

## **L'environnement hydroclimatique de l'Aire Marine Protégée de Bamboung de 2003 à 2011**

SIMIER Monique

L'aire marine protégée communautaire du bolon de Bamboung est une zone de mangrove située en estuaire, sous double influence marine et continentale. C'est un affluent du Diomboss, l'un des trois bras principaux de l'estuaire du Sine Saloum, par lequel remontent avec la marée les masses d'eau salée (Fig. 1.1). Comme pour l'ensemble du Sine Saloum qui ne reçoit pour ainsi dire aucun apport fluvial, les entrées d'eau douce y sont essentiellement dues à la pluviométrie, mais ce bolon présente aussi la particularité de sources souterraines qui réduisent localement la salinité.

Dans le cadre du suivi de l'AMPc de Bamboung, les principaux paramètres environnementaux ayant une influence majeure sur la composition, la structure et la dynamique des peuplements de poissons estuariens ont été mesurés simultanément aux échantillonnages biologiques à la senne tournante. Ainsi chaque coup de pêche a été associé à une station environnementale, aussi proche que possible, où sont mesurés la profondeur de pêche (au moyen d'un sondeur à main et du sondeur du bord), la transparence (par la profondeur de disparition du disque de Secchi de diamètre 30 cm), la salinité (au réfractomètre de précision 1 unité de salinité), la teneur en oxygène, la conductivité, la température (à la sonde multiparamètres). Salinité, teneur en oxygène, conductivité et température sont mesurées en sub-surface et au fond. La force et le sens du courant (estimé puis contrôlé au moyen d'un fluxmètre) ne seront pas pris en considération ici.

L'objet de ce chapitre est de proposer une description générale des paramètres environnementaux mesurés dans l'AMP de Bamboung, afin d'en appréhender globalement son environnement hydro-climatique, et de mettre l'accent sur sa variabilité spatiale (gradient amont-aval et stratification verticale) et temporelle (variations saisonnières et évolution interannuelle).

Les données disponibles pour la période 2003-2011, incluant les 12 stations du protocole 2003-2007 (15 campagnes, Fig. 1.5a) et les 6 stations du protocole 2008-2011 (12 campagnes, Fig. 1.5b), correspondent à un total de 252 relevés environnementaux. Dans une première partie, nous présenterons les caractéristiques générales de l'environnement du bolon de Bamboung calculées à partir de ces 252 relevés. Puis une analyse en composantes principales (ACP) permettra une approche globale de la variabilité environnementale intra-AMP. Elle portera sur la période 2003-2011 et sur les 5 stations du protocole intra-AMP de la période 2008-2011, réappliqué aux campagnes effectuées entre 2003 et 2007, soit un total de 135 relevés. Enfin, une troisième partie mettra l'accent sur la variabilité saisonnière, interannuelle et spatiale de l'environnement à l'aide de représentations en boîtes à moustaches. Pour la variabilité saisonnière et interannuelle, nous utiliserons le même jeu de données que pour l'ACP, tandis que la variabilité spatiale utilisera les 12 stations échantillonnées pendant la période 2003-2007 (180 relevés) afin de donner une image plus fine du gradient amont-aval.

## Caractéristiques générales de l'environnement du bolon de Bamboung

Les caractéristiques générales de l'environnement aquatique du bolon de Bamboung sont résumées dans le tableau 2.1 : profondeur (m), transparence (m), salinité de surface et de fond, température de surface et de fond (°C), pourcentage de saturation de l'oxygène en surface et au fond (en %), conductivité de surface et de fond (mS).

Tableau 2.1 : Les caractéristiques générales des variables environnementales du bolon de Bamboung pour la période 2003-2011 (252 relevés) : Moy, moyenne ; Ec.type, écart type ; CV, coefficient de variation ; Min, minimum ; Max, maximum.

