

Research paper

Suivi par hydroacoustique du peuplement piscicole d'une Aire Marine Protégée du Sine-Saloum (Sénégal): bilan 2003-2007

Ibrahima SOW¹ et Jean GUILLARD^{2,*}

¹ISRA/CRODT Centre de Recherches Océanographiques de Dakar-Thiaroye, BP 2241, Dakar, Sénégal

²INRA, UMR 042 Carrtel, BP 511, 74 203, Thonon-les-bains, France

*Correspondance: Tél.: (+33) 0450-26-78-51; Télécopie: (+33) 0450-26-07-60; Courriel: guillard@thonon.inra.fr (J. Guillard)

Reçu le 23/02/2010; accepté le 02/03/2010; publié en ligne le 22/03/2010
Oceanraise © MS 021009-06

Résumé

L'Aire Marine Protégée du bolon Bamboung (Siné-Saloum, Sénégal) a été échantillonnée par hydroacoustique, sondeur SIMARD 120 kHz à faisceau partagé, à différentes saisons de 2003 à 2007. Après avoir rappelé le contexte et les méthodes utilisées, les biomasses acoustiques de poissons détectés dans ce bras de l'estuaire sont estimées et leurs évolutions dans le temps analysées. Ces campagnes ont permis de mettre en évidence les avantages et les limites des méthodes hydro-acoustiques, ainsi que de discuter sur l'évolution du peuplement de poissons de cette zone au cours de ces cinq années.

Mots clefs: hydroacoustique, Aire Marine Protégée, Siné-Saloum, Sénégal, estuaire.

Abstract

The Marine Reserve of bolon Bamboung (Sine-Saloum, Senegal) has been sampled by hydroacoustic, echosounder SIMARD split-beam 120 kHz, at different seasons from 2003 to 2007. After reviewing the background and the methods used, the acoustic fish biomass detected in this arm of the estuary are estimated and their changes over time analyzed. These surveys highlight the benefits and limitations of hydro-acoustic methods, and discuss the evolution of the fish population in this area during these five years.

Keywords: hydroacoustic, Protected Marine Area, Sine-Saloum, Senegal, estuary.

1. Introduction

La nécessité de préserver les ressources halieutiques en constante diminution, tant aux échelles globales que locales (Troade *et al.*, 2003), a conduit à la création d'Aires Marines Protégées (AMP) afin de les préserver (Dalton, 2010). Dans l'estuaire du delta du Sine-Saloum, une zone a ainsi été créée, piloté par l'Océanium (association sénégalaise de protection des ressources marines) et financé par le Fond Français pour l'Environnement Mondial (FFEM). Le bolon Bamboung, affluent du Diomboss, est devenu une AMP en décembre 2003 et fait l'objet depuis mars 2003 d'un suivi biologique (pêches expérimentales à la senne tournante) par l'Institut de Recherche pour le Développement, avec la participation du Centre de Recherches Océanographiques de Dakar-Thiaroye pour la réalisation de suivi par hydroacoustique des populations de poissons. L'estuaire du Sine-Saloum (13°50 N, 16°33 W), devenu hyperhalin et inverse en raison du déficit cumulé de pluviométrie depuis plusieurs décennies, possède trois bras principaux et une multitude de canaux, appelés bolons; il est entouré de mangroves caractéristiques des zones humides saumâtres intertropicales. Le choix de ce site est pertinent d'un point de vue bio-écologique puisque les eaux sont peu profondes et la biodiversité réputée importante, notamment pour les oiseaux, poissons et mammifères marins (dauphins et lamantins) (Albaret *et al.*, 2006; Tito de Morais *et al.*, 2007). Cet estuaire est de plus utilisé comme lieu de reproduction et/ou de croissance des phases juvéniles par de nombreuses espèces de poissons, estuariens mais aussi côtiers, d'un grand intérêt économique ou écologique (ayant un rôle essentiel dans le fonctionnement général de l'écosystème). Les études menées depuis 2003 et synthétisées dans ce document sont centrées sur l'utilisation des méthodes acoustique pour l'évaluation des stocks de poissons dans des

milieux de faibles profondeurs: les investigations impliquent la mise en place de protocoles de suivi afin d'étudier et mesurer, à partir de l'état initial, les évolutions de ces zones de protection.

Si l'état initial repose sur les données obtenues à partir de pêches expérimentales et/ou de suivi de statistiques en provenance de la pêcherie, il est nécessaire de pouvoir suivre ces écosystèmes en les perturbant au minimum et en effectuant le moins possible de prélèvements de poissons. L'hydroacoustique est devenue une méthode standard reconnue pour les suivis de peuplement de poissons en mer (Mesnil, 2003), en lac (Wanzenböck *et al.*, 2003), mais aussi en rivière (Peirson & Frear, 2003) et en estuaire tropical (Guillard *et al.*, 2004). Outre sa rapidité d'investigation et sa capacité fine de description sur de grandes échelles spatiales, l'hydroacoustique est une méthode non destructive et sans conséquence sur le comportement des populations de poissons (Simmonds & MacLennan, 2005): c'est donc un outil idéal pour le suivi des AMP. Après la description du matériel utilisé et des stratégies d'échantillonnages employées, nous présenterons les résultats des différentes campagnes afin d'évaluer l'évolution de ce bolon au cours de cinq années de suivi.

