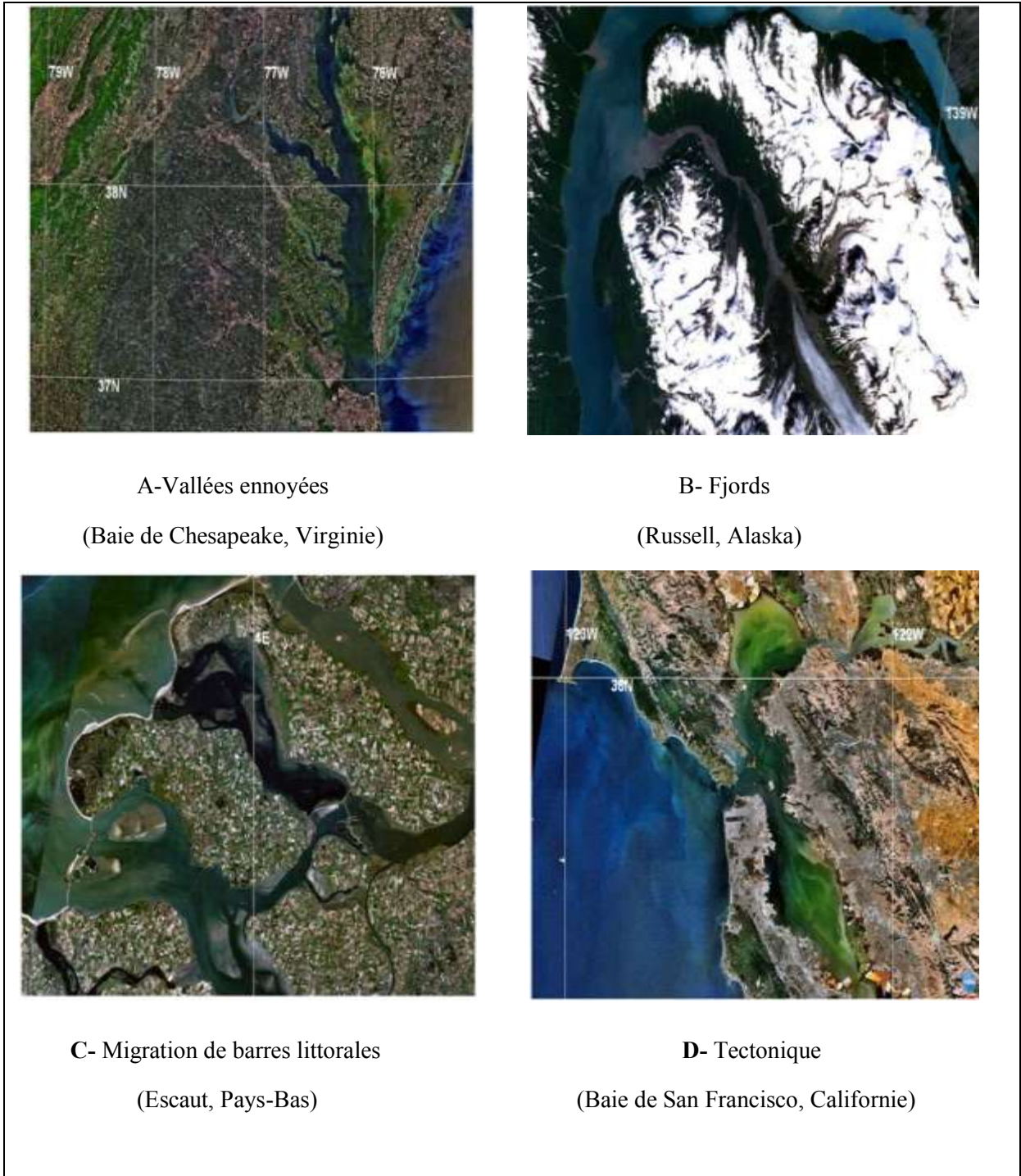


Figure 07: Exemple de morphologies illustrant les différents types d'estuaires selon la classification de Pritchard (1960). Source : [HUhttp://worldwind.arc.nasa.gov/](http://worldwind.arc.nasa.gov/)

La classification quantitative de Davies (1964) puis Hayes (1975) permet de distinguer les estuaires en fonction du marnage à l'embouchure. Elle distingue

- les estuaires microtidaux (marnage < 2 m), dominés par l'action des vagues d'agitation,
- les estuaires mésotidaux (marnage compris entre 2 et 4 m)
- les estuaires macrotidaux (marnage > 4 m), dominés par les courants de marée.

Fairbridge (1980) propose une classification plus complexe, basée principalement sur le mode de circulation des masses d'eau et la morphologie de l'embouchure. Elle reflète les interactions entre la géomorphologie, les débits fluviaux et les débits solides, les courants de marée, les vagues et les processus à la côte. Cette classification complète celle proposée par Pritchard (1960).

On peut voir à travers ces classifications sur les estuaires que le rôle de l'homme est peu pris en compte. Pourtant c'est un facteur important car nous jouons un rôle important sur les estuaires (navigation, barrage dragage...).

Pour mener à bien cette étude, il a fallu tout d'abord définir la notion d'estuaire d'une époque à une autre et d'un auteur à un autre et expliquer les différents types d'estuaires. Cela permettra d'analyser toutes les situations inter-saisonniers et interannuelles que nous pouvons rencontrer et de traiter tous les cas possibles. Nous allons insister alors sur le phénomène de l'intrusion marine et nous allons mettre la marée en équations pour pouvoir analyser son rôle au niveau de la répartition de la salinité observée dans tous les cas de figure, primordial au niveau de 'la classification' de l'estuaire de Mafragh.

CHAPITRE II. MATERIEL et METHODES

1. Le système estuarien du Mafragh

1.1 Cadre géographique régional de la région d'étude

Le bassin hydrographique « Côtiers Constantinois » est situé dans le littoral Nord de l'Est Algérien. Il est limité :

- au Nord par la Méditerranée
- à l'Est par les frontières tunisiennes,
- à l'Ouest par le bassin « Algérois-Hodna-Soumam ».
- au Sud par les bassins : « Kébir -Rhumel, Seybouse, Medjerdah ».

Il couvre une superficie totale de 11 509 km² et s'étend sur dix wilayas regroupant une population d'un million huit cent soixante quatre mille cent quatre vingt et un (1.864.181) habitants (R.G.P.H, 1998).

Le bassin des Côtiers Constantinois-Est est d'une superficie de 3.203 km², soit 27.83 % de la superficie totale du bassin des côtiers Constantinois et l'un des plus grands réservoirs d'eaux superficielles et souterraines dans le nord de l'Algérie, (Agence de Bassin Hydrographique, *Cahier* n°4, Septembre 2000).

Le bassin versant de l'Oued Mafragh et les côtiers de la Calle font la totalité du bassin versant des côtiers Constantinois-Est et forment par conséquent le versant nord du dernier tronçon de la chaîne septentrionale de l'Atlas Tellien.

1.2. Situation géographique du bassin versant de la Mafragh

Le bassin versant de la Mafragh prend sa nomination du mot arabe (تفریح مفرغ) dont l'équivalent en français est: **exutoire**. Selon les cahiers de l'agence des bassins hydrographiques, il est inclus dans le bassin versant des côtiers Constantinois-Est et codifié sous le numéro 03 (Fig n°8) et s'étend de 7°45 à 8°45 de longitude Est et de 36°20 à 36° 55 de latitude Nord.

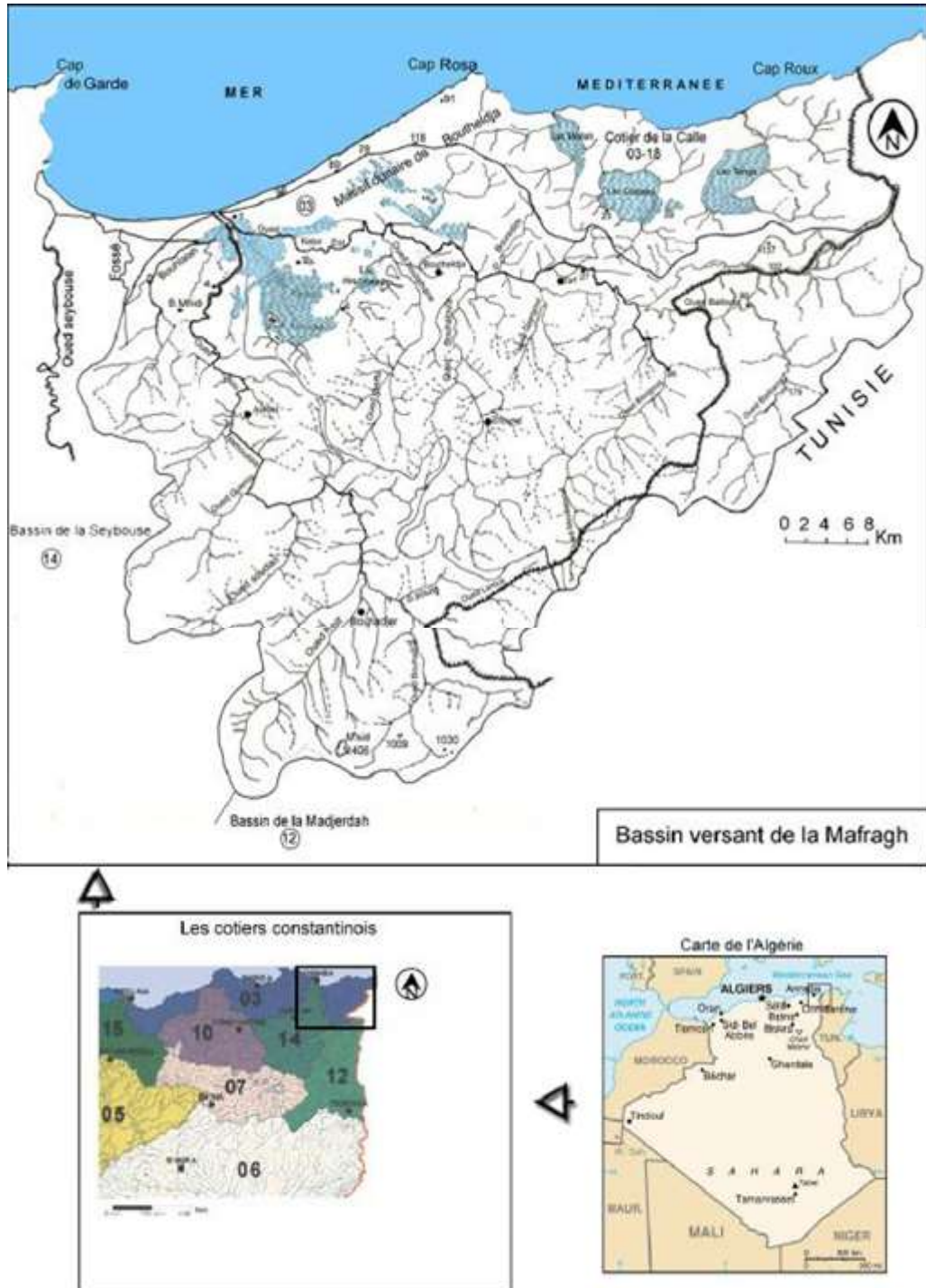


Figure 08 : Cadre géographique du bassin versant de la Mafragh (Affoun, 2006).

Notre terrain d'étude est limité :

- Au Nord par le massif dunaire de Boutheldja formant obstacle naturel avec la mer Méditerranée;
- Au Sud par le bassin de Medjerdah;
- A l'Est par le bassin des côtières de la Calle et les frontières Tunisiennes;
- A l'Ouest par le bassin de la Seybouse.

Il est drainé par deux oueds importants :

- L'Oued Bounamoussa à l'ouest.
- L'Oued El Kébir à l'Est.

Ces deux cours d'eau rejoignent la mer par un exutoire unique: **L'Oued Mafragh**.

Le bassin versant de la Mafragh couvre une surface de 3200 Km², soit 70.30% de la superficie totale du côtières Constantinois-Est. Il est entièrement représenté sur les cartes topographiques au 1/50.000 constituées de six feuilles (Ziouch., 2007). Il s'agit de : Annaba (Bône), Dréan (Mondovie), Boutheldja (Blandan), Ain El-karma (Munier), Bouhadjar (Lamy) et enfin El-Kala (La Calle).

1.3. Mise en place du réseau hydrographique

Deux cours d'eaux principaux drainent le bassin versant de la Mafragh. Ils convergent vers le marais et rejoignent la mer par un exutoire unique: l'Oued Mafragh. Ce sont à l'Ouest Oued Bounamoussa et à l'Est Oued Bougous qui prend le nom d'El-Kebir-Est à la sortie de la montagne.

L'Oued El-kébir draine le versant Algérien à partir des sommets qui constituent la frontière Algéro-Tunisienne. Il présente un tracé avec de multiples coudes qui le font passer de petits bassins en petits bassins par des secteurs de vallées étroites avec parfois de courtes gorges.

L'Oued Bounamoussa draine la partie Ouest du bassin versant de la Mafragh. Il descend depuis Djebel M'Sid, relative au réseau hydrographique, nous permet de distinguer trois secteurs s'individualisent de fort belle manière :

A l'ouest, Oued Bounamoussa recoupe les structures et s'adapte localement aux accidents tectoniques, ce qui lui donne un tracé en baïonnette (Marre. A, 1987).

Au milieu (partie centrale), les oueds se sont surimposés à partir de la surface fin-tertiaire (Marre.A, 1987). Ainsi Oued Zitoun , qui prend naissance dans la fenêtre de direction SW-NE d'Ain Karma qu'il quitte au niveau de Zitouna sous le nom d'Oued Bouhaloufa, pour traverser en gorge les grés numidiens vers Boutheldja. Il est en fait surimposé et suit la pente de la topographie de la forêt d'Ouerda. Oued Cheffia, de son côté, qui prend naissance dans Djebel Nador à l'Est et Kef Bni Fradj à l'Ouest, coule vers le Nord-Est en traversant les grés numidiens, avant de prendre le nom de Oued Boulathane.

