



UNIVERSITE MONTPELLIER II

SCIENCES ET TECHNIQUES DU LANGUEDOC

THESE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE MONTPELLIER II

Spécialité : Évolution, Écologie, Ressources génétiques, Paléontologie

École doctorale : Systèmes Intégrés en Biologie, Agronomie, Géosciences, Hydrosciences, Environnement

Présentée et soutenue publiquement

Par

Ndombour GNING CISSE

Le 26 novembre 2008

Écologie trophique des juvéniles de quatre espèces de poissons dans l'estuaire inverse du Sine-Saloum (Sénégal): Influence des conditions de salinité contrastées



Jury

Catherine Aliaume, Professeur, Université Montpellier II Directrice de thèse
Omar Thiom Thiaw, Professeur UCAD, Dakar Co-directeur de thèse
Guy Vidy, Chargé de Recherche, IRD Sète Directeur scientifique
Daniel Gerdeaux, Directeur de recherche INRA, Thonon-les-Bains Rapporteur
Mireille Harmelin-Vivien, Directrice de recherche CNRS, Marseille Rapporteur
Raymond Lae, Directeur de recherche IRD Brest Examineur



**UNIVERSITE MONTPELLIER II
SCIENCES ET TECHNIQUES DU LANGUEDOC**



THESE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE MONTPELLIER II

Spécialité : Évolution, Écologie, Ressources génétiques, Paléontologie

École doctorale : Systèmes Intégrés en Biologie, Agronomie, Géosciences, Hydrosiences, Environnement

Présentée et soutenue publiquement

Par

Ndombour GNING CISSE

Le 26 novembre 2008

Écologie trophique des juvéniles de quatre espèces de poissons dans l'estuaire inverse du Sine-Saloum
(Sénégal): Influence des conditions de salinité contrastées

Jury

Catherine Aliaume, Professeur, Université Montpellier II Directrice de thèse
Omar Thiom THIAW, Professeur UCAD, Dakar Co-directeur de thèse
Guy Vidy Chargé de Recherche, IRD Sète Directeur scientifique
Daniel Gerdeaux, Directeur de recherche INRA, Thonon-les-Bains Rapporteur
Mireille Harmelin-Vivien, Directeur de recherche CNRS, Marseille Rapporteur
Raymond Lae, Directeur de recherche IRD Brest Examineur



Avant Propos

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'un programme de recherche au sein d'une Unité de Recherche (UR, RAP) de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) basée à Dakar (Sénégal). Ce programme s'intéresse à une problématique générale de caractérisation des "**R**éponses **A**daptatives des **P**oissons face aux pressions de l'environnement" d'où l'intitulé de l'UR, **RAP**. Ce Projet est mené, entre autres, en collaboration avec le département de Biologie Animale de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal)

Ce travail s'est déroulé sur une durée de trois ans et quatre mois avec le soutien financier du Département Soutien et Formation (DSF) de l'IRD de Paris. Cette étude a débuté avec une première année d'inscription à l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar, et par la suite elle a bénéficié en deuxième année, d'une inscription à l'Université Montpellier II en co-tutelle. Les grandes tâches de ce travail ont été réalisées entre deux structures de l'IRD : l'UR RAP de Dakar et le Centre de Recherche Halieutiques Méditerranéennes et Tropicales de Sète.

REMERCIEMENTS

Ces trois années de thèse n'auraient pas pu être réalisées sans l'immense soutien tant professionnel que moral des personnes qui m'ont entourée. Je tiens à remercier sincèrement et chaleureusement sur ces quelques lignes toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Je tiens tout d'abord à remercier **Mr Guy Vidy** encadreur scientifique de ce travail qui a fait preuve d'un soutien moral et professionnel sans faille. Il a initié ma formation à la recherche depuis mon DEA , et a toujours su exprimer sa confiance en moi. Sa rigueur scientifique et ses hautes connaissances en bio-écologie des juvéniles de poissons ont été capitales pour ma carrière scientifique. Guy, votre soutien a dépassé le cadre professionnel, vos encouragements, vos conseils et votre assistance durant les moments difficiles ont été décisifs pour l'aboutissement de ce travail. Je vous serai éternellement reconnaissante. Au passage, je remercie Mme Vidy pour ses fameux "Soupes Kandja"

Je n'aurais pas pu réaliser ce travail sans l'immense soutien de **Mr François Leloc'h** qui a stimulé ma passion pour l'étude des isotopes stables. J'ai particulièrement aimé votre manière de formuler vos corrections par des questions, des discussions. François, j'ai beaucoup appris de vous, je sortais toujours de notre discussion avec la tête pleine d'idées et une motivation de creuser plus loin. Vous me rafraîchissiez souvent la mémoire en m'envoyant toujours de la bibliographie sur les dernières publications. Ses encouragements pendant les moments les plus difficiles m'ont aussi fortement marquée. François, je vous remercie du fond du coeur et je vous souhaite de grands succès dans les hautes sphères de la science.

Je remercie particulièrement **Mr Omar T. Thiaw** co-directeur de cette thèse, tout est parti de vous. Vous êtes le "metteur en scène" de ce travail. Vos qualités humaines et votre sens d'épauler les étudiants sont appréciés. Je vous prie de trouver ici le témoignage de ma haute considération et de ma profonde gratitude

Je suis également très reconnaissante à **Mme Catherine ALIAUME** pour avoir accepté de co-diriger cette thèse. Malgré ses multiples occupations, elle a suivi ce travail avec un grand intérêt. Ses conseils, ses suggestions, son ouverture d'esprit et sa disponibilité ont beaucoup apporté à ce travail.

.

Je remercie sincèrement **Mme Mireille Harmelin-Vivien** et **Mr Daniel Gerdeaux** qui m'ont fait l'honneur d'être rapporteurs de cette thèse, malgré leurs multiples occupations et d'avoir accepté de juger ce travail. Je vous présente mes sincères remerciements.

Je tiens à remercier **Mme Monique Simier** de m'avoir beaucoup aidée dans les traitements statistiques de ce travail. Son soutien matériel et moral a beaucoup contribué à l'aboutissement de ce travail. Je présente mes sincères remerciements particulièrement à **Mr. Raymond Laë**, Directeur de l'UR de m'avoir acceptée dans son unité. Je suis très reconnaissante d'avoir bénéficié des opportunités de son équipe pour la réalisation de ce travail. J'associe à ces remerciements toute l'équipe de l'unité de recherche « RAP »: **Luis Tito De Morais, Jean Dominique Durand, Jean Marc Ecoutin, Jean Raffray, Khady Diop, Claire Bassene, Elise Senghor, Fatou Dième, Ulrich Panzou, Pape Mamadou Sarr et Cheikh N'diaye**, pour leurs aides et leurs encouragements durant mes travaux. Merci également à toute l'équipe du navire de recherche de l'IRD de Dakar, notamment "mon papa" **César Tendeng, Ansu Mané, Pascal Tendeng, François Sanseo** (à toi Sanseo, la femme "wolof" te remercie au passage des longues discussions pendant les moments de détente) et tous les autres pêcheurs sans qui je n'aurais pas eu tout le matériel nécessaire pour réaliser ce travail.

Je souhaiterais remercier chaleureusement **Jacques Panfili** et **Audrey Darnaude** pour avoir accepté d'être membres du comité de pilotage de ma thèse. Leurs remarques et suggestions ont permis à une meilleure orientation de cette thèse.

Je voudrais témoigner ici ma reconnaissance à mon frère **Omar Sadio**, technicien supérieur à l'UR 070 RAP de l'IRD pour son soutien et ses encouragements à la fois au laboratoire et sur le terrain. Omar, ton soutien date depuis ma formation en DEA, tu as été toujours disponible pour partir sur le terrain lors de nos missions.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance à **Jean-Claude Sauvagnargues** et **Philippe Cury**, directeurs respectifs de la station IFREMER et du Centre de Recherche Halieutique Méditerranéenne et Tropicale (CRHMT) de Sète pour m'avoir accueillie au sein de leur structure de recherche et d'avoir permis la réalisation de cette thèse. J'associe à ce remerciement tout le personnel de ces deux structures, chercheurs, techniciens, secrétaires et autres...que j'ai eu à côtoyer durant tous mes séjours. Je souhaite remercier au passage Frédéric Ménard pour ses pertinents conseils sur l'écologie trophique des poissons et l'utilisation des indices alimentaires. Un grand merci à **Ysabelle Chéret et Laurence Vicens** pour la mise en place des séjours réalisés sans oublier mes collègues thésardes du CRH : **Ana Corbineau, Emilie Tew Kai et Emily Walker, Morgane**.

Je remercie également mes collègues doctorants et compagnons de Dakar : **Djibril Faye, Justin Kantoussan, Moussa Gueye, Mbaye Tine, Mamady Gueye, Rose Ka, Modou Thiaw, Carole Escaravage, Bora Musumboko** pour leurs soutiens et leurs encouragements.

Je ne saurais trouver aucun mot pour traduire toute ma reconnaissance à très chère maman **Yaye Ramatoulaye Lawaly**, tu joues à la fois un rôle d'amie, de mère et de conseillère. Ce résultat est le fruit de ton travail

J'adresse mes remerciements à tous mes amis de Montpellier **Helene Marsan Michon, Véronique, Aliou Thiam, Marie Noel, Marie « Christophe », Maman Nicole, Fatou Lawaly, Gamou Fall**, ainsi que tout le personnel de la Station biologique de Sète de m'avoir aidée à surmonter la nostalgie de mon pays et l'éloignement de la famille. Je tiens à remercier du fond du cœur **Helene Marsan Michon** de m'avoir accueillie chez elle en me mettant dans de bonnes conditions avec mon petit, son soutien moral m'a beaucoup marquée, « Dieureuf², **Helene** », je t'oublierai « mouk³ »

Je remercie chaleureusement **ma mère**, tu es à la fois une maman et une complice pour moi, ta leçon « La force d'un individu est de pouvoir surmonter les obstacles de la vie » est bien sue. Je te souhaite longue vie. J'associe à ces remerciements tous mes **frères et sœurs**.

J'adresse ici toute ma reconnaissance à mes oncles et tantes, **Serigne Khadim Mbacké, Serigne Ahma, Sokhna Mai**, mes cousines et sœurs, **Khoudia, Aicha, Assane, Maï seck** pour leurs précieux conseils.

Je remercie tous mes amis **Khady, Youssou, Aliou, Elhadji**, de tous les jours, particulièrement à **Fatou Guèye**, ton assistance pendant les moments difficiles m'a beaucoup frappée, ah oui c'est durant les moments difficiles qu'on reconnaît ses vrais amis.

Ce travail de thèse n'aurait bien entendu pas pu être réalisé sans le soutien précieux de mon adorable époux **Papa Mbissane Cissé**, chéri, ta compréhension, ta tolérance et ton humilité m'ont beaucoup aidée pour aboutir à ce résultat. Je te témoigne ici toute ma reconnaissance pour tous tes sacrifices et pour tout ce que tu as pu endurer durant ces moments d'étude. « Papa », ce travail est également le

² Mot en wolof qui signifie merci

³ Mot en wolof qui signifie jamais

tien. Merci à mon fils **Ousmane**, pour tous les moments de bonheur que tu m'as procurés après des journées de bureau très chargées. Trouvez ici, tous les deux, le témoignage de mon amour éternel. J'associe à ces remerciement tous mes chéris (amis et compagnons de mon mari) sans citer de noms par soucis d'oublier certains pour les moments de détente.

Mes vifs remerciements à toute ma belle famille particulièrement à ma très chère et adorable chérie **Fatou Samb Guèye**, à ma tante et belle sœur **Tata Ndeye Sembène Cissé**, **Tata Khady Sène**, vos conseils ont été décisifs pour bien mener ce travail.

A mon père Saliou **GNING**
et à mon beau frère, ami et père **Modou Faye CISSE**

"Que la Terre vous soit légère"

INTRODUCTION	22
I CONTEXTE SCIENTIFIQUE ET PROBLÉMATIQUE	25
I - 1 Productivité des estuaires	25
I – 2 Ecologie des juvéniles de poissons dans les estuaires	26
I-2 1 Salinité	29
I-2 2 La température.....	30
I-2 3 L’Hydrologie	30
I-2 4 La turbidité	31
I –3 Concept de nurserie estuarienne (« estuarine nursery concept »).....	31
I -4 Dépendance estuarienne	33
I – 5 Problématique et objectifs de l’étude	34
II- ZONE D’ÉTUDE ET DYNAMIQUE DES ESPÈCES CHOISIES	37
II-I Zone d’étude	37
II -1 -1 Cadre géographique et morphologie	37
II -1 -2 Le Climat et les facteurs physico-chimiques.....	38
II-1-2-1 La température de l’eau	39
II-1-2-2 L’évaporation	39
II-1-2-3 La transparence (turbidité).....	40
II-1-2-4 Fonctionnement de l’estuaire et salinité	40
II-1-3 La formation végétale.....	42
II-1-4 Composition faunistique	44
II-1-4-1 Les invertébrés	44
II-1-4-2 Ichthyofaune	45
A) Les catégories bio-écologiques	45
B) Les catégories trophiques.....	46
II -2 Biologie et écologie des espèces choisies.....	47
II -2-1 <i>Eucinostomus melanopterus</i> (Bleeker, 1963)	50
II -2-1 -1 Généralités.....	50
- Taxonomie et morphologie.....	50
- Distribution géographique.....	50
II -2-1 -2 Biologie et écologie	51
- Croissance et reproduction	51
- Alimentation	51
II -2-2 <i>Ethmalosa fimbriata</i> (Bowdich, 1825)	52
II -2-2-1 Généralité	52
- Taxonomie et morphologie.....	52

- Distribution géographique	52
II -2-2-2 Biologie et écologie	52
- Croissance et reproduction	52
- Alimentation	53
II-2-3 <i>Monodactylus sebae</i> (Cuvier, 1829)	54
II-2-3-1 Généralités	54
- Taxonomie et morphologie.....	54
- Distribution géographique	54
II-2-3-2 Biologie et écologie	54
- Croissance et reproduction	54
-Alimentation	55
II-2-4 <i>Sarotherodon melanotheron</i> (Rüppel, 1852).....	55
II-2-4 -1 Généralités	55
- Taxonomie et morphologie.....	55
- Distribution géographique	55
II-2-4-2 Biologie et écologie	56
- Croissance et reproduction	56
- Alimentation	56
III ECOLOGIE ALIMENTAIRE : ANALYSES DES CONTENUS STOMACAUX	58
III-1 Introduction	58
III-2 Matériels et méthodes	58
III-2-1 Stratégie d'échantillonnage	58
III-2-1-1 Stations d'échantillonnage.....	58
III-2-1-2 Périodes et fréquences d'échantillonnage	59
III-2-1-3 Méthode de capture	59
III-2-2 Analyse des contenus stomacaux.....	62
III-2-2-1 Rappel et choix des indices alimentaires.....	62
III-2-2-2 Analyses statistiques	64
III-3 Résultats : Stratégie alimentaire des poissons : approche monospécifique	66
III-3-1 <i>Eucinostomus melanopterus</i>	66
III-3-1-1 Régime alimentaire global.....	66
III-3-1-2 Variation en fonction de la taille	68
III-3-1-3 Variation spatio-temporelle.....	72
III-3-2 <i>Ethmalosa fimbriata</i>	73
III-3-2-1 Régime global.....	73
III-3-2-2 Variation en fonction de la taille	76
III-3-2-3 Variation spatio-temporelle.....	78
III-3-3 <i>Monodactylus sebae</i>	80

III-3-3-1 Régime global.....	80
III-3-3-2 Variation en fonction de la taille	82
III-3-3-3 Variation spatio-temporelle.....	86
III-3-4 <i>Sarotherodon melanotheron</i>	88
III-3-4-1 Régime global.....	88
III-3-4-2 Variation en fonction de la taille	90
III-3-4-3 Variation spatio-temporelle.....	94
IV APPORT DES ISOTOPES STABLES DANS LE RESEAU TROPHIQUE	96
IV-1 Définitions	96
IV-1-1 Rappels sur la structure de l'atome.....	96
IV-1-2 Notion d'isotope	96
IV-1-3 Notion de fractionnement isotopique	97
IV-1-4 Mesure des isotopes stables par spectrométrie de masse.....	97
IV-1-5 Notation et expressions	99
IV-2 Intérêt de la méthode en écologie trophique	99
IV-3 Couplage ^{13}C / ^{12}C et ^{15}N / ^{14}N dans l'étude des relations trophiques	100
IV-4 Différences de signature isotopiques des producteurs primaires	101
IV-5 Matériels et méthodes	102
IV-5-1 Echantillonnage.....	102
A) Période d'échantillonnage.....	102
B) Sites d'échantillonnage	102
C) Protocole d'échantillonnage	103
D) Conditionnement des échantillons.....	105
IV-5-2 Analyses statistiques des données	105
IV-6 Résultats	106
IV-6-1 Evolution des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des juvéniles de poissons le long du gradient de salinité	106
IV-6-1-1 <i>E. melanopterus</i>	106
A) $\delta^{13}\text{C}$	107
B) $\delta^{15}\text{N}$	108
IV-6-1-2 <i>E. fimbriata</i>	109
A) $\delta^{13}\text{C}$	110
B) $\delta^{15}\text{N}$	110
IV-6-1-3 <i>M. sebae</i>	111
A) $\delta^{13}\text{C}$	112
B) $\delta^{15}\text{N}$	112
IV-6-1-4 <i>S. melanotheron</i>	113
A) $\delta^{13}\text{C}$	114
B) $\delta^{15}\text{N}$	114

IV-6-2 Evolution des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des juvéniles entre le début et la fin du recrutement	115
IV-6-2-1 <i>E. melanopterus</i>	115
A) $\delta^{13}\text{C}$	115
B) $\delta^{15}\text{N}$	117
IV-6-2-2 <i>E. fimbriata</i>	118
A) $\delta^{13}\text{C}$	118
B) $\delta^{15}\text{N}$	119
IV-6-2-3 <i>M. sebae</i>	120
A) $\delta^{13}\text{C}$	120
B) $\delta^{15}\text{N}$	121
IV-6-2-4 <i>S. melanothron</i>	122
A) $\delta^{13}\text{C}$	122
B) $\delta^{15}\text{N}$	123
IV-6-3 Conclusion sur les différences de $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des juvéniles entre le début et la fin du recrutement.....	124
IV-6-4 Evolution des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des juvéniles en fonction de la taille.....	124
IV-6-4-1 <i>E. melanopterus</i>	124
IV-6-4-2 <i>E. fimbriata</i>	127
IV-6-4-3 <i>M. sebae</i>	128
IV-6-4-4 <i>S. melanothron</i>	129
IV-6-5 Structure du réseau trophique aboutissant aux jeunes poissons.....	131
IV-6-5-1 Signatures en carbone ($\delta^{13}\text{C}$) et en azote ($\delta^{15}\text{N}$) des sources potentielles de matière organique.....	131
A) La Mangrove.....	131
B) La matière organique particulaire (MOP)	132
C) Le microphytobenthos (MPB).....	134
D) Les huîtres de palétuvier (<i>Crassostrea gasar</i>)	135
IV-6-5-2 Relation trophique et son évolution le long du gradient aval-amont	136
A) En zone aval : Bapindo.....	137
B) En zone intermédiaire: Ndiamniadio	138
C) En zone amont : Badaïe	138
V DISCUSSIONS ET CONCLUSIONS GÉNÉRALES	139
V-1 Régime des juvéniles de poissons par la méthode des contenus stomacaux	139
V-2 Changements ontogéniques du régime alimentaire.....	142
V-3 Variation du régime alimentaire des juvéniles de poissons le long du gradient de salinité en relation avec la présence/absence de la mangrove.....	144
V-4 Différences des sources de carbones entre l'aval et l'amont de l'estuaire du Sine-Saloum	148
V-5 Rôle de la mangrove dans le réseau trophique aboutissant aux juvéniles de poissons	152