	<i>Moy</i>	<i>Ec.type</i>	<i>C.V.</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Profondeur	5,64	2,27	0,40	1,7	11,5
Transparence	2,12	0,60	0,28	0,56	5,9
Salinité de surface	38,87	6,12	0,16	25	50
Salinité de fond	39,88	6,33	0,16	27	52
Température de surface	28,30	2,35	0,08	22,9	33
Température de fond	28,06	2,24	0,08	22,8	32
Oxygène de surface	73,35	12,36	0,17	41,1	116,1
Oxygène de fond	69,59	12,92	0,19	36,3	114
Conductivité de surface	55,32	7,01	0,13	36,6	70,3
Conductivité de fond	56,44	7,29	0,13	38,95	70,8

La **profondeur**, de l'ordre de 6 m en moyenne, ne dépasse pas 12 m. La **transparence** est remarquablement élevée, comparable aux valeurs observées dans le reste du Sine Saloum (2,1 m à 3,2 m, Simier et al. 2004) mais supérieure aux transparences mesurées dans la plupart des milieux lagunaires et estuariens d'Afrique de l'Ouest. A titre de comparaison, les valeurs extrêmes mesurées dans l'estuaire voisin de la Gambie vont de 0,1 m à 1,8 m avec une moyenne de 0,6 m (Albaret et al. 2004). La **salinité** n'est jamais inférieure à 25, pour des maximales de l'ordre de 50 et une moyenne autour de 39. Il s'agit donc d'un milieu légèrement sursalé par rapport à l'eau de mer, mais ne présentant pas les valeurs extrêmes observées dans certaines régions amont de l'estuaire du Sine Saloum où les salinités peuvent dépasser 100 à certaines périodes de l'année. La **température** varie de 23 à 33°C, pour une moyenne de 28°C. Le pourcentage de saturation en oxygène est généralement élevé, de l'ordre de 70%. Enfin la conductivité moyenne est celle de l'eau de mer (56 mS).

Pour les paramètres mesurés en surface et au fond (salinité, température, oxygène et conductivité), les différences sont toujours minimales, ce qui traduit une absence de stratification verticale marquée du milieu, peu surprenante étant donné la faible profondeur.

## Analyse globale de l'environnement du bolon de Bamboung

Afin d'appréhender globalement le fonctionnement environnemental du bolon de Bamboung, une **Analyse en Composantes Principales** normées (ACPn) a été réalisée sur la période 2003-2011 : plan d'échantillonnage à 5 stations intra-AMP de la période 2008-2011, réappliqué aux campagnes effectuées entre 2003 et 2007 pour comparer de façon équilibrée les années entre elles, soit un total de 135 relevés.

Les variables oxygène et conductivité (en surface comme au fond) étant manquantes pour la campagne d'octobre 2008, les valeurs ont été remplacées par la moyenne des relevés par station pour la saison humide (septembre-octobre) afin de ne pas exclure cette campagne de l'analyse.

L'analyse porte donc sur un tableau rectangulaire à 10 colonnes (les 10 variables environnementales décrites dans le tableau 2.1) et 135 lignes : 9 années, 3 saisons, 5 stations couvrant l'ensemble de l'AMP depuis l'amont (BBG01) jusqu'à l'aval (BBG10), à l'exclusion de la zone périphérique (BBG12). Afin de s'affranchir des différences d'unités, les 10 variables sont normées (centrées et réduites).