A l'Est, il y a l'Oued Bougous qui suit un tracé très varié avec de nombreux coudes à 90°, Oued Bouhaloufa, qui suit aussi la topographie de la forêt de Ouerda, et qui est guidé localement par des accidents tectoniques d'âge Plio–Quaternaire, et enfin la subsidence de la plaine de Annaba. (Marre. A, 1987).

Vu que le Lac Obéira joue un rôle spécifique dans la partie Nord-Est du bassin versant en période de crue sur l'Oued El-Kébir-Est, le lac reçoit les eaux apportées par L'Oued Messida. Pendant la période d'étiage, les eaux du lac s'écoulent par l'Oued Messida vers Oued El-Kébir. Une petite vanne a été construite sur l'Oued Messida près du lac afin de régulariser cet écoulement à deux sens.

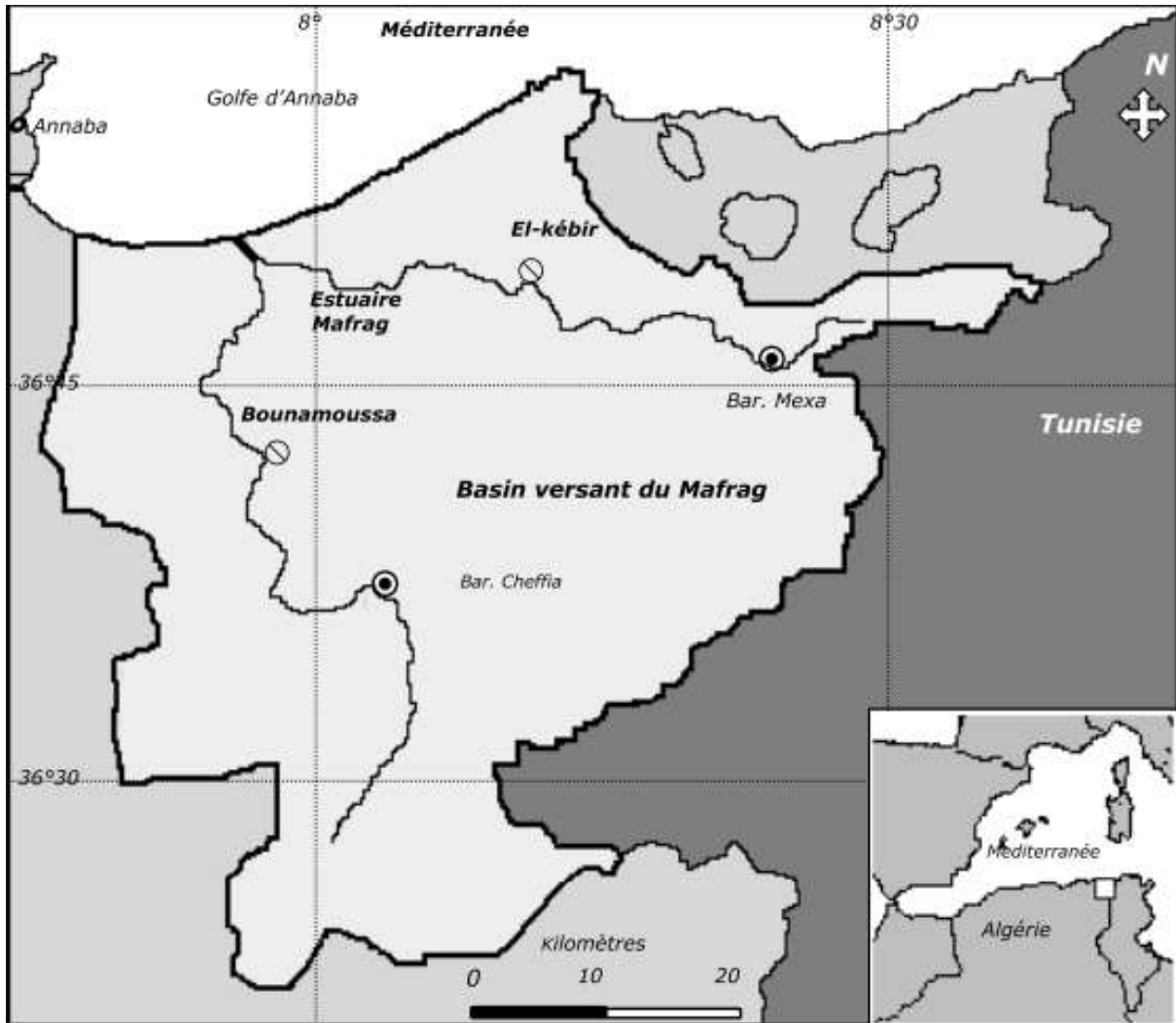


Figure 09 : Contexte géographique de l'Oued du Mafragh et de son bassin versant. ●: Barrages ; ⊙: Limite de coin salé. (Khélifi-Touhami et al. 2006)

Le bassin de la vallée Mafragh est aménagé en amont par deux ouvrages de rétention (Fig.9). Il s'agit de barrage Cheffia construit sur Bounamoussa et barrages Mexa et Bougous construits sur El-Kébir. (Tab.1). L'ensemble des systèmes de régulation devrait aboutir à une artificialisation du cycle hydrologique de l'Oued. Il est à signaler qu'au niveau de la branche Bounamoussa existe un barrage seuil juste au pont de Ben-Mhidi empêchant la remontée des eaux salées.

Tableau 01 : Données sur les Trois barrages en exploitation (d'après Mébarki, 2009, Haridi, 2010). AEP : Alimentation en eau potable ; IND : Industrie ; IRR : Irrigation.

Caractéristiques	Barrage Cheffia	Barrage Mexa	Barrage Bougous
Bassin versant	575 Km ²	680 Km ²	680 Km ²
Oueds	Bouamoussa	El-Kébir-Est	El-Kébir-Est
Année de mise en eau	1965	1999	2010
Wilaya	El-Tarf	El-Tarf	El-Tarf
Capacité initiale en Hm ³	171	51	63,3
Capacité estimée en 1986 Hm ³	168,4	//	//
Volume régularisé en 2006 Hm ³	101	42	//
Destination	AEP; IND; IRR	AEP (Annaba/El-Tarf)	AEP

La zone environnante est occupée par d'importants marécages (600 km² environ) inadéquats pour l'agriculture en raison de la salinisation des terres. En période de crue, l'eau excédentaire envahit complètement la pleine littorale et occasionne, de sérieuses atteintes des infrastructures et de l'environnement.

Les études de Labar (2003) donnent une description hydrologique complète des rivières tributaires de l'oued (Tab. 2). Les débits estimés à l'aval des barrages sur 42 ans sont de l'ordre de 7 et 5 m³.s⁻¹ respectivement pour El-Kébir et Bouamoussa. Il est important de remarquer que le coefficient d'écoulement est de l'ordre du 30-37%. Ces études n'ont malheureusement pas considéré la partie estuarienne représentant en longueur plus de 25% (Ziouch, 2007) du parcours des rivières-estuariens.

Sur le plan socio-économique le bassin versant de la Mafragh est moyennement peuplé (353 686 habitants), caractérisé par la présence des activités rurales. Il s'agit principalement de l'agriculture et l'élevage. L'agriculture y est essentiellement intensive dont l'irrigation est assurée en grande partie par les rivières tributaires de l'estuaire. L'industrie dans la région se limite à de petites usines agro-alimentaires (Haridi, 2010., Ziouch, 2007).

Tableau 02 : Données morphohydrologiques des oueds Bounamoussa et El-Kébir. Débits moyens mensuels étalés sur une série de 42 ans (1946-1988). D'après Labar (2003).

Paramètres	El-Kébir	Bounamoussa
Débit ($Q \text{ m}^3/\text{s}$)	6,71	4,45
Superficie (Km^2)	1740	1158
Précipitation P (mm)	792,70	722,71
Apport Max. mensuel V (Hm^3)	40,99	24,52
Apport Min. mensuel V (Hm^3)	0,20	1,86
Apport Moyen annuel V (Hm^3)	210,05	139,75
Déficit D (mm)	499,02	504,84
Ecoulement E (mm)	293,68	217,87
Coefficient d'écoulement $K_e=E/P$	37,05	30,15

Le débit à l'embouchure du Mafragh est fortement variable avec des valeurs extrêmes de $0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en période sèche jusqu'à $500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ lors des périodes de crues (Khélifi-Touhami et al., 2006). Si l'estuaire reste ouvert généralement de la fin de l'automne jusqu'à la fin de l'été, son embouchure est tellement peu profonde, pour une bonne partie de cette période, que l'échange estuaire-mer reste peu important. Ainsi, l'embouchure peut se fermer plusieurs mois en conditions de période de sécheresse prolongée (juillet-octobre) et lorsque le niveau d'eau de l'estuaire diminue par suite d'absence d'apports continentaux (photos 1). A cela s'ajoute le transport et l'accumulation de sable sur la côte, due à l'action des vents, importants par ailleurs en cette époque de l'année.

En saison sèche, le coin salé, atteint 20 km dans la branche El-Kébir et environ 15 km dans Bounamoussa (Khélifi-Touhami et al. 2006, Fig. 9). Suivant la période pluvieuse, et le fort écoulement, le volume de l'estuaire peut être entièrement déchargé à la mer en quelques jours seulement. Le temps de résidence peut varier ainsi entre quelques jours et quelques mois.



Figure 10 : A gauche vue de l'embouchure de l'estuaire du Mafragh ouverte en période humide, à droite vue de l'estuaire amont, à 12 km de l'embouchure.

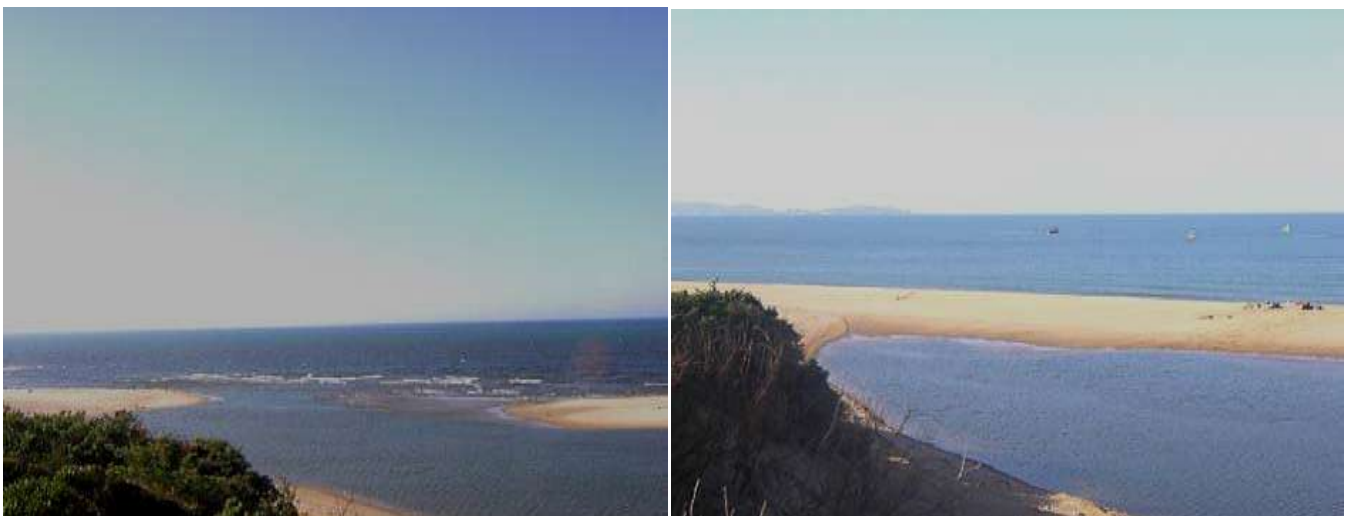


Figure 11 : Photos à gauche vue de l'embouchure de l'estuaire du Mafragh semi ouverte en période printanière, à droite vue de la fermeture de l'Embouchure de l'estuaire en période de sécheresse.

Pour ce qui est de l'exploitation biologique, les données des enquêtes réalisées ont révélé la situation suivante :

A l'exception de la campagne crevette (de mai à juillet) et les prélèvements occasionnels visant les espèces migratrices remontant la Mafragh (Mulet, loup), l'activité de pêche proprement dite est de type artisanale et récréative se pratique essentiellement dans la zone littorale de proximité et non dans le lit de l'Oued.

L'embouchure sert comme plage d'échouage pour les petits métiers, non règlementée en tant que zone de pêche. Le nombre d'embarcations existant sur le site est d'une moyenne de 40 embarcations actives dont la taille varie entre 3,5 et 6m. L'effectif des marins actifs est de l'ordre d'une centaine de pêcheurs y compris les propriétaires d'embarcation. La majorité des marins sont des jeunes chômeurs exerçant l'activité de pêche à des fins de subsistance, ou par complémentarité aux activités rurales traditionnelles (élevage, agriculture). Le site en question constitue un pôle par excellence pour la pêche de loisirs (pêche à la ligne et palangrotte). Des dizaines d'amateurs des localités limitrophes (Guelma, Souk Ahras) fréquentent souvent les lieux pour la pêche et la quiétude de la zone.

2. Géomorphologie

La région est formée par trois zones géomorphologiques hydrologiquement distinctes. Au Sud des vallées profondes où coulent d'une part, entre les djebels Oum Ali, Ghora et Tegma, les oueds Bougous, Ballouta et Sbaa d'une densité de 4 km/km² et qui rejoignent l'oued El-Kébir dans la vallée de Mexa noyée en partie par le lac barrage qu'on y a érigé.