V-6 Fluctuation des signatures isotopiques des juvéniles de poissons entre le début et la fin du recrutement.....	153
V-7 Conclusions et perspectives	154

Liste des figures

Figure 1: Les différentes origines du peuplement des juvéniles de poissons dans l'estuaire. A : origine marine, B : origine continentale, C : origine estuarienne, extrait de Whitfield (1998).	28
Figure 2 : L'estuaire du Sine-Saloum ; • localisation des villes environnantes,	38
Figure 3: Variation de la température de l'eau dans l'estuaire du Sine-Saloum de mai en février en 2005 et 2006.....	39
Figure 4: Les valeurs moyennes $\pm$ écart-types de la salinité dans différentes station entre l'aval et l'amont de l'estuaire du Sine-Saloum en 2005 et 2006	41
Figure 5 : Variation spatio-temporelle de la salinité entre le début et la fin des saisons des pluies dans l'estuaire du Sine-Saloum en 2005 (A) et en 2006 (B).	42
Figure 6 : « La vie » au niveau des racines-échasses des <i>Rhizophora</i> (Photo G. Vidy) .	43
Figure 7: Illustrations de l'aspect de la mangrove dans le Sine-Saloum (A) : en aval et (B) : sa disparition en amont	44
Figure 8: Photographies de <i>Eucinostomus melanopterus</i> (A), <i>Ethmalosa fimbriata</i> (B), <i>Monodactylus sebae</i> (C) et <i>Sarotheron melanotheron</i> (D) (photos G. Vidy).....	48
Figure 9: Répartition géographique sur la côte ouest africaine de <i>Eucinostomus melanopterus</i> , <i>Ethmalosa fimbriata</i> , <i>Monodactylus sebae</i> et <i>Sarotherodon melanotheron</i>	49
Figure 10: Représentation schématique de la nasse utilisée	61
Figure 11 : Pose et orientation de la nasse au cours des pêches.....	61
Figure 12: Classification par groupement agglomératif des classes de taille des juvéniles d' <i>Eucinostomus melanopterus</i> en fonction de leur régime alimentaire (abondance relative des proies). La flèche indique la valeur seuil retenu pour l'établissement des groupes	70
Figure 13: Répartition des proies (abondance relative) dans les différentes classes de tailles des juvéniles d' <i>Eucinostomus melanopterus</i> (illustration des proies cf Abréviations).	71
Figure 14: Variation spatio-temporelle du régime alimentaire des juvéniles d' <i>Eucinostomus melanopterus</i> (illustration des proies cf Abréviations). A: Structuration spatiale; B: Distribution des proies; C : Structuration temporelle	73

Figure 15: Classification par groupement agglomératif des classes de taille des juvéniles d' <i>Ethmalosa fimbriata</i> en fonction de leur régime alimentaire (abondance relative des proies). La flèche indique la valeur seuil retenue pour l'établissement des groupes.....	77
Figure 16: Répartition des différentes proies (pourcentage numérique) dans l'alimentation des juvéniles d' <i>Ethmalosa fimbriata</i> de différentes classes de taille (illustration des proies cf abréviation).	78
Figure 17 Variation spatio-temporelle du régime alimentaire des juvéniles d' <i>Ethmalosa fimbriata</i> (abréviation des proies cf Glossaire). A: Variation spatiale; B: Distribution des proies en fonction de la direction des stations; C :Variation temporelle	79
Figure 18 : Classification par groupement agglomératif des classes de taille des juvéniles d' <i>Monodactylus sebae</i> en fonction du régime alimentaire (abondance relative des proies). La flèche indique la valeur seuil retenue pour l'établissement des groupes.....	83
Figure 19: Répartition des proies (pourcentage numérique) dans l'alimentation des juvéniles de <i>Monodactylus sebae</i> des différentes classes de tailles (illustration des proies cf Abréviation).....	85
Figure 20 Variation spatio-temporelle du régime alimentaire des juvéniles de <i>Monodactylus sebae</i> (illustration des proies cf Abréviations) A: Variation spatiale; B: Distribution des proies; C :Variation temporelle	87
Figure 21 : Répartition des classes de taille des juvéniles <i>Sarotherodon melanotheron</i> en fonction de leur régime alimentaire.	91
Figure 22 : Répartition des différentes proies (pourcentage numérique) dans l'alimentation des différentes classes de tailles chez les juvéniles de <i>Sarotherodon melenotherodon</i> . (illustration des proies cf Abréviations)	93
Figure 23 Variation spatio-temporelle du régime alimentaire chez les juvéniles de <i>Sarotherodon melanotheron</i> (illustration des proies cf Abréviations) A: Variation spatiale; B: Distribution des proies; C :Variation temporelle	95
Figure 24 Schéma du spectromètre de masse (AE = Analyseur élémentaire ; SM= spectromètre de masse)	98
Figure 25: Augmentation des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ lors d'une relation trophique.	101
Figure 26: Evolution des rapports isotopiques $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des juvéniles de <i>E. melanopterus</i> le long du gradient de salinité : A (août 2005), B (décembre 2005), C (juillet 2006), D (novembre 2006). Les ellipses en pointillés délimitent les individus appartenant à la même station	108
Figure 27: Evolution des rapports isotopiques des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ le long du gradient de salinité des juvéniles de <i>E. fimbriata</i> : A (août 2005), B (décembre 2005), : C (juillet 2006), D (novembre 2006).....	111

Figure 28: Évolution des rapports isotopiques $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des juvéniles de <i>M. sebae</i> le long du gradient de salinité en 2006: A (juillet), B (novembre).....	112
Figure 29: Evolutions des rapports isotopiques des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des juvéniles de <i>S. melanotheron</i> le long du gradient de salinité : A (août 2005), B (décembre 2005), C (juillet 2006), D (novembre 2006).....	115
Figure 30 : Différences de $\delta^{13}\text{C}$ (Moyenne + écart type) entre le début (juillet-août) et la fin (novembre-décembre) de la saison de recrutement chez les juvéniles de <i>E. melanopterus</i> (Test U, significativité marquée à $p < 0,05$).....	116
Figure 31 Différences de $\delta^{15}\text{N}$ (Moyenne + écart type) entre le début (juillet-août : J-A) et la fin (novembre-décembre : N-D) de la saison de recrutement chez les juvéniles de <i>E. melanopterus</i> , (Test U, significativité marquée à $p < 0,05$).....	117
Figure 32 Différence des $\delta^{13}\text{C}$ (Moyenne + écart type) entre le début (juillet-août : J.A) et la fin (novembre-décembre : N-D) du recrutement chez les juvéniles de <i>E. fimbriata</i> . (Test U, significativité marquée à $p < 0,05$).....	118
Figure 33. Différence des $\delta^{15}\text{N}$ (Moyenne + écart type) entre le début (juillet-août J-A) et la fin (novembre-décembre, N-D) du recrutement chez les juvéniles de <i>E. fimbriata</i> , (Test U, significativité marquée à $p < 0,05$).....	119
Figure 34. Différence des $\delta^{13}\text{C}$ (Moyenne + écart type) entre le début (juillet-août : J-A) et la fin (novembre-décembre : N-D) du recrutement chez les juvéniles de <i>M. sebae</i> (Test U, significativité marquée à $p < 0,05$).....	120
Figure 35 :Différences des $\delta^{15}\text{N}$ (Moyenne + écart type) entre le début (juillet-août : J-A) et la fin (novembre-décembre : N-D) du recrutement chez les juvéniles de <i>M. sebae</i> (Test U, significativité marquée à $p < 0,05$).....	121
Figure 36: Différences des $\delta^{13}\text{C}$ (Moyenne + écart type) entre le début J.A (juillet-août) et la fin N-D (novembre-décembre) du recrutement chez les juvéniles de <i>S. melanotheron</i> . (Test U, significativité marquée à $p < 0,05$).....	122
Figure 37: Différences des $\delta^{15}\text{N}$ (Moyenne + écart type) entre le début J-A (juillet-août) et la fin N-D (novembre-décembre) de la saison de recrutement chez les juvéniles de <i>S. melanotheron</i> (Test U, significativité marquée à $p < 0,05$).....	123
Figure 38: Relation entre le $\delta^{13}\text{C}$ ou le $\delta^{15}\text{N}$ et la taille des individus chez <i>E. melanopterus</i> en 2005.....	125
Figure 39: Relation (régression linéaire) entre le $\delta^{13}\text{C}$ ou $\delta^{15}\text{N}$ et la taille des individus chez <i>E. melanopterus</i> en 2006.....	126
Figure 40: Relation (régression linéaire) entre le $\delta^{13}\text{C}$ ou le $\delta^{15}\text{N}$ et la taille des individus chez <i>E. fimbriata</i> en 2006.....	127
Figure 41: Relation (régression linéaire) entre le $\delta^{13}\text{C}$ ou le $\delta^{15}\text{N}$ et la taille des individus chez <i>M. sebae</i> à Bapindo en 2005.....	128
Figure 42 Relation (régression linéaire) entre le $\delta^{13}\text{C}$ ou le $\delta^{15}\text{N}$ et la taille des individus chez <i>M. sebae</i> en 2006.....	129

Figure 43: Relation (régression linéaire) entre le $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ et la taille des individus de <i>S. melanotheron</i> en 2005	130
Figure 44: Relation (régression linéaire) entre le $\delta^{13}\text{C}$ ou $\delta^{15}\text{N}$ et la taille des individus de <i>S. melanotheron</i> en 2006	131
Figure 45: Valeurs moyennes et écart-type des $\delta^{13}\text{C}$ de la MOP au niveau des différentes stations en A (juillet) et en B (novembre). Les mêmes lettres près de chaque moyenne indiquent l'absence de différence significative (test Kruskal Wallis $p > 0,05$).	133
Figure 46: Valeurs moyennes et écart-type des $\delta^{15}\text{N}$ de la MOP au niveau des différentes stations en A (juillet) et en B (novembre). (test Kruskal Wallis $p > 0,05$; les mêmes lettres indiquent l'absence de différence significative).	134
Figure 47: Signatures isotopiques en carbone ($\delta^{13}\text{C}$) des huîtres, de la matière organique particulaire et de la mangrove à Bapindo et à Ndiamniadio en Juillet (A) et en Novembre (B).....	135
Figure 48: Signatures isotopiques en azote ($\delta^{15}\text{N}$) des huîtres, de la matière organique particulaire et de la mangrove à Bapindo et à Ndiamniadio en Juillet (A) et en Novembre (B).....	136
Figure 49: Structure trophique et son évolution le long du gradient de salinité. (Δ) Producteurs primaires ; ($\times$) invertébrés; ($\blacksquare$) Juvéniles poissons. MOP = matière organique particulaire, MPB=Microphytonbenthos.....	137
Figure 50: Schéma synthétique de la variation du régime alimentaire des juvéniles de <i>d'E. melanopterus</i> , <i>d'E. fimbriata</i> de <i>M. sebae</i> et de <i>S. melanotheron</i> le long du gradient de salinité dans le Sine-Saloum	147
Figure 51: Rapport C/N de la mangrove et de la matière organique particulaire MOP le long du gradient de salinité en juillet (A) et en novembre (B).....	149

Liste des Tableaux

Tableau 1: Déficit pluviométrique théorique au Sine-Saloum (1971-1981), d'après Diouf (1996).	40
Tableau 2: Récapitulation des dates et fréquences d'échantillonnages	59
Tableau 3 : Répartition par classe de taille des juvéniles de <i>Eucinostomus melanopterus</i> étudiés.....	66
Tableau 4: Régime alimentaire global des juvéniles d' <i>Eucinostomus melanopterus</i> (tailles comprises entre 10-110mm (LF). No = nombre d'occurrences des proies	

%F = fréquence d'occurrence; Ni = nombre de proies ; %N = pourcentage numérique.....68

Tableau 5: Indice de similarité Horn-Morisita entre les différentes classes de taille (mm) des juvéniles d'*Eucinostomus melanopterus*. Significativité surlignée en rouge à $I_{mh} > 0,6$70

Tableau 6 : Répartition par classe de taille des juvéniles d'*Ethmalosa fimbriata* étudiés74

Tableau 7: Régime alimentaire global des juvéniles d'*Ethmalosa fimbriata* (taille comprise entre 25 et 97 mm). No = nombre d'occurrence des proies %F = fréquence d'occurrence; Ni = nombre de proies ; %N = pourcentage numérique.75

Tableau 8: Indice de similarité Horn-Morisita entre les classes de tailles (mm) des juvéniles d'*E. fimbriata*. Significativité surlignée en rouge à $I_{mh} > 0,6$ 77

Tableau 9 : Répartition par classe de taille des juvéniles de *Monodactylus sebae* étudiés80

Tableau 10: Régime alimentaire global des juvéniles de *Monodactylus sebae* ($18 < LF < 111$ mm). No = nombre d'occurrence des proies %F = fréquence d'occurrence; Ni = nombre de proies ; %N = abondance relative.81

Tableau 11: Indice de similarité Horn-Morisita entre les classes de tailles (mm) des juvéniles de *Monodactylus sebae*. Significativité surlignée en rouge à $I_{mh} > 0,6$84

Tableau 12 : Répartition des juvéniles de *Sarotheron melanotheron* étudiés par classe de taille.....88

Tableau 13: Régime alimentaire global des juvéniles de *Sarotherodon melanotheron* (taille comprise entre 13 et 126 mm). No = nombre d'occurrence des proies %F = fréquence d'occurrence; Ni = nombre de proies ; %N = pourcentage numérique.89

Tableau 14: Indice de similarité Horn-Morisita entre différentes classes de tailles (mm) des juvéniles de *Sarotherodon melanotheron*. Significativité surlignée en rouge à $I_{mh} > 0,6$92

Tableau 15: Rapports isotopique des références internationales d'après Fry (2006). .99

Tableau 16: Gammes des ratios (‰) des isotopes du carbone et de l'azote des principaux producteurs primaires terrestres et marins d'après Ostrom et Fry (1993).....102

Tableau 17 : Récapitulatif de l'échantillonnage des poissons destinés à l'analyse des isotopes stables : T= Taille (minimum-maximum) ; n= nombre d'individu échantillonnés103

Tableau 18: Proies et sources potentielles de nourritures, J = juillet ; N = novembre; n= nombre d'échantillons analysés104

Tableau 19: Valeurs moyennes et écart-type des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des juvéniles de *E. melanopterus* dans les différentes stations en 2005, n= nombre d'individus; U= Test

U de Mann-Whitney (significativité marquée à $p < 0,05$, s = significatif, ns = non significatif). 106

Tableau 20: Valeurs moyennes et écart-type des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des juvéniles de *E. melanopterus* dans les différentes stations en 2005, n= nombre d'individus; KW= Test de Kruskal Wallis (significativité marquée à $p < 0,05$, s = significatif, ns = non significatif), Bonf= Test Bonferroni (les mêmes lettres indiquent l'absence de différence significative)..... 107

Tableau 21 : Valeurs moyennes et écart-type des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des juvéniles de *E. fimbriata* dans les différentes stations en 2005, n= nombre d'individus; KW/U= Test de Kruskal Wallis/ ou Test U de Mann-Whitney (significativité marquée à $p < 0,05$, s = significatif, ns = non significatif), Bonf= Test Bonferroni (les mêmes lettres indiquent l'absence de différence significative). 109

Tableau 22 : Valeurs moyennes et écart-type des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des juvéniles de *E. fimbriata* dans les différentes stations en 2006, n= nombre d'individus; KW/U= Test de Kruskal Wallis/ ou Test U de Mann-Whitney (significativité marquée à $p < 0,05$, s = significatif, ns = non significatif), Bonf= Test Bonferroni (les mêmes lettres indiquent l'absence de différence significative 109

Tableau 23 : Valeurs moyennes et écart-type des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des juvéniles de *M. sebae* dans les différentes stations en 2006, n= nombre d'individus; U= Test U de Mann-Whitney (significativité marquée à $p < 0,05$, s = significatif, ns = non significatif) 111

Tableau 24 : Valeurs moyennes et écart-type des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des juvéniles de *S. melanotheron* dans les différentes stations en 2005, n= nombre d'individus; U= Test U de Mann-Whitney (significativité marquée à $p < 0,05$, s = significatif, ns = non significatif) 113

Tableau 25 : Valeurs moyennes et écart-type des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des juvéniles de *S. melanotheron* dans les différentes stations en 2006, n= nombre d'individus; KW/U= Test de Kruskal Wallis/ ou Test U de Mann-Whitney (significativité marquée à $p < 0,05$, s = significatif, ns = non significatif), Bonf= Test Bonferroni (les mêmes lettres indiquent l'absence de différence significative) 113

Tableau 26: Régression linéaire entre $\delta^{13}\text{C}$ ou $\delta^{15}\text{N}$ et la taille des individus chez *E. melanopterus* en 2005..... 125

Tableau 27: Régression linéaire entre $\delta^{13}\text{C}$ ou $\delta^{15}\text{N}$ et la taille des individus chez *E. melanopterus* en 2006, (la significativité de la relation est marquée en gras à $p < 0,05$)..... 127

Tableau 28: Régression linéaire entre $\delta^{13}\text{C}$ ou $\delta^{15}\text{N}$ et la taille des individus chez *E. fimbriata* (la significativité de la relation est marquée en gras à $p < 0,05$)..... 128

Tableau 29: Valeurs r^2 et p de la relation (régression linéaire) entre $\delta^{13}\text{C}$ ou $\delta^{15}\text{N}$ et la taille des individus chez *M. sebae* en 2005, (la significativité de la relation est marquée en gras à $p < 0,05$)..... 129

Tableau 30: Régression linéaire entre $\delta^{13}\text{C}$ ou $\delta^{15}\text{N}$ et la taille des individus chez *M. sebae* en 2006. (la significativité de la relation est marquée en gras à $p < 0,05$)..... 129

Tableau 31: Régression linéaire entre $\delta^{13}\text{C}$ ou $\delta^{15}\text{N}$ et la taille des individus chez *S. melanotheron* en 2005 (la significativité de la relation est marquée en gras à $p < 0,05$) 130

Tableau 32: Régression linéaire entre $\delta^{13}\text{C}$ ou $\delta^{15}\text{N}$ et la taille des individus chez *S. melanotheron* en 2006 (la significativité de la relation est marquée à $P < 0,05$) 131

Tableau 33: Signatures en carbone ($\delta^{13}\text{C}\text{‰}$) et en azote ($\delta^{15}\text{N}\text{‰}$) (moyenne $\pm$ écart type) des sources potentielles de matière organique échantillonnées. MOP = matière organique particulaire en 2006...... 132

Tableau 34 : Comparaison des signatures isotopiques de la mangrove et de la MOP: (test U; significativité marquée en gras à $p < 0,05$). 132

Abréviations

Cop	Copépodes
Ost	Ostracodes
Amp	Amphipodes
Iso	Isopodes
Mys	Mysidacés
Eup	Euphausiacés
Cre	Autres crevettes
LvCra	Larves de crabes
LvD	Autres larves de décapodes
JvCra	Juvéniles de crabes
JvGa	Juvéniles de gastéropodes
Biv	Bivalves
Chit	Chiton
LvIns	Larve d'insecte

Ins	Insecte
Asc	Ascidies
Siph	Siphonophores
AnPo	Annélides polychètes
LvPo	Larve de poisson
JvPo	Juvénile de poisson
EcPo	Ecaille de poisson
Diat	Diatomées
DAlg	Débris d'algues
DVg	Débris de végétaux supérieurs
Ind	Indéterminés

Glossaire

Bolong: appellation locale des bras de mer

Écophase: Correspond à un stade de développement où l'espèce vit dans le même biotope

Évolution ontogénique: Évolution du régime alimentaire au cours de la croissance

Hypersalinité: Situation où la salinité de l'eau est supérieure à 60 (<http://www.answers.com/topic/salinity>)

Juvénile: Stade de développement qui s'étend des postlarves jusqu'à l'acquisition de la maturité sexuelle.