2. Matériels et Méthodes

Les campagnes de suivi du bolon Bamboung ont été réalisées dans le prolongement des études effectuées dans le cadre des recherches de l'UR RAP (IRD) portant sur les estuaires d'Afrique de l'Ouest (fleuve Gambie, estuaire du Sine-Saloum, Casamance). Elles utilisent donc le même matériel ainsi que les mêmes protocoles standardisés (Guillard *et al.*, 2004). Le sondeur est un sondeur SIMRAD EY500, de type split-beam (fréquence 120 kHz), fixé sur une perche le long du bateau (Diassanga). Les acquisitions acoustiques sont réalisées de jour, en suivant le chenal principal du cours d'eau. Les parcours sont effectués lors des campagnes de pêches, sauf pour une campagne qui a été réalisée hors suivi (novembre 2004) (Table 1a). De plus, des acquisitions de données acoustiques en position fixe sont réalisées dans le Bamboung chaque fois que les conditions le permettent.

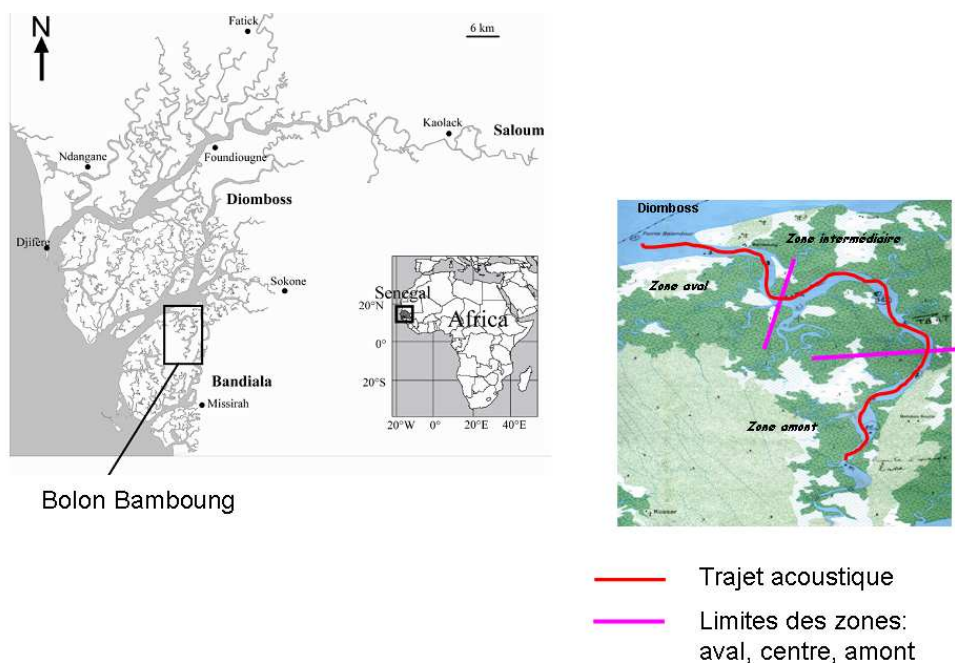


Figure 1. Estuaire du Sine-Saloum (d'après Albaret *et al.*, 2006) et exemple de trajet acoustique dans le bolon Bamboung, limites des zones d'études.

Les trajets (Fig. 1) réalisés en descendant le bolon (amont - aval) sont souvent effectués immédiatement après ou en même temps que les coups de pêche (Tito de Morais *et al.*, 2007): c'est à dire en compagnie ou après le passage de l'embarcation de pêche regagnant sa base. Par contre les parcours inverses (aval - amont) sont toujours réalisés plusieurs heures après la pêche ou le matin avant la pêche, donc dans un environnement non perturbé. L'unité d'échantillonnage élémentaire correspond à une acquisition acoustique pendant 20 minutes, le bateau avançant à une vitesse constante d'environ 6 km h^{-1} , soit environ 2000 m (longueur totale du bolon supérieur à 12 km). Pour analyser les données nous avons utilisé le logiciel d'analyse EP500. Les résultats obtenus sont la biomasse moyenne exprimée en $S_a \text{ (m}^2 \text{ m}^{-2}\text{)}$ (MacLennan *et al.*, 2002) détectée pendant le trajet ainsi que l'histogramme de tailles des poissons détectés lors de chaque parcours, les tailles étant exprimées en unité acoustique. De plus, les tailles acoustiques (Target Strength: TS) (MacLennan *et al.*,

2002)) obtenues lors des positions fixes de nuit sont aussi analysées. En effet le grand nombre de poissons individuels détectés lors de ces échantillonnages en position fixe permet d'obtenir des indicateurs significatifs des distributions en classes de taille. Le milieu échantillonné étant plurispécifique (Diouf, 1996) et les relations tailles – index de réflexion n'ayant pas été établies, l'équation de Love (1977) nous a permis de classer les cibles rencontrées en trois catégories simplificatrices: petit, moyen et gros (Table 2). Les seuils de détection ont été fixés à -60 dB pour la reconnaissance des cibles individuels (40 log R) et -55 dB pour l'échointégration (20 log R). Les critères utilisés pour la discrimination des cibles individuels sont les critères par défaut préconisés par le constructeur (SIMRAD, 1995).

Classes de taille			
En cm	1 cm < taille ≤ 7-10 cm	7-10 cm < taille ≤ 20 cm	taille > 20 cm
En décibel	- 60 dB < TS ≤ -48 dB	-46 dB ≤ TS ≤ -40 dB	TS > -40 dB

Table 1. Equivalence 'décibel - classe de taille' d'après Love (1977). Les tailles en centimètres sont données à titre indicatif, car fonction de l'espèce.

Cette étude est centrée sur le peuplement de poissons du bolon Bamboung, limitée à son chenal principal. La profondeur maximale varie entre plus de 16 m dans la zone aval et environ 5 m pour les parties les plus amont (Fig. 2).