D'autre part, sur les monts de Bouhadjar où la Bounamoussa prend naissance et jaillit sur une pente régulière jusqu'à l'entrée au Barrage de Cheffia. Au nord, des basses collines et des dépressions fermées où sont localisés les lacs et les marécages alimentés par des cours d'eau de faible densité (2km/km²). Entre ces deux zones, une troisième, constituée de plaines alluviales au fond desquelles coulent l'oued El-Kébir et Bounamoussa.

El-Kébir avec ses affluents (Guergour ; Dardan, Bou-Halloufa) et Bounamoussa (Soudan ; Guerriah) se confluent et forment ainsi l'artère hydrologique qui draine les eaux de la région jusqu'à la zone d'épandage de crue que constituent les marécages de la Mekkada. A la faveur d'une géologie avantageuse formée de la superposition des formations poreuses des grès numidiens dans les reliefs ou des sables dunaires dans les zones basses sur le substratum imperméable des argiles de Numidie, l'eau apportée par les pluies hivernales est emmagasinée pour être ensuite lentement restituée au réseau hydrographique.

Par ailleurs, le relief de la zone d'étude est caractérisé par la présence de pentes fortes en amont et douce à l'aval, et que l'indice de pente globale (m/km) est de 7,15 pour El-Kébir et 11,02 pour la Bounamoussa (Labar, 2003).

2.1. Conditions météorologiques

La région d'étude est soumise à un climat méditerranéen, caractérisé par la présence de deux périodes bien distinctes. Une période humide s'étendant de septembre à avril et l'autre sèche située entre mai et août. Ce type de climat encouragé par de forte dénivellation et de médiocrité de la couverture végétale en région méditerranéen aura une importante influence sur le régime hydrologique des eaux de surface (Loup, 1974).

2.1.1. Température atmosphérique

La température moyenne mensuelle de la région est d'environ 17°C. Concernant la période d'étude, l'intervalle a varié entre de 9,2 °C (janvier et février 2005) à 25,6 °C (juillet) (Fig. 12a). On note une augmentation régulière de la température à partir de la troisième semaine du mois de mars pour atteindre le maximum en juillet au lieu d'août. D'une manière générale, les fluctuations thermiques mensuelles moyennes coïncident avec celles relevées dans les eaux du Mafragh.

2.1.2. Précipitation et évaporation

La région limitrophe à l'estuaire est connue comme étant la plus arrosée du pays (de 500 à 900 mm). L'étendue du bassin de la Mafragh (3 200 km²) reçoit des précipitations directes influençant fortement leur régime hydrologique et en particulier les variations de salinité. Les données pluviométriques des deux années de suivi montrent la présence d'un minimum de précipitation (1,1 mm) en juillet et un maximum de 184 mm en décembre 2005 (Fig. 12b).

Une telle variation d'amplitude reflète le régime pluviométrique méditerranéen caractérisé essentiellement par l'irrégularité et la torrencialité des pluies. En effet, les quantités de précipitations élevées enregistrées coïncident valablement avec les périodes de crue caractéristiques de la région : les crues de décembre février et avril (Labar, 2003).

L'humidité relative est élevée durant toute l'année suivent une évolution comparable à l'allure de la courbe des températures (Fig. 12c), avec une moyenne annuelle de l'ordre de 70 à 80%. Ces valeurs confortent les données de la littérature qui précise que l'évapotranspiration réelle dépasse parfois la quantité des précipitations.

Enfin, il semble que la répartition de la majorité des précipitations pendant la saison humide favorise un excès d'eaux en cette période de l'année, alors que durant les mois hyper secs (juillet et août), la région connaît un déficit hydrique considérable. De tel schéma antagoniste se retentit absolument sur le bilan hydrologique ainsi que le régime d'écoulement des eaux de surface dans l'estuaire.

2.1.3. Régime éolien

Les vents ont une action double sur la température des eaux de l'estuaire. En effet, les eaux se refroidissent en hiver sous l'action des vents du Nord (Mistral et Tramontane), et se réchauffe en été par l'influence du vent du sud (Sirocco). De plus, c'est sous l'influence des vents dominants que le niveau de la mer s'élève (marée barométrique), et par suite la cote dans l'estuaire en amplifiant le brassage vertical des masses d'eaux (Scully et al., 2005).

L'intensité du vent varie seulement entre 2,8 et 5,7 m.s^{-1} avec une moyenne de 3,8. Il s'agit des valeurs mensuelles moyennes montrant une allure presque rectiligne, et que les relevés ponctuels sont d'intensités aussi importantes à ne pas écarter (Fig. 12d). D'ailleurs, des vents très violents ont été observés lors des sorties de terrain. Dans la Mafragh, et surtout que son embouchure s'ouvre sur un couloir des vents dominants, où le rôle des vents se fait sentir aisément.

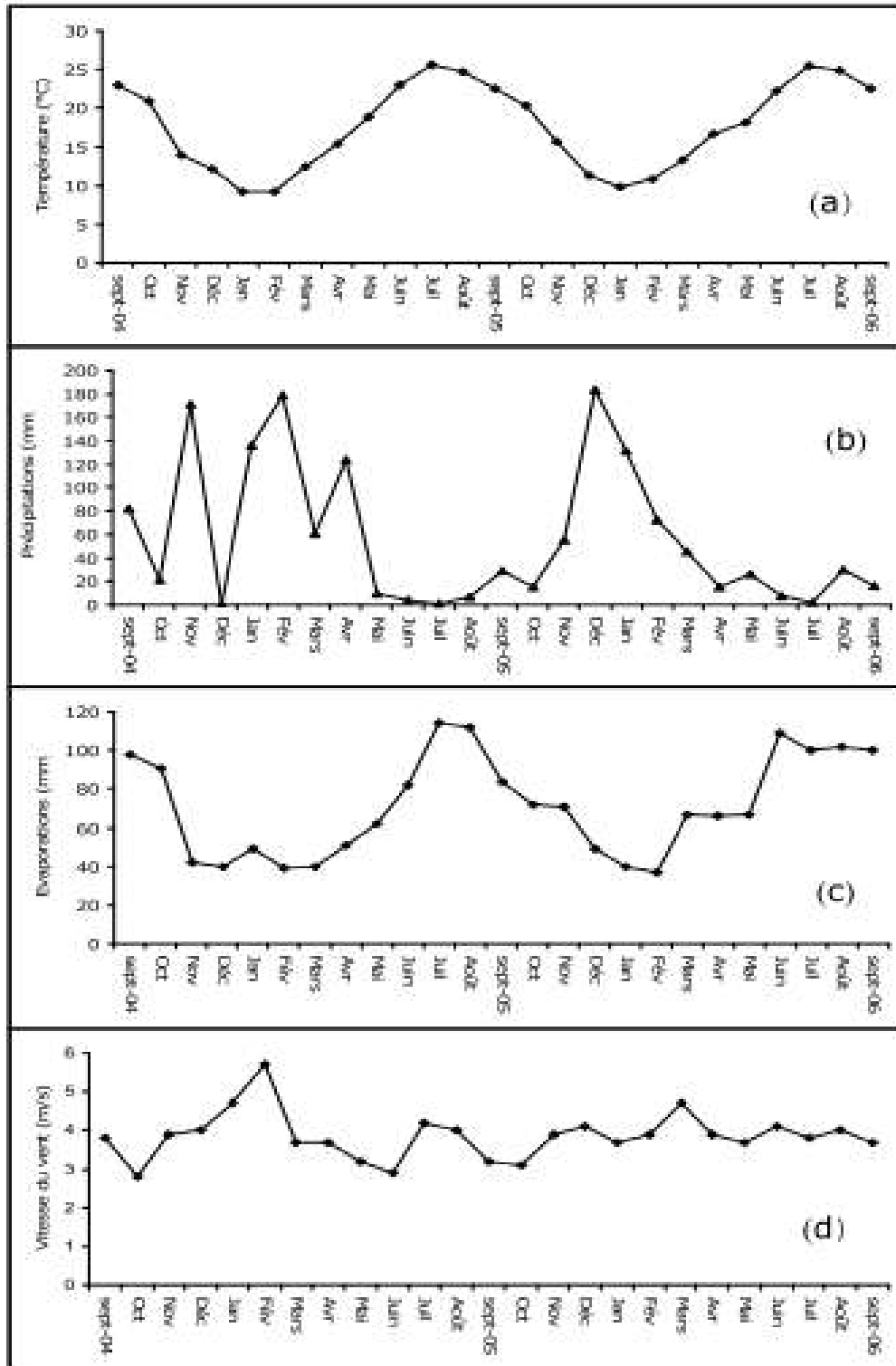


Figure 12 : Valeurs mensuelles moyennes de la température atmosphérique (a), des précipitations (b), de l'évaporation (c) et de la vitesse du vent (d) au cours de la période d'étude, de septembre 2004 – septembre 2006 (Source : la station météorologique des salines, Annaba). (Haridi., 2010).

3. Echantillonnage et Méthodes d'analyse

3.1. Choix des stations

Afin de déterminer la variabilité spatiale des conditions hydrologiques, les stations équidistantes de 1 kilomètre ont été situées tout au long de l'estuaire, depuis l'embouchure jusqu'à 11,5 km dans la branche El-Kébir et 8 km dans la branche Bounamoussa (Tab 3 et Fig. 13). Les caractéristiques des stations choisies sont résumées dans le tableau 3.

Ces 19 stations ont été suivies saisonnièrement lors de 4 campagnes au cours de l'année 2006 correspondant à l'hiver (26-27 février), le printemps (26 avril), l'été (9 juillet) et l'automne (31 octobre- 1 novembre).

Un sondage longitudinal de la profondeur à un pas de relevés de 10 m sur 20 km dans le bras d'El-Kébir (soit 2 000 relevés) et sur 15 km dans Bounamoussa (soit 1 500 relevés), a été réalisé le 26 et le 27 février 2006 et a permis d'obtenir une configuration topographique très précise de l'estuaire.

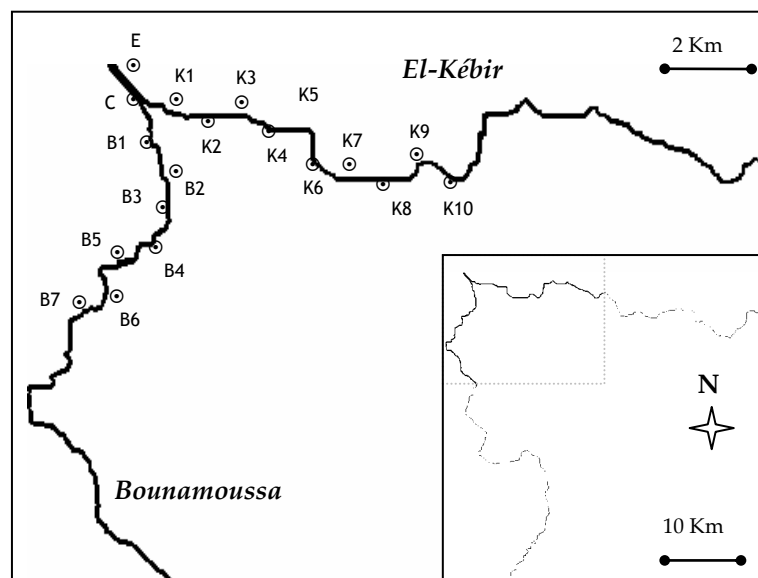


Figure 13: Positionnement des stations étudiées de l'estuaire du Mafragh en 2006. E : station embouchure, C : station confluence, K1-K10 : stations 1 à 10 de la branche El-Kébir, B1-B7 : stations 1-7 de la branche Bounamoussa.

Tableau 03: Caractéristiques géographiques des stations étudiées. Les stations d'El-Kébir sont dénommées de K1 à K10 et les stations de Bounamoussa sont dénommées de B1 à B7.

<i>Stations</i>	<i>Positionnement (latitude, longitude)</i>	<i>Profondeur (m)</i>	<i>Distance à l'embouchure (km)</i>
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°49.532' E 07°58.446'	3,7	3,3
K3	N 36°49.551' E 07°59.027'	3,3	4,2
K4	N 36°49.630' E 07°59.581'	2,9	5
K5	N 36°49.476' E 08°00.024'	2,2	6
K6	N 36°49.513' E 08°00.611'	1,5	7
K7	N 36°49.463' E 08°01.249'	1,6	8
K8	N 36°49.168' E 08°01.694'	2,2	9,5
K9	N 36°48.696' E 08°01.988'	2,2	10,5
K10	N 36°48.629' E 08°02.690'	2,2	11,5
B1	N 36°49.561' E 07°57.639'	1,7	2,6
B2	N 36°49.117' E 07°57.969'	2,6	3,6
B3	N 36°48.640' E 07°58.244'	2,2	4,6
B4	N 36°48.173' E 07°58.324'	3,4	5,5
B5	N 36°47.778' E 07°58.073'	2,2	6,4
B6	N 36°47.598' E 07°57.636'	2,5	7,2
B7	N 36°47.221' E 07°57.272'	3,8	8

3.2. Relevés hydrologiques

La connaissance des masses d'eaux est d'une importance primordiale dans l'étude des milieux aquatiques. En effet, les volumes d'eaux possédant des caractéristiques spécifiques de salinité leur permettent une extension horizontale et verticale différentielle dans l'espace et le temps. Pour ce qui est de salinité, les propos sur la classification des estuaires déjà entamé dans le premier Chapitre approuvent pleinement la prédominance de ce facteur écologique (Mac Lusk, 1993).

Les relevés de salinité ont été mesurés à la surface et près du fond, avec un multiparamètre de terrain de type WTW 197i, d'une précision haline de (0,1 à 0,2). Les valeurs de salinité sont ainsi exprimées en échelle de salinité pratique Practical Salinity Unit ou PSU).