Mangrove: formation végétale constituée de plantes vasculaires caractéristiques appelées les palétuviers qui colonisent les amas de terre intertidaux marins ou fluviaux des côtes tropicales.

Nurserie: milieu où les jeunes poissons se nourrissent, trouvent des conditions environnementales favorables à leur croissance et peuvent se protéger de la prédation.

Périphyton: Couverture biologique constituée d'organismes animal et végétal qui vivent fixée ou non sur les racines des palétuviers

Recrutement: entrée des juvéniles dans le peuplement estuarien par migration ou par éclosion

Tanne: sols dépourvus de mangrove et périodiquement inondés

INTRODUCTION

Les changements climatiques qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale, viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat et se ressentent déjà sur toute la planète. Ainsi, les rapports du GIEC en 2007 ont montré que la température moyenne de l'air sur la planète a augmenté de 0,74°C au cours des cent dernières années (1906-2005) et les effets se sont ressentis à l'échelle des continents, des régions et des bassins océaniques.

Les écosystèmes naturels sont très vulnérables aux changements climatiques et les perturbations varient selon l'emplacement géographique, les conditions sociales, économiques et environnementales des milieux. Dans les milieux intertropicaux, les effets se traduisent par une augmentation des fréquences de sécheresses et une réduction des apports en eau douce ce qui entraîne des modifications physico-chimiques importantes du milieu (température, salinité... Ces modifications ont des effets directs ou indirects sur les organismes aquatiques eux-mêmes qui doivent s'adapter.

Les écosystèmes estuariens sont nombreux le long du littoral de l'Afrique de l'Ouest et occupent une place importante dans les recherches hydrobiologiques en Afrique (Albaret et Diouf, 1994; Blaber *et al.*, 2000; Vidy, 2000 ; Strydom *et al.*, 2003, Watt-Pringle et Strydom, 2003....). Ils possèdent un peuplement ichtyologique très complexe résultant d'une combinaison d'espèces d'eaux douce et marine (Jaureguizar *et al.*, 2004). Une grande partie des études sont orientées sur le peuplement ichtyologique, sa composition (Albaret, 1994), sa structure (Jaureguizar *et al.* 2004), sa distribution (Whitfield, 1998) et sa biologie (Blaber *et al.*, 1998 ; Panfili *et al.*, 2004 a et b). Les milieux estuariens ont un intérêt économique considérable lié au développement des activités humaines (pêche, aménagements hydro-agricoles, aquaculture, tourisme etc...), mais aussi un intérêt scientifique remarquable lié à leur complexité morphologique et leurs multiples fonctions bio-écologiques. De ce fait, les estuaires remplissent pour l'ichtyofaune, un certain nombre de fonctions vitales pour le bon déroulement de leurs cycles biologiques (Albaret, 1994). De nombreuses espèces de poissons présentent ainsi une écophase qui leur impose de séjourner dans ces milieux. Ces écosystèmes sont depuis longtemps considérés comme des zones de nursery (Day *et al.*, 1989; Albaret et Diouf, 1994; Blaber *et al.*, 2000; Vidy, 2000; Laegdsgaard et Johnson, 2001; Baldo et Drake, 2002; Smith et Parrish, 2002; Le Pape *et al.*, 2003; Ikejima *et al.*, 2003; Lazzari *et al.*, 2003) et abritent les formes juvéniles de nombreuses espèces côtières. Ils représentent des zones de passage pour les larves (Watt-Pringle et Strydom, 2003) et les juvéniles de poissons (Blaber et Blaber, 1980) entre leur recrutement et leur maturité. Ces milieux estuariens

sont également le siège d'une importante activité de reproduction pour de nombreuses espèces de poissons et particulièrement les espèces exploitées par la pêche artisanale côtière.

L'augmentation de la population qu'a connu l'Afrique durant ces dernières décennies (environ 20 millions par an, http://www.intellego.fr/soutien-scolaire-5eme/aide-scolaire-Geographie/2_La-population-africaine/22137) a entraîné un accroissement des besoins alimentaires et par la même, une pression plus forte sur les écosystèmes estuariens. Ces milieux font l'objet de pressions liées aux méthodes modernes d'exploitation des ressources vivantes et minérales, au développement du tourisme, à l'urbanisation et à la construction de ports et de zones industrielles. Ces différentes activités avec les perturbations dues aux changements climatiques constituent les principales menaces pour la diversité biologique des zones estuariennes en Afrique de l'Ouest.

Face à cette situation, les scientifiques et les décideurs politiques mènent des actions conjointes visant à préserver et à restaurer la composition, la structure et la fonction des écosystèmes dans un but de gestion durable.

Le Sine-Saloum (Sénégal) appartient à la catégorie des estuaires dits inverses caractérisés par un gradient de salinité aval-amont positif, une prédominance des eaux marines liée à la faible pente, une insuffisance d'apports continentaux et des pertes considérables par évaporation (Albaret et Diouf, 1994). Le Sine-Saloum présente, en amont, une situation hyperhaline extrême avec des valeurs de salinité qui atteignent (parfois dépassent) quatre fois celles de la mer. La salinité est, dans cet estuaire, le facteur très largement dominant dans le contrôle des peuplements de poissons à la fois de manière directe par son impact sur la biologie et la physiologie des espèces (Panfili *et al.*, 2004 a et b) et de manière indirecte en modifiant les flux trophiques en particulier ceux liés à la mangrove (Thollot *et al.*, 1999 ; Moore *et al.*, 2004).

Malgré une présence importante des juvéniles de poissons dans l'estuaire, les études concernant leur comportement trophique sont très limitées (Vidy, 2000; Gning *et al.*, 2008). A l'heure actuelle, en dépit de connaissances générales de régime alimentaire chez les poissons juvéniles, les relations trophiques en relation avec la présence de la mangrove n'ont jamais été abordées dans ce milieu. Le fonctionnement trophique de l'estuaire et la variabilité des ressources nutritionnelles face au stress environnemental sont abordés dans ce travail en adoptant deux approches : la méthode classique d'analyse des contenus stomacaux et la technique plus récente d'analyse des isotopes stables : Ce travail s'articule sur cinq parties :

- Dans la première partie, nous abordons le contexte général et la problématique. A ce niveau nous exposons successivement la productivité des estuaires, l'écologie des juvéniles de poissons dans les milieux estuariens (en énumérant les effets des paramètres environnementaux sur l'écologie des

juvéniles de poisson), la notion de nurserie estuarienne et celle de dépendance-estuarienne. En fin les questions relatives à cette étude sont développées par la suite.

- La deuxième partie concerne l'étude du milieu et les espèces choisies. Dans cette partie nous présentons le milieu : situation géographique, caractéristiques phyco-chimiques, mode de fonctionnement et composition de la faune et de la flore, puis les espèces (généralités , biologie et écologie).

-Dans la troisième partie est abordée l'écologie alimentaire des juvéniles poissons par la méthode d'analyse des contenus stomacaux. Les objectifs de ce chapitre sont dans un premier temps de caractériser les proies exploitées par les juvéniles des espèces de poissons dans un second temps de mettre en évidence l'évolution de l'alimentation en fonction de la taille des individus, et enfin d'analyser la variation de l'alimentation en fonction de l'espace et des périodes d'échantillonnage..

-La quatrième partie concerne l'apport des isotopes stables dans l'étude du réseau trophique des juvéniles de poissons : les objectifs de cette partie sont d'analyser successivement, les variations des signatures isotopiques en carbone et en azote des juvéniles de poissons le long du gradient de salinité, et l'évolution de ces signatures entre le début et la fin de la saison de recrutement. Dans cette partie, nous avons tenté de trouver une relation entre signature isotopique et taille des individus. Enfin le dernier point de cette partie concerne l'identification des sources de carbone exploitées par les juvéniles de poissons et l'évolution de la structure trophique le long du gradient de salinité.

Dans la cinquième partie, une discussion et conclusion générale sont présentées où nous discutons des points importants des résultats de ce travail en répondant aux différentes questions visées dans la problématique.

I CONTEXTE SCIENTIFIQUE ET PROBLÉMATIQUE

I - 1 Productivité des estuaires

Plusieurs définitions de l'estuaire ont été données, nous retiendrons celle de Pritchard, (1967), très générale, selon laquelle « *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* ». Les estuaires sont définis donc comme étant des masses d'eau côtières partiellement fermées formant un lien entre le domaine marin et les milieux dulçaquicoles. Ces systèmes sont physiquement et écologiquement dynamiques. Leur structure et leur fonctionnement dépendent de la balance entre les influences marines (marée, courant littoral, houle) et continentales (courant, entrée d'eau douce et de sédiments). Cette balance permet de définir un continuum de structure allant des lagunes, caractérisées par une prédominance des influences marines, aux deltas où les influences continentales prédominent. Au sens strict du terme, l'estuaire correspond à la portion entre deux formations extrêmes où les influences marines et continentales sont en équilibres.

Les estuaires tropicaux notamment ceux pourvus de mangrove sont extrêmement riches et productifs (Day et Yanez-Arancibia, 1985; Horn et Allen, 1985; Day *et al.*, 1989; Elliott *et al.*, 2002). Les communautés animales composées d'espèces à croissance rapide et l'importance de la biomasse présente, font que ces estuaires sont des milieux à haute productivité :

- Les estuaires sont caractérisés par une abondance de producteurs primaires (Day et Yanez-Arancibia, 1985; De Sylva, 1985; Day *et al.*, 1989). Le phytoplancton, les détritus organiques provenant principalement des palétuviers (Thollot *et al.*, 1999), les feuilles des palétuviers sous forme de litière en décomposition, sont consommés par les poissons (Odum et Heald, 1975). Cette diversité de producteurs primaires qui sont à la base des chaînes trophiques, entraîne une forte attraction des consommateurs de premier ordre, de second ordre et d'ordre supérieur. En général, les chaînes alimentaires dans les estuaires sont courtes. Cela constitue un des facteurs favorables à la productivité des estuaires (Horn et Allen, 1985).

- Les estuaires disposent de ressources nutritives en abondance, car ils reçoivent des apports d'éléments nutritifs par les eaux de ruissellement, les eaux fluviales et marines (Day *et al.*, 1989). La reminéralisation de la matière organique issue principalement de la végétation des rives et des herbiers fournit une quantité non négligeable de nutriments (Thollot, 1992). Le zooplancton très diversifié (Day *et al.*, 1989) est une ressource très importante pour les peuplements estuariens, notamment les juvéniles.

- Les estuaires sont caractérisés par une diversité d'habitats hébergeant d'importantes populations de jeunes poissons. Une grande partie des larves et des juvéniles s'abritent dans les eaux peu profondes. Ces milieux sont aussi des zones de frayères pour certaines espèces et sont écologiquement favorables au développement des œufs et des larves (Albaret et Diouf, 1994).

I – 2 Ecologie des juvéniles de poissons dans les estuaires

Les estuaires tropicaux, notamment ceux auxquels la mangrove est associée, jouent un rôle important dans la vie des poissons (Day et Yanez-Arancibia, 1985; Day *et al*, 1989; Elliott *et al.*, 2002; etc.). De par leur positionnement entre la mer et les eaux continentales, leurs actions se situent à plusieurs échelles. Parmi ces fonctions, il faut noter le rôle primordial joué par les habitats côtiers pour le renouvellement d'une "proportion" conséquente des ressources halieutiques. Pour les espèces concernées, ces écosystèmes jouent un rôle extrêmement important voire indispensable à l'accomplissement du cycle biologique (Day *et al*, 1989, Whitfield, 1999). Les peuplements de poissons des estuaires Sud africains étudiés par Whitfield, (1998) montrent une dominance des espèces d'origine marine qui comptent 50 familles parmi les 53 recensées. Dans les estuaires, hyperhalins de la Casamance et du Sine-Saloum, les espèces marines et estuariennes à affinité marine contribuent pour 75% à la richesse spécifique globale et constituent 79% de la biomasse (Diouf, 1996).

De nombreuses études menées dans les écosystèmes estuariens ont mentionné l'abondance des larves et jeunes poissons (Day *et al*, 1989 ; Whitfield, 1998 ; Thollot, 1992; Vidy, 2000; Laegdsgaard et Johnson, 2001; Elliott *et al.*, 2002). Ces milieux abritent de façon temporaire ou permanente les formes juvéniles de plusieurs espèces de poissons. En effet, des travaux ont été menés par plusieurs auteurs afin d'évaluer les populations de larves et de jeunes poissons vivant dans ces écosystèmes:

- Wallace et Van der Elst, (1975) ont montré que les individus des différentes espèces de Carangidés (*Caranx ignobilis*, *C. melampygrus* et *C. papuensis*) récoltées dans l'estuaire de « Natal » en Afrique du Sud sont tous immatures, alors que la reproduction a lieu en mer. Des juvéniles de ces mêmes espèces de Carangidés ont été trouvés dans les estuaires d'Hawaïi par Smith et Parrish (2002), alors que les adultes vivent en mer.

- Johannes (1978) a précisé que les larves d'espèces de Lutjanidés s'abritent dans les milieux estuariens peu profonds, alors que les adultes vivent sur les pentes récifales externes où ils se reproduisent.

- Les travaux de Vidy (2000) dans l'estuaire du Sine-Saloum, ont montré que les juvéniles des poissons sont très abondants à la fin de la saison des pluies. Selon Simier *et al.* (2004) durant cette période, l'abondance des poissons adultes est réduite car la plupart sont en mer pour se

reproduire. Ces espèces sont ainsi présentes dans les estuaires depuis leur arrivée comme larves ou juvéniles jusqu'à leur maturité sexuelle. Selon Smith et Parrish (2002), l'utilisation des estuaires comme habitat par les juvéniles de certaines espèces de poissons semble être limitée dans le temps et dans l'espace.

Le recrutement³ de jeunes poissons dans les estuaires se fait à partir de trois origines distinctes:

- 1) Les formes juvéniles d'espèces marines (Figure 1A) : après reproduction et développement larvaires en mer, les juvéniles arrivent dans l'estuaire et y résident jusqu'à leur maturité ensuite ils retournent en mer ;
- 2) Les formes juvéniles d'espèces continentales (Figure 1B) avec reproduction et développement larvaires en milieu continental, les juvéniles arrivent dans l'estuaire et y résident jusqu'à l'âge de maturité;
- 3) Les formes juvéniles des espèces qui s'y reproduisent obligatoirement (Figure 1C), régulièrement ou occasionnellement.

³ On entend par recrutement l'arrivée des larves et juvéniles de poissons dans l'estuaire

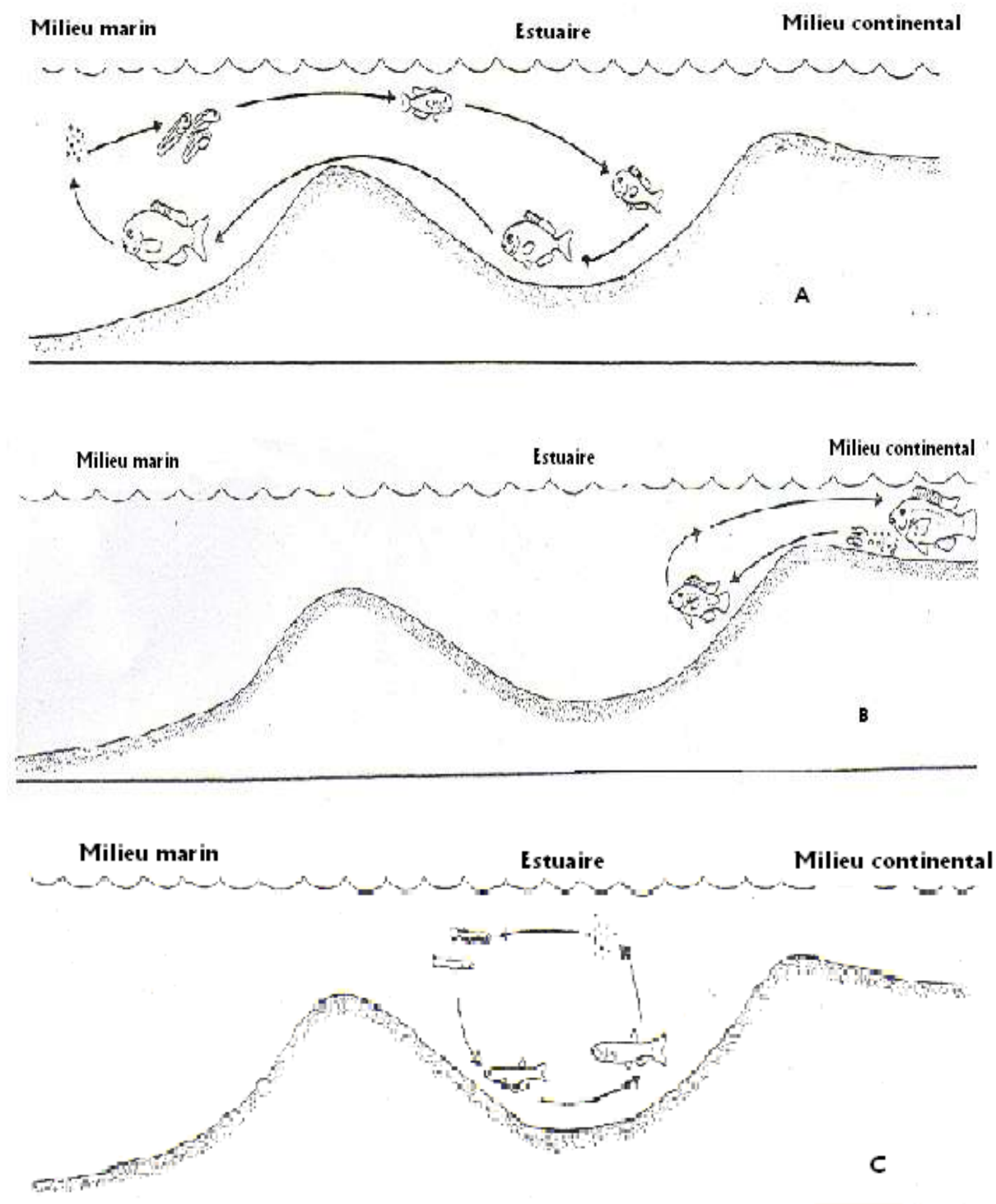


Figure 1: Les différentes origines du peuplement des juvéniles de poissons dans l'estuaire. A : origine marine, B : origine continentale, C : origine estuarienne, extrait de Whitfield (1998).