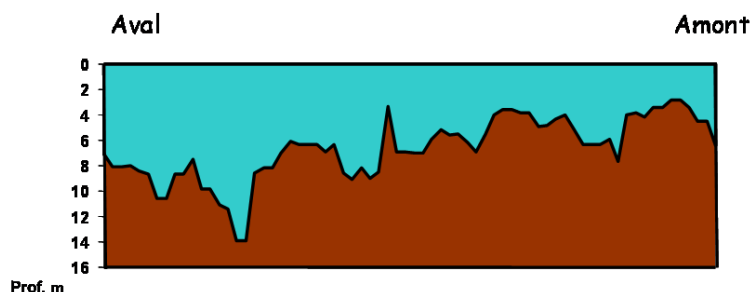


Figure 2. Coupe longitudinale du bolon d'aval en amont.

L'étude porte sur les macros structures et l'existence ou non de gradient de densité ou d'hétérogénéité entre les zones amont et aval du bolon, ainsi que sur l'évolution temporelle. Les données sont regroupées par zone homogène (trois) (Fig. 1) afin de mieux appréhender les grandes tendances et éliminer la variabilité locale:

- la zone aval, proche du bolon principal Diomboss;
- la zone intermédiaire;
- enfin la zone la plus en amont.

Les valeurs de biomasse obtenues par zone sont les moyennes arithmétiques des échantillons élémentaires, celles-ci étant considérées comme un estimateur sans biais de la moyenne sur la zone si l'effort est réparti de façon homogène sans hypothèse statistique au départ (Smith, 1990; Guillard & Vergés, 2007). Ces données de biomasse reflètent l'ensemble des détections acoustiques réalisées le long des parcours et intègrent aussi bien les cibles individuelles que les structures agrégatives. Le calcul des TS est plus complexe et l'interprétation plus sujette à caution, car dépendant de beaucoup de facteurs et en particulier du nombre de cibles individuelles détectées, des comportements individuels des poissons et de leur physiologie (Ona, 1999). De plus, des stations fixes de nuit ont été réalisées. Ce dernier type d'échantillonnage n'est pas inclus dans le protocole strict de suivi (Guillard *et al.*, 2004), mais ces stations fixes de nuit dans un bolon permettent d'acquérir de nombreuses données, au cours de cycles de marées, afin d'aborder la compréhension des mouvements migratoires des poissons en fonction du courant. Le but visé dans cette opération est double: (i) a position fixe sur une longue durée permet d'obtenir un plus grand nombre de mesures de TS (Simmonds & MacLennan, 2005) qu'en parcours, parce que les poissons restent plus longtemps sous le faisceau du transducteur et sont ainsi identifiés plus facilement comme des cibles individuelles. Ces mesures de TS nous permettent ainsi d'établir l'histogramme des classes de tailles du peuplement de la zone concernée. (ii) Ces acquisitions permettent aussi de suivre le déplacement aussi bien des cibles individuelles que des structures en banc par rapport aux mouvements de la marée et aussi de pouvoir mesurer l'évolution des biomasses détectées en fonction des rythmes de marées.

Table 1a. Chronologie des campagnes réalisées dans le Siné-Saloum (Sénégal) au cours de notre étude.

CAMPAGNE	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6	ACOUSTIQUE	B 9	B 10	B 11	B 12	B 14	B 15
Période	19-23/05/03	14-17/10/03	08-11/03/04	28-30/06/04	27-30/09/04	22-24/11/04	25-6/10/2005	22-23/03/06	12-13/5/2006	11-12/10/06	8-11/05/2007	24-26/10/07
Saison	Fin Sèche	Humide	Sèche	Fin Sèche	Humide	Humide	Humide	Sèche	Sèche	Humide	Sèche	Humide
Nbre stat	12	12	12	12	12	0	12	12	12	12	12	12
Parcours aval-Amont	NON	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	NON	OUI	OUI	OUI
Date		15/10/2003	09/03/2004	29/06/2004	29/09/2004	23/11/2004	25/10/2005	22/03/2006	-	11/10/2006	08/05/2007	24/10/2007
Heure		16 h 25	17 h 11	16 h 31	08 h 28	09 h 14	13 H 32	15 H 52	-	15 H 30	15 H 50	15 H 37
Marée		Descendante, houle	Descendante, courant fort	Montante	Montante	Descendante	Montante		-		Montante	Basse
Parcours amont-Aval	OUI	OUI	OUI	OUI	NON	OUI	OUI	OUI	NON	OUI	OUI	OUI
Date	21/05/2003	17/10/2003	10/03/2004	30/06/2004		23-25/11/2004	26/10/2005	23/03/2006	-	12/10/2006	09/05/2007	02/04/2008
Heure	15 h 34	07 h 38	15 h 52	14 h 52		13 h 53 + 08h00	14 h 11	14 h 16	-	12 h 54	15 h :01	14 h 55
Marée	Montante	Début Montante	Montante, houle	Fin étal Basse		Etal basse/étal haute	Montante		-		Début Descendante	Début Montante
Opération Hors AMP	NON	NON	NON	NON	NON	OUI	NON	NON	NON	NON	OUI	OUI
Date							-	-	-	-	10/95/2007	26/19/2007
Heure							-	-	-	-	16 h 50	13 h 20
Marée							-	-	-	-	Montante	Descendante
FIXE NUIT	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI

3. Résultats

Comme dans les études précédentes effectuées en estuaire (Guillard *et al.*, 2004) nous rencontrons plusieurs types de cibles: des poissons individuels et des bancs plus ou moins denses (Fig. 3).