En plus des relevés hydrologiques des eaux de surface et de fond, des profils verticaux de salinité ont été réalisés lors des quatre campagnes dans chaque station. Il est à noter que les points des relevés sont espacés de 10 et de 20cm. Cette échelle d'observation très serrée de la colonne d'eau, permet une meilleure identification des masses d'eaux. Les données collectées au cours des campagnes sur l'ensemble des stations, ont été traitées par le logiciel de cartographie Surfer 8 (Golden Software Surfer, 2002) afin de faciliter l'interprétation de la distribution verticale et spatiale de la salinité et donc des masses d'eaux en présence.

3.3. Relevés bathymétriques

a) Profils transversaux

Les profils transversaux ont été réalisés aux points de prélèvements (stations) lors des quatre campagnes. Le sondage transversal de la profondeur à un pas de relevés de 1m. Ces profils permettent de déterminer la surface de la section mouillée.

b) Profils longitudinaux

La configuration topographique très précise de l'estuaire a été obtenue par un sondage longitudinal de la profondeur à un pas de relevés de 10 m sur 20 km dans El-Kébir (soit 1169 relevés) et sur 15km dans Bounamoussa (soit 971 relevés), le 26 et le 27 février 2006. Les données de profils transversaux et longitudinaux sont nécessaires à l'évaluation du volume et de la surface que recèle l'estuaire.

c) Estimation des volumes et des fractions d'eaux douce et salée

L'estimation de la fraction d'eau douce ou salée présente en chaque moment dans l'estuaire est calculée selon l'équation de Giovanardi et Tromellini (1992):

$$F (\%) = 100 (S - s)/S$$

F: fraction d'eau douce

S: salinité de l'eau de mer

s: salinité de l'échantillon

A partir de la fraction d'eau douce, on peut estimer le volume total instantané d'eau fluviale que contient l'estuaire. Ces estimations sont facilitées et par la profondeur de la lame d'eau indiquée par les valeurs de salinités et par le volume partiel inter-station. Il s'agit de multiplier la valeur de la fraction par le volume partiel pour déterminer la quantité en eau douce en présence.

En outre, il faut noter que l'estuaire a connu deux phases très contrastées durant l'année 2006. Lors des deux premières campagnes d'hiver et du printemps, l'estuaire est bien ouvert à la mer mais s'est fermé en juin jusqu'en décembre. Les campagnes d'été et d'automne se sont donc déroulées en période de fermeture de l'estuaire.

CHAPITRE III. RESULTATS

1. Hydrologie

1.1. Configuration morphologique de l'estuaire

1.1.1. El-Kébir

La configuration bathymétrique de l'embouchure à 11 Km dans la branche El-Kébir montre un fond très accidenté avec une profondeur maximale de 5,8 m à la confluence (Fig. 14). La profondeur moyenne d'El-Kébir atteint 3 m alors qu'on peut rencontrer des fosses de plus de 5 m à environ 6km de l'embouchure. Selon la profondeur moyenne, on peut distinguer 4 parties : embouchure-PK2: 4 m, K2-K5 : 3,2 m, K5-K8 : 1,8 m et K8-K10 : 2,5 m.

D'autre part, les profils transversaux effectués en chaque station, permettent d'estimer les surfaces des sections mouillées correspondantes (Tab. 4).

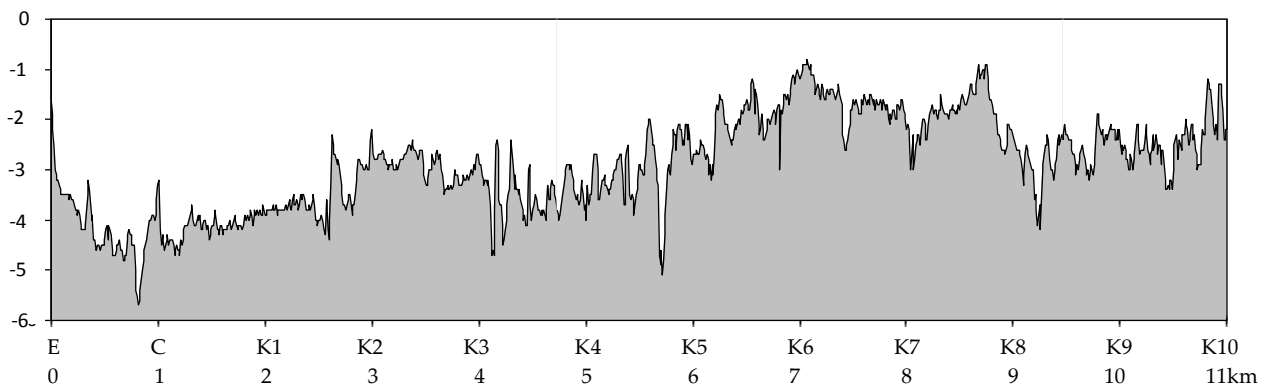


Figure 14 : Configuration bathymétrique de l'estuaire du Mafragh de l'embouchure jusqu'à 11 kilomètres dans la branche El-Kébir le 26 février 2006.

Ces surfaces varient entre 47 et 397 m² selon la largeur de la section mouillée et la profondeur. Pour les 11,5 km explorés, on estime que l'estuaire recèle un volume de 1,35 Millions de m³ dont environ 30% revient à la portion embouchure-confluence. La surface totale de l'embouchure au Pk20 (partie estuarienne) avoisine 600 Mille m² et couvre un volume d'eau d'environ 1,8 Millions m³. Ces données hydrauliques devront servir à l'évaluation du temps de résidence des eaux continentales transitant l'estuaire.

Tableau 04 : Caractéristiques morphométriques de la branche d'El-Kébir le 26 février 2006. R : rayon hydraulique ou largeur de la section mouillée, D : distance inter-station, Nr : nombre de relevés, Zm : profondeur moyenne, Sp : surface partielle, Qp : volume partiel.

<i>Stations</i>	<i>R (m)</i>	<i>D (m)</i>	<i>Nr</i>	<i>Zm (m)</i>	<i>Sp (m²)</i>	<i>Qp (m³)</i>
E-C	100	1200	81	3,97	397,04	476444
C-K1	33	1000	106	4,27	140,75	140748
K1-K2	36	869	110	3,72	133,99	116433
K2-K3	33	932	109	2,94	96,88	90293
K3-K4	33	784	110	3,45	113,88	89282
K4-K5	24	933	109	3,16	75,81	70730
K5-K6	42	1100	109	2,13	89,32	98249
K6-K7	30	1500	111	1,57	47,11	70662
K7-K8	30	1000	109	1,88	56,31	56312
K6-K9	27	1100	108	2,68	72,35	79585
K9-K10	24	1000	107	2,45	58,79	58789
Total	*	11 382	1 169	*	1 282,22	1 347 528

1.1.2. Bounamoussa

La topographie du fond de Bounamoussa est peu accidentée montrant des profondeurs variant entre 1 et 4 m avec une profondeur moyenne de 2,3 m (Fig. 15). La partie aval est cependant peu profonde. A partir du Pk5, l'estuaire devient plus profond ou la profondeur moyenne avoisine 3 m. La largeur moyenne de la section mouillée (60 m) est beaucoup plus importante que celle d'El-Kébir. On retrouve en revanche une configuration contraire à celle d'El-Kébir dont le lit est profond mais peu élargit. Pour les 9 km explorés, on estime que Bounamoussa recèle un volume d'eau de 1 Million m³ et une surface en eau très comparable à celle d'El-Kébir (Tab. 5).

La partie estuarienne s'étendant sur 15 km environ, devrait avoir un volume total de l'ordre de 1,5 Millions de m³. En conséquence, le système estuarien peut avoir un volume d'environ 3,3 millions de m³ auquel il faut ajouter les quantités d'eau marines introduites lors des advections de marée, encore mal connues. On peut remarquer en outre que les deux branches de l'estuaire ont curieusement des surfaces en eau et des volumes sensiblement comparables.

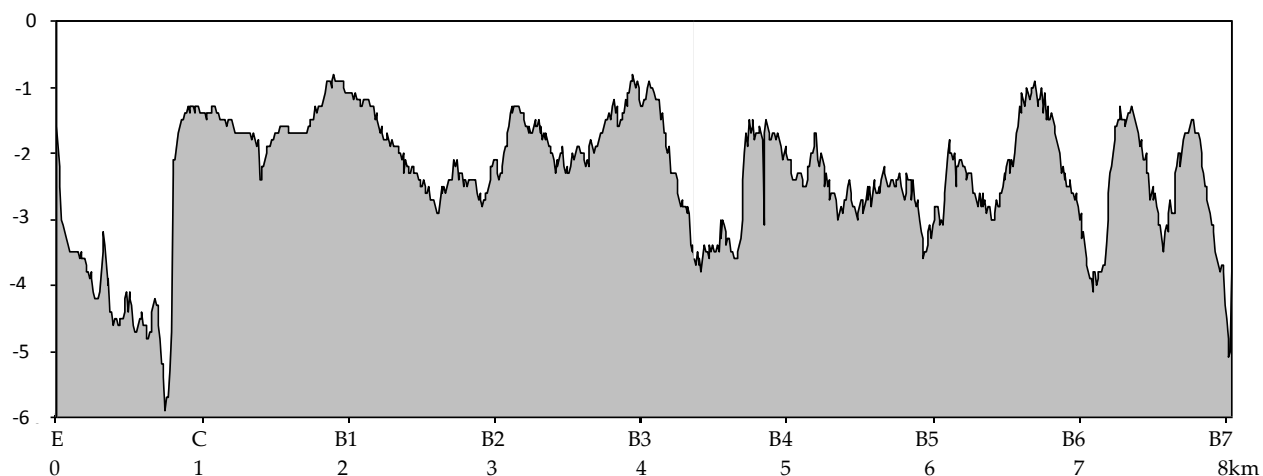


Figure 15 : Configuration bathymétrique de l'estuaire du Mafragh de l'embouchure jusqu'à 7 kilomètres dans la branche Bounamoussa le 27 février 2006.

Tableau 05 : Caractéristiques morphométriques de la branche Bounamoussa le 27 février 2006. R : rayon hydraulique ou largeur de la section mouillée, D : distance interstation, Nr : nombre de relevés, Zm : profondeur moyenne, Sp : surface partielle, Qp : volume partiel.

Stations	R (m)	D (m)	Nr	Zm (m)	Sp (m ²)	Qp (m ³)
E-C	100	1200	81			
C-B1	60	1100	108	2,01	120,39	132428
B1-B2	60	1500	103	1,56	93,50	140243
B2-B3	63	1000	104	2,14	134,84	134844
B3-B4	54	1000	105	1,76	95,09	95091
B4-B5	63	875	101	2,57	162,05	141797
B5-B6	60	933	108	2,64	158,11	147518
B6-B7	51	734	109	2,24	114,21	83832
B7-B8	51	849	109	2,58	131,76	111862
B8-B9	27	968	43	3,16	85,21	82480
Total	*	10 159	971	*	1 095,16	1 070 095

2. Distribution spatiale et verticale de la salinité

2.1. Distribution dans l'estuaire

2.1.1. El-Kébir

Dans les milieux de transition, ouvert et à salinité variable, les conditions halines conditionnent le chimisme, la biologie et la distribution des peuplements estuariens. En raison de l'importance écologique qu'elle constitue et de sa forte variabilité dans un estuaire très dynamique, la salinité a été représentée dans trois graphiques (Fig. 16, 17, 18) afin de pouvoir faciliter l'interprétation.

L'examen des données représentées sur les figures 16, 17, 18 permet de constater que l'estuaire a connu trois phases très distinctes.

(1) phase rivière. En période d'hiver l'estuaire fonctionne comme un véritable fleuve avec des salinités typiquement d'eaux douces. Les eaux salées accumulées antérieurement se trouvent entièrement entraînées à la mer : l'estuaire étant entièrement renouvelés et occupé par les eaux fluviales et les eaux de marécages avoisinants.

(2) phase estuaire à coin salé. Au printemps on assiste à la formation de coin salé où l'intrusion marine envahit l'ensemble de l'estuaire (Fig. 16). De l'embouchure au Pk5 (station K4), on retrouve des salinités de fond typiquement marines. A partir de la station 5, la salinité de fond diminue graduellement pour atteindre 20 à la station K10. Parallèlement, la salinité de surface diminue fortement passant de 15 à l'embouchure à 0,10 à la station K10. L'estuaire à coin salé se caractérise par une forte halocline (Fig. 17 et 18) séparant franchement les eaux de surfaces des eaux de fond salées. La profondeur de cette halocline ne dépasse pas 0,5m et son épaisseur est de l'ordre de 0,1-0,2m dans l'estuaire aval (Embouchure-station K3). A partir de K4 l'halocline s'enfonce régulièrement pour atteindre 1,20m en même temps que son épaisseur augmente jusqu'à 1,20m (Fig. 18). Si l'enfoncement de l'halocline indique l'augmentation de la fraction d'eau douce, l'augmentation de son épaisseur souligne l'existence d'un certain mélange à l'interface eau superficielle-coin salé. Ce mélange affecte donc la zone d'interface qui se limite à 0,2-0,5m (Fig. 17, 18) alors qu'à ce niveau spatial de l'estuaire, le coin salé reste franchement isolé et représente 60-85% de la colonne d'eau. Cet isolement aura certainement de répercussions à la fois sur le chimisme à l'interface eau-sédiment et sur les échanges chimiques entre la couche de surface et les eaux salées du fond.

Sur un autre plan hydrodynamique, la phase estuaire à coin salé est caractérisée par de forts apports d'eau douce se diluant rapidement d'amont en aval. En chaque point de l'estuaire on peut calculer en effet la fraction (F) d'eau douce en présence. Le tableau 6 donne la distribution de la fraction d'eau douce le long de l'estuaire qui traduit également le pourcentage du mélange des eaux. Les valeurs des fractions en eau douce concordent avec la distribution spatiale et verticale de la salinité au sein de l'estuaire (Fig. 17, 18). On y remarque que l'eau douce ($S < 2$) superficielle occupe le haut estuaire, depuis le Pk8 jusqu'à la fin de partie de estuarienne alors que les eaux marines du fond ($S > 33$) occupent le bas et l'aval de l'estuaire, entre l'embouchure et le Pk4.