L'abondance et les tailles des juvéniles lors de leur recrutement varient selon les espèces. Whitfield (1998) estime que 315 000 poissons aux stades larvaires et postlarvaires entrent dans l'estuaire de Swartvlei en Afrique du Sud sur une période de 24h. La taille des individus recrutés est comprise entre 10 et 30 mm.

La migration des larves et juvéniles de poissons vers ces écosystèmes s'effectue généralement par transport passif et sélectif par les courants de marée (Day *et al.*, 1989; Whitfield, 1998 ; Elliott *et al.*, 2002). Les larves et juvéniles d'espèces d'origine marines entrent dans l'estuaire durant le flot pendant le crépuscule (période pendant laquelle la pression de prédation est faible par rapport à la journée) et sont rapidement retenus le long des berges ou dans les zones profondes où les courants de marée sont réduits (Whitfield, 1998).

Les paramètres environnementaux jouent un rôle important dans le processus de recrutement des juvéniles de poissons dans l'estuaire. Les aptitudes éco-physiologiques propres à cette écophase ainsi que la capacité biotique du milieu (les disponibilités trophiques en particulier) doivent être pris en compte dans ce processus.

I-2 1 Salinité

La salinité dépend essentiellement de la balance entre les apports d'eaux d'origine marine et d'origine continentale. La salinité est un des principaux facteurs influençant la migration et la dynamique des poissons (Day *et al.*, 1989 ; Debenay *et al.*, 1989 ; Albaret, 1999). Une particularité des espèces estuariennes ou à affinité estuarienne est leur euryhalinité qui leur permet de s'adapter à d'importantes variations de salinité. Cette variation de salinité se répercute sur la composition et l'abondance de l'ichtyofaune recrutée. Par conséquent, les espèces estuariennes strictes et celles d'origine continentale sont plus adaptées aux conditions oligohalines et dominent pendant les périodes de basse salinité, leurs œufs et leurs larves peuvent également s'y développer (Whitfield, 1989). Au contraire, les espèces d'origine marine s'adaptent plus aux conditions hyperhalines, les œufs et les larves parviennent à y survivre. Certains auteurs ont évoqué le fait que les jeunes poissons s'adaptent mieux aux faibles qu'aux fortes salinités et ce sont généralement les faibles salinités qui les guideraient vers ces milieux (Hughes, 1969 ; Young et Carpenter, 1977). D'autres (Bennett *et al.*, 1985) affirment que les juvéniles de poissons tolèrent plus que les adultes et les subadultes les faibles salinités car les poissons morts enregistrés du fait des basses salinités au cours de leur études, étaient tous des adultes. Ces propositions méritent d'être discutées, car dans les estuaires du Sine-Saloum et de la Casamance où la salinité peut atteindre plus de 100, la présence voire l'abondance des juvéniles de poissons ne peut pas être liée à la faible salinité.

Toutefois, les juvéniles de la plupart des espèces tolèrent difficilement une salinité supérieure à 60 (Whitfield, 1998).

Les travaux de Wallace et Van der Elst (1975) dans un estuaire sud africain, ont montré qu'il existe une corrélation négative entre la richesse spécifique des poissons recrutés et la salinité. Selon ces auteurs, l'abondance est aussi affectée et elle est deux fois plus élevée à des salinités de moins de 20 par rapport aux salinités de 50. Cette réduction est généralement liée aux capacités d'osmorégulation des espèces (Panfili *et al.*, 2004 a, b) car toutes ne possèdent pas cette aptitude.

I-2 2 La température

La température influence la survie des larves et postlarves par son effet d'accélération ou de ralentissement du métabolisme. Il a été démontré que les juvéniles de poissons ont des températures optimales de survie, c'est le cas pour *Sarotherodon melanotheron* dont les juvéniles ont une température optimale d'environ 23°C (Guèye, 2006). La croissance rapide des juvéniles est favorisée non seulement par l'abondance des ressources alimentaires mais aussi par les températures relativement élevées (Potter *et al.*, 1990). La température agit en synergie avec la salinité dans ces milieux estuariens. La combinaison des faibles salinités et températures basses entraînent de fortes mortalités liées généralement à un échec de l'osmorégulation (Whitfield, 1988). Blaber et Whitfield (1976) au cours de leur étude ont recensé plus de 100 000 individus appartenant à 11 espèces, morts dans des conditions associant salinité inférieure à 3 et de température inférieure à 14°C. Généralement les juvéniles de poissons se déplacent vers les zones plus profondes pour échapper aux conditions extrêmes de températures,.

I-2 3 L'Hydrologie

Le mouvement de l'eau joue un rôle important à plusieurs niveaux dans le processus de recrutement des juvéniles dans les milieux estuariens ou lagunaires. Le courant assure directement non seulement le transport des larves et juvéniles de poissons (Day *et al.*, 1989) mais aussi les apports de sels nutritifs et de matières organiques assurant leur maintien et leur survie. Yanez – Arancibia *et al.* (1985a), dans le Golfe du Mexique ont montré que la production des poissons dans de nombreux estuaires de la région était corrélée positivement aux apports fluviaux. Selon ces auteurs, l'état du recrutement et la productivité des estuaires dépendent du degré d'interaction écologique entre ces milieux et leurs cours d'eaux adjacents. Par ailleurs, le séjour prolongé des eaux douces peut avoir des effets néfastes sur le recrutement des espèces surtout celles d'origine marine et strictement estuariennes (Whitfield, 1994a). A l'inverse, l'intrusion des eaux d'origine

marine, comme dans le cas du Sine-Saloum, réduit ou même empêche la présence des espèces d'origine continentale (Albaret, 1999).

De façon indirecte, l'hydrologie favorise l'arrivée des juvéniles en affectant toutes les propriétés chimiques (Whitfield, 1989) de l'eau, notamment la diffusion des signaux olfactifs. Les poissons possèdent un odorat très développé et il est possible que la libération de « phéromones » par ceux qui sont déjà dans l'estuaire puisse être détectée par les individus de la même espèce se trouvant dans les zones côtières voisines

I-2 4 La turbidité

La turbidité est un facteur important influençant la distribution et le recrutement des juvéniles de poissons. Son action sur les peuplements de poissons des milieux estuariens a été signalée par plusieurs auteurs (Cyrus et Blaber, 1987 a, b et c, Baran, 1995 ; Diouf, 1996). La turbidité peut refléter la richesse trophique du milieu car elle peut être liée soit à la teneur en phytoplancton et en matière organique, soit au sédiment en suspension. Dans le premier cas, elle peut indiquer une abondance du zooplancton qui constitue la source principale de nourriture des larves de jeunes poissons (Blaber et Blaber, 1980). Selon ces auteurs, l'existence d'un gradient positif de turbidité de la mer vers l'estuaire favorise le recrutement des juvéniles de poissons dans l'estuaire.

Les eaux turbides procurent aux jeunes poissons une protection contre les prédateurs, en réduisant considérablement l'efficacité des ichthyophages chassant à vue (Werner *et al.*, 1983; Gregory, 1993). Dans ce cas, elle favorise le développement des biomasses importantes de jeunes poissons.

A l'inverse,. Il a été montré qu'une turbidité importante a un effet négatif sur la survie des œufs de poisson, sur l'éclosion, sur l'accès aux ressources nutritives, sur le taux de croissance et la taille des individus (Whitfield, 1989), mais également sur les branchies des poissons filtreurs (Charles-Dominique, 1982).

I-3 Concept de nurserie estuarienne (« estuarine nursery concept »)

Le séjour temporaire d'espèces marines ou dulciçoles au stade juvénile dans les milieux estuariens riches et productifs a conduit au concept de nurserie estuarienne pour mettre en relief le rôle important que jouent ces milieux dans le cycle de vie des ces espèces. Ce concept suscite beaucoup de débats car il repose sur l'observation dans ces milieux d'importantes quantités de larves et de juvéniles (Wallace et Van der Elst, 1975, Day *et al*, 1989 ; Thollot, 1992, Laegdsgaard

et Johnson, 2001; Nagelkerken *et al.* 2002; Lazzari *et al.*, 2003). Beaucoup de travaux ont été menés dans le but d'identifier ces zones qualifiées de **nurseries**, certains parlent de nourriceries stuariennes, ce qui peut apparaître comme une référence aux seules disponibilités alimentaires (Wallace et Van der Elst, 1975, Miller et Reed, 1982). Selon ces auteurs, l'arrivée des poissons aux stades larvaire et juvénile, leur survie et leur croissance dépendent des ressources nutritives que leur procurent les milieux estuariens. Le concept **nurserie** en plus des disponibilités alimentaires, prend en compte d'autres services du milieu, notamment la protection contre la prédation (Laegdsgaard et Johnson, 2001) et les caractéristiques physico-chimiques du milieu telle que la température (Potter *et al.*, 1990), la salinité (Whitfield, 1989) et la turbidité (Cyrus et Blaber, 1987c)

Les arguments développés par les auteurs pour définir ce concept sont multiples et différents seulement selon quelques détails. Selon Joseph (1973), trois critères fondamentaux sont pris en compte pour une bonne nurserie : elle doit être acceptable physiologiquement en ce qui concerne la salinité, la température et les autres paramètres physico-chimiques, elle doit offrir des ressources alimentaires abondantes et adaptées afin d'assurer une compétition minimale à l'intérieur des niveaux trophiques, et elle doit procurer un certain degré de protection contre les prédateurs. Ces mêmes idées ont été développées par d'autres auteurs comme, entre autres, Cabral, (2000) ; Elliott *et al.*, (2002) ; Laegdsgaard et Johnson, (2001) ; Lazzari *et al.*, (2003) ; etc.). Pour Herzka (2005), une zone de nurserie doit présenter des ressources nutritives disponibles, un champ complexe de prédateur/proie, des processus de transport des matières nutritives, des conditions environnementales locales supportables.

La présence de la mangrove a été évoquée comme un facteur favorable supplémentaire dans la fonction de nurserie (Thollot 1992 ; Vidy, 2000 ; Laegdsgaard et Johnson, 2001), elle contribuerait à la survie des jeunes poissons dans ces milieux. Les travaux de Thollot (1992) ont montré que la mangrove joue un rôle très important dans les migrations trophiques des premiers stades de vie et fournit des habitats utilisés préférentiellement par les jeunes poissons. De plus, les racines échasses des palétuviers et les eaux turbides fournissent abri et protection aux juvéniles de poissons.

Selon Le Pape (2005), la qualité d'une nurserie ne peut pas être connue directement, elle doit être estimée à partir d'indicateurs tels que la croissance et la mortalité des jeunes poissons qui y résident. Selon cet auteur, une croissance rapide permet aux juvéniles de réduire leur vulnérabilité à la prédation, d'exploiter une grande gamme de proies et d'acquérir une bonne adaptation face aux contraintes nutritionnelles. Cet indicateur de croissance est calculé à partir de leur arrivée dans la zone de nurserie par des analyses de la microstructure des otolithes. Cela nécessite des prélèvements échelonnés dans le temps sur des survivants de plus en plus âgés. Les

meilleures nurseries seront les habitats où la croissance et la survie des espèces sont optimales et que la mortalité est faible (Beck *et al*, 2001).

I -4 Dépendance estuarienne

Le séjour des larves et juvéniles de poissons dans l'estuaire a conduit au concept de «dépendance- estuarienne » qui suggère que ce milieu pourrait constituer un habitat où les espèces de poissons passent obligatoirement une partie de leur cycle de vie (Day *et al.*, 1989; Watt –Pringl et Strydom, 2003).

Différentes idées ont été développées par deux groupes d'auteurs (Chao *et al.*, 1985 et Day *et al.*, 1989) pour définir le terme « dépendance- estuarienne» :

- Pour les premiers auteurs, une espèce est dite dépendante des estuaires lorsque ce type de milieu représente un habitat essentiel pour au moins un stade de son cycle de vie, mais elle peut également avoir des habitats alternatifs, c'est le cas des espèces estuariennes d'origine marine et d'origine continentale.

- Pour les seconds, ce concept signifie que l'estuaire est un habitat indispensable sans lequel la population de l'espèce considérée disparaîtrait, c'est le cas des espèces estuariennes strictes.

Ces espèces qualifiées d'estuariennes-dépendantes peuvent jouer un rôle écologique et économique important.

I – 5 Problématique et objectifs de l'étude

Les perturbations auxquelles sont confrontés les écosystèmes estuariens et les effets qu'elles engendrent constituent un problème majeur préoccupant. Ces contraintes de natures diverses résultent de deux phénomènes majeurs :

1) Les contraintes liées aux phénomènes naturels telles que les **fluctuations climatiques** et qui se traduisent entre autres par de fortes variations des facteurs physico-chimiques en particulier la température et la salinité. Dans ce sens, le changement climatique global observé depuis la fin du XXe siècle a engendré de nombreuses modifications des écosystèmes aquatiques. L'Afrique de l'ouest affectée par une sécheresse antérieure sévère durant les années 60, ce phénomène provoque une diminution récurrente des précipitations, principales sources d'alimentation des estuaires en eau douce (Pagès et Citeau, 1990). Dans certains estuaires ouest africains tels que le Sine-Saloum et la Casamance situés au Sénégal, cette quasi- absence des apports d'eau douce associée à une forte évaporation ont provoqué une inversion de gradient de salinité (Pagès et Citeau, 1990).

2) Les zones côtières connaissent une forte croissance démographique, plus de 60% de la population mondiale est localisée à moins de 60 km des rivages (Clark, 1992), et cette population côtière est en forte augmentation, elle est estimée à 75% en 2050 (Le Pape, 2005). D'une part, les besoins alimentaires des populations entraînent de fortes pressions sur ces écosystèmes conduisant à une **surexploitation des ressources halieutiques** par la pêche intensive (Lae et Lévêque, 1999). D'autre part, la croissance agricole et industrielle a fait que ces zones estuariennes subissent des pollutions chroniques ou accidentelles (Lévêque et Paugy, 1999).

Les modifications observées dans ces écosystèmes entraînent des conséquences néfastes pour les peuplements de poissons locaux à court terme, mais également des conséquences sur le renouvellement des ressources marines ou continentales à moyen et long terme. Pour les peuplements de poissons locaux, les effets sont ressentis au niveau de la dynamique des populations, des réseaux trophiques (Albaret et Diouf, 1994), et des modalités de croissance et de reproduction (Panfili *et al.*, 2004 a et b).

Dans l'estuaire du Sine-Saloum, la perturbation majeure et préoccupante, est **la sursalinité** voir **l'hypersalinité** à laquelle les populations et les peuplements de poissons sont confrontées. La salinité suit un gradient aval amont positif et peut atteindre voire dépasser 100 en amont du Sine-Saloum. Ce gradient a pour conséquence la disparition de la mangrove en amont. L'aval est caractérisé par des salinités proches de celles de la mer avec une mangrove très dense, alors qu'à l'amont la salinité est très élevée et la mangrove totalement absente. Ce contraste environnemental se répercute sur la structure du peuplement : en aval, le peuplement est complexe et très diversifié

alors qu'en amont il est moins diversifié et "simplifié" (Simier *et al.* 2004). Ces modifications dans le peuplement s'expliquent en partie par des contraintes environnementales qui s'opposent à l'installation et au développement des juvéniles de poissons. Ces contraintes peuvent être soit directes via la physiologie, soit indirectes par la modification de la nature et de l'abondance des ressources alimentaires, notamment en relation avec la présence ou l'absence de mangrove.

Malgré ces conditions défavorables, quelques espèces de poissons parviennent à résister et à survivre en amont. Elles s'adaptent en développant des stratégies remarquables, allant de modifications des certains traits de vie (reproduction, croissance) à une large plasticité trophique (Albaret, 1994).

L'étude des relations trophiques consacrées à l'ichtyofaune, en particulier celles établissant les réseaux trophiques, se sont limitées aux poissons adultes (Diouf, 1996, Sène, 1994). Et malgré l'importance des juvéniles dans les peuplements estuariens, aucune étude ciblée sur cette écophase n'a encore été réalisée.

La présente étude a donc pour objectif la **description qualitative et quantitative du régime alimentaire** des premiers stades de vie, entre le recrutement et les premiers mois de vie dans l'estuaire. Dans le but d'interpréter le fonctionnement de l'estuaire et d'analyser **les changements de structure trophique** en liaison avec le stress de salinité, il est nécessaire d'identifier clairement les niveaux de production sur lesquels les juvéniles de poissons prélèvent leur énergie. Il a été longtemps admis que la matière organique produite par les palétuviers était en grande partie transférée vers les eaux adjacentes et que la mangrove jouait un rôle important dans l'enrichissement des eaux côtières et par conséquent dans le réseau trophique (Odum et Heald, 1975). Des études par la méthode d'analyse des isotopes stables a révélé que cette matière organique n'est pas toujours assimilée par les organismes et par conséquent n'intervient pas dans le réseau trophique (Fry et Ewel, 2003). L'identification des sources de carbone à l'origine des ressources utilisées par les juvéniles est nécessaire pour clarifier la question du rôle de la mangrove dans le réseau trophique et dégager les voies de transfert d'énergie existant entre les divers niveaux trophiques.

Cette problématique générale, nécessite d'aborder successivement les questions suivantes:

- ✓ Quelles sont les proies exploitées par les juvéniles de poissons ?
- ✓ Le contraste aval-amont a-t-il un effet sur les régimes alimentaires des jeunes poissons ?
- ✓ Quelles sont les sources de carbone entre les deux extrémités de l'estuaire ?
- ✓ La mangrove contribue-t-elle au réseau trophique aboutissant aux jeunes poissons ?

Afin de répondre à ces questions, nous avons choisi de mettre en œuvre conjointement les méthodes classique d'étude des contenus stomacaux et celle, plus récente, l'analyse des isotopes stables.

II- ZONE D'ÉTUDE ET DYNAMIQUE DES ESPÈCES CHOISIES

II-I Zone d'étude

II -1 -1 Cadre géographique et morphologie

L'estuaire du Sine-Saloum (Figure 2) est situé sur la façade atlantique de l'Afrique de l'Ouest, à 100 km au sud de Dakar au Sénégal, entre 13° 35'' et 14°10'' de latitude nord et entre 16°03'' et 16°50'' de longitude ouest et au nord des estuaires de la Gambie et de la Casamance. Il a une superficie évaluée à 870 km², pour un bassin versant d'environ 29 720 km² (Diouf, 1996).