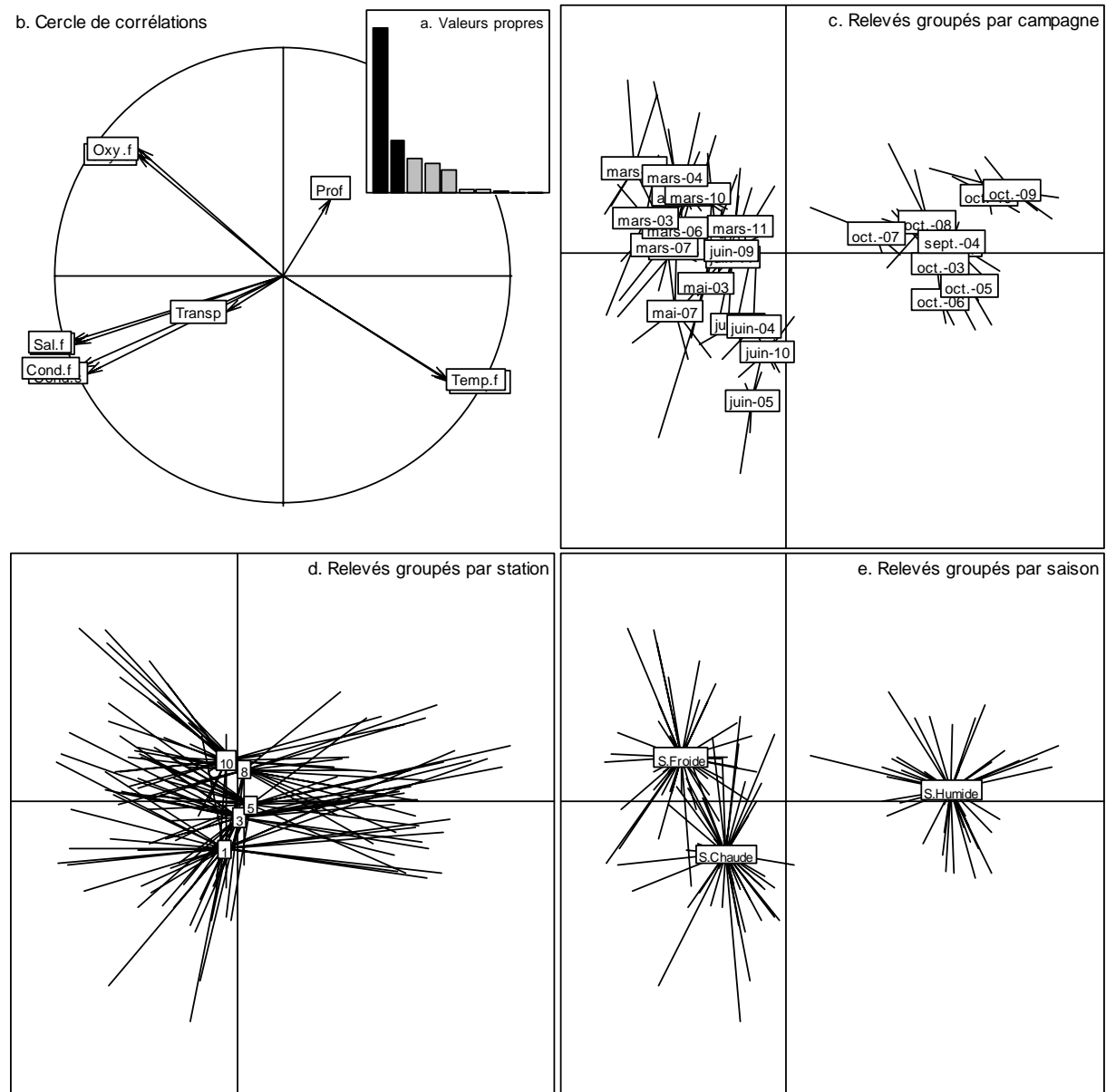


Figure 2.1 : Analyse en composantes principales normée des variables environnementales du bolon de Bamboung pour 5 stations sur la période 2003-2011 (135 relevés). a : Histogramme des valeurs propres. b : Cercle de corrélation des variables sur le plan factoriel défini par les axes 1 (horizontal) et 2 (vertical). c : Projection des relevés sur ces axes, avec points moyens par campagne. d : Projection des relevés sur ces axes, avec points moyens par station. e : Projection des relevés sur ces axes, avec points moyens par saison.

Le premier plan factoriel résume 68,5% de l'information contenue dans le tableau de données (Fig. 2.1a). Le cercle de corrélations (Fig. 2.1b) met en évidence les fortes corrélations existantes entre les valeurs de surface et de fond pour la salinité, la température, l'oxygène et la conductivité, confirmant **l'absence de stratification verticale du milieu**. Il montre aussi la bonne corrélation entre les variables salinité, conductivité et transparence. Les variables profondeur et transparence sont mal représentées sur ce plan. L'axe 1 (horizontal), qui représente à lui seul 51,9% de l'information, met en opposition la température contre l'oxygène, la salinité, la conductivité et la transparence. L'axe 2 (16,6%) correspond à un gradient de profondeur, mais il permet aussi de séparer l'oxygène de la salinité et de la transparence.