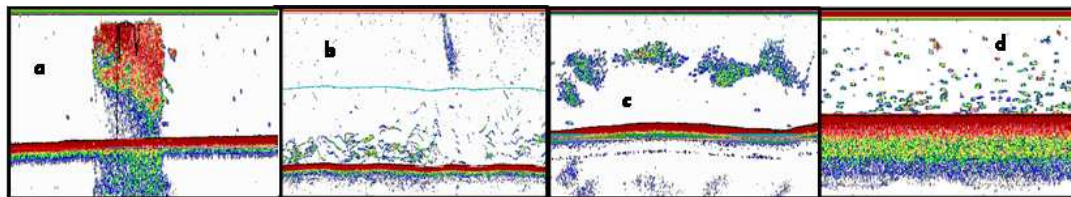


Figure 3. Echogrammes présentant les structures rencontrées: bancs de différents types (a et c) et cibles individuelles (b et d).

De fortes hétérogénéités locales dues à la présence de bancs sont rencontrées. En effet, même dans ces milieux peu profonds et peu larges, il est fréquent de rencontrer des bancs (Guillard, 1998). La largeur du bolon est très variable d'un endroit à un autre, en marée haute les eaux du Bamboung envahissent la mangrove qui le borde sur toute sa longueur, mais l'ordre de grandeur est d'environ 150 – 200 m. Son chenal principal reste étroit, ponctué de fosses (Fig.2). Il est fermé à l'amont et d'une profondeur moyenne d'environ 8 m. Il n'est pas rare de rencontrer des bancs, plus ou moins denses selon les périodes (Fig.3).

3.1. Évolution des Sa par parcours

Afin d'étudier les évolutions au cours du temps nous avons choisi de regrouper les données par zone homogène (Table 3), permettant d'éviter les variabilités locales. Les données proviennent des parcours aval – amont qui sont toujours réalisés dans les mêmes conditions, sans interruption et sans perturbations extérieures (Sow & Guillard, 2005a) contrairement aux autres données acquises en période de pêches. En utilisant donc uniquement les données acoustiques réalisées dans les mêmes conditions, avec le protocole le moins perturbé, nous observons qu'après une période d'augmentation nette des biomasses moyennes détectées dans le bolon Bamboung, nous observons des fluctuations fortes entre les périodes, mais avec un niveau moyen supérieur à la période initiale (Fig. 4). Les parcours réalisés en même temps que les pêches expérimentales sont plus variables et présentent une fiabilité moindre. Ils ne permettent pas de vérifier la tendance observée sur l'évolution globale des densités observées (Fig. 5). Les données issues des campagnes sans pêche sont globalement toujours supérieures (Table 4)

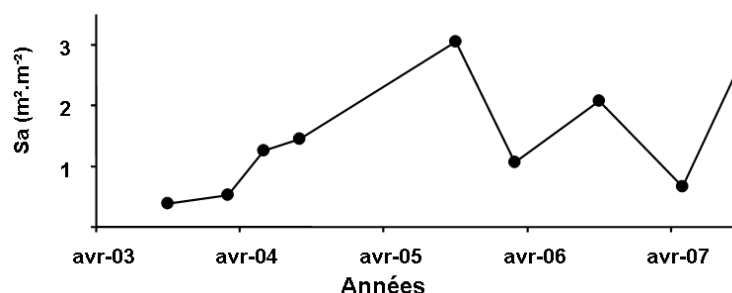


Figure 4. Evolution des biomasses acoustiques moyennes détectées (Sa (m².m⁻²)) pendant les parcours aval – amont avril 2003 à avril 2007.

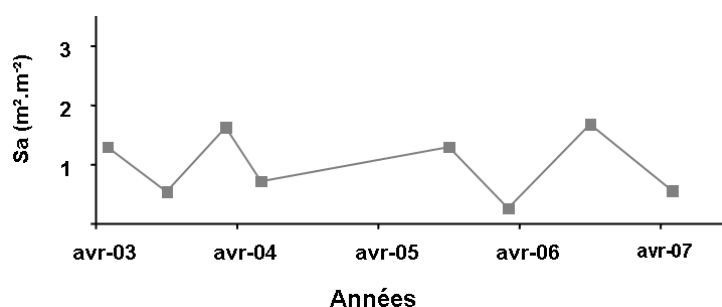


Figure 5. Evolution des biomasses acoustiques moyennes détectées (Sa (m².m⁻²)) pendant les parcours amont – aval avril 2003 à avril 2007.

Table 3a. Biomasse moyenne détectée ($Sa, m^2.m^{-2}$) pour l'ensemble des campagnes, zone par zone. Parcours aval-amont.

	Dates	Saison	Marée	Heures	Sa moy. aval	Sa moy. centre	Sa moy. amont	Sa totale
B 3	15/10/03	humide	déc., houle	16:25:00	0.44	0.47	0.24	0.38
B 4	09/03/04	sèche	déc., cour, fort	17:11:00	0.15	0.27	0.97	0.52
B 5	29/06/04	fin sèche	montante	16:31:00	1.11	0.69	1.93	1.25
B 6	29/09/04	humide	montante	08:28:00	0.32	2.25	1.45	1.45
B 9	25/10/05	humide	montante	13:32:00	0.31	3.38	3.79	3.06
B 10	22/03/06	sèche	étale haute	15:53:00	1.78	1.76	0.20	1.06
B 12	11/10/06	humide	descendante	15:30:00	0.95	2.48	2.06	2.07
B 14	08/05/07	sèche	montante	15:50:00	0.47	1.00	0.44	0.66
B 15	24/10/07	humide	basse	15:37:00	0.81	4.18	2.24	2.77

Table 3b. Biomasse moyenne détectée ($Sa, m^2.m^{-2}$) pour l'ensemble des campagnes, zone par zone. Parcours amont-aval.