Sur le plan morphologique l'estuaire est constitué de trois bras principaux :

- le **Saloum**, situé au nord et au nord-est, est partiellement séparé de la mer par la flèche de Sangomar et possède depuis la rupture de celle-ci en 1987 deux embouchures : l'une à Sangomar et une nouvelle à Lagoba, de largeur d'environ 1800 m et plus de 4000 m respectivement (Diouf, 1996).

- le **Bandiala**, situé au sud, est le moins large des trois bras (rarement plus de 500 m) avec une direction nord/nord-est

- le **Diomboss**, situé entre les deux, a une embouchure large d'environ 4 km et une direction générale nord-est.

Ces bras sont en général peu profonds, les profondeurs maximales mesurées par Saos et Pagès (1985) sont comprises entre 10 et 15 m, mais peuvent atteindre 25 m dans certaines fosses. Ces systèmes hydrologiques sont interconnectés par de grands chenaux de marée localement appelés « bolongs » qui créent deux groupes d'îles bien distincts : au nord les îles de Gandoul et au sud les îles de Betenti. L'estuaire présente une très faible pente, toujours inférieure à 0,6% qui limite l'arrivée des eaux de ruissellement dans l'estuaire (Pagès et Citeau, 1990). Il en résulte un envahissement important par la mer et une perte progressive des caractères fluviaux. L'estuaire ne reçoit aucun cours d'eau, les pluies représentant les seuls apports en eaux douces. Une présentation plus détaillée de l'estuaire du Sine-Saloum est disponible dans les travaux de Saos et Pagès (1985) ; Pagès et Citeau, (1990) et Diouf (1996).

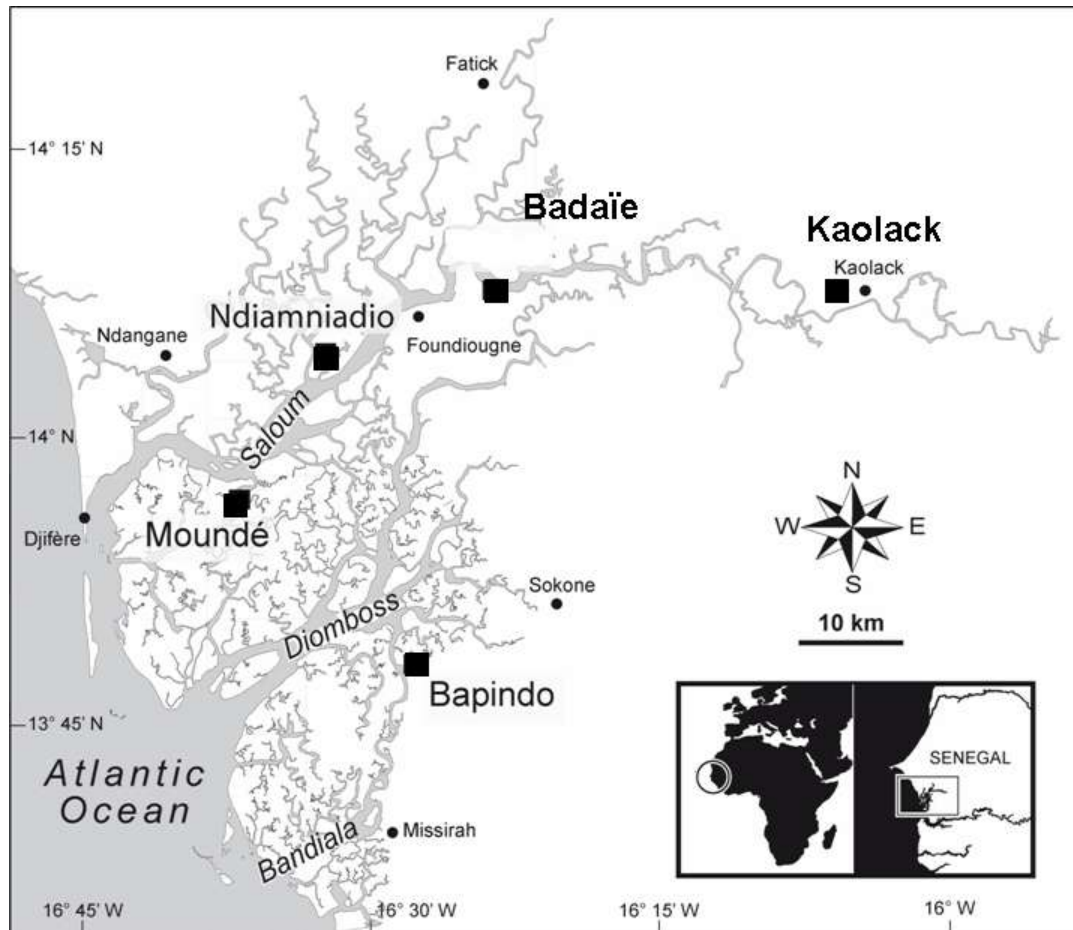


Figure 2 : L'estuaire du Sine-Saloum ; ● Localisation des villes environnantes,
■ Localisation des différentes stations d'échantillonnage

II -1 -2 Le Climat et les facteurs physico-chimiques

Le climat qui règne dans ce milieu est de type **soudanien** caractérisé par deux saisons :

- une saison des pluies, chaude et humide, communément appelée hivernage, qui s'étend de **juillet à octobre**. On note une réduction de plus en plus importante de cette période depuis les années 60. De plus, le suivi de la pluviométrie moyenne annuelle de 1951 en 2005 sur le bassin versant du Sine-Saloum (Diouf, 1996, Diouf-Goudiaby, 2006) montre des fluctuations importantes de la pluviométrie avec une baisse notoire depuis les années 70 ayant des effets sur le fonctionnement hydrologique de l'estuaire.
- une saison sèche plus longue qui s'étend de **novembre à juin**. Elle est fraîche de novembre à mars et chaude d'avril à mai.

II-1-2-1 La température de l'eau

La température peut jouer un rôle dans les rythmes d'activité biologique et de comportement des espèces de poissons. Les mesures de température effectuées dans l'estuaire du Sine-Saloum au cours de cette étude montrent une évolution spatiale faible de ce paramètre (Figure 3 A). Néanmoins les variations périodiques sont bien marquées (Figure 3 B). En effet, les fortes températures voisines de 30°C sont enregistrées de mai à octobre en 2005 et 2006 correspondant au début et à la pleine saison des pluies. Les plus faibles valeurs voisines de 20°C sont enregistrées du mois de novembre au mois de février de chaque année.

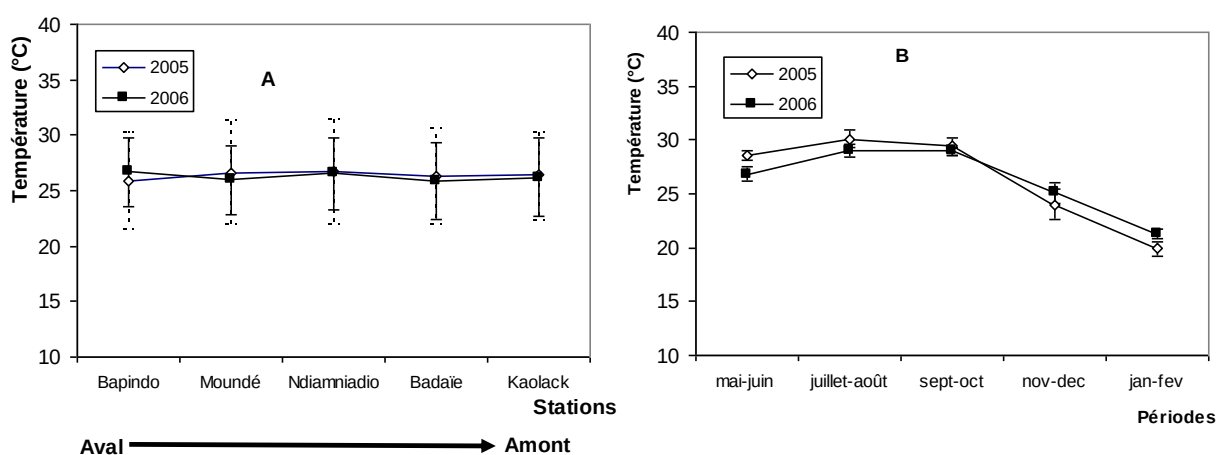


Figure 3: Variation spatiale (A) et temporelle (B) de la température de l'eau dans l'estuaire du Sine-Saloum de mai à février en 2005 et 2006.

II-1-2-2 L'évaporation

L'évaporation joue un rôle non négligeable dans le fonctionnement de l'estuaire, des études comparatives annuelles entre la pluviométrie et l'évaporation (Diouf, 1996) mettent en évidence un déficit hydrique qui sévit dans ce milieu. Les valeurs d'eau évaporées enregistrées, atteignent souvent le double des quantités d'eau reçues par la pluie conduisant ainsi à l'assèchement progressif de l'estuaire (tableau 1). Un effet spatial a été également noté, l'évaporation est plus intense en zone amont qu'en zone aval.

Tableau 1: Déficit pluviométrique théorique au Sine-Saloum (1971-1981), d'après Diouf (1996).

Localités	Evaporation annuelle (mm)	Précipitation annuelle (mm)	Déficit pluviométrique théorique (mm)
Zone aval	1246	824	392
Zone intermédiaire	1607	703	904
Zone amont	2209	610	1599

II-1-2-3 La transparence (turbidité)

La transparence joue un rôle important dans le fonctionnement des écosystèmes estuariens, elle a un effet sur la répartition des espèces en particulier les espèces filtreuses (*Ethmalosa fimbriata*, Albaret and Charles-Dominique., 1982) et es espèces prédatrices chassant à vue. Elle peut être un indicateur de la richesse trophique et est estimée à partir de la profondeur de disparition du disque de Secchi. Les fortes turbidités des milieux agissent comme protection des juvéniles et des petites espèces contre les prédateurs (Blaber et Blaber, 1980). Dans le Sine-Saloum la transparence varie entre 0,7 et 2,5 m, elle diminue pendant la saison des pluies en raison du ruissellement des éléments en suspensions (Diouf, 1996).

II-1-2-4 Fonctionnement de l'estuaire et salinité

La géomorphologie des écosystèmes, la dynamique naturelle imposées par les flux d'eau douce d'origine fluviales, marines et/ou en provenance des précipitations et l'intensité de l'évaporation constituent les principaux facteurs qui déterminent la salinité et le mode de fonctionnement de ces milieux. Le Sine-Saloum est un estuaire « inverse » (Pritchard, 1967) où la salinité augmente de la mer vers l'intérieur, il suit un gradient de salinité aval-amont positif, différent d'un estuaire « normal » défini comme un cours d'eau en communication avec la mer et dans lequel l'eau de mer se mélange avec les eaux douces d'origine continentale. Or l'estuaire du Sine Saloum possède un fonctionnement opposé, il y a non seulement un déficit pluviométrique mais aussi un envahissement important des eaux côtières du fait de sa pente faible. Le durée du flot est alors plus grande que celle du jusant, le temps de séjour des eaux marines est aussi long en amont où elles subissent de fortes évaporations, ce qui entraîne une élévation importante de la salinité.

Les mesures de salinité effectuées au cours de cette étude dans différentes stations en partant de l'aval (Bapindo) vers l'amont (Kaolack) sont illustrées dans la figure 4. Les valeurs

moyennes en aval sont proches de 40. Elles augmentent progressivement vers l'amont pouvant atteindre 60 à 70. Les mesures de salinités bimestrielles entre le début de saison des pluies (mai-juin) et la fin (janvier-février) en 2005 et 2006 montrent de fortes variations entre ces différentes périodes surtout en zone amont particulière à Kaolack (Figure 5). De faibles valeurs de salinité 25 (2005) et 30 (2006) ont été enregistrées en septembre-octobre en pleine saison des pluies. De telles valeurs n'avaient pas été notées dans l'estuaire depuis 10 ans. Elles peuvent être expliquées par les fortes pluies qu'a connu le Sénégal en 2005 et en 2006. Si cette situation persiste, certaines hypothèses sur l'irréversibilité de l'état du Sine-Saloum pourraient être remises en cause

La salinité dans l'estuaire du Sine-Saloum dépend essentiellement de la pluviométrie et de l'évaporation, car l'estuaire est entièrement parcouru par l'eau de mer et seules les pluies constituent les apports d'eau douce.

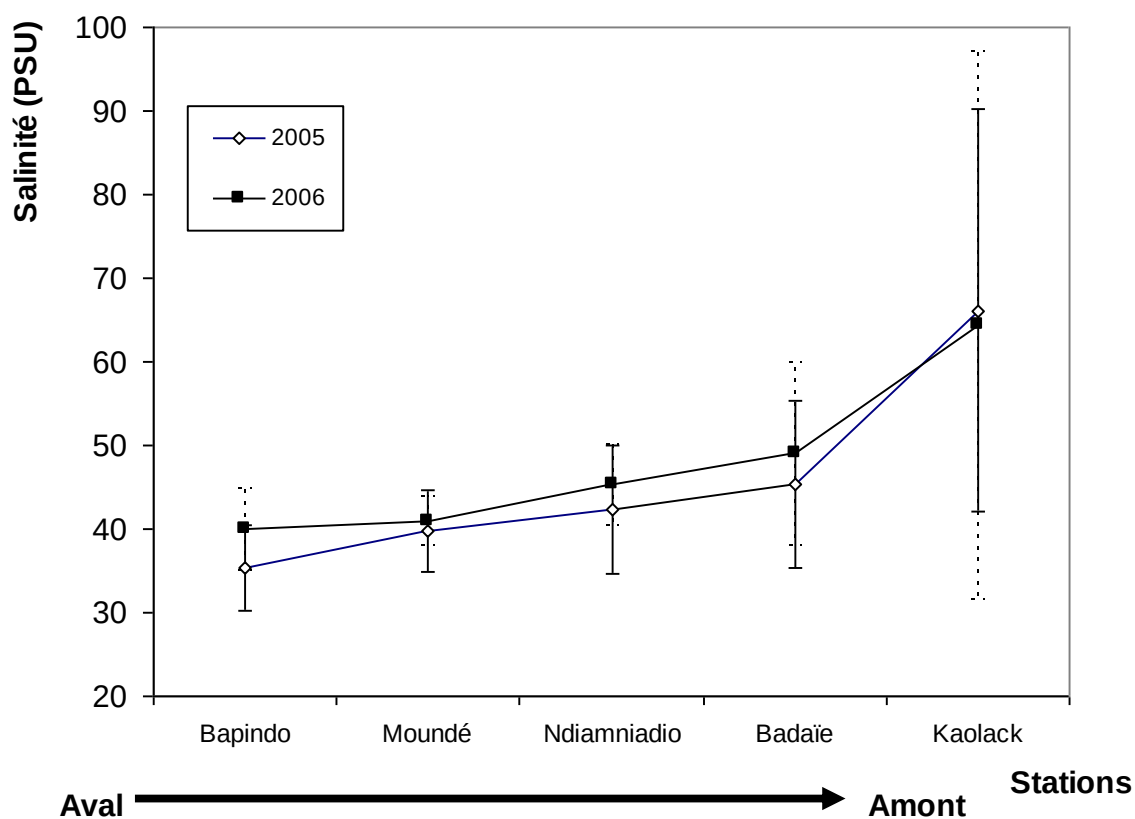


Figure 4: Valeurs moyennes $\pm$ écart-types de la salinité dans différentes stations entre l'aval et l'amont de l'estuaire du Sine-Saloum en 2005 et 2006

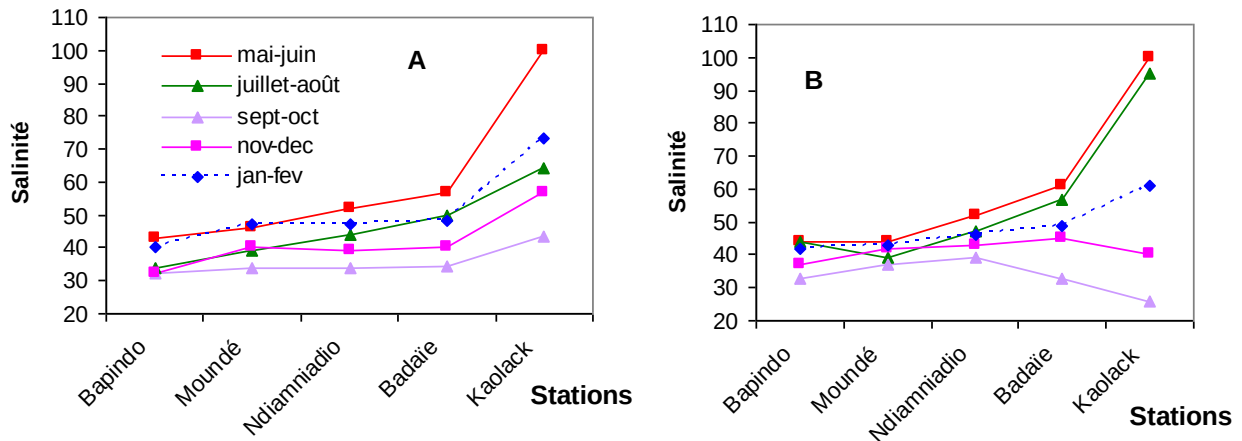


Figure 5 : Variation spatio-temporelle de la salinité entre le début et la fin des saisons des pluies dans l'estuaire du Sine-Saloum en 2005 (A) et en 2006 (B).

II-1-3 La formation végétale

La formation végétale caractéristique de cette zone est la mangrove, constituée de plantes arborescentes ou buissonnantes qui colonisent les amas de terres intertidaux marins ou fluviaux des côtes tropicales (Marius, 1985).. Les deltas, les estuaires et les lagunes tropicaux et subtropicaux sont des zones favorables au développement de cette formation végétale liée non seulement à leurs étendues mais également à leur morphologie leur permettant de se protéger contre la dynamique destructive des vents et houle de la mer. Au Sine-Saloum, cette formation végétale est composée essentiellement de plantes vasculaires représentées par six espèces appartenant à trois familles:

-Les Rhizophoracées possèdent des racines aériennes et sont représentées par trois espèces de même genre : *Rhizophora mangle*, *Rhizophora harrisonii*, *Rhizophora racemosa*. Ces trois espèces présentent des caractères morphologiques semblables rendant leur identification parfois difficile. Néanmoins, certains paramètres tels que la taille et la forme de l'inflorescence permettent de les distinguer : *R. mangle* est plus grande que les deux autres espèces et possède 4 à 16 fleurs condensées et à pédoncule court. *R. harrisonii* possède généralement 32 fleurs non condensées à pédoncule long et *R. racemosa* est biflorale (Diouf, 1996) .

-Les Verbénacées se distinguent des rhizophoracées par leurs pneumatophores et ne sont représentées que par *Avicennia africana* (appelé également *Avicennia nitida*)

-Les Combrétacées sont des arbustes avec des pneumatophores et sont généralement moins abondantes, représentées par *Laguncularia racemosa* et *Conocarpus erectus* (Diouf, 1996)

Sur le plan de l'occupation du sol, il existe une certaine adaptation des espèces végétales à la salure élevée : les *Rizophora* sont implantées dans les zones dont la salinité maximale est de l'ordre 40 à 60, (la salinité n'a plus d'unité, ne pas mettre pour mille) alors que les *Avicennia* supportent des salinités plus élevées (Loyer, 1985).