**L'axe 1 présente un caractère essentiellement saisonnier** (Fig. 2.1e), opposant la saison humide, caractérisée par des températures de l'eau maximales et des salinités, conductivités, transparences et pourcentages de saturation en oxygène minimaux, à la saison sèche caractérisée par des plus faibles températures et des valeurs de salinité, conductivité, transparence et teneur en oxygène dissous maximales.

**L'axe 2 exprime un gradient spatial amont-aval** (Fig. 2.1d), les stations d'aval étant plus profondes et mieux oxygénées que celles de l'amont. Cet axe sépare également la saison sèche froide de la saison sèche chaude (Fig. 2.1e).

La représentation des points moyens par campagne (Fig. 2.1c) permet de préciser la variabilité saisonnière décrite plus haut ; les campagnes d'octobre et de septembre (saison humide) sont situées sur la droite de l'axe 1, sans distinction entre octobre et septembre. En revanche, pour la saison sèche, on observe un gradient sur l'axe 2, lié à l'augmentation de température et à la diminution de l'oxygène dissous entre les campagnes de mars-avril (saison sèche froide), mai-juin (saison sèche chaude). La position intermédiaire du mois de mai apparaît clairement ; cependant les mois de juin 2009 et 2011 présentent des caractéristiques environnementales qui tendent à le rapprocher de la saison froide.

## **Variabilité saisonnière, interannuelle et spatiale de l'environnement du bolon de Bambang**

Afin de préciser la variabilité saisonnière, interannuelle et spatiale de l'environnement du bolon de Bambang, des représentations en boîtes à moustaches sont utilisées. Elles portent sur la période 2003-2011 (5 stations intra-AMP, 9 années et 3 saisons), sauf pour la variabilité spatiale où l'ensemble des 12 stations échantillonnées sur la période 2003-2007 est présenté. En raison de la très forte corrélation mise en évidence entre les valeurs de surface et de fond, seules les valeurs de surface sont présentées ici. Ces représentations sont complétées par des tests t appariés utilisant la méthode de correction de Holm pour les tests multiples.