	Dates	Saison	Marée	Heures	Sa moy. amont	Sa moy. centre	Sa moy. aval	Sa totale
B 2	21/05/2003	fin sèche	montante	15:34:00	1.60	0.37	1.12	1.30
B 3	17/10/2003	humide	étal et renv	07:38:00	0.37	0.75	0.61	0.54
B 4	10/03/2004	sèche	mont houle	15:52:00	0.49	3.12	2.27	1.63
B 5	30/06/2004	fin sèche	dec et renv	14:52:00	0.28	0.60	1.09	0.71
B 9	26/10/2005	humide	montante	14:11:00	1.42	0.71	2.37	1.30
B 10	23/03/2006	sèche	montante	14:16:00	0.06	0.52	0.29	0.27
B 11	13/05/2006	sèche	basse	13:00:00	0.28	1.36	1.12	1.11
B 12	12/10/2006	humide	haute	12:54:00	1.37	1.87	1.91	1.69
B 14	09/05/2007	sèche	début dec	15:01:00	0.29	0.19	1.82	0.56
B 16	02/04/2008	sèche	début montante	14:55:00	0.06	3.39	0.38	1.50
B 17	10/06/2008	sèche	montante	15:43:00	0.55	2.44	2.75	1.83
B 18	13/10/2008	humide	montante	17:22:00	2.83	2.44	2.96	2.69

Table 4: Biomasse moyenne détectée ($Sa, m^2.m^{-2}$) pour les campagnes sans pêche, zone par zone.

	Date	Heure	Marée	Zone	Amont	Centre	Aval	Total
BS pam25	25/11/2004	08 h 02	étale haute	début sèche	4.02	3.20	8.45	5.33
BS pam23	23/11/2004	13 h 53	étal début m	début sèche	1.56	0.93	7.12	3.45
BS pav23	23/11/2004	09 h 14	desc, 1arret	début sèche	0.50	7.62	6.22	4.00

3.2. Relations inter-zones

Les densités détectées selon les zones ne sont pas systématiquement corrélées entre elles, mais on observe que la zone amont et la zone centrale sont corrélées avec les quantités totales détectées (Table 5).

Table 5: Corrélation inter zone et zone – total.

AMONT - AVAL n= 12	Aval amont	Amont centre	Aval centre	Amont total	Centre total	Aval total
R ²	0.3848	0.0067	0.091	0.527	0.4969	0.5149
Significatif (P = 0.95)	OUI	NON	NON	OUI	OUI	OUI
AVAL- AMONT n= 9						
R ²	0.041	0.4624	0.0084	0.7966	0.8641	0.0011
Significatif (P = 0.95)	NON	OUI	NON	OUI	OUI	NON

3.3. Evolution globale des biomasses dans le bolon

Afin de dégager des tendances globales, nous avons regardé l'évolution annuelle des biomasses détectées dans le bolon dans son ensemble, en moyennant les données par année (Fig. 6). On observe ainsi une tendance à l'augmentation des biomasses jusqu'en 2006 puis une diminution en 2007.

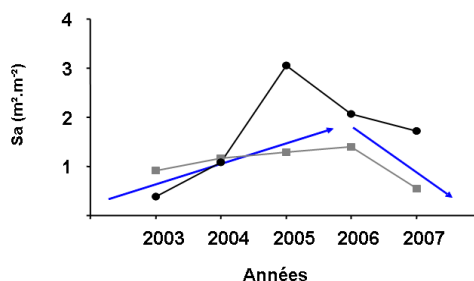


Figure 6. Evolution des biomasses acoustiques moyennes annuelles 'Sa' ($m^2.m^{-2}$) pendant les parcours aval – amont (cercles noirs) et amont-aval (carré gris).

3.4. Evolution des TS

Les TS moyennes des poissons détectés évoluent en fonction du temps pour les deux types d'échantillonnages disponibles (parcours mobiles et position fixes) de la même manière (Fig. 7), sans que les données soient corrélées de façon significative : on observe une augmentation de la TS moyenne puis une diminution de celle-ci à partir de 2006.

3.5. Stations fixes de nuit

Plusieurs stations fixes de nuit ont été réalisées, qui permettent de mettre évidence la complexité des relations qui existent entre biomasses détectées, marées, variation nyctémérale: les différentes analyses n'ont pas permis de mettre en évidence des relations stables et évoluant toujours dans le même sens entre les différents paramètres, comme la force du courant qui nécessiterait d'être mesurée de façon conjointe et précise. Par contre ces positions fixes mettent bien en évidence à nouveau l'hétérogénéité, déjà mesurée à des échelles de temps courtes (Sow & Guillard, 2005b) mais dans ce cas aussi sur des pas de temps plus long (20 minutes) (Fig. 8). On observe de grandes tendances, apparemment non liées à la marée mais aussi de fortes différences de densités détectées entre le jour et la nuit. Le nombre de cibles individuelles varient lui aussi dans le temps et on constate que les plus grosses cibles (entre -35 et -25 dB) ne sont pas présentes tout le temps.

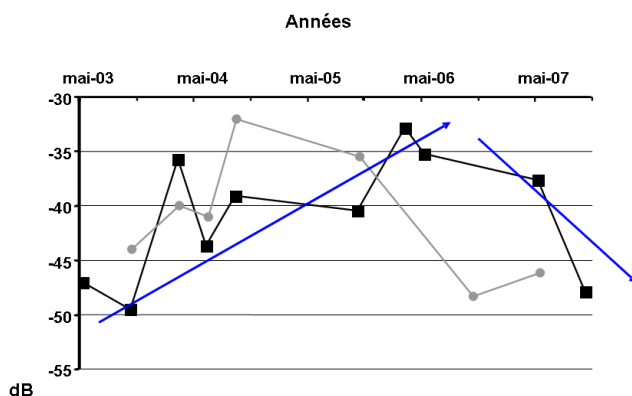


Figure 7. Evolution des index de réflectivité (TS) moyennes détectées dans le bolon Bamboung, tous parcours confondus (cercle gris) et position fixes (carrés noirs).