Tableau 06 : Fraction d'eau douce (F%) en chaque point de l'estuaire d'El-Kébir en période de coin salé (avril 2006).

Station	E	C	k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7	k8	k9	k10
F (%) Surface	62,37	74,19	82,53	86,83	86,56	90,32	94,89	95,97	97,85	95,97	97,31	98,66
F (%) Fond	0,54	1,88	2,15	3,23	4,03	5,38	13,98	20,97	31,18	27,42	28,76	45,16

D'autre part, on peut à partir de la fraction d'eau douce, estimer le volume total instantané d'eau fluviale que contient l'estuaire. Ces estimations sont facilitées et par la profondeur de la lame d'eau indiquée par les valeurs de salinités et par le volume partiel inter-station (Tab. 6). Il s'agit de multiplier la valeur de la fraction par le volume partiel pour déterminer la quantité en eau douce en présence. Approximativement, l'eau douce représente 15-20% du volume total, ce qui correspond à environ 250 000 m³.

(3) phase lagune fermée. De la fin juin jusqu'à la fin décembre, l'estuaire est resté déconnecté de la mer par suite de la fermeture de l'embouchure. Les apports en eaux douces sont négligeables et l'estuaire devient donc sous la double influence de l'atmosphère (évaporation, mélange sous l'action des vents) et du souterrain (apports par nappe) cependant que le rôle des eaux de surfaces s'effacent pratiquement.

Le mélange des eaux par l'action éolienne et l'évaporation ont pour effet l'augmentation de la salinité de surface (Fig. 16, 17, 18) et la diminution de celle de fond. En été la salinité des eaux de surface augmente conférant ainsi un caractère mésohalin à l'estuaire alors que la salinité du fond diminue jusqu'à 20-27, caractéristiques des eaux méso-polyhalines.

Cette phase caractérise un estuaire bien mélangé en automne avec des eaux typiquement mésohalines $18 > S > 5$. D'autre part, il n'est pas exclu que les apports de sources immergées soient responsables de la diminution générale de la salinité de fond.

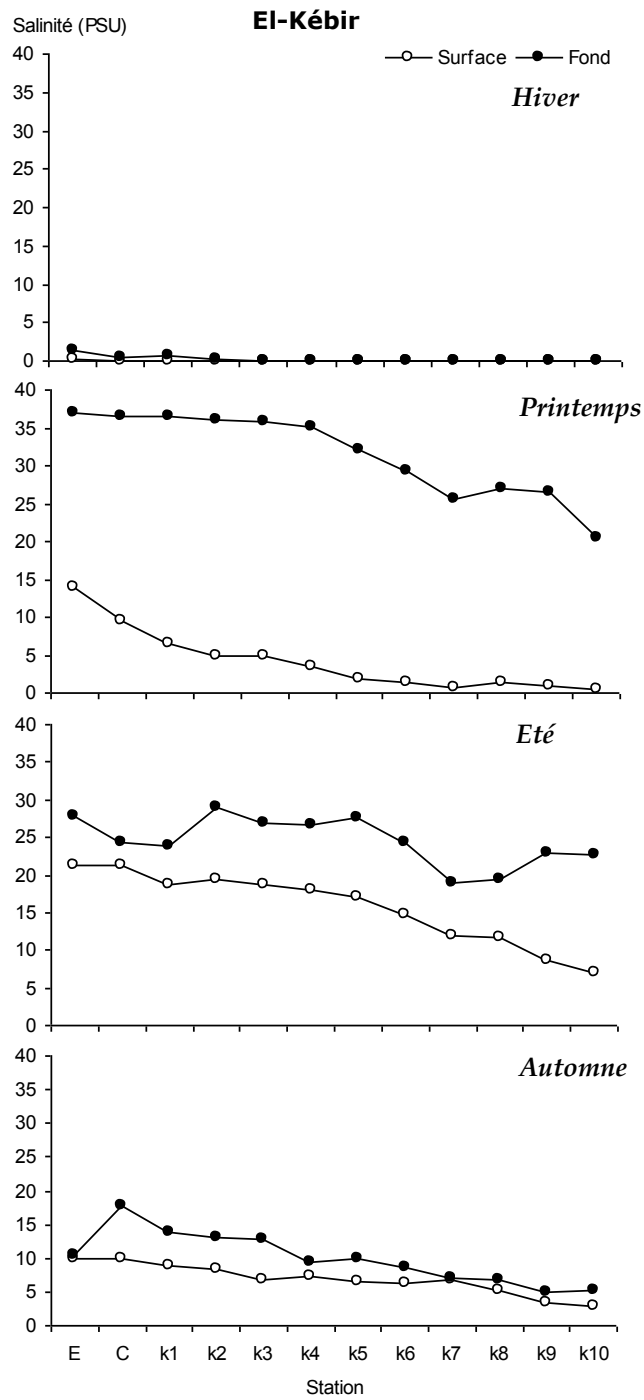


Figure 16 : Distribution des salinités de surface et de fond relevées lors des quatre campagnes en 2006 dans la branche d’El-Kébir.

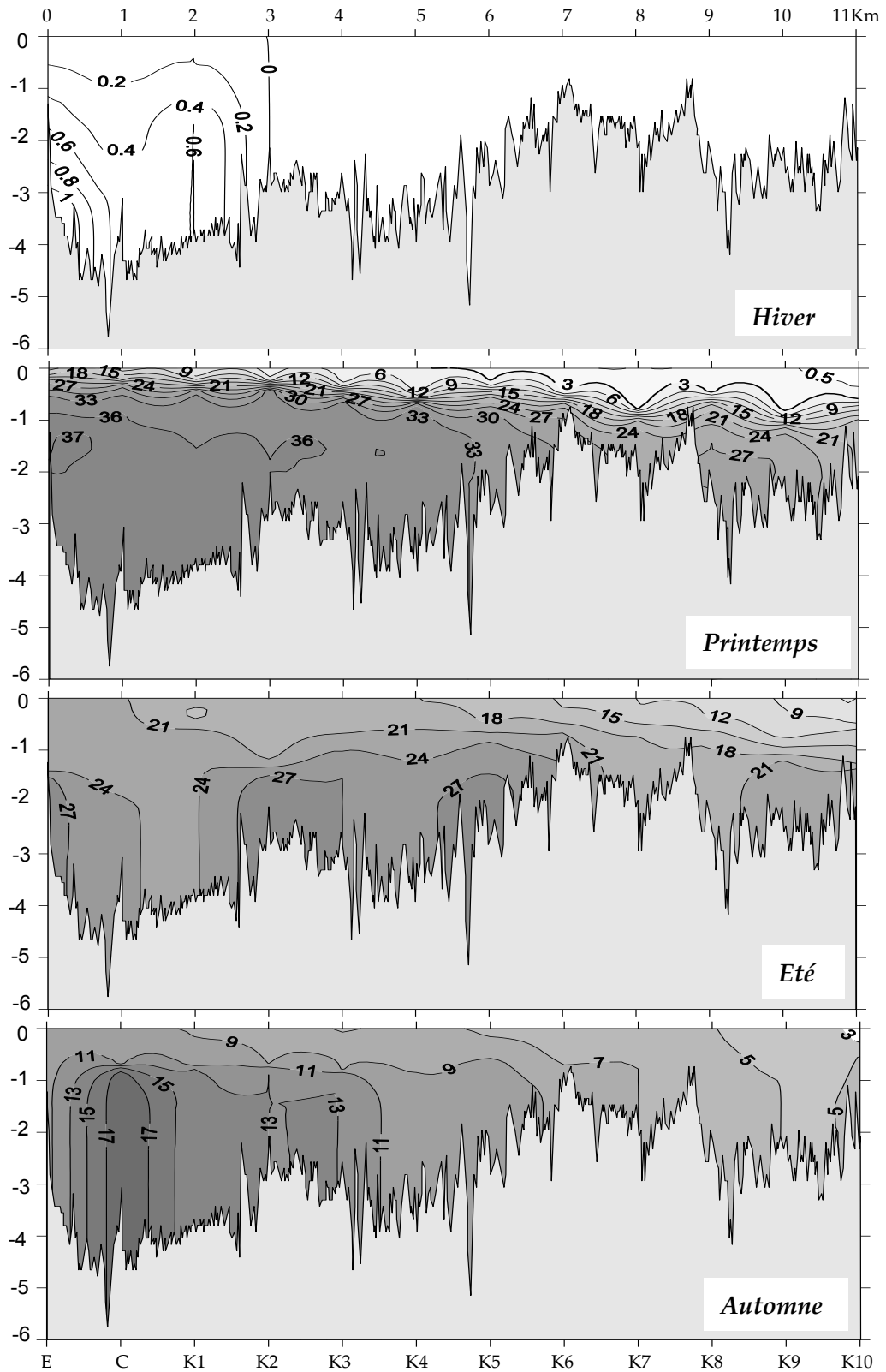


Figure 17: Distribution verticale et spatiale de la salinité entre l’embouchure et le Point kilométrique 11 (Pk11) dans la branche de l’estuaire El-Kébir lors des quatre campagnes saisonnières en 2006.

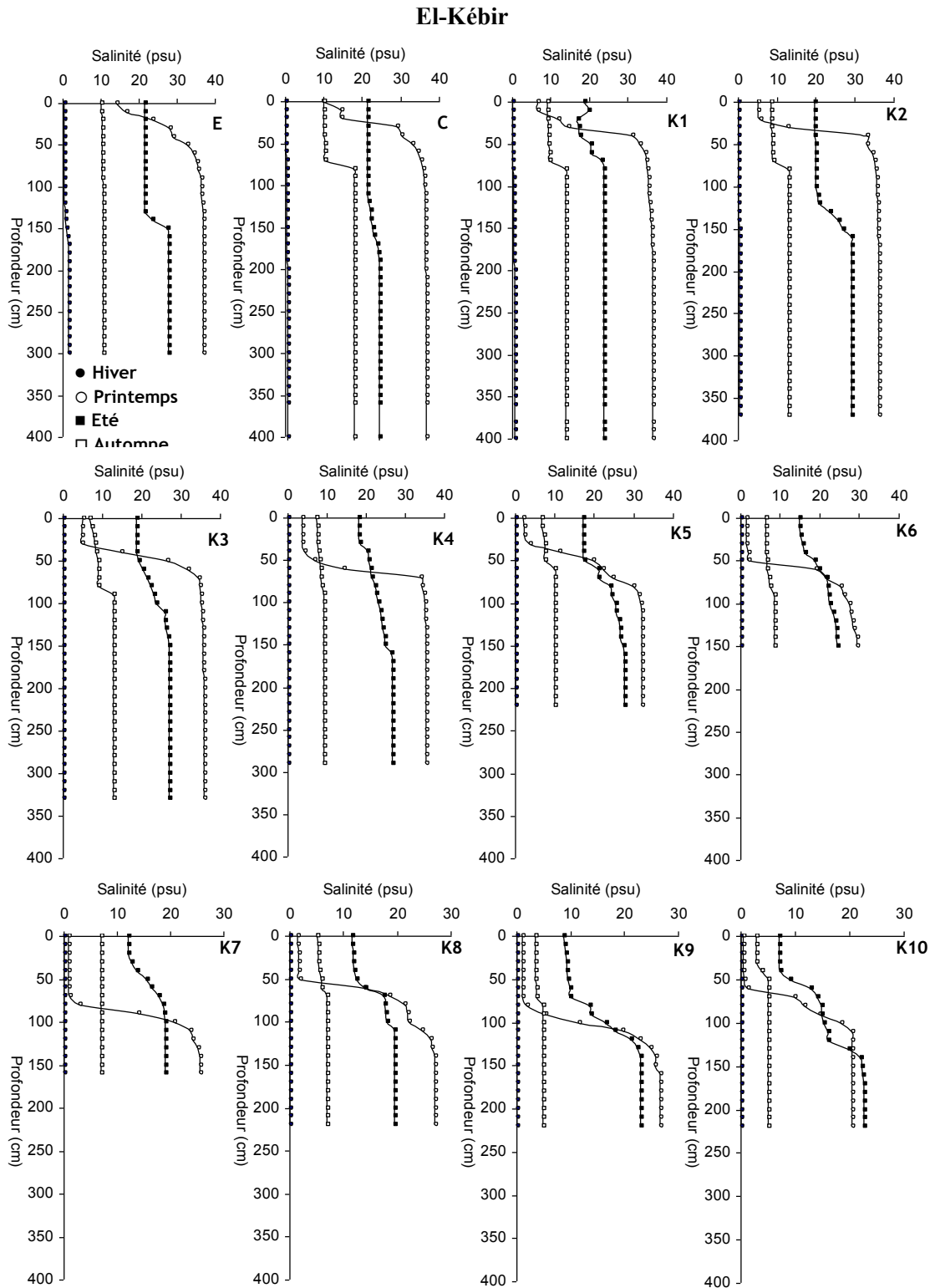


Figure 18: Distribution verticale de la salinité dans les stations étudiées de la branche de l'estuaire El-Kébir lors des quatre campagnes saisonnières en 2006.

2.1.2. Bounamoussa

Les conditions halines subissent les mêmes variations que celles de la branche d'El-Kébir avec l'existence de trois phases distinctes se succédant au cours des saisons. En hiver, les apports d'eau douce envahissent l'estuaire et font repousser le coin salé jusqu'à la mer. La marée étant ainsi masquée par l'importance du flux continental réduisant l'estuaire à un fleuve avec des salinités typiquement d'eau douce (Fig. 19, 20, 21).