## Variabilité saisonnière

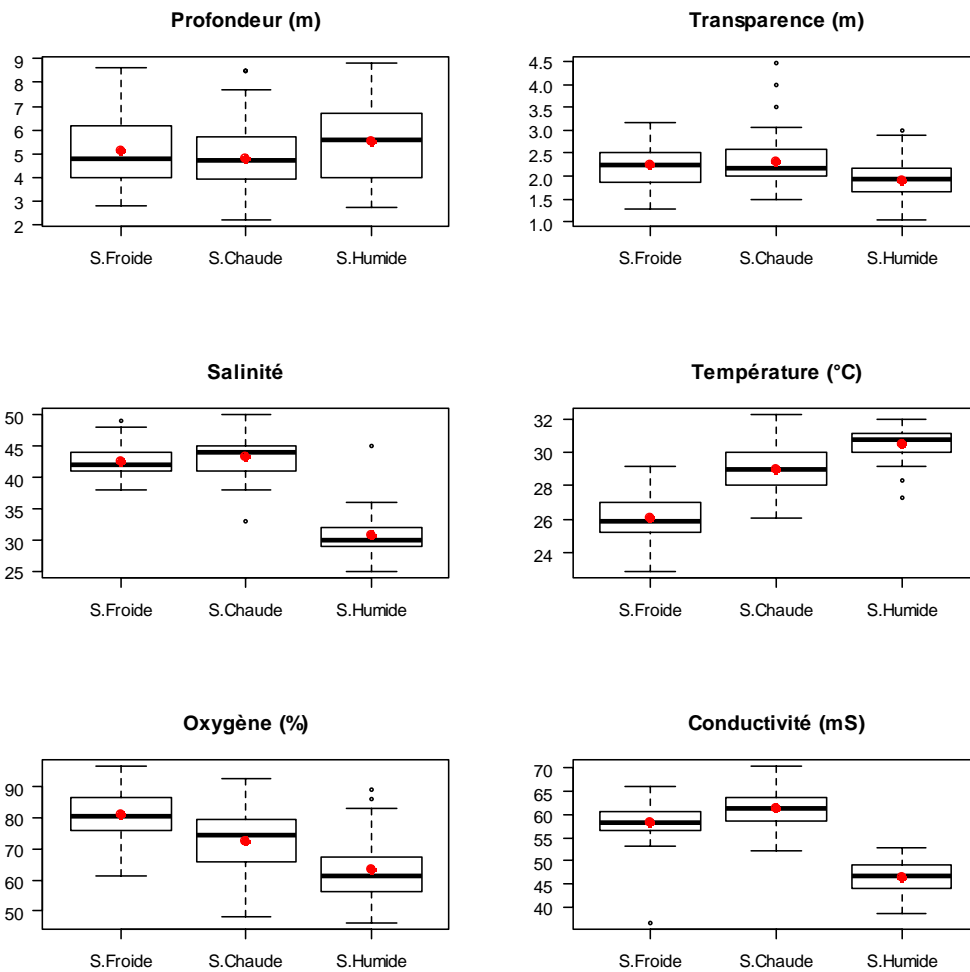


Figure 2.2 : Variabilité saisonnière des 6 principaux paramètres de l'environnement du bolon de Bamboung entre 2003 et 2011 (5 stations intra-AMP). Pour la salinité, la température, l'oxygène et la conductivité, seules les valeurs de surface sont présentées. Les points rouges indiquent la valeur moyenne de l'indicateur.

La **transparence** présente une variabilité saisonnière significative, bien que masquée sur la représentation graphique par quelques valeurs extrêmes mesurées en saison chaude : la transparence est significativement moindre en saison humide qu'en saison sèche, qu'elle soit froide ou chaude (Fig. 2.2). La **salinité** présente un schéma saisonnier très marqué et des différences significatives entre la saison sèche (entre 40 et 45), et la saison humide (entre 28 et 32), en raison des pluies qui entraînent une dilution du milieu à cette saison. La **conductivité** fonctionne selon le même schéma. La **température**, quant à elle, augmente progressivement et significativement entre la saison sèche froide (22 à 26°C), la saison sèche chaude (28 à 30°C) et la saison humide (30 à 32°C). L'**oxygène** présente un schéma inverse de la température, avec une diminution significative en passant de la saison sèche froide, à la saison sèche chaude, puis à la saison humide. La **profondeur** ne présente pas de variabilité saisonnière.