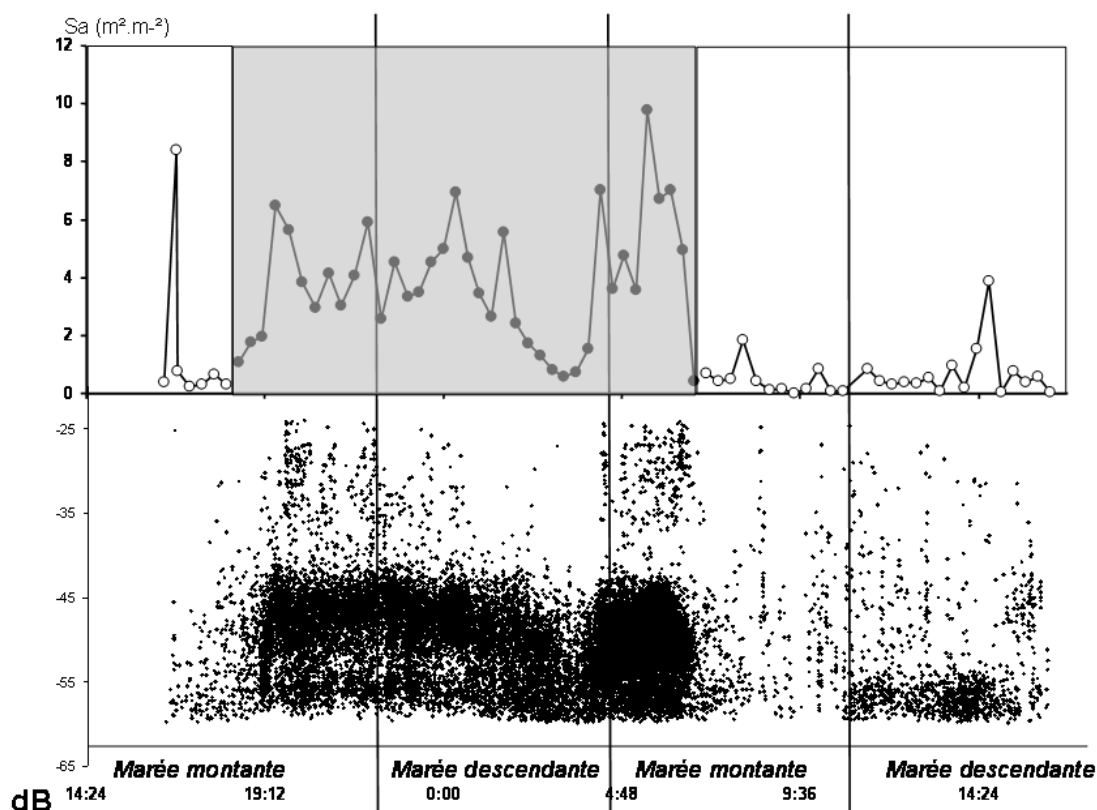


Figure 8. Evolution des Sa moyen détectées dans le bolon Bamboung par pas de temps de 20 minutes et cibles individuelles détectées au cours de cycle.

4. Discussion

Les campagnes réalisées dans l'AMP à l'aide des méthodes acoustiques ont permis de faire un suivi du peuplement de poissons de ce bolon protégé. Les méthodes acoustiques par leur nature non destructive sont un outil adapté au suivi des évolutions temporelles d'un peuplement de poissons (Simmonds & MacLennan, 2005), si en parallèle une bonne description du milieu par des méthodes de pêches expérimentales est mise en place. Ces deux méthodes sont complémentaires: elles peuvent ainsi permettre de n'effectuer des pêches de contrôles qu'à intervalles réguliers afin d'identifier les espèces présentes.

L'utilisation des deux méthodes de façon conjointe a été nécessaire pour les premiers suivis, mais a aussi montré que l'exploration d'un bolon de taille réduite pouvait modifier le comportement des poissons. En effet les campagnes effectuées en même temps que les coups de pêches, campagnes amont – aval, ont des résultats beaucoup plus variables et moins fiables que les campagnes effectuées après, campagnes aval – amont, réalisées avec moins de perturbations, comme nous l'avions déjà affirmé en 2005 (Sow & Guillard, 2005a). Il n'est pas surprenant que dans un milieu assez fermé et de surcroît protégé, les peuplements de poissons soient sensibles en particulier aux bruits des moteurs. Les campagnes effectuées hors protocole mettent aussi en évidence ce phénomène avec des densités observées beaucoup plus fortes (Sow & Guillard, 2005a). Il est important de signaler que les missions Bamboung 10 et 14, respectivement du 23/03/2006 et du 09/05/2007, ont coïncidé avec la visite de personnalités à bord de plusieurs pirogues motorisées. Nous avons constaté que les valeurs de biomasse de ces campagnes sont les plus faibles de la série, ce qui semble confirmer la sensibilité aux perturbations dans ces milieux étroits.