La mangrove constitue un biotope particulier abritant une vie extrêmement active logée sur et entre les racines-échasses qui sont immergées en quasi permanence (figure 6). La marée basse permet d'observer une partie de cette vie fixée, regroupant une grande communauté d'organismes végétaux (algues filamenteuses) et animaux (mollusques, crustacées, annélides etc..) connue généralement sous le nom de périphyton (Marius, 1985 ; Feller et Sitnik, 1996). Cette faune associée à la mangrove joue un rôle crucial dans l'alimentation des jeunes poissons inféodés à ce milieu (Nagelkerken et al. 2004, Gning, 2004).



Figure 6 : « La vie » au niveau des racines-échasses des *Rhizophora* (Photo G. Vidy)

La mangrove évolue en relation avec la salinité dans l'estuaire, l'augmentation de la salinité ainsi que l'acidité des sols ont fortement contribué à la régression de la mangrove au profit de «tannes», sols salés dénudés. En zone aval où les salinités dépassent rarement 40, la mangrove est très dense et présente une belle allure (Figure 7 A). Elle devient discontinue en zone médiane puis disparaît totalement en amont du Sine Saloum au profit des « tannes » nus (figure 7 B).

Les prélèvements de bois par les populations pour des besoins énergétiques domestiques ou de construction et la coupe des racines de palétuviers pour la récolte des huîtres constituent également une cause importante de destruction ou d'affaiblissement de cette végétation.



Figure 7: Illustrations de l'aspect de la mangrove dans le Sine-Saloum en aval (A) et sa disparition en amont (B)

II-1-4 Composition faunistique

II-1-4-1 Les invertébrés

Les invertébrés sont fortement représentés dans l'estuaire et jouent un rôle important dans l'alimentation des jeunes poissons (Diouf, 1996, Vidy, 2000, Gning, 2004). Les crustacés recensés sont constitués d'une cinquantaine d'espèces planctoniques et benthiques. Les espèces planctoniques sont essentiellement d'origine marine et comprennent 47 espèces dont 24 sont représentées par les copépodes (Diouf, 1996). Les mysidacés, les amphipodes, les ostracodes, les cumacés et les crevettes y sont fortement représentées. Les crevettes (*Penaeus notialis*

essentiellement et *P. kerathurus*) ont une grande importance économique et sont fortement exploitées (environ 300 t sont pêchées annuellement) (Diouf, 1996).

Les crabes ont également une importance écologique remarquable par leur action sur la fragmentation des éléments issus de la mangrove en remaniant les dépôts sédimentaires facilitant ainsi la reminéralisation de la matière organique via les micro-organismes (Marius, 1977).

Les mollusques et les annélides sont très abondants et représentent respectivement 46% et 30% de la macrofaune totale (Diouf, 1996). Les mollusques comptent près de 40 familles et une centaine d'espèces de bivalves, de gastéropodes et de céphalopodes. La cueillette des huîtres et le ramassage des coquillages (arches), contribuent à l'exploitation des ressources et représentent un potentiel non négligeable dans cette zone.

Les cnidaires (Siphonophores et méduses) sont fréquemment rencontrés dans ce milieu (obs. personnelles). Des insectes notamment des larves et des nymphes de Chironomidae (Diptères) et des larves de Chaoboridés (Diptères) sont également rencontrés surtout en zone sursalée ou hypersalée. Une diminution de la richesse faunistique des invertébrés a été constatée de l'aval vers l'amont avec l'augmentation de la salinité (Diouf, 1996).

II-1-4-2 Ichtyofaune

L'ichtyofaune de l'estuaire du Sine-Saloum est très diversifiée et comprend environ 123 espèces réparties dans 51 familles (Simier com pers.). Les familles les plus représentées sont : les Carangidés (11 espèces), les Scianidés (7 espèces), les Mugilidés (7 espèces), les Heamulidés (6 espèces), les Cichlidés (4 espèces), les Clupeidés (4 espèces), les Ariidés, les Cynoglossidés, les Dasyatidés, les Ehippidés, les Soleidés et les Sparidés (Diouf, 1996; Albaret, 1994).

A) Les catégories bio-écologiques

Albaret (1994) a proposé une classification des espèces de poissons prenant en compte leurs affinités à ce milieu, généralement le degré d'euryhalinité et les caractéristiques de leur cycle biologique

Il distingue :

-les formes estuariennes strictes (Es)

Elles sont présentes exclusivement en milieu estuarien où se déroule la totalité de leur cycle biologique : parmi elles on peut citer *Nematogobius maindroni*, *Periophtalmus barbarus* (Gobiidés); *Sarotherodon melanotheron*, *Tilapia guineensis* (Cichlidés), *Monodactylus sebae*, (Monodactylidés).

-les formes estuariennes d'origine marine (Em)

Ces sont des espèces d'origine marine parfaitement adaptées au milieu estuarien, elles passent une partie de leur cycle biologique dans l'estuaire, soit pour s'alimenter ou s'y reproduire. La reproduction peut également avoir lieu en milieu marin, c'est le cas de *Liza dumerili*, *Liza falcipinnis*, *Liza grandisquamis* (Mugilidés); *Ethmalosa fimbriata*, *Ilisha africana* (Clupeidés)

-les formes d'origine continentale (Ec):

Ce sont également des espèces caractéristiques des estuaires, qui peuvent se reproduire régulièrement dans l'estuaire mais également capables de pondre en eau douce. Cette catégorie est absente ou rare dans l'estuaire du Sine-Saloum, les quelques espèces rencontrées se sont adaptées au milieu saumâtre, c'est le cas de *Hemichromis fasciatus* (Cichlidés), *Pellonula leonensis* (Clupeidés).

-les formes marines estuariennes (ME):

Ce sont des espèces marines qui se distinguent par l'absence de reproduction estuarienne (mais un début de maturation sexuelle peut avoir lieu). Elles sont très fréquentes dans les estuaires et représentées presque uniquement par les phases larvaires et juvéniles. Il s'agit, par exemple de *Arius heudelotii*, *Arius parkii* (Ariidés), *Elops lacerta* (Elopidés), *Mugil cephalus* (Mugilidés), *Lutjanus gorensis* (Lutjanidés), *Sardinella maderensis* (Clupeidés), *Eucinostomus melanopterus* (Gerridés), *Caranx ignobilis*, *Caranx melampygus* (Carangidés), *Pomadasys perotési* (Haemulidés).

-les formes marines accessoires (Ma) :

Elles sont rarement abondantes, leur présence est limitée dans l'espace (à proximité de la communication avec la mer) et/ou dans le temps (elles sont fréquentes surtout à la saison sèche). Ce sont des formes littorales auxquelles une relative euryhalinité permet de pénétrer dans l'estuaire pour des raisons essentiellement trophiques, c'est par exemple *Synaptura cadenati*, *Synaptura lusitanica* (Soleidés), *Pseudotolithus senegalensis* (Sciaenidés), *Pomadasys incisus* (Haemulidés)

-les formes marines occasionnelles (Mo)

Ce sont des espèces toujours très rares, parmi elles on peut citer *Dasyatis ukpam* (Dasyatidés)

-les formes continentales occasionnelles (Co)

-les formes continentales à affinité estuariennes (Ce)

Les formes ME, Em et Es sont les plus abondantes.

B) Les catégories trophiques

Des études basées sur les régimes alimentaires des adultes ont permis de mettre en évidence des groupes trophiques (Sène, 1994; Diouf, 1996).

- Les détritivores : Selon Odum et Heald (1975) les détritivores regroupent l'ensemble des espèces qui se nourrissent de détritus. Ces derniers ont une importance très connue surtout dans les

estuariers peu profonds. Les détritus peuvent être d'origine végétale (feuilles de palétuviers, débris d'algues, etc.) ou d'origine animale (restes provenant des bactéries, des invertébrés, etc.). Ce groupe comprend principalement les mulets et les tilapias (Diouf, 1996). D'après Fagade et Olaniyan (1974), 30% du bol alimentaire des tilapias est de nature végétale (détritus des plantes vasculaires, algues et diatomées), 50% proviennent du sédiment (matières organiques, sable et vase) et le reste est d'origine animale.

- **Les planctonophages** : Dans cette catégorie, on distingue les phytoplanctonophages et les zooplanctonophages

Les phytoplanctonophages se nourrissent de phytoplancton qui est constitué de diatomées et autres algues microscopiques. Chez les filtreurs à tendance microphytophages (*Ethmalosa fimbriata*), l'occurrence des Diatomées est généralement proche de 100% (Diouf, 1996). Les zooplanctonophages se nourrissent principalement du zooplancton très diversifié dans les estuaires. Les zooplanctons les plus consommés sont les copépodes. L'occurrence des copépodes est de 76% chez *Sardinella maderensis* (Diouf, 1996) qui est une espèce filtreuse à tendance zooplanctonophage.

- **Les prédateurs, dans lesquels on distingue:**

-les ichtyophages qui exercent essentiellement une prédation sur les poissons. L'occurrence des poissons dans leur régime alimentaire est supérieure à 70% (Diouf, 1996). Il s'agit par exemple de *Sphyreana afra*, *Elops lacerta*, *Scomberomorus tritor*, *Epinephelus aeneus*, *Trichiurus lepturus*, *Lutjanus gorensis* ;

-les prédateurs mixtes tels les malacophages (gros crustacés, mollusques, annélides...), c'est le cas par exemple de *Monodactylus sebae*, *Eucinostomus melanopterus*, *Pseudololithus brachygnatus*, *Caranx senegalensis*, *Arius heudeloti*.

II -2 Biologie et écologie des espèces choisies

Le choix des espèces repose sur leur abondance relative dans le milieu et sur leur répartition dans les différentes catégories écologiques présentes dans l'estuaire.

Les quatre espèces de poissons retenues pour cette étude: *Eucinostomus melanopterus*, *Ethmalosa fimbriata*, *Monodactylus sebae* et *Sarotherodon melanotheron* appartiennent toutes à la même classe des ostéichthyens. *E. melanopterus* et *E. fimbriata* passent une partie de leur cycle de vie dans l'estuaire alors que *M. sebae* et *S. melanotheron* sont relativement sédentaires et résident durant toute leur vie dans l'estuaire (Albaret, 1994). Ces espèces ont en commun leur euryhalinité et leur forte adaptabilité face aux changements des conditions environnementales. De ce fait, elles sont abondantes dans l'estuaire du Sine Saloum.



A



B



C



D

Figure 8: Photographies de *Eucinostomus melanopterus* (A), *Ethmalosa fimbriata* (B), *Monodactylus sebae* (C) et *Sarotherodon melanotheron* (D) (photos G. Vidy)

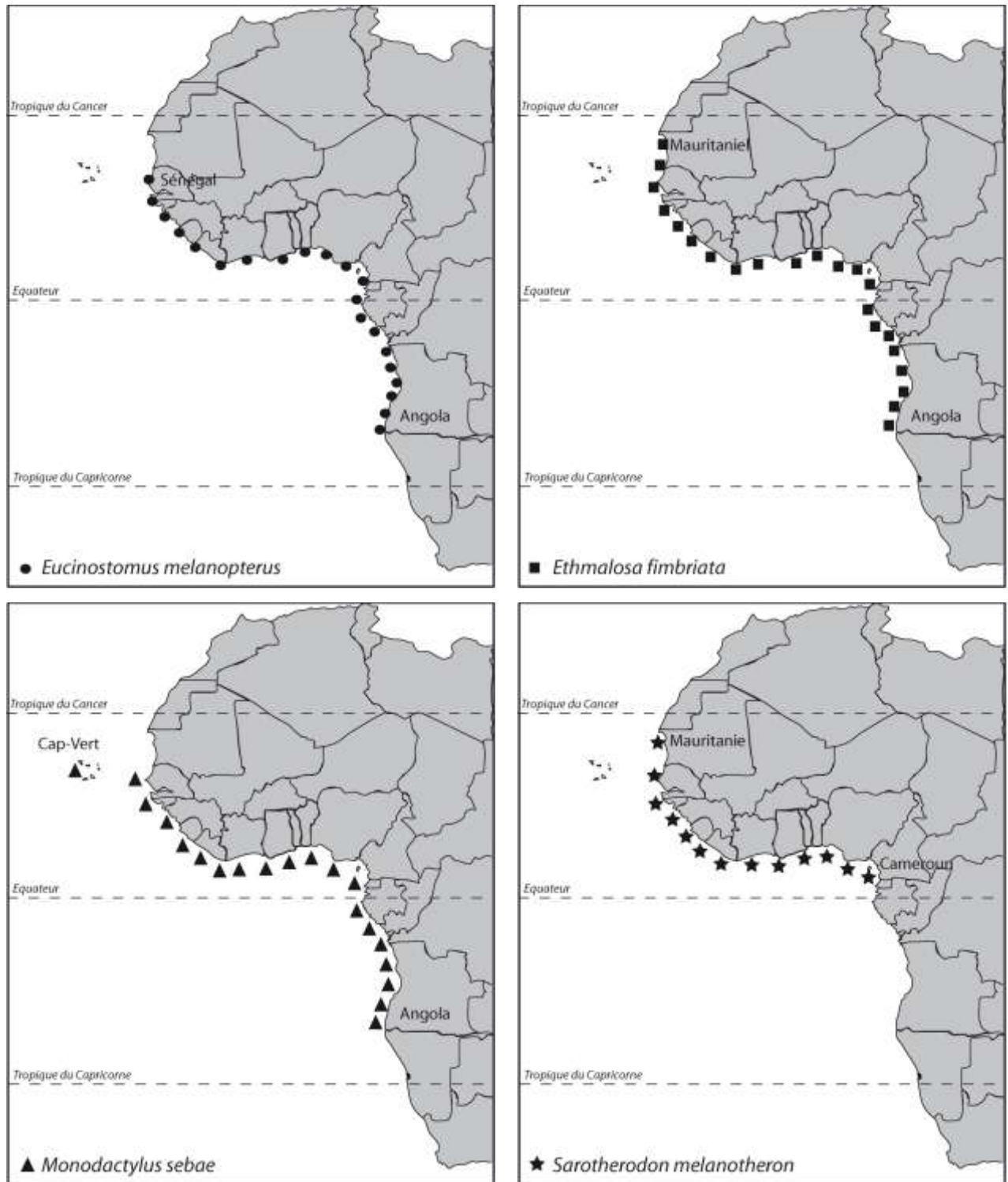


Figure 9: Répartition géographique sur la côte ouest africaine de *Eucinostomus melanopterus*, *Ethmalosa fimbriata*, *Monodactylus sebae* et *Sarotherodon melanotheron*

II -2-1 *Eucinostomus melanopterus* (Bleeker, 1963)

II -2-1 -1 Généralités

- Taxonomie et morphologie

Eucinostomus melanopterus (figure 8A) appartient à la famille des Gerreidae qui compte deux genres en Afrique de l'ouest : *Eucinostomus* et *Gerres*. En Afrique de l'ouest, chacun des deux genres est représenté par une seule espèce : *Eucinostomus melanopterus* (Bleeker, 1963) et *Gerres nigri* (Gunthe, 1859). Ces deux espèces se rencontrent dans l'estuaire du Sine-Saloum et présentent des similitudes du point de vue morphologique, leur identification nécessite donc un examen attentif.

E. melanopterus a un corps fusiforme, un museau pointu et une bouche fortement protractile dirigée vers le bas, des narines contiguës situées plus près de l'œil que de l'extrémité du museau. La dorsale est échancrée à 9 épines et 10 rayons mous, l'anale échancrée à 3 épines et 8 rayons mous (Paugy *et al*, 2003). Le critère principal qui le distingue de *Gerres nigri* est la tache noire qui colore la dorsale épineuse. Lors des captures, l'apparition imprécise de ce critère peut induire une confusion entre les deux espèces, dans ce cas on se référera à la position de l'extrémité des nageoires pectorales qui dépasse l'origine de la nageoire anale chez *G. nigri* et ne l'atteint pas chez *E. melanopterus*.

- Distribution géographique

E. melanopterus se répartit géographiquement en Atlantique Est sur les côtes ouest africaines du Sénégal à l'Angola (figure 9A). Sa présence a été également signalée dans les lagunes de Floride en Atlantique Centre-Ouest (Gilmore *et al*, 1981), dans les estuaires Sud-Est du Brésil (Sazima, 2002), en Inde et au Sud-Est de l'Asie (Cyrus et Blaber, 1982). C'est une espèce côtière qui occupe en général les fonds meubles sableux et sablo-vaseux situés généralement entre 0 et 25 m de profondeur (Paugy *et al*, 2003). Elle est présente dans les milieux saumâtres lagunaires et estuariens et pénètre souvent dans les mangroves. Son abondance ainsi que celle de *G. nigri* dans ces milieux est bien connue car elles sont fortement représentées dans les débarquements. Dans la lagune Ebrié en Côte d'Ivoire, les captures réalisées par les sennes tournantes, les sennes de rivage (90 tonnes par an) et les filets maillants (22 tonnes) leur confère le 9^e rang des débarquements lagunaires (Albaret et Desfossez, 1988). Dans l'estuaire du Sine-Saloum, les Gerreidés occupent le 2^e rang après les Clupeidés en termes d'abondance (Simier *et al*,

2004). D'ailleurs, *E. melanopterus* est l'espèce la plus abondante dans l'échantillonnage de cette étude. Leur importance économique est connue dans les estuaires notamment dans l'estuaire de Natal en Afrique du Sud mais également en Inde et au Sud-est asiatique où elles constituent la nourriture de base des populations (Cyrus et Blaber, 1982).

II -2-1 -2 Biologie et écologie

- Croissance et reproduction

E. melanopterus, et les Gerreidés d'une manière générale, sont des espèces de petite taille, la taille maximale observée en milieu marin est 25 cm (Diouf, 1996). La taille de première maturité (L50) a été étudiée chez l'espèce voisine *Gerres nigri* dans l'estuaire du Sine-Saloum, L50 mâle =10,9 cm et L50 femelle =12,5 cm. Par ailleurs, le retour en mer d' *E. melanopterus* après un séjour estuarien s'effectue à une taille de 14 cm (Albaret et Desfossez, 1988).

Peu d'information sont disponibles sur la reproduction de cette espèce dans la région du Sine-Saloum. *E. melanopterus* a été longtemps considéré comme une espèce thalassotoque, son activité sexuelle a lieu généralement en mer et s'étend de juin à Octobre (Vidy, comm. pers.). Certains auteurs ont signalé sa reproduction sur les côtes ouest africaines notamment en Côte d'Ivoire (Albaret et Desfossez, 1988) et sur les côtes sénégal-gambiennes (Domain, 1978) à proximité des estuaires. Dans la classification des différentes catégories écologiques d'Albaret (1994) cette espèce fait partie des formes Marines-Estuariennes (ME). Ces dernières se reproduisent en milieu marin et les juvéniles fréquentent les zones estuariennes et lagunaires. Les études réalisées par Diouf (1996) ont montré que les formes adultes sont quasi-absentes dans l'estuaire du Sine-Saloum, 99% des individus capturés étant immatures. Les individus capturés par Sazima (2002) dans les zones de mangroves au Brésil étaient tous des juvéniles.