## Variabilité interannuelle

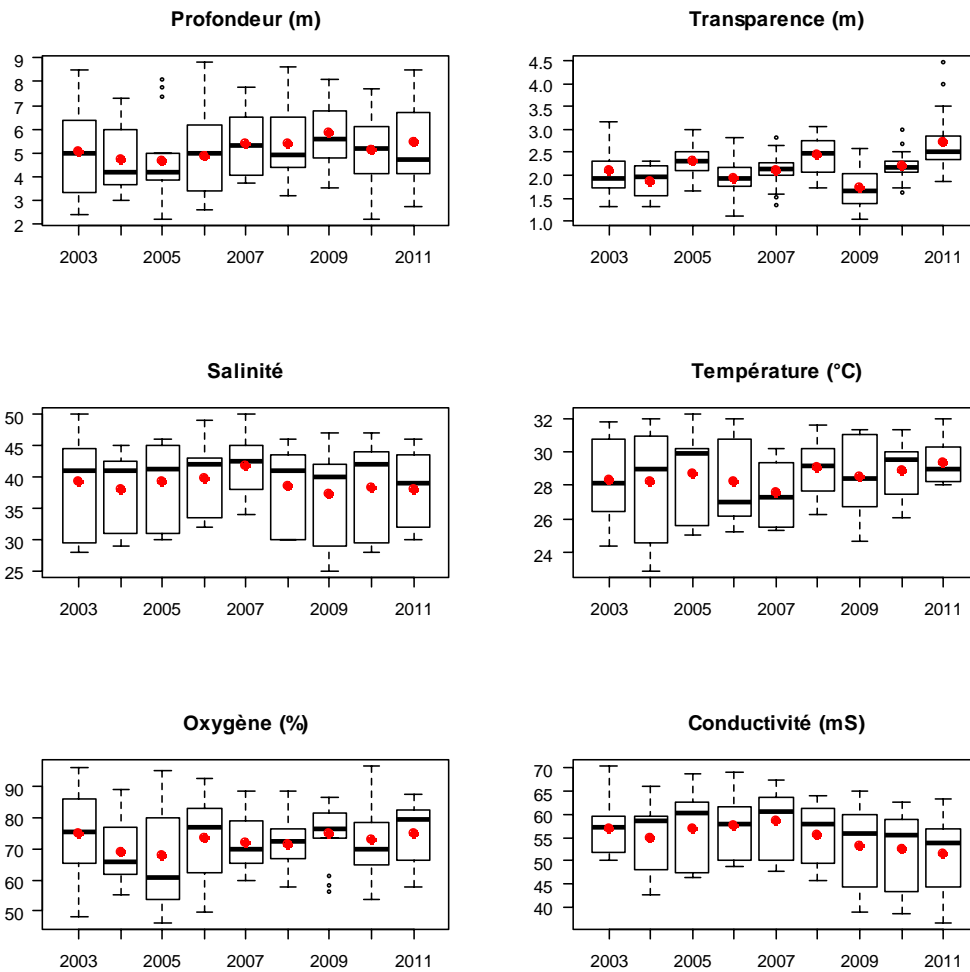


Figure 2.3 : Variabilité interannuelle des 6 principaux paramètres de l'environnement du bolon de Bamboung entre 2003 et 2011 (5 stations intra-AMP). Pour la salinité, la température, l'oxygène et la conductivité, seules les valeurs de surface sont présentées. Les points rouges indiquent la valeur moyenne de l'indicateur.

La **transparence** présente des différences significatives entre 2008 et 2009 et entre l'année 2011 et la plupart des autres années (à l'exception de 2005 et 2008). Les années 2005, 2008 et 2011 présentent les plus fortes transparences et 2009, la plus faible. Aucune autre variable de l'environnement ne présente de variabilité interannuelle significative, bien que des fluctuations d'une année sur l'autre soient observées (Fig. 2.3).

## Variabilité spatiale

La profondeur est la seule variable qui présente des différences significatives entre stations. La station 12, située dans le Diomboss, présente une **profondeur** médiane de 9,5 m, significativement supérieure à toutes les autres. Dans le reste du bolon, la profondeur varie entre 3 à 4 m en amont (stations 1 à 4) et en aval (stations 9 à 11), et 6 à 8 m dans la partie médiane (stations 5 à 8, Fig. 2.4). La **transparence** est homogène dans l'ensemble du bolon, avec une médiane autour de 2 m. Sa variabilité en revanche est plus marquée dans la partie aval. La **salinité** présente un gradient régulier amont-aval d'une amplitude de 6 (45 en station 1, 39 en station 12). Sa variabilité, à l'inverse de la transparence, est moindre dans

l'aval du bolon. La **conductivité** présente le même schéma. Les variations spatiales de **température**, bien que de faible amplitude, décrivent également un gradient amont-aval, les valeurs les plus élevées étant observées en amont (médiane=30,2°C) et les plus basses à l'embouchure du bolon (médiane=27,5°C). Le pourcentage de saturation en **oxygène** présente un schéma inverse : il croit de 67% en amont à plus de 80% en aval. Ces résultats mettent en évidence le mauvais mélange des eaux à l'intérieur du bolon, avec une zone confinée, plus salée, plus chaude et moins bien oxygénée en amont, et une zone sous influence marine, moins salée, plus froide et mieux oxygénée en aval. Ils montrent également la forte variabilité temporelle des différents paramètres étudiés. Les résultats de l'ACP présentés plus haut permettent de hiérarchiser ces différentes sources de variations : la variabilité saisonnière surpasse largement la variabilité spatiale et la variabilité interannuelle est négligeable.