Au printemps, l'intrusion marine s'étend sur l'ensemble de l'estuaire et occupe la quasi-totalité de la colonne d'eau. Sous l'effet de ces apports marins, la salinité de surface reste élevée et varie seulement de 15-10, passant de 15 en aval à 10 en amont de l'estuaire (Fig. 19). La faible inertie de cette branche devant l'intrusion marine est due à la configuration du lit peu profond et très large, comparé à la branche d'El-Kébir. De même, la salinité du fond reste comparable à celle de la mer jusqu'au Pk5 (station B4) et diminue à 27 en amont de l'estuaire (Pk8 : station B7). A la même distance à l'embouchure (Pk5, par exemple), l'eau de surface de la branche Bounamoussa est 5 fois plus salée que la branche d'El-Kébir. Au Pk8, la salinité de d'El-Kébir ne dépasse pas 2, alors qu'elle atteint 10 à Bounamoussa (Fig. 19, 20). Ces différences de salinités devront retentir différemment sur la biologie de l'estuaire. On peut supposer que le contingent biologique marin devrait avoir plus d'affinité pour la branche Bounamoussa.

D'autre part, on estime que les eaux de surface de Bounamoussa recèlent beaucoup moins d'eau douce (64 –74%) qu'El-Kébir (Tab. 7). On peut constater aussi que la profondeur joue un rôle principal dans sensibilité à intrusion marine. Les données représentées dans le tableau 7 et les figures 19 et 20 montrent que les stations peu profondes (B2 et B3) recèlent moins d'eau douce en raison de leur faible résistance aux intrusions marines.

Cette période de coin salé est également marquée par une forte stratification des eaux. La thermocline s'installe à 0,7-1,7m selon la station et son épaisseur varie de 0,3-1,7m. On peut remarquer (Fig. 20) que la stratification et la rigidité de la thermocline augmentent avec la profondeur. Néanmoins, bien que profonde, la station B7 présente des eaux plus mélangées pour la tranche d'eau 0,8-2m.

Tableau 7 : Fraction d'eau douce (F%) en chaque point de l'estuaire de Bounamoussa en période de coin salé (avril 2006).

<i>Station</i>	E	C	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
F (%) Surface	5,11	55,11	63,98	62,10	62,37	66,13	69,62	71,51	73,66
F (%) Fond	0,27	2,15	16,13	10,48	4,57	16,67	19,09	21,51	29,03

Lorsque l'on passe à la phase de fermeture de l'estuaire, la stratification commence à s'estomper en été et disparaît totalement en automne (Fig. 20, 21). En l'absence de marée, la faible inertie de la masse d'eau subit facilement l'action du vent sur toute la colonne d'eau, rendu entièrement homogène pour la salinité. L'ensemble de l'estuaire étant ainsi mélangé avec une salinité identique (10) typiquement mésohaline (Fig. 20, 21). Par ailleurs, la diminution de la salinité à seulement 10 peut être le fait des apports souterrains car les apports d'eau continentale sont pratiquement nuls.

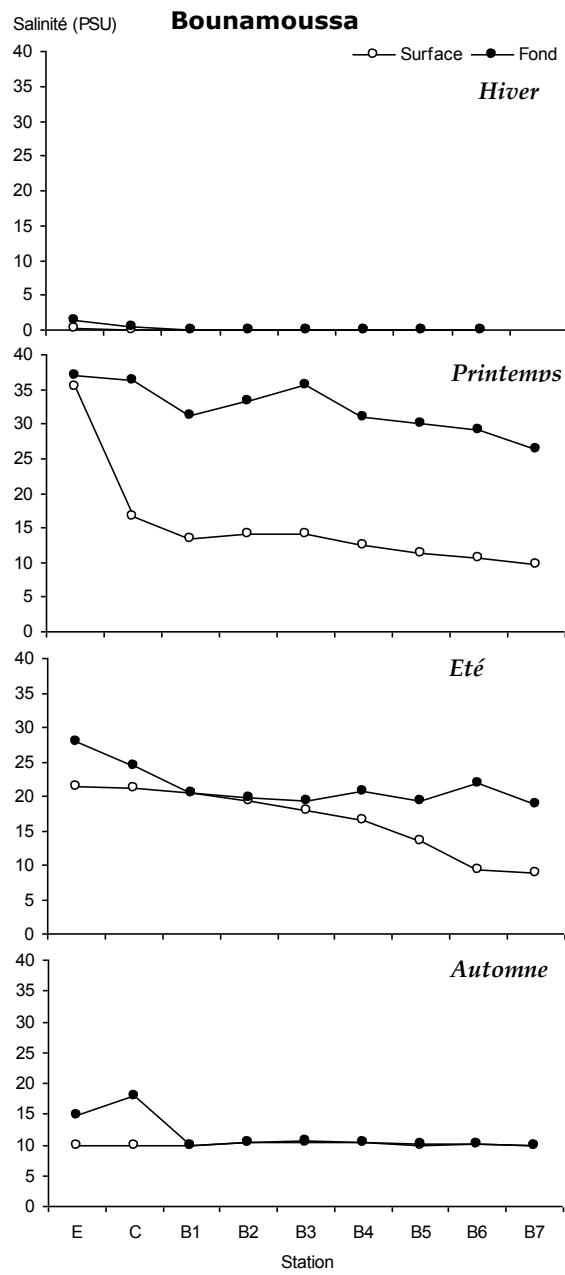


Figure 19 : Distribution des salinités de surface et de fond relevées lors des quatre campagnes en 2006 dans la branche Bounamoussa.

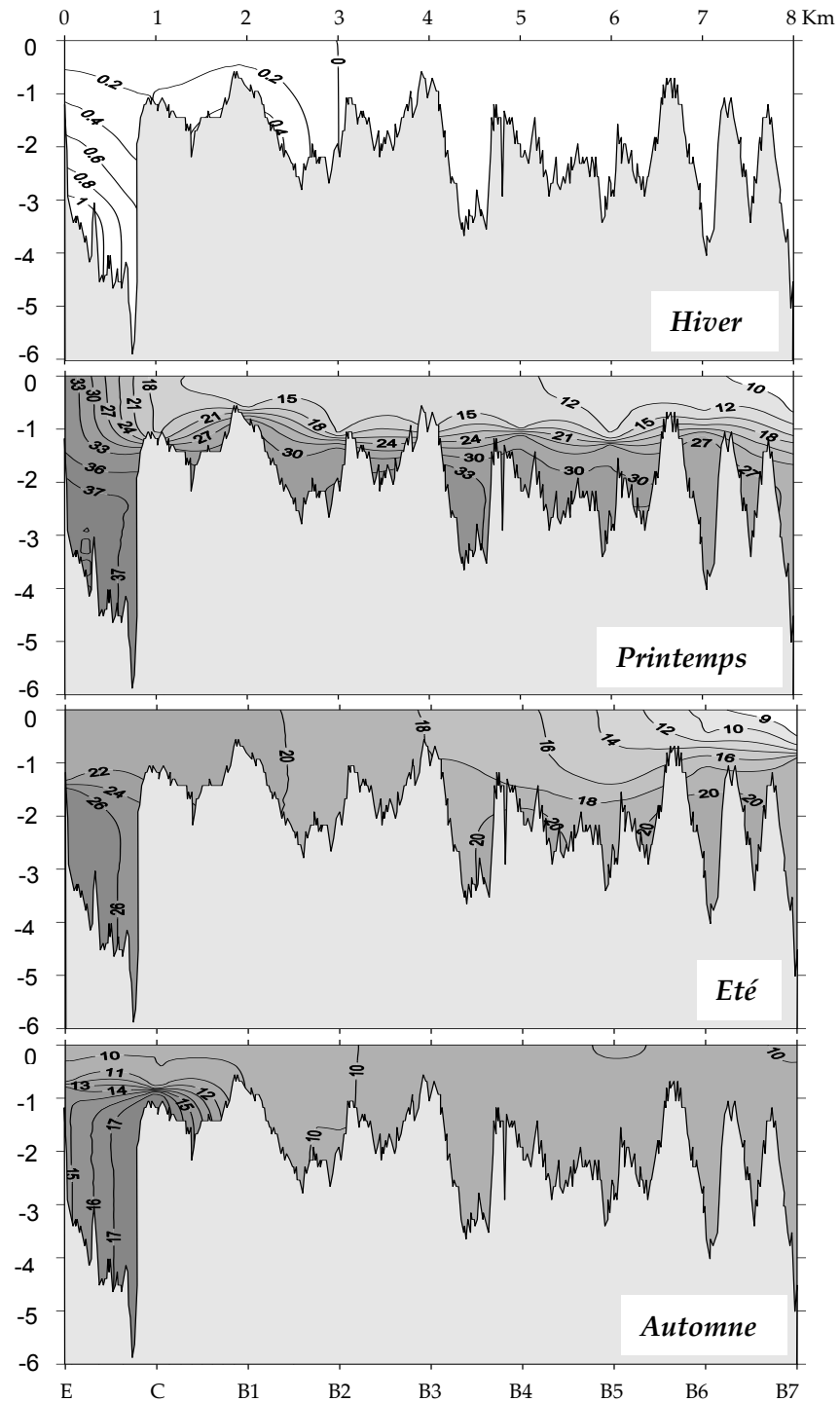


Figure 20 : Distribution verticale et spatiale de la salinité entre l'embouchure et le Point kilométrique 8 (Pk8) dans la branche de l'estuaire Bounamoussa lors des quatre campagnes saisonnières en 2006.

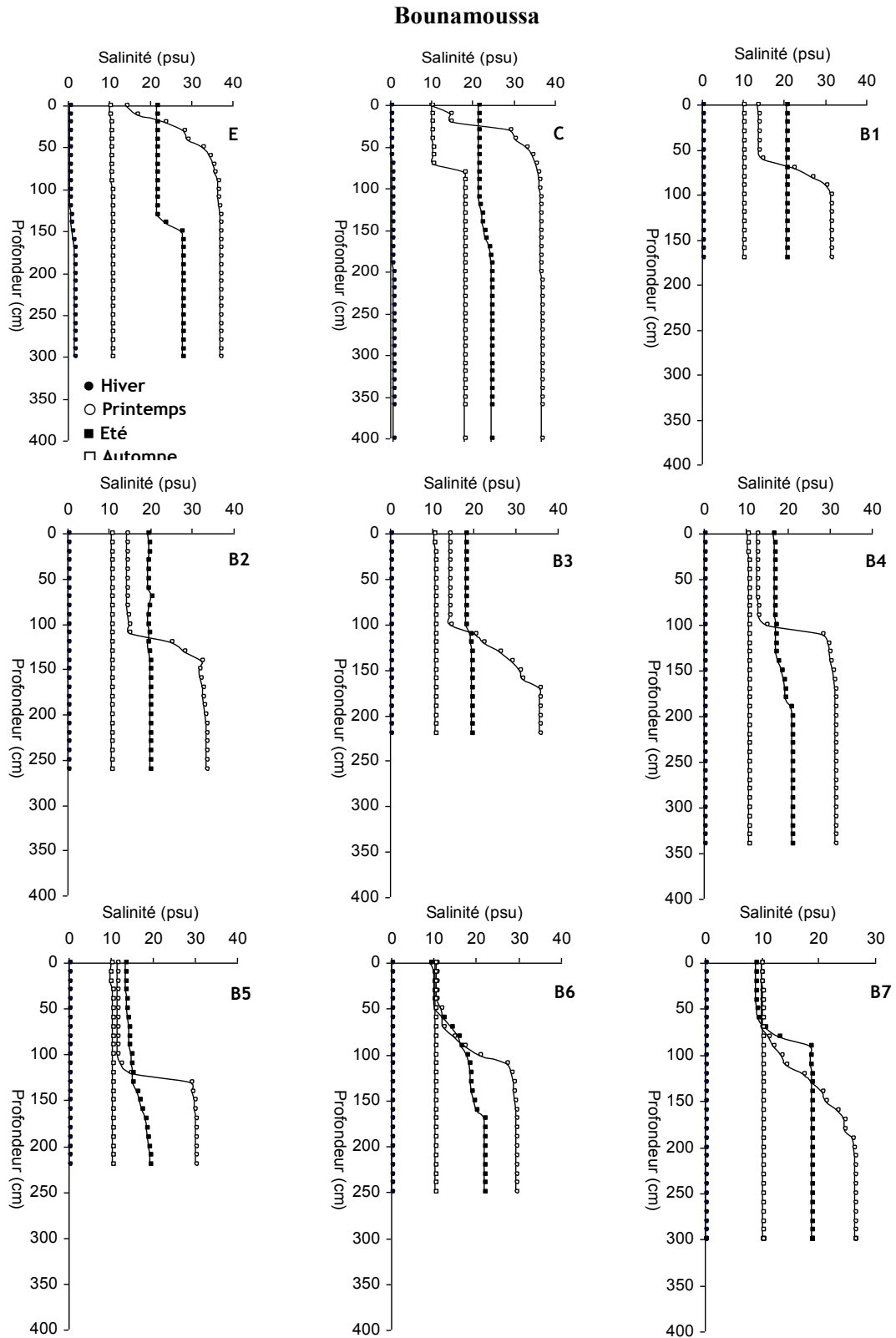


Figure 21 : Distribution verticale de la salinité dans les stations étudiées de la branche de l'estuaire Bouamoussa lors des quatre campagnes saisonnières en 2006.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Au cours de la période d'étude, l'estuaire a connu deux phases hydrauliques majeures (ouverture et fermeture de l'embouchure) qui se sont répercutées sur l'ensemble des caractéristiques physico-chimiques, chimiques et biogéochimiques.

La communication avec la mer est dans une large mesure contrôlée par le débit des tributaires Bounamoussa et El-Kébir qui sont eux mêmes régulés en amont par les Barrages et par leurs marécages respectifs.