Pour un suivi régulier et afin d'arriver à bien mesurer l'évolution des indicateurs que sont la biomasse totale et les structures en tailles, il est nécessaire de continuer les acquisitions en utilisant toujours le protocole standard du parcours dans le chenal principal, mais en insistant sur la nécessité de devoir toujours travailler dans les mêmes conditions. En effet, outre les perturbations engendrées par les bateaux, d'autres paramètres peuvent engendrer des variabilités plus ou moins importantes dans les résultats: effet de la marée (Krumme *et al.*, 2004), de la lune (Gaudreau & Boisclair, 2000), de la saison, de la luminosité, etc.. Il est nécessaire de s'affranchir au maximum de la variabilité due à ces paramètres.

Le type d'échantillonnage en parcours permet d'obtenir une image globale du milieu, intégrant un volume d'eau important et permettant de mieux prendre en compte les différents types de cibles présentes, en particulier les bancs moins bien appréhendés par les postions fixes (Guillard *et al.*, 2004). Dans des milieux hétérogènes de par leur nature et de plus soumis à nombreuses variables environnementales, la répétitivité d'une mesure et donc sa prise en compte comme un indicateur fiable nécessite une gestion rigoureuse des protocoles, dans les stratégies d'échantillonnage suivi mais aussi dans les périodicités. Plusieurs solutions peuvent être proposées pour limiter ces variations ou les appréhender afin de pouvoir ensuite s'en affranchir: déconnecter les campagnes acoustiques des autres campagnes, effectuer l'acoustique systématiquement après les pêches avec un décalage temporelle, effectuer les parcours toujours avec les mêmes marées, avoir un échantillonnage régulier dans le temps, aux mêmes saisons, Les stations fixes pourraient apporter un grand nombre d'éléments de compréhension, si les paramètres de base comme le courant et la marée étaient enregistrée de façon précise. En effet, pour ces types de milieux l'utilisation d'un courantomètre et d'un protocole échantillonnage précis permettraient de mieux aborder et comprendre leur fonctionnement. De plus il serait souhaitable, comme par exemple pour la pêche expérimentale où les stations sont les mêmes d'une campagne à l'autre, de pouvoir réaliser les observations toujours aux mêmes endroits afin d'éviter les problèmes de variabilités spatiales; un ancrage fixe du bateau aux deux extrémités permettrait d'observer avec plus de précision le sens de déplacement des poissons, surtout en disposant d'un courantomètre fiable. L'observation de cycles de 24 heures à différentes saisons permettrait de prendre en compte les phases montantes et descendantes et d'aborder les variations nycthémerales.

Le bolon Bamboung est dans un espace protégé mais il n'est pas complètement déconnecté du système estuarien qui l'entoure. Une partie du peuplement effectue des migrations importantes entre le bolon Bamboung et le bras principal Diomboss. Il serait intéressant de pouvoir étudier ces phénomènes de migration entre ces deux chenaux en installant par exemple des systèmes de détections acoustiques à l'entrée du bolon et d'observer les rythmes de migrations en fonction des paramètres environnementaux (marées, heures, saisons, ...). La biomasse détectée dans la partie la plus amont est significativement corrélée à la biomasse totale détectée, cette partie étant moins susceptible d'être l'objet de mouvements migratoires importants, mais cependant aucun gradient systématique des densités n'a pu être détecté.

Au cours de ce cycle 2003-2007, les protocoles n'ont pas pu toujours être suivis rigoureusement, différents problèmes matériels étant survenus (disponibilité du bateau, panne de moteur, contraintes expérimentales, ...). D'après nos observations, le bolon Bamboung pourrait être entré dans une deuxième phase d'évolution: au début les biomasses observées dans le bolon ont augmenté, on a alors noté que pour une même saison elles étaient plus élevées que dans d'autres bolons proches, et ce jusqu'en 2005-2006. A partir de cette date, la biomasse globale semble diminuer. Les TS moyennes évolueraient aussi d'une manière parallèle: après une augmentation des tailles jusqu'en 2005-2006, on observerait une diminution de celle ci. Les résultats de 2007 semblent montrer un changement net dans l'évolution de ces deux indicateurs, mais sans que l'on puisse prédire une vraie tendance ou conclure sur un artefact du aux problèmes de variabilité du milieu et/ou des changements des protocoles.

5. Conclusion

Les Aires Marines Protégées sont un des enjeux majeurs des prochaines années afin de pouvoir protéger les stocks de poissons. En effet devant l'augmentation des efforts de pêches (Trodec *et al.*, 2003), les stocks de poissons sont la plus part du temps en forte diminution. Un suivi de ces zones est nécessaire afin de mesurer l'efficacité de ces protections, qui peuvent ainsi servir de refuges aux peuplements de poissons. Ces zones font partie intégrante de l'écosystème estuarien, et les échanges entre les différentes parties de l'estuaire sont fondamentaux. L'hydroacoustique, en réalisant des parcours régulièrement dans les zones, permet de réaliser le suivi de l'évolution des biomasses présentes sans prélèvements préjudiciables dans le milieu. De plus le coût d'un tel suivi nécessitant peu de personnes, est peu élevé, hors équipement initial. On peut ainsi alléger les protocoles de pêches expérimentales, toujours nécessaires, afin de les réduire au minimum. Mais ces milieux sont très hétérogènes et l'obtention d'indicateurs fiables nécessite des approches rigoureuses afin de s'affranchir des variabilités dues aux autres paramètres. Une gestion optimisée de ce milieu devrait mieux appréhender les échanges bras principaux – bras secondaires par un suivi fin des migrations entre les deux. L'installation de transducteurs en postes fixes dans ces zones d'interface et de migration permettrait de suivre les mouvements des poissons d'une zone à l'autre et de mieux comprendre ces mouvements en relation avec les paramètres environnementaux. Le bolon Bamboung semble être entré dans une nouvelle phase de son évolution. Les indicateurs qui évoluaient dans le même sens entre 2003 et 2005-2006 semblent évoluer différemment depuis cette période.