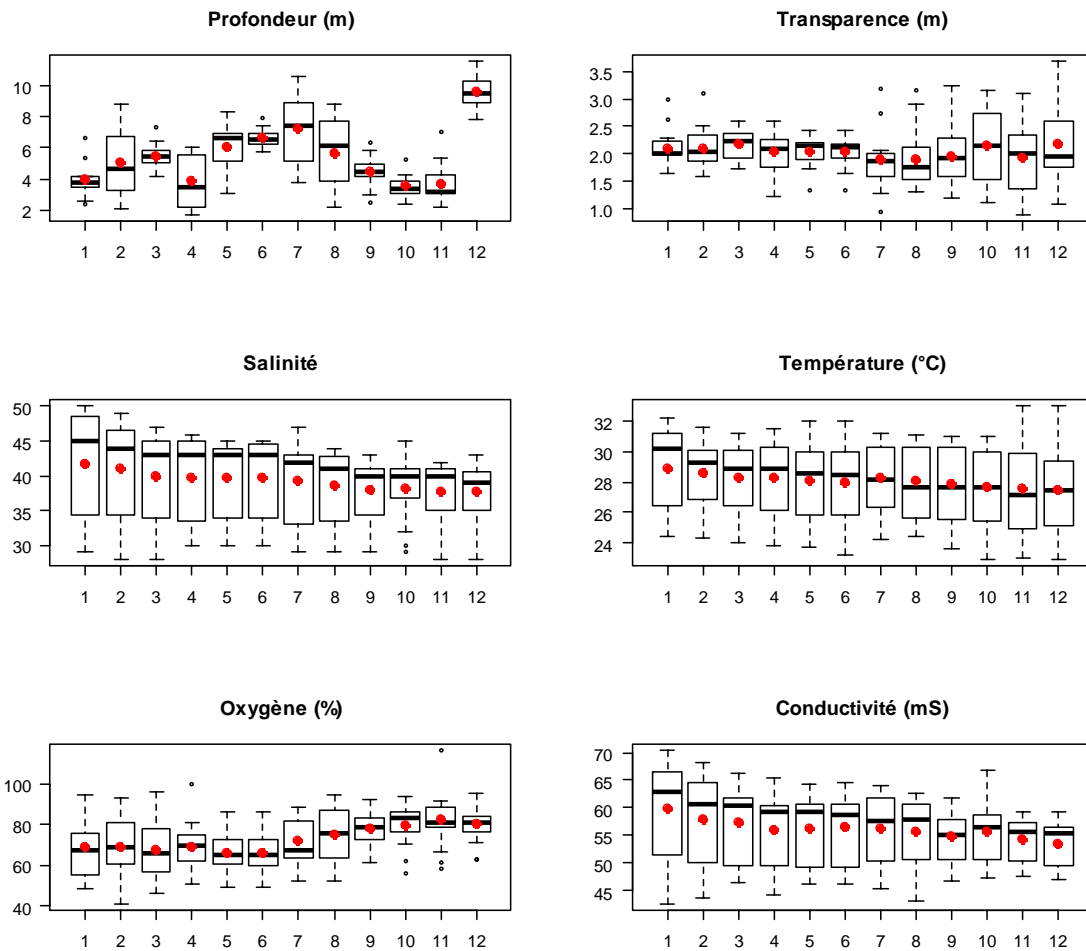


Figure 2.4 : Variabilité spatiale des 6 principaux paramètres de l'environnement du bolon de Bamboung entre 2003 et 2007 (12 stations). Pour la salinité, la température, l'oxygène et la conductivité, seules les valeurs de surface sont présentées. Les points rouges indiquent la valeur moyenne de l'indicateur.

## Conclusion

Le fonctionnement du bolon de Bamboung est typique de l'estuaire du Sine Saloum, dans sa partie non sursalée, tel qu'il a été décrit par Diouf (1996), Simier et al. (2004) et Ecoutin et al.

(2010). La masse d'eau du bolon de Bamboung peut être considérée comme **très homogène verticalement**, avec une absence de stratification mise en évidence par de très fortes corrélations entre les valeurs des paramètres mesurés en sub-surface et au fond. Elle est aussi **relativement homogène horizontalement** avec un gradient amont-aval modéré, décroissant pour la salinité (de 45 à 39), la conductivité, et la température (de 30,2 à 27,5) et croissant pour l'oxygène (de 67% à 80%). **Aucune évolution interannuelle** de l'environnement n'a été mise en évidence, le seul phénomène notable étant des valeurs de transparence particulièrement basses en 2009 et élevées en 2005, 2008 et 2011. **Le principal facteur de variations est saisonnier**, avec une opposition marquée entre la saison humide (octobre), caractérisée par les salinités les plus basses (autour de 30) en raison de la pluviométrie importante (Fig. 1.4) et des températures maximales (30 à 32°C), et la saison sèche, caractérisée par des salinités plus fortes (40 à 45) et des températures minimales en mars (22 à 26°C) qui augmentent en mai-juin (28 à 30°C). L'oxygène est inversement corrélé à la température : il diminue progressivement de mars à octobre mais ne constitue à aucun moment un facteur limitant pour les peuplements de poissons du bolon de Bamboung. Enfin, en saison sèche, les eaux sont plus transparentes qu'en saison humide.