L'ouverture se produit en saison humide, en hiver et au printemps, la fermeture se manifeste en saison sèche, en été et en automne. La période d'ouverture comprend deux stades très contrastés: le stade rivière et le stade estuaire proprement dit. La période de fermeture correspond au stade lagune. Cette phase peut être réduite à quelques jours lors des années pluvieuses comme c'est le cas de l'année 2006. L'estuaire forme ainsi trois paysages géographiques se succédant tout au long des saisons. En 2003 par exemple, année assez pluvieuse, l'estuaire ne s'est pas entièrement fermé, mais a passé par ces 3 stades avec un allongement du stade estuaire et une réduction de la phase lagune à seulement 3 mois (Khélifi-Touhami et al., 2006).

Dans les années peu pluvieuses, l'estuaire peut rester fermé durant toute l'année et fonctionne ainsi comme une véritable lagune. Il s'agit alors d'estuaire temporaire très comparable aux estuaires du climat méditerranéen de l'Afrique du Sud et de l'Australie (Hodgkin & Lenanton, 1981; Whitfield, 1992; Perissinotto et al., 2000; Froneman, 2004).

En période de crue coïncidant avec l'hiver, le coin salé est reculé jusqu'à la mer alors que les conditions météorologiques et les décharges continentales dominant le système estuarien. Au printemps, le coin salé avance dans l'estuaire et occupe 70% de la colonne d'eau dans le bras d'El-Kébir et 80% dans le bras de Bounamoussa. Il s'ensuit l'établissement d'une forte halocline qui s'enfonce en moyenne à 0,5-1 m avec une épaisseur de l'ordre de 0,5 m. Cette halocline pointue provoque une certaine stabilité verticale de la colonne d'eau qui se prolonge sur environ neuf mois en 2005 (Haridi., 2010) et quatre mois seulement en 2006. De telle distribution haline longitudinale et de telle stabilité de la colonne d'eau sont souvent rencontrées dans la région méditerranéenne voire même sous climat tempéré.

On cite à titre d'exemple l'halocline observée dans les estuaires de l'Ebre (Sierra, 2002), et de Bilbao (Gonzalez-Oreja & Saiz-Salinas, 1998), tous les deux en Espagne. Pour ce qui est de la stabilité des masses d'eaux, Hubert (1992) et Leopold et al. (1993) rapportent les mêmes constatations dans les estuaires Delaware, Tamise et Westerschelde.

Les estuaires Méditerranéens sont en effet très stratifiés avec deux couches d'eaux bien individualisées (Sempéré & Cauwet, 1995 ; Ibáñez et al., 1997 ; Ibáñez et al., 2000, Ibáñez et Prat, 2003, Pauc, 2003), l'eau douce en surface et l'eau marine occupant le fond.

La prospection spatiale de l'estuaire en avril 2006 montre que l'intrusion marine avance jusqu'à 20 km environ dans la branche d'El-Kébir et 15 km dans la branche Bounamoussa. On constate qu'à la même distance à l'embouchure, les eaux de Bounamoussa sont plus salées que celles d'El-Kébir en raison de leur faible inertie vis-à-vis de ces pénétrations marines. D'ailleurs le front de salinité dans la branche Bounamoussa peut atteindre l'ouvrage seuil construit sur ce tributaire. Les salinités de 3,5 en surface et 8 au fond qui ont été relevées le 14 avril 2006 au niveau de l'ouvrage et le témoin fidèle de cette observation. Cela suppose aussi que les populations marines immigrantes auront plus d'affinité pour Bounamoussa que pour El-Kébir. En effet, la capture des espèces marines (loup & Mulet) par les pêcheurs amateurs de la ligne dans la même branche réconforte cette hypothèse.

En l'absence d'apports continentaux, la plupart des estuaires méditerranéens se trouvent séparés de la mer par suite de la formation de cordons littoraux, comme se fut le cas du Mafragh. L'ouverture de ces cordons suit la période humide à forte pluviométrie ou sous l'effet de tempêtes occasionnelles pour les estuaires méditerranéens du Sud (Perissinotto et al., 2000; Hodgkin et Lenanton, 1981; Whitfield, 1992; Froneman, 2004). Selon les conditions météorologiques et l'importance de la régulation des rivières par les barrages, ces zones de transition peuvent rester isolées de la mer plusieurs jours jusqu'à plusieurs mois.

Le comportement de l'estuaire Mafragh est ainsi très variable en fonction des précipitations dans la région et de l'action des courants de marées, en effet, Mafragh se comporte comme un estuaire à coin salé, partiellement mélangé ou un estuaire bien mélangé dans la même année, il ne correspond à aucune classification discutée en premier chapitre de définition, caractéristiques et classification des estuaires par (Dyer, 1973), Pritchard (1955).

Concernant le degré halin des masses d'eaux dans l'estuaire, on dénote une forte variabilité qui oscille entre 0,1 à 37,6. Se basant sur cette gamme de salinité, la classification de l'estuaire de Mafragh ne correspond à aucune des catégories proposées par le système de Venise (Elliot & McLusky, 2002). En un point donné, l'estuaire aval, peu prendre le caractère de plusieurs catégories dans l'année (Fig. 22).

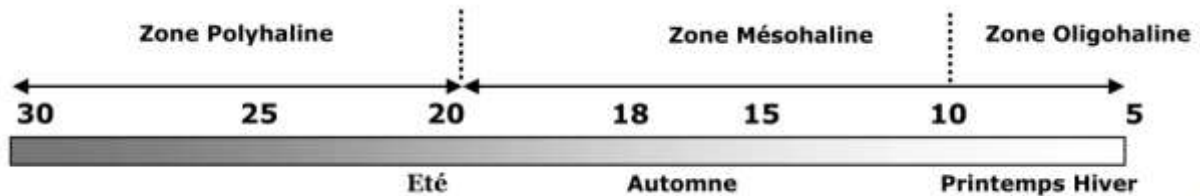


Figure 22 : Situation haline saisonnière de la partie aval du complexe estuarien du Mafragh selon la classification de Venise des eaux saumâtres. L'estuaire est méso-polyhalin en été, mésohalin en automne et oligohalin en hiver et au printemps.

Des fluctuations similaires sont également observées dans d'autres estuaires sous climat méditerranéens, comme le cas de l'estuaire de l'Ebre en Espagne (Sierra et al, 2002), l'estuaire de Sebou au Maroc (El-Blidi & Fekhaoui, 2003), le Merderkill (dewitt et Daiber, 1974), la Baie de San-Francisco (Conomos et al., 1979) et l'estuaire de Patuxent (Boynton & Kemp, 1985) au sud des USA (Tab. 8).

Tableau 08 : Comparaison de l'intervalle de variation haline dans différents estuaires dans le monde.

Estuaires	Intervalle de variation haline	Références
Estuaire Sebou (Maroc)	1,5 à 19,5	El-Blidi & Fekhaoui, (2003)
Estuaire de Ebre (Espagne)	10 à 36	Sierra, (2002)
Baie San-Francisco (USA)	0 à 35	Conomos <i>et al.</i> , (1979)
Murderkill (Delaware, USA)	15,7 à 28,2	deWitt & Daiber, (1974)
Patuxent (USA)	6 à 13	Boynton & Kemp, (1985)
Estuaire du Mafragh (Algérie)	0,1 à 37,6	Présente étude

Ibáñez et Prat (2003) ont largement discuté dans leurs travaux sur le plan hydrologique de l'Ebre, les conséquences de transfert d'eau de l'Ebre aux barrages (Espagne). C'est un exemple démonstratif pour l'évaluation écologique des estuaires méditerranéens soumis à tels aménagements hydrologiques.

La construction et l'usage non coordonnée des barrages ainsi que les objectifs sectoriels limités dans la gestion des plans hydrologiques, engendrent des impacts négatifs non seulement sur les rivières mais aussi sur les estuaires et leurs côtes contiguës (Milliman, 1997; Jonson, 1997; Homburg, 1997; Harris, 2001). Il est par ailleurs bien établi que l'avancement et le développement du coin salé durant la période d'isolement de l'estuaire, s'accompagnent souvent d'eutrophisation et de conditions d'anoxies.

Sur un autre plan hydrologique, la période de fermeture se caractérise par une forte salinisation de l'estuaire empêchant tout usage agricole ($S > 4$). Des lâchers étudiés de barrages peuvent incontestablement remédier à ces contraintes de salinisation des eaux, des sols et peut être même de la nappe libre. Il faut rappeler que ces barrages retiennent annuellement près de 400 Millions m^3 d'eau et sont donc susceptibles d'alimenter l'estuaire pendant 180 jours à un débit de $5m^3 s^{-1}$. Ce rythme d'alimentation (ou débit environnemental, Ibáñez & Prat, 2003) puisant seulement 20% du volume des barrages, aura l'avantage de reculer le coin salé, d'assurer la viabilité des sols (irrigation), de l'estuaire (navigation, pêche) et de l'enrichissement du littoral.

Enfin, ces recherches ont fournis des données fondamentales sur l'hydrologie de l'estuaire du Mafragh mais devront se poursuivre pour dresser un plan hydrologique et d'aménagement intégré du système estuarien du Mafragh et du littoral adjacent. Le plan hydrologique aura pour finalité la gestion intégrée des eaux de surface et des eaux littorales, permettant autrement de (1) dresser un calendrier d'irrigation, (2) de déterminer un débit environnemental pour les rivières Bounamoussa et El-Kébir susceptibles d'assurer à la fois la viabilité des rivières, de garantir un volume optimal des barrages (Cheffia, Mexa et Bougous) et de permettre l'ouverture permanente de l'embouchure assurant la fertilisation du littoral par les apports des rivières.

Références bibliographiques

A.B.H. Agence de Bassin Hydrographique. Constantinois-Seybouse-Mellegue, Les cahiers de l'Agence, Cahier numéro 1 ; Cahier numéro 4, Sep 2000 ; Cahier n°6, sep 2001. Ennakhla.

Affoun, S., 2006. Ressources en eaux, mobilisation et utilisation dans le bassin versant de la Mafragh. Mémoire de magister,. Université Mentouri de Constantine.

Attrill, M. J and Rundle, S. D., 2004. Ecotone or Ecocline: Ecological Boundaries in Estuaries. *Estuaries, Coastal and Shelf Science* 55: 929-936.

Budgen, G. L., Hargrave, B. T., Sinclair, M. M., Tang, C. J., Therriault, J. C and Yeats, P. A., 1982. Freshwater runoff effects in the marine environment: the Gulf of St Lawrence example, Canadian Technical Reports on Fisheries and Aquatic Sciences 1078, 1–89.

Boynton, W. R and Kemp, W. M., 1985. Nutrient regeneration and oxygen consumption by sediments along an estuarine salinity gradient. *Mar.Ecol.Prog.Series*, 23: 45-55.

Cameron, W. M and Pritchard, D. W., 1963. Estuaries, in M.N. Hill (ed.) *The Sea*, 306–324, New York: Wiley Interscience

Conley, D. J., Kaas, H., Møhelenberg, F., Rasmussen, B and Windolf, J., 2000. Characteristics of Danish Estuaries. *Estuaries*, 23(6): 820-837.

Conomos, T. J., Smith, R. E., Peterson, D. H., Hager, S. W and Schemel, L. E., 1979. Processes affecting seasonal distributions of water properties in the San Francisco Bay estuarine system. In Conomos Ed. San Francisco: 115-142.

Daskalov, G., 1999. Relating fish recruitment to stock biomass and physical environment in the Black Sea using generalized additive models, *Fisheries Research* 41, 1–23.

Davies, J. H., 1964. A morphological approach to the world of shorelines. *Zeitschrift für Geomorphology*, 8, p. 127-142.

Deegan, L. A., Day, J. W., Gosselink, J. G., Yáñez-Arancibia, A., Soberón, G and Sánchez-Gil, P., 1986. Relationships among physical characteristics, vegetation distribution and fisheries yield in Gulf of Mexico estuaries, in: D.A. Wolfe (Ed.) *Estuarine Variability* (New York, Academic Press).

Dewitt, P and Daiber, F. C., 1974. The Hydrography of the Murderkil Estuary, Delaware. *Chesapeake Science*, 15 (2): 84-95.

Dyer, K. R and Taylor, P. A., 1973. A segmented prism model of tidal mixing. *Estuarine and Coastal Marine Science* 1 : 411-418.

El-Blidi, S and Fekhaoui, M., 2003. Hydrologie et dynamique marégraphique de l'estuaire du Sebou (Gharb, Maroc). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Vie*, 25: 57-65.

Elliot, M and McLusky, D. S., 2002. The need for definition in understanding estuaries. *Estuaries, Coastal and Shelf Science* 55: 815-827.

El-Sayed, S. Z and Gert, L. van., 1995. The south-eastern Mediterranean ecosystem revisited: thirty years after the construction of the Aswan high dam, *Quarterdeck*, 3(1): 4-7.

Estrada, M., 1996. Primary production in the north-western Mediterranean. *Scientia Marina*. 60, 55-64.

Fairbridge, R. W., 1968. Terraces, fluvial-environmental controls, in R.W. Fairbridge (ed.) *Encyclopedia of Geomorphology*, 1,124-1,138, New York: Reinhold.

Fairbridge, R. W., 1980. The estuary: its definition and geodynamic cycle. In E. Olausson and I. Cato (Eds.), *Chemistry and biogeochemistry of estuaries* (pp. 1-35), Wiley, New-York.

Fischer, H. B., 1976. Mixing and dispersion in estuaries. *Annual Review Fluid Mechanics*, 8, p. 107-133.

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.

Giovanardi, F and Tromelleni, E., 1992. Statistical assessment of trophic conditions. Application of the O.E.C.D methodology to the marine environment. In: *marine coastal eutrophication*, Vollenwerder R., R. Marchetti & R. Viviani, Eds. Actes conference Internationale, Bologna, Italy, 21-24 March 1990. *Journal of science of the Total environment*, Supp: 211- 233.