- Alimentation

E. melanopterus est benthophage à l'âge adulte, la bouche protractile est parfaitement adaptée à la prédation sur le substrat. Les individus étudiés par Sène (1994) dans l'estuaire du Sine-Saloum sont malacophages. Albaret et Desfossez (1988) ont également noté la présence de petits mollusques gastéropodes dans les contenus des jeunes et pré-adultes de cette espèce en Lagune Ebrié. Des études antérieures menées au Sine-Saloum de noter la présence d'annélides polychètes chez les pré-adultes (Gning *et al.*, 2008). La présence d'annélides polychètes, de bivalves et gastéropodes a été également observée dans les contenus stomacaux d'*E. melanopterus* dans la lagune de Lagos en Sierra Leone par Fagade et Olaniyan (1973). Par ailleurs, l'étude du

régime alimentaire des juvéniles de cette espèce au Brésil par Sazima (2002) indique que cette écophase se nourrit essentiellement de petits poissons et de crustacés.

II -2-2 *Ethmalosa fimbriata* (Bowdich, 1825)

II -2-2-1 Généralité

- *Taxonomie et morphologie*

Ethmalosa fimbriata (figure 8 B) appartient à la famille des Clupeidae qui est très abondante sur les côtes ouest africaines. Le genre *Ethmalosa* compte une seule espèce et se distingue des autres Clupeidés par une échancrure sur le milieu de la mâchoire supérieure. Cette espèce présente un corps élevé et assez comprimé latéralement, des écailles au bord distal lacinié, une tache noire arrondie en arrière de la partie supérieure de l'opercule.

- *Distribution géographique*

Ethmalosa fimbriata se distribue très largement sur les côtes ouest africaines depuis la Mauritanie jusqu'à l'Angola (figure 9B). Elle est très commune sur les zones côtières, les estuaires et les lagunes et occupe une place très importante dans les pêcheries ouest africaines notamment au Nigéria, où elle représente 23% des prises totales en pêche artisanale (Ama-Abasi *et al.*, 2004), ainsi qu'au Cameroun et en Côte d'Ivoire (Charles-Dominique 1982). *E. fimbriata* est, après *Sardinella maderensis*, l'espèce la plus abondante dans l'estuaire du Sine-Saloum en termes d'effectif et de biomasse (Simier *et al.*, 2004). *E. fimbriata* est fortement représentée dans les débarquements au Sine-Saloum avec 12,255 t en 2000 (Dème *et al.*, 2001). *E. fimbriata* est une espèce très mobile qui se caractérise par une extrême adaptabilité aux conditions variables de son milieu de vie (estuaires, fleuves, lagunes, deltas, mer). L'espèce peut tolérer une large gamme de salinité allant des eaux oligohalines (salinité < 5) jusqu'aux eaux hyperhalines (salinité > 65) (Charles-Dominique & Albaret, 2003).

II -2-2-2 Biologie et écologie

- *Croissance et reproduction*

La croissance chez *E. fimbriata* est influencée par les facteurs environnementaux (Charles-Dominique & Albaret, 1982, Ama-Abasi *et al.*, 2004). La taille de première maturité (L50) est variable et dépend généralement des milieux de vie. Elle est de 81 mm et 84 mm respectivement chez les mâles et les femelles dans la lagune de Bietry en Côte d'Ivoire (Albaret et Charles-Dominique, 1982); de 202 mm et 192 mm dans la Gambie (Panfili *et al.*, 2004b), de 173 mm et 153 mm dans l'estuaire du Sine-Saloum (Panfili *et al.*, 2004b). Selon, Albaret et Charles-Dominique (1982), la faible taille de maturité observée dans la lagune de Bietry est due à la pollution observée dans cette zone. Par ailleurs, les individus vivant en milieu estuarien ouvert au milieu marin ont des tailles de première maturité plus grande que ceux vivant en milieu lagunaire où les migrations sont beaucoup plus faibles (Panfili *et al.*, 2004b).

L'ethmalose se reproduit essentiellement en lagune et en estuaire, mais une reproduction en mer serait possible chez cette espèce (Charles-Dominique, 1982). Certains paramètres environnementaux tels que la salinité contrôlent sa reproduction (Charles-Dominique, 1982). L'activité sexuelle *E. fimbriata* s'étale généralement sur une large période de l'année de janvier à septembre dans l'estuaire du Sine-Saloum (Panfili *et al.* 2004b) et de novembre en février dans le Golf de Guinée (Ama-Abasi *et al.*, 2004). Elle est classée par Albaret (1994) dans la catégorie des espèces estuariennes d'origine marine (Em) qui peuvent se reproduire en mer ou en estuaire et dont les juvéniles vivent en estuaire jusqu'à la maturité.

- Alimentation

Le régime adulte de l'ethmalose est phytoplanctonophage. Les études trophiques réalisées sur cette espèce ont confirmé la présence d'algues planctoniques dans les contenus stomacaux, dans l'estuaire du Sine-Saloum (Séne, 1994; Diouf, 1996), dans la lagune Lagos au Nigéria (Fagade et Olaniyan, 1973); et dans la lagune Ebrié, en Côte d'Ivoire (Nieland, 1980). La présence d'ostracodes et de larves de bivalves et de gastéropodes a été également signalée par Fagade et Olaniyan (1973) dans les contenus stomacaux de l'ethmalose. Ces proies ont également été trouvées chez les juvéniles de l'estuaire du Sine-Saloum lors d'une précédente étude (Gning *et al.*, 2008).

II-2-3 *Monodactylus sebae* (Cuvier, 1829)

II-2-3-1 Généralités

- *Taxonomie et morphologie*

Monodactylus sebae (figure 8 C) appartient à la famille des Monodactylidae qui compte deux genres et cinq espèces dont une seule vit en Afrique de l'Ouest, les autres vivent la région Pacifique (Paugy *et al.*, 2003).

Elle présente un corps élevé et fortement comprimé couvert de petites écailles qui s'étendent sur la tête et les nageoires paires. *M. sebae* se distingue des autres espèces par une denture du plafond buccal constituées de dents granulaires sur le vomer, les palatins, les endo et ectoptérogoïdes. Les adultes présentent des nageoires pelviennes rudimentaires généralement absentes.

- *Distribution géographique*

Monodactylus sebae se repartit géographiquement en Atlantique Est sur les côtes ouest africaines des îles de Canaries jusqu'à l'Angola (figure 9 C). C'est une espèce typique des zones estuariennes et lagunaires pourvues de mangrove, mais elle peut également être trouvée en mer dans les baies peu profondes et les zones portuaires (Paugy *et al.*, 2003).

II-2-3-2 Biologie et écologie

- *Croissance et reproduction*

L'étude de la croissance de cette espèce est quasi-inexistante, les tailles de première maturité (L50) observées par Diouf (1996) dans l'estuaire du Sine-Saloum sont de 100 mm chez les femelles et 90 mm chez les mâles. La taille maximale au stade adulte est de 25cm. (Diouf, 1996)

L'activité sexuelle de *M. sebae* a lieu en milieu lagunaire ou estuarien généralement à partir du mois de mai. C'est une espèce estuarienne stricte (Es) dans la classification des différentes catégories écologiques d'Albaret (1994), l'essentiel de son cycle biologique se déroule dans l'estuaire.

-Alimentation

M. sebae est zoobenthophage au stade adulte. Le régime alimentaire est composé majoritairement de polychètes auxquels s'ajoutent des bivalves et des crustacés benthiques dans l'estuaire du Sine-Saloum (Sène, 1994). Des études réalisées par Fagade et Olaniyan, (1973) sur le

comportement trophique de cette espèce dans la lagune Lagos au Nigeria, ont mentionné la présence de copépodes et d'algues filamenteuses dans les contenus stomacaux. .

II-2-4 *Sarotherodon melanothron* (Rüppel, 1852)

II-2-4 -1 Généralités

- Taxonomie et morphologie

Sarotherodon melanothron (figure 8D) appartient à la famille des Cichlidae extrêmement répandue en Afrique où certaines espèces ont un intérêt commercial important. Cette famille est représentée par trois genres en Afrique de l'Ouest : les Tilapias, les Oreochromis et les Sarotherodon. Ce dernier se distingue des deux autres par l'incubation buccale assurée à la fois par les mâles et les femelles. Il présente des écailles ventrales qui ont la même taille que celles des flancs. Le genre *Sarotherodon* compte dix espèces dont cinq sont connues en Afrique de l'Ouest (Paugy *et al.*, 2003). *S. melanothron* se distingue par l'apparition de taches noires sur la tête et le corps.

- Distribution géographique

Sarotherodon melanothron se rencontre dans les milieux estuariens et lagunaires, son aire de distribution s'étend du Sénégal au Congo (figure 9D) (Ouattara *et al.*, 2003). Des auteurs ont proposé une identification des sous-espèces en se basant sur des caractères morphologiques et de coloration (Trewavas, 1983): (1) *S. m. paludinosus* (Trewavas, 1983) connu uniquement dans certaines zones (Niayes) près de Dakar (Sénégal) ; (2) *S. m. heudelotii* (Duméril, 1859) s'étendant du Sénégal à la Guinée ; (3) *S. m. leonensis* (Van den Audernaerde, 1971) présent de la Sierra Leone au Liberia ; (4) *S. m. melanothron* (Rüppel, 1852) s'étendant de la Côte d'Ivoire au Cameroun et (5) *S. m. nigripinnis* (Guichenot in Duméril, 1859) connu du Rio Muni en République Démocratique du Congo). Cette taxonomie a été beaucoup critiquée, d'ailleurs les études de Falk *et al.* (2003) sur la phylogéographie de cette espèce n'ont décelé que trois sous espèces : (1) *S. m.*

heudelotii (Duméril, 1859) s'étendant du Sénégal à la Guinée ; (2) *S. m. leonensis* (Van den Audernaerde, 1971) s'étendant de la Sierra Leone au Liberia ; et (3) *S. m. melanotheron* (Rüppell, 1852). *S. m. heudelotii* (Duméril, 1859) est l'espèce étudiée dans ce travail même si le nom de la sous-espèce n'est pas toujours donné. Elle présente une forte adaptabilité aux conditions variables de son milieu de vie (estuaires, fleuves, lagunes, deltas, mer). L'espèce peut tolérer une large gamme de salinité et de fortes variations d'autres paramètres environnementaux. Elle présente, d'autre part, une forte résistance face à la pollution (Panfili *et al.*, 2004a).

II-2-4-2 Biologie et écologie

- Croissance et reproduction

La croissance est influencée par les facteurs environnementaux, notamment la salinité, la température et la photopériode (Guèye, 2006). La taille maximale observée chez cette espèce est de 28 cm (<http://fishbase.org/Summary/SpeciesSummary.php?id=1412>). La taille de première maturité (L50) dépend également des conditions de vie de cette espèce, une précocité ou un nanisme des individus peut entraîner une réduction des tailles de première maturité (Panfili *et al.*, 2004a). Elle est de 131 mm et 113 mm respectivement chez les femelles et les mâles dans le Sine-Saloum (Panfili *et al.*, 2004a).

Sarotherodon melanotheron se reproduit en milieu estuarien ou lagunaire, et y passe l'essentiel de son cycle biologique mais il peut également se maintenir en eau douce. Cette espèce appartient aux formes estuariennes strictes selon la classification des catégories écologiques d'Albaret (1994). Sa période de reproduction varie selon les milieux de vie. Dans l'estuaire du Sine-Saloum, l'activité sexuelle a lieu avant la saison des pluies généralement au mois de février (Panfili *et al.*, 2004a). Par contre dans l'estuaire de la Gambie, la période de reproduction a lieu à la fin de la saison des pluies entre le mois de Novembre et Décembre. La reproduction de cette espèce dans le lac de Guiers, en eau douce, s'effectue respectivement entre février et juillet. Dans la baie de Hann, en conditions marines (Guèye, 2006), la reproduction a lieu entre février et août.

- Alimentation

Sarotherodon melanotheron est une espèce opportuniste caractérisée par un large spectre alimentaire. Son régime alimentaire varie également en fonction des milieux. Dans l'estuaire du Sine-Saloum, les adultes sont détritivore (Sène, 1994, Diouf, 1996). Des algues filamenteuses et

des diatomées ont également été rencontrées dans les contenus stomacaux de cette espèce par Fagade et Olaniyan (1973) dans la lagune Lagos au Nigeria.

III ÉCOLOGIE ALIMENTAIRE : analyses des contenus stomacaux

III-1 Introduction

L'étude du régime alimentaire des poissons donne des indications sur la présence, l'abondance et la disponibilité des proies mais également sur le potentiel trophique du milieu (Paugy et Lévêque, 1999). Les stratégies de recherche de la nourriture, les variations du régime alimentaire d'une espèce de poisson d'un milieu à un autre et/ou d'une saison à une autre, renseignent sur les capacités d'adaptation des poissons face aux contraintes de l'environnement. La connaissance des proies ingérées ainsi que des habitudes alimentaires des juvéniles de poissons dans un estuaire en situation aval-amont contrastée, est essentielle pour comprendre leur adaptation face à cette contrainte. Elle permet également de mieux appréhender la disponibilité des proies en relation avec la présence/absence de la mangrove.

Dans ce chapitre, nous aborderons d'abord les matériels et méthodes utilisés, ensuite un bref rappel sur les différents indices alimentaires utilisés généralement dans l'analyse des contenus, puis la description du régime alimentaire (espace, temps, taille des individus) de chacune des espèces.

III-2 Matériels et méthodes

III-2-1 Stratégie d'échantillonnage

Cinq stations ont été étudiées au cours de 10 missions de 6 jours à bord du navire de Recherche Diassanga en 2005 et 2006 afin de récolter les échantillons nécessaires à l'étude de la variabilité spatio-temporelle de régimes alimentaires des juvéniles de poissons de l'estuaires du Sine Saloum.

III-2-1-1 Stations d'échantillonnage

Le choix et la position des stations d'étude dépendent de deux paramètres : la salinité et la présence de mangrove. Cinq sites ont été sélectionnés le long du gradient de salinité aval-amont et en fonction de la présence/absence de la mangrove (Figure 2). Les stations de Bapindo (proche du Bandiala) et de Moundé (entre Diomboss et Saloum) sont situées en aval. Elles sont caractérisées par des moyennes annuelles de salinité voisines de 40, proches de celles de la mer. Dans ces deux stations, la mangrove, très dense, borde les chenaux. Les stations de Badaïe et de Kaolack situées en amont du Saloum, sont caractérisées par des valeurs de salinité très élevées pouvant atteindre

100 ou plus avec une forte variabilité saisonnière (Figure 5). La mangrove y est totalement absente. Une station intermédiaire, Ndiamniadio (proche du Saloum) est caractérisée par une moyenne annuelle de salinité voisine de 50 et une mangrove encore présente mais moins développée qu'en aval.

III-2-1-2 Périodes et fréquences d'échantillonnage

Les pêches expérimentales ont été réalisées pour les deux années de **mai** (fin de la saison sèche et début de la saison des pluies) correspondant également au début de recrutement pour un grand nombre des juvéniles de poissons dans l'estuaire (Vidy, 2000), jusqu'en **février** correspondant à la fin de la saison de recrutement. Des missions bimestrielles de 6 jours consécutifs ont été réalisées à partir de la nouvelle lune. Cinq tournées ont été effectuées pour chaque année. En 2005-2006, les mois échantillonnés sont juin, août, octobre, décembre et février et en 2006-2007, mai, juillet, septembre, novembre et janvier (tableau 2).

Tableau 2: Récapitulation des dates et fréquences d'échantillonnages

Année	Mois	Début de mission	Fin de mission
2005-2006	Juin	06/06/2005	10/06/2005
	août	06/08/2005	10/08/2005
	octobre	06/10/2005	12/10/2005
	décembre	02/12/2005	06/12/2005
	février	31/01/2006	04/02/2006
2006-2007	mai	27/05/2006	01/06/2006
	juillet	26/07/2006	30/07/2006
	septembre	23/09/2006	27/09/2006
	novembre	21/11/2006	25/11/2006
	janvier	20/01/2006	24/01/2006

III-2-1-3 Méthode de capture

Les prélèvements destinés à cette étude ont été effectués au cours de missions réalisées pour un programme d'étude des poissons juvéniles du peuplement estuarien, auquel la thèse est rattachée.

L'engin principal utilisé pour capturer les juvéniles de poissons est une nasse inspirée des capétoches du Sud de la France (Vidy, 2000). L'engin (figure 10) est composé de deux parties : la première partie est une « paradière » de huit mètres de long pour trois mètres de hauteur en filet de

maille de huit millimètres de côté. Cette « paradière » est destinée à intercepter les poissons au cours de leur déplacement et à les guider vers la seconde partie de l'engin. Cette seconde partie est une nasse ou verveux de 3 mètres de long pour 0,40 mètres de diamètre, elle est munie de deux ailes de 2,5 mètres chacune. La première moitié de l'engin est en filet à maille de huit millimètres. La seconde partie est en filet à maille de six millimètres (figures 10 et 11).

Huit engins sont posés sur chaque station pour une nuit. Ce nombre a été adapté aux possibilités de pose limitées dans les bras de mer de dimensions réduites choisis pour l'échantillonnage. Ce nombre est également contraint par le temps nécessaire pour la pose et pour la relève. Les engins sont disposés dans ou à proximité immédiate de la mangrove (lorsqu'elle est présente) dans les chenaux secondaires présentant une profondeur maximale de trois mètres. Les pêches ont lieu en période de nouvelle lune (moins de lumière) et à marée montante en début de nuit correspondant à l'entrée des juvéniles des poissons dans les bolongs. Du fait de l'absence (puis de la faiblesse) de lune, la faible luminosité limite la détection visuelle des filets par les poissons (Vidy comm ; perso).

Dans les stations amont Badaïe et Kaolack, du fait de la pauvreté du peuplement, de l'absence de la mangrove et de la configuration du milieu, des pêches complémentaires ont été réalisées avec une senne de plage de 4 mètres de long en filet de 3 millimètres de maille. Les pêches à la senne de plage ont eu lieu au moment de la pose des nasses.