#### **Ce qu'il faut retenir :**

**Le bolon de Bamboung est caractérisé par une forte homogénéité de sa masse d'eau ; cela s'explique en partie par la faible taille du bolon, environ 300 ha, et sa faible profondeur, de l'ordre de 6 m. En revanche, il existe une forte variabilité saisonnière des autres paramètres caractérisant l'environnement aquatique du bolon et décrivant ainsi les 3 grandes saisons hydro-climatiques observées au niveau de l'estuaire du Sine Saloum :**

- **La saison sèche et froide est caractérisée par une salinité de l'ordre de 42, qui est supérieure à celle de la mer, par une température de l'eau (22 à 26°C) plus basse au regard des 2 autres saisons, par une transparence relativement importante pour un site estuarien (2,3 m) et par une oxygénation des eaux relativement forte (>75%).**
- **La saison sèche et chaude présente des caractéristiques proches de la saison précédente à l'exception de la température de l'eau qui augmente (29°C).**
- **Enfin la saison chaude humide, située en fin de saison des pluies se différencie des 2 autres saisons par une salinité inférieure à celle de la mer, de l'ordre de 31, par une température forte (>30°C), par une transparence plus faible (<2 m) et par un taux d'oxygénation plus réduit (<65%).**





# **L'Aire Marine Protégée communautaire de Bamboung (Sine Saloum) : Synthèse 2003 – 2011**

**Ecoutin J.M. (éditeur scientifique)**

**avec la collaboration de :**

**Béhagle N., Brochier T., Guillard J., Laë R.,  
Lebourges Dhaussy A., Le Loc'h F., Raffray J., Sadio O.,  
Simier M., Sow I., Tito de Morais L.**



**Dakar, juin 2013**

# Plan de la synthèse

<b>Introduction</b>	1
<b>L'Aire Marine Protégée communautaire de Bamboung : histoire, localisation et protocole de collecte de données</b> ECOUTIN Jean Marc, SOW Ibrahima et SIMIER Monique	5
<b>L'environnement hydroclimatique de l'Aire Marine Protégée de Bamboung de 2003 à 2011</b> SIMIER Monique	19
<b>Inventaire faunistique de l'Aire Marine Protégée de Bamboung : guildes fonctionnelles (écologique et trophique)</b> SIMIER Monique	27
<b>Le peuplement de référence avant la mise en défens, comparaison avec les peuplements de sites proches</b> ECOUTIN Jean Marc, SADIO Oumar et SIMIER Monique	35
<b>Les grands traits évolutifs du peuplement de poissons de 2003 à 2011</b> ECOUTIN Jean Marc, SIMIER Monique et SADIO Oumar	49
<b>Comparaison du peuplement de poissons de Bamboung avec celui d'un site autorisé à l'exploitation halieutique, le bolon de Sangako</b> SADIO Oumar et ECOUTIN Jean Marc	77
<b>Evolution saisonnière du peuplement de poissons dans l'Aire Marine Protégée communautaire de Bamboung</b> LAË Raymond, ECOUTIN Jean Marc et SIMIER Monique	99
<b>Les réseaux trophiques de l'Aire Marine Protégée de Bamboung</b> LE LOC'H François	109
<b>Modélisation du fonctionnement trophique ou écosystémique</b> TITO de MORAIS Luis, LE LOC'H François et BROCHIER Timothée	119
<b>L'acoustique comme outil d'échantillonnage des peuplements de poissons</b> BEHAGLE Nolwenn, GUILLARD Jean, SOW Ibrahima et LEBOURGES-DHAUSSY Anne	133
<b>L'Aire Marine Protégée de Bamboung, un impact sur le peuplement de poissons ?</b>	145
<b>Références bibliographiques</b>	149