Remerciements

Ce projet fait partie d'un suivi biologique (pêches expérimentales à la senne tournante) réalisé par l'équipe RAP de l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement), proposé et piloté par l'Océanium, association sénégalaise de protection des ressources marines et financé par le Fond Français pour l'Environnement Mondial (FFEM). Le bolon de Bamboung est devenu une AMP en décembre 2003. Les auteurs tiennent à remercier le CRODT (Centre de Recherches Océanographiques de Dakar-Thiaroye) pour le soutien à la réalisation des mesures par hydroacoustique ainsi qu'Erwan Josse et Luis Tito de Morais (IRD) qui ont permis à ces suivis d'être réalisés. Ces campagnes n'auraient pu avoir lieu sans l'aide de François Sanseo et César Tendeng qui nous ont embarqués sur le Diassanga, bateau de recherche en estuaire initié par Jean-Jacques Albaret et sans qui tout ceci n'aurait pas été possible.

Références

ALBARET, J.J., SIMIER, M., TITO DE MORAIS, L., 2006. Bilan du suivi biologique de l'Aire Marine Protégée du bolon de Bamboung (Sénégal), Rapport IRD, 19 p.

DALTON, R., 2010. Reserves 'win-win' for fish and fishermen. *Nature*, 463(25), 1007.

DIOUF, P.S., 1996. Les peuplements de poissons des milieux estuariens d'Afrique de l'Ouest : l'exemple de l'estuaire hyperhalin du Sine-Saloum. Thèses et Documents microfiches No. 156, ORSTOM, Paris.

GAUDREAU, N., & BOISCLAIR, D., 2000. Influence of moon phase on acoustic estimates of the abundance of fish performing daily horizontal migration in a small oligotrophic lake. *Canadian Journal of Fisheries Aquatic Science*, 57, 581-590.

GUILLARD J., 1998. Daily migration cycles of fish populations in a tropical estuary (Sine-Saloum, Senegal) using a horizontal-directed split-beam transducer and multibeam sonar. *Fisheries Research*, (35) 21-29.

GUILLARD, J., ALBARET, J.J., SIMIER, M., SOW, I., RAFFRAY, J., & TITO de MORAIS, L., 2004. Spatio-temporal variability of fish assemblages in the Gambia Estuary (West Africa) observed by two vertical hydroacoustic methods: moored and mobile sampling. *Aquatic Living Resources*, 17, 47-55.

GUILLARD J., & VERGES, C., 2007. The Repeatability of Fish Biomass and Size Distribution Estimates obtained by Hydroacoustic Surveys Using Various Survey Designs and Statistical Analyses. *International Review of Hydrobiology*, 92(6), 605-617.

KRUMME, U., SAINT-PAUL, U., & ROSENTHAL, H., 2004. Tidal and diel changes in the structure of a nekton assemblage in small intertidal mangrove creeks in northern Brazil. *Aquatic Living Resources*, 17, 215-229.

LOVE R.H. 1977. Target strength of an individual fish at any aspect. *Journal of the Acoustic Society of America*, 72, 1397-1402.

MACLENNAN, D., FERNANDES, P.G., DALEN, J. 2002. A consistent approach to definitions and symbols in fisheries acoustics. *ICES Journal of Marine Science*, 59, 365-369.

MESNIL, B. 2003. Dynamique des populations exploitées et principaux modèles démographiques appliqués à la gestion des pêches. In *Exploitation et surexploitation des ressources marines vivantes*. Académies des sciences, Rapport sur la science et la technologie 17, Edition Tec & Doc., Paris, 123-155.

ONA, E., 1999. Methodology for TS measurements. ICES Cooperative Research Report. 403, 235 p.

PEIRSON, G., & FREAR, P.A., 2003. Fixed location hydroacoustic monitoring of fish populations in the tidal River Hull, north-east England, in relation to water quality. *Fisheries Management and Ecology*, 10, 1-12.

SIMMONDS, E.J., & MACLENNAN, D.N., 2005. *Fisheries Acoustics: Theory and Practice*. Oxford: Blackwell Science Ltd., 437 p.

SMITH, S., 1990. Use of statistical models for the estimation of abundance from groundfish survey data. *Canadian Journal of Fisheries Aquatic Science*, 47, 894-903.

SOW, I., & GUILLARD, J., 2005a. Etude de l'Aire Marine Protégée du bolon Bamboung (Sénégal) par hydroacoustique. Rapp. I.L., 259, 15 p.

SOW, I., & GUILLARD, J., 2005b. Suivi de stations fixes de nuit dans l'Aire Marine Protégée Bamboung (Sine Saloum, Sénégal). Rapp. I.L., 260, 11 p.

TITO DE MORAIS L., SIMIER, M., RAFFRAY, J., & SADIO, O., 2007 Suivi biologique des peuplements de poissons d'une aire protégée en zone de mangrove : le bolon de Bamboung (Sine Saloum, Sénégal). Rapport IRD 2007, 23p

TROADEC, J.P., BONCŒUR, J., & BOUCHER, J., 2003. Le constat. In Exploitation et surexploitation des ressources marines vivantes. Académies des sciences, Rapport sur la science et la technologie 17, Edition Tec & Doc., Paris, 16-56.

WANZENBÖCK, J., MEHNER, T., SCHULZ, M., GASSNER, H., & WINFIELD, I.J., 2003. Quality assurance of hydroacoustic surveys: the repeatability of fish-abundance and biomass estimates in lakes within and between hydroacoustic systems. *ICES Journal of Marine Science*, 60, 486-492.