Gonzaâ Lez-Oreja, J. A and Saiz-Salinas, J. I., 1998. Technical note: exploring the relationships between abiotic variables and benthic community structure in a polluted estuarine system. *Wat. Res.*, 32(12): 3799-3807.

Gouiez, H., 2006. Apport en sels nutritifs et en Matières organiques oxydables au littoral d'Annaba par Oued Seybouse et l'estuaire de la Mafragh. *Mémoire de Magister, Université d'Annaba*, 30p.

Guezennec, L and al., 1999. Seine Aval : un estuaire et ses problèmes, Programme Scientifique Seine-Aval, fascicule 1, IFREMER, 29 p

Hadef, H., Bendjedid, R., Tazir, K., Diaf, A., Ziouch, O. R., Haridi, H and Ounissi, M., 2008. Caractères hydrologiques de l'estuaire du Mafragh: salinité et masses d'eaux. Sciences technologies & Développement –N°3- ANDRU, 33-40p.

Hansen, D. V and Rattray, M., 1966. New dimensions in estuary classification. *Limnology and Oceanography*, 11, p. 319-326.

Haridi, A., 2010. Étude écologique de l'estuaire du Mafragh : distribution des masses d'eaux, des matières nutritives et organiques (Nord Est d'Algérie). Thèse de doctorat, université Badji Ammar Annaba.

Harleman, D. R. F and Thatcher, M. L., 1974. longitudinal dispersion and unsteady salinity intrusion in estuaries la houille blanche p 25-33.

Harris, G. P., 2001. Biogeochemistry of nitrogen and phosphorus in Australian catchments, rivers and estuaries: effects of land use and flow regulation and comparisons with global patterns. *Marine and Freshwater Research*, 52: 139–149.

Hayes, M. O., 1975. Morphology of sand accumulations in estuaries: Le Cronin (eds), *Estuarine Research*, Academic Press, N.Y, v. 2, p. 3-22.

Hodgkin, E. P and 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.

Homborg, C., Itekkot, V., Cociasu, A and Bodungen, B., 1997. Effect of Danube river dam on black sea biogeochemistry and ecosystem structure. *Nature*, London, 386:385-388.

Hubert, H. G. S and Pagès, J., 1992. Hypersalinity: a dramatic change in the hydrology of Sahelian Estuaries. *Journal of Hydrology*, 135: 157-174.

Ibanez, C., Curco, A., Day, J. W and 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).

Ibanez, C., Pont, N and Prat, N., 1997. Characterization of the Ebre and Rhone estuaries: a basis for defining and classifying salt-wedge. *Limnology and Oceanography*, 42: 89-101.

Ibáñez, C and 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.

Johnson, R. G., 1997. Climate control requires a dam the strait of Gibraltar. *OES transaction*, American Geophysical Union, 78 : 28-277.

Ketchum, B., 1951. The exchanges of fresh and salt waters in tidal estuaries. *Journal of Marine Research*, 10: 18-38.

Khélifi-Touhami, M., Ounissi, M., Saker, I., Haridi, A., Djorfi, S and Abdenour, C., 2006. The hydrology of the Mafragh estuary (Algeria): Transport of inorganic nitrogen and phosphorus to the adjacent coast. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 4 (2), 340-346.

Labar, S., 2003. Contribution a l'identification des aires inondables et qualite physicochimiques des eaux stagnantes temporaires dans la vallee de la Mafragh (Extreme Nord Est Algerien). These magister en Hydrochimie, departement de geologie, Universite Badji-Mokhtar, Annaba: 111p.

Le Floch, J. F., 1961. Propagation de la marée dynamique dans l'estuaire de la Seine et la Seine maritime. Thèse d'état, Université de Paris, 507 p.

Leopold, L. B., Collins, J. N and Collins, L. M., 1993. Hydrology of some tidal channels in Estuarine marshland near San Francisco. *Catena*, 20: 469- 493.

Lisitzin, A. P., 1999. The continental-ocean boundary as a marginal filter in the World Oceans. In: Gray, J.S., Ambrose Jr., W., Szaniawska, A. (Eds.), *Biogeochemical Cycling and Sediment Ecology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 69–10.

Loup, J., 1974. Les eaux terrestres (hydrologie continentale). Masson et Cie (Ed). Paris : 171pp.

Marre, A., 1987. « Le Tell Oriental Algérien de Collo à la Frontière Tunisienne », Etude Géomorphologique, Volume 1, Office Des Publications Universitaires.

McLusky, D. S., 1993. Marine and estuarine gradients – an overview. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, 27: 489–93.

Mébarki, A., 2009. Ressources en eau et aménagement en Algerie. Les bassins hydrographiques de l'Est. Office des publications universitaires (OPU) : 389pp.

Miller, R. C., 1964. éditeur. *Papers in Marine Geology*. Shepard Commemorative Volume. New York et Londres, MacMillan, 531 p. — F. P. Shepard et R. F. Dill. Submarine canyons and other sea valleys. Chicago, Rand McNally, 379 p.

Milliman, J. D., 1997. Blessed dams or damned dams? *Nature*, 386:325-327.

Nichols, M. M and Biggs, R. B., 1985. Estuaries: Davis, R.A., Jr. (Ed), *Coastal Sedimentary Environments*, Springer-Verla77-173.

Ounissi, M., Haridi A and Retima, A., 2002. Variabilité du zooplancton de la lagune Melah (Algérie) selon l'advection tidale en hiver et au printemps 1996-1997. *J. Rech. Océanogr.*, **1** : 1-13.

Pauc, H., 2003. Fonctionnement de l'estuaire microtidal méditerranéen: conséquences sédimentologiques et environnementales. *Comm. Congrès de Bastia sur la méditerranée*, du 14 au 21 avril 2003.

Perissinotto, R., Walker, D. R., Webb, P., Wooldridge, T. H and 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.

Pinot, J. P., 1998. La gestion du littoral. Tome II. Littoraux tempérés : littoraux vaseux et embouchures, Institut océanographique, 405 p.

Postel, S. L., Morrison, J. I and Gleick, P. H., 1998. Allocating fresh water to aquatic ecosystems: the case of the Colorado River delta, *Water International*, 23, 119–125.

Pritchard, D., 1955. Estuarine circulation patterns. *Proceeding ASCE*, v. 81, p. 1-11.

Pritchard, D., 1960. Lectures on estuarine oceanography: B. Kinsman (Editor), J. Hopkins Univ., p. 154.

Pritchard, D., 1967. What is an estuary : physical point of view: ed. H Lauff, estuaries, AAAS Washington, CD. Pub., v. 83.

Raymond, L., Marc, J and Monique, M., 2003. L'Aire Marine Protégée communautaire de Bamboung (Sine Saloum) : Synthèse 2003 – 2011 Evolution saisonnière du peuplement de poissons dans l'Aire Marine Protégée communautaire de Bamboung page 99.

R.G.P.H., 1998. Le recensement général de la population et de l'habitat.

Scully, M. E., Friedrichs, C and Brubaker, J., 2005. Control of Estuarine Stratification and Mixing by Wind-induced Straining of the Estuarine Density Field. *Estuaries*, **28**(3): 321–326.

Seirra, J. P., Sánchez-Arcilla, A., González Del Río, J., Flos, J., Movellán, E., Mösso, C., Martínez, R., Rodilla, M., Falco, S and Romero, I., 2002. Spatial distribution of nutrients in the Ebro estuary and plume. *Continental Shelf Research*, 22: 361-378.

Sempéré, R and Cauwet, G., 1995. Occurrence of Organic Colloids in the Stratified Estuary of the Krka River (Croatia). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 40: 105-114.

Simmons, H. B., 1955. Some effect of uplet discharge on estuarine hydraulics. *Proceeding Soc. Civ. Engin.*, 81, p. 1-20.

Telesh, I. V., 2004. Plankton of the Baltic estuarine ecosystems with emphasis on Neva Estuary: a review of present knowledge and research perspectives. *Marine Pollution Bulletin* 49, 206–219.

Tsai, C. F., Chen, P. Y., Chen, C. P., Lee, M. A., Shiah, G. Y and Lee, K. T., 1997. Fluctuation in abundance of larval anchovy and environmental conditions in coastal waters off.

Van Cauwenberghe, C., 1966. Hydrographische analyse van de Scheldemonding ten oosten van de meridiaane 3°05' tot Vlissingen, *Het Ingenieursblad*, 17, 565-576.

Van Mierlo, C. J., 1899. La carte lithologique de la partie méridionale de la mer du Nord, *Bulletin de la société Belge de Géologie*, 13, 219-265.

Van Straaten, L. M. J. U and Kuenen, P. H., 1957. Accumulation of fine grained sediments in the Dutch Wadden Sea, *Geol. Mijnbouw.*, 19, 329-354.

Van Veen, J., 1950. Eb- en vloedchaarsystemen in de Nederlandse getijwateren, *Tijdschrift Van het Koninklijk Nederlandsch Aardrijkskundig Genootschap*, 67, 303-325.

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

Ziouch, O.R., 2007. Distribution des sels nutritifs et de la matière organique dans l'estuaire de Mafragh et dans ces panaches littoraux. Thèse de magistère, université Badji Ammar Annaba.

Ziouch, O.R., 2014. Nutrient distribution in the bay of Annaba under the influence of the Seybouse and the Mafragh estuaries inputs (South Western Mediterranean). Thèse de doctorat, université Badji Ammar Annaba.

Résumé

Le système estuarien du Mafragh représente une zone littorale singulière en Méditerranée par sa diversité d'habitats incluant marécage, marais, rivières, estuaire, plaine inondable et dunes littorales. L'estuaire échange avec la mer quotidiennement 10-30 millions m³ d'eau chargée en nutriments, sédiments, matières organiques, plancton et contribue amplement à la fertilisation et à la production du littoral. Les paramètres hydrologiques ont été suivis dans 19 stations du système estuarien du Mafragh. L'ensemble de ces stations ont été suivies lors de quatre campagnes saisonnières (hiver, printemps, été et automne 2006). Au cours de l'année, l'estuaire passe par trois phases très distinctes : fluviale, estuarienne et lagunaire. En hiver, l'estuaire fonctionne comme une rivière se déversant à la mer avec de forts débits empêchant l'intrusion marine. Au printemps, le fleuve est affecté par une marée semi-diurne lui conférant un caractère d'estuaire à coin salé, fonctionnant selon un système à deux couches très stratifiées. En phase d'estuaire, le coin salé occupe 80% la colonne d'eau et pénètre jusqu'à 20km dans le bras d'El-Kébir et 15km dans le bras Bounamoussa. En période de fermeture de l'estuaire de sa communication avec la mer, en été et en automne, la stratification s'efface conférant à l'estuaire le caractère de lagune bien mélangée. Selon la phase, les eaux sont oligohalines en hiver, mésohalines au printemps et méso-polyhalines en été et en automne.

Mots-clés : Estuaire du Mafragh, stratification, salinité, intrusion marine, lagune.

Abstract

The estuarine system of the Mafragh represents a singular coastal zone in the Mediterranean by its diversity of habitats including marsh, swamp, rivers, estuary, flooded plains and coastal dunes. The estuary exchanges daily with the sea 10-30 Millions m³ of freshwater loaded in nutriments, sediments, organic matters, plankton and contributes to fertilizing the adjacent littoral area. The objective is to determine the hydrological conditions of the estuarine system. The hydrological parameters have been surveyed in 19 stations of the estuarine system. The stations have been sampled during four seasonal cruises (winter, spring, summer and autumn 2006). During the year, the estuary experienced three distinct phases: river, estuarine and lagoon. In winter, the estuary functions as a core river flowing at the sea with strong amounts preventing the marine intrusion. In spring, the river is affected by a semi-diurnal tide conferring it an estuarine character with salt wedge, functioning according to a double layer system, strongly stratified. In estuarine phase, the salt-wedge occupies 80% of the water column and penetrates until 20km in the El-Kébir branch and 15km in the Bounamoussa tributary. In closing period, in summer and in autumn, the stratification disappears and the whole layer becomes well-mixed in the lagoon phase. According to the phase, waters are oligohalin in winter, mésohalin in the spring and méso-polyhalin in summer and in autumn.

Keywords: *Mafragh estuary, stratification salinity, marine intrusion, lagoon*

ملخص

يعتبر مضيق وادي مفرغ منطقة فريدة في البحر المتوسط بتنوع مركباتها التي تحوي المياه الضحلة و المياه العذبة الوديانية والمياه البحرية لخليج عنابة , السهول الجوارية المغمورة بالمياه والكتبان القارية. يتبادل المضيق مع البحر يوميا 10-30 مليون م³ من المياه المحملة بالمواد المغذية, العضوية الرسوبيات و العلقيات و يؤدي إلى تخصيب المياه الخليجية المجاورة.

الغاية من هذه الدراسة هي تبين الخصائص المائية للمفرق وتأثير مياهه على المحيط القاري المجاور. درست الخصائص المائية في 19 موقع في المفرق. تم أخذ عينات في مجموعة هذه المواقع في اربع حملات فصلية (شتاء, ربيع, صيف, خريف 2006). في هذا العام عرف المفرق ثلاث مراحل وادية , مضيقية ,بحرية. في الشتاء يصبح المضيق نحرا ويصب في البحر بغزارة فيمنع دخول المياه البحرية. في الربيع يتأثر الودي بالمدود النصف النهارية التي تعطيه خاصية الطبقيّة. في مرحلة المضيق المياه المالحة تشغل 90% و تصل إلى 20 كم بوادي الكبير و 15 كم بيوناموسة. في مرحلة غلق المضيق في الصيف والربيع, تختفي الطبقيّة حتى تصبح بحيرة مختلطة في الخريف.

الكلمات المفتاحية : مضيق المفرق, طبقيّة, ملوحة, مدود بحرية, بحيرة.