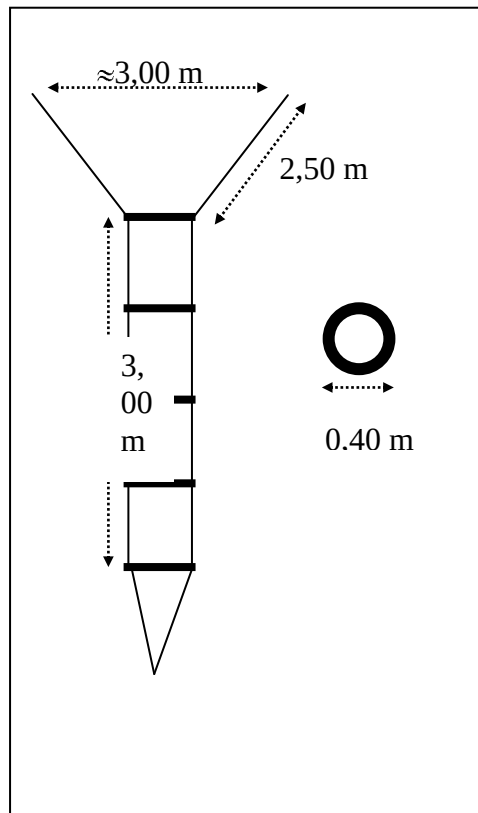


Figure 10: Représentation schématique de la nasse utilisée



Figure 11 : Pose et orientation de la nasse au cours des pêches

III-2-2 Analyse des contenus stomacaux

Les juvéniles de poissons capturés, ont été mesurés sur le terrain en considérant la longueur à la fourche. Ils ont ensuite été conservés dans l'alcool 70° après une incision ventrale entre les nageoires pectorales et l'anus. Au laboratoire, les estomacs vides ont été séparés de non-vides et le pourcentage de vacuité a été calculé. Les estomacs ont été prélevés individuellement à la pince sous la loupe binoculaire du fait de leur petite taille et les contenus ont été extraits et triés. Les proies ont été isolées, identifiées et le nombre d'individus de chacune d'entre elle a été déterminé le plus précisément possible. La détermination des proies à l'espèce a été délicate surtout en ce concerne les petits crustacés (copépodes, mysidacés, etc...), les débris de mollusques ou les restes d'annélides en raison d'un état de digestion parfois trop avancé. L'identification des proies a été faite avec l'aide des chercheurs spécialisés ou en se référant à des documents de systématique (Grassé *et al.*, 1970). Dans le comptage des proies, une partie du matériel présent dans certains estomacs a été volontairement négligée. C'est le cas des débris végétaux d'origine terrestre, les débris d'algues, les détritus, les grains de sable et les particules fines de sédiment rencontrés.

Le résultat des contenus stomacaux a permis d'étudier pour chaque espèce le régime global, l'évolution de ce régime en fonction de la taille et en fonction du temps et de l'espace.

III-2-2-1 Choix des indices alimentaires

Les descripteurs les plus utilisés pour étudier le régime alimentaire d'une espèce de poissons à partir de l'analyse des contenus stomacaux sont (Berg, 1979; Hyslop, 1980) :

- la fréquence d'occurrence (% **F_o**) d'une proie (en %) : elle indique la fréquence d'apparition d'une proie dans les estomacs (non vides) et permet de connaître l'étendue du spectre trophique (Hyslop, 1980) .

$$\% F_o = N_o / N_{nv} \times 100$$

avec **N_o** : nombre d'occurrence d'une proie donnée (sans tenir compte de son abondance dans l'estomac)

et **N_{nv}** : nombre total d'estomacs non vides

- le pourcentage en nombre ou abondance relative (% **N**) d'une proie est le rapport du nombre total d'individus d'une proie donnée sur le nombre total de proies ingérées (Hyslop, 1980). Cet indice peut surestimer les petites proies et sous-estimer les proies facilement digérables.

$$\% N = Ni/Nt \times 100$$

avec **Ni** : nombre total d'individus d'une proie donnée

et **Nt** : nombre total de proies ingérées

- le pourcentage en poids ou abondance relative (**% P**) d'une proie est le rapport du poids total des individus d'une proie donnée sur le poids total des proies ingérées. Cet indice surestime les grosses proies qui sont plus longues à digérer et sous-estime celles qui sont très vite digérées.

$$\% P = Pi/Pt \times 100$$

avec **Pi** : poids sec total des individus d'une proie donnée

et **Pt** : poids total des proies ingérées

- le pourcentage en volume d'une proie : consiste à réaliser des estimations de volume des proies de manière indirecte par comparaison avec des blocs de volume déjà connu. Cette méthode présente des difficultés car l'eau piégée dans le bol alimentaire cause souvent de grandes erreurs dans l'estimation du volume d'aliment présent dans l'estomac.

$$\% V = Vi/Vt \times 100$$

avec **Vi** : volume total d'individus d'une proie donnée

et **Vt** : volume total de proies ingérées

Pour apporter le maximum d'information sur l'alimentation d'une espèce, des combinaisons diverses des descripteurs ont été aussi proposées. Le coefficient alimentaire **Q** mis au point par Hureau (1970) associe les informations sur les effectifs et les biomasses. Les indices tels que l'**IRI** (indice de relative importance) de Pinkas *et al.* (1971) et le **MFI** (indice d'aliment principal) de Zander (1982) qui combinent les occurrences, les effectifs et les poids ou les volumes.

Le choix du ou des descripteur(s) analysé(s) dépend de l'auteur, de l'orientation et des objectifs de son étude, mais aussi de la disponibilité des moyens et matériels d'étude (Cortès, 1997). L'étude de l'alimentation des petits poissons est très délicate compte tenu de leur taille et celle de leurs estomacs. Selon Berg, (1979), certaines méthodes telles les méthodes pondérales et volumétriques ne peuvent pas être utilisées sans modifications. Généralement le poids ou le volume des contenus stomacaux est estimé de manière indirecte par comparaison avec des blocs de poids ou de volume déjà connu.

Pour ces raisons, la méthode **la fréquence d'occurrence** et **la méthode numérique (par les effectifs)** ont été utilisées dans ce travail.

La **fréquence d'occurrence** apparaît comme le descripteur le plus pertinent pour déterminer la **composition du spectre alimentaire** d'une espèce (Hynes, 1950 ; Pillay, 1952). La fréquence donne une bonne image des préférences alimentaires.

Le **pourcentage numérique** donne des informations comparables aux méthodes volumétriques ou pondérales. C'est le meilleur descripteur **pour déterminer l'importance** des proies exploitées par une espèce, mais également **l'indice le plus adéquat pour l'étude de l'alimentation des poissons de petites tailles** (Berg, 1979).

Ces deux indices donnent le maximum d'information à la fois qualitative et quantitative sur l'alimentation des juvéniles de poissons.

Selon Pillay (1952), si la fréquence d'occurrence d'une proie est supérieure à 50%, la proie consommée peut être considérée comme proie préférentielle, si la fréquence d'occurrence est comprise entre 10% et 50%, cette proie est qualifiée de secondaire, et enfin si cette fréquence est inférieure à 10%, cette proie peut être considérée comme accidentelle. Les valeurs limites dépendent des auteurs mais aussi de l'abondance des proies ingérées (Hureau, 1970). Dans notre travail, en raison du nombre élevé d'estomacs non vides et de la diversité des proies, les plus fortes fréquences observées sont comprises entre 30 et 50%. Nous avons choisi de considérer comme préférentielles les proies ayant une fréquence supérieure à 30%, comme secondaires les proies avec une occurrence comprise entre 10 et 30%, et comme accidentelles ou occasionnelles celles avec une occurrence inférieure à 10%. Pour l'abondance, les proies sont classées par ordre croissant selon leur importance relative.

III-2-2-2 Analyses statistiques

L'évolution ontogénique du régime alimentaire a été étudiée en faisant des classes de taille d'intervalle de 10mm pour chaque espèce sauf pour *Ethmalosa fimbriata* où les intervalles ont été fixés à 20mm en raison du faible nombre d'individus. L'abondance des proies dans les contenus stomacaux a été utilisée pour calculer la similarité du régime entre les classes de taille. Le regroupement progressif des classes de taille selon les similitudes des contenus stomacaux est réalisé par une méthode de classification. Différents indices de similarité et méthodes de regroupement existent. Leur choix dépend des objectifs visés et de la qualité des données disponibles. Dans ce travail, l'indice de similarité de Horn-Morisita (I_{mh}) a été utilisé :

$$I_{mh} = \frac{2 \sum P_{ij} P_{ik}}{\sum P_{ij}^2 + \sum P_{ik}^2}$$

avec I_{mh} l'indice Horn-Morisita, P_{ij} et P_{ik} le pourcentage numérique de la proie i respectivement des individus (classes de taille) j et k .

Cet indice été proposé par Morisita (1959) puis modifié par Horn (1966). Il ne s'applique qu'aux abondances relatives (Krebs, 1998). Il varie de 0 (pas de similarité) à 1 (similarité parfaite) et le seuil de similarité est arbitrairement fixé à $I_{mh} \geq 0,6$ par Horn (1966) et Zaret & Rand (1971). Cet indice a été utilisé par plusieurs auteurs pour l'étude de l'ontogénie trophique (Graham *et al.*, 2007) mais également pour évaluer la compétition entre prédateurs (Pottier *et al.*, 2007).

Le regroupement des classes de taille de régime alimentaire similaire a été réalisé grâce à l'utilisation d'une méthode de classification hiérarchique. La construction de l'arbre a été réalisée à partir de la matrice de distances de Horn-Morisita par la méthode « Group Average » avec le logiciel R (vegdist package). Les groupes de tailles de régime alimentaire similaire ont été établis par troncature de l'arbre de classification obtenu au seuil de 40% correspondant à 1 - 60% de similarité.

L'analyse détaillée des spectres alimentaires des groupes a ensuite permis d'identifier les proies responsables de l'évolution ontogénique mise en évidence.

Les variations spatiale et temporelle de l'alimentation des juvéniles de poissons ont été étudiées en réalisant une Analyse en Composantes Principales (ACP) à partir des données d'occurrence qui procurent le maximum d'information sur la nature et la qualité des proies en fonction du temps et de l'espace. Ces analyses ont été exécutées selon la procédure ADE sous le logiciel R (<http://pbil.univ-lyon1.fr/ADE-4/>).

III-3 Résultats : Stratégie alimentaire des poissons : approche monospécifique

III-3-1 *Eucinostomus melanopterus*

III-3-1-1 Régime alimentaire global

L'étude de l'alimentation des juvéniles de *E. melanopterus* a été réalisée sur un total de 1568 individus de taille comprise entre 10 et 110 mm dont le nombre d'estomacs ouverts, le nombre d'estomacs vides et le taux de vacuité par classe de taille sont mentionnés dans le tableau 3. Les tailles extrêmes (< 20 mm et > 100 mm) sont moins représentées dans l'échantillonnage. Les individus de tailles comprises entre 21 et 90 mm sont plus abondants avec une taille moyenne de 56mm.

Tableau 3 : Répartition par classe de taille des juvéniles de *Eucinostomus melanopterus* étudiés

Classe de taille (mm)	10-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100	100-110	Total
Nombre total d'estomacs	67	123	229	338	225	176	152	149	61	48	1568
Estomacs vides	0	13	40	87	70	44	28	28	25	6	341
Estomacs non vides	67	110	189	251	155	132	124	121	36	42	1227
Taux de vacuité (%)	0	11	17	26	31	25	18	19	41	13	22

Parmi ces 1568 individus, 341 présentaient des estomacs vides et 1227 avaient des estomacs remplis de nourriture, ce qui conduit à un taux de vacuité de 22%. Cette espèce présente un spectre alimentaire large (tableau 4).

En occurrence, l'alimentation est dominée par les petits crustacés, copépodes benthiques et pélagiques (35,4%); ostracodes (34,7%), les annélides polychètes et les larves d'insectes ont une importance secondaire avec respectivement 25,7% et 24,3%. Les amphipodes viennent ensuite avec une occurrence de 15,2%. Les larves de crabes, les ascidies, les mysidacés et les euphausiacés suivent avec des occurrences allant de 13,4 à 10,3%. D'autres proies sont rencontrées avec des occurrences inférieures à 10% telles que les mollusques, les larves et juvéniles de poissons, les siphonophores et les débris d'algues. La présence, dans plus de 30%

des estomacs, de débris de végétaux d'origine terrestre, souvent associés à des grains de sable et/ou à des particules fines de sédiments est également notée.

En abondance, l'alimentation d'*E. melanopterus* est dominée essentiellement par les copépodes avec 34,5%. Les larves d'insectes, les ostracodes, les annélides polychètes et les amphipodes suivent avec respectivement 20,1%, 15,6%, 12% et 7%. Toutes les autres proies sont faiblement représentées en nombre avec des pourcentages inférieurs à 2%.

Tableau 4: Régime alimentaire global des juvéniles d'*Eucinostomus melanopterus* (tailles comprises entre 10-110mm (LF). No = nombre d'occurrences des proies %F = fréquence d'occurrence; Ni = nombre de proies ; %N = pourcentage numérique

Proies	No	%F	Ni	%N
Crustacés				
Copépodes	434	35,4	12562	34,5
Ostracodes	426	34,7	5688	15,6
Amphipodes	186	15,2	2739	7,5
Isopodes	32	2,6	57	0,2
Mysidacés	126	10,3	677	1,9
Euphausiacés	124	10,1	386	1,1
Penéidés	85	6,9	300	0,8
Larves de crabes	164	13,4	384	1,1
Juvéniles de crabes	65	5,3	152	0,4
Autres larves de décapodes	75	6,1	176	0,5
Mollusques				
Larves de gastéropodes	59	4,8	96	0,3
Juvéniles de gastéropodes	112	9,1	266	0,7
Bivalves	52	4,2	179	0,5
Autres mollusques	66	5,4	130	0,4
Insectes				
Larves d'insectes	298	24,3	7332	20,1
Insectes	47	3,8	70	0,2
Annélides				
Polychètes	315	25,7	4360	12,0
Poissons				
Larves de poisson	28	2,3	475	1,3
Juvéniles de poisson	13	1,1	49	0,1
Ecailles de poissons	2	0,2	4	0,0
Ascidies	135	11,0	318	0,9
Siphonophores	36	2,9		
Végétaux				
Diatomées.	27	2,2		
Débris d'algues	107	8,7		
Débris végétaux supérieurs	375	30,6		
Indéterminés	41	3,3		
total			36400	100

III-3-1-2 Variation en fonction de la taille

La classification des classes de taille en fonction de l'abondance des proies chez *E. melanopterus* a permis de mettre en évidence deux groupes distincts : groupe A rassemble les individus de 10 à 40mm et le groupe B, les individus de 41 à 110mm (figure 12). Une sous-structuration du groupe B a été observée: le sous-groupe B1 rassemble les classes de taille

moyenne de 41 à 70mm et le sous-groupe B2 rassemble les classes de taille plus grande de 71 à 110mm. Cela montre que l'alimentation d' *E. melanopterus* subit des modifications au cours de la croissance.

L'indice de Horn-Morisita (tableau 5) permet de montrer que ce changement du régime alimentaire en fonction de la taille est progressif. En effet, les classes de taille du groupe A ont de fortes similarités entre elles ($I_{mh} > 0,6$). L'indice de similarité entre la classe 31-40 du groupe A et 41-50 du sous-groupe B1 est significatif ($I_{mh} > 0,6$). Les classes de taille 41-50 et 51-60 du sous-groupe B1 présentent des similarités fortes avec les classes de taille 71-80 et 81-90 du sous-groupe B2 ($I_{mh} > 0,6$). De même, la classe de taille 61-70 du sous-groupe B1 présente une similarité forte avec tout le sous-groupe B2 ($I_{mh} > 0,6$). De ce fait, le sous-groupe B1 possède des similarités aussi bien avec le groupe A qu'avec le sous-groupe B2 et constitue donc un groupe transitoire pour le régime alimentaire. Par ailleurs, aucune similarité significative n'a été trouvée entre les classes de taille du groupe A et celles du sous-groupe B2 ($I_{mh} < 0,6$).

L'étude détaillée du spectre alimentaire de ces différentes classes de taille (figure 13) montre une abondance considérable des copépodes chez les individus du groupe A puis leur raréfaction progressive chez les individus des sous-groupes B1 et B2. L'alimentation des individus du sous-groupe B1 est caractérisée par une diversité élevée de proies avec une forte abondance des ostracodes, des larves d'insectes, des amphipodes et une apparition progressive des annélides polychètes. Le régime alimentaire du sous-groupe B2 est dominé par les annélides polychètes.

En résumé, le régime alimentaire des juvéniles d' *E. melanopterus* évolue avec la taille des individus. Jusqu'à 40mm, ils ont un régime basé essentiellement sur les copépodes. Ensuite, entre 41 et 70mm, ils ont un régime plus diversifié, reposant sur une plus large variété d'invertébrés avec une tendance progressive vers les polychètes. Au delà de 70mm, leur régime alimentaire se stabilise sur les annélides polychètes.

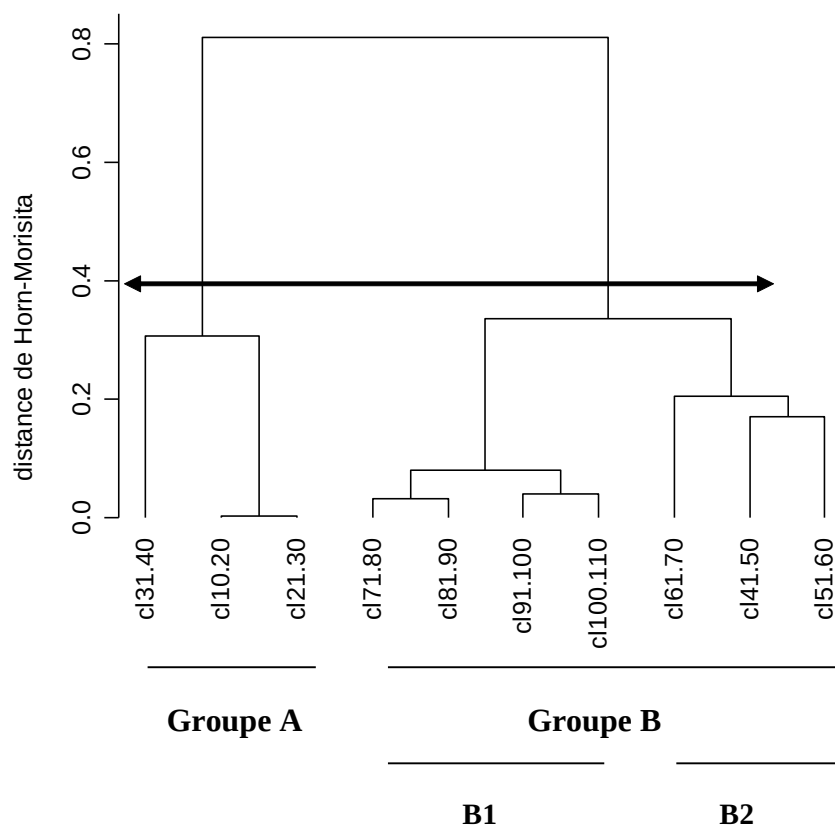


Figure 12: Classification par groupement agglomératif des classes de taille des juvéniles d'*Eucinostomus melanopterus* en fonction de leur régime alimentaire (abondance relative des proies). La flèche indique la valeur seuil retenue pour l'établissement des groupes

Tableau 5: Indice de similarité Horn-Morisita entre les différentes classes de taille (mm) des juvéniles d'*Eucinostomus melanopterus*. Significativité signalée en rouge à $I_{mh} \geq 0,6$.

	10.20	21.30	31.40	41.50	51.60	61.70	71.80	81.90	91.100	100.110
10.20										
21.30	0,99									
31.40	0,71	0,68								
41.50	0,24	0,22	0,67							
51.60	0,12	0,11	0,53	0,83						
61.70	0,12	0,11	0,44	0,76	0,83					
71.80	0,08	0,07	0,26	0,63	0,74	0,85				
81.90	0,09	0,08	0,37	0,66	0,82	0,85	0,97			
91.100	0,06	0,05	0,22	0,51	0,59	0,75	0,95	0,92		
100.110	0,02	0,02	0,11	0,37	0,53	0,69	0,92	0,89	0,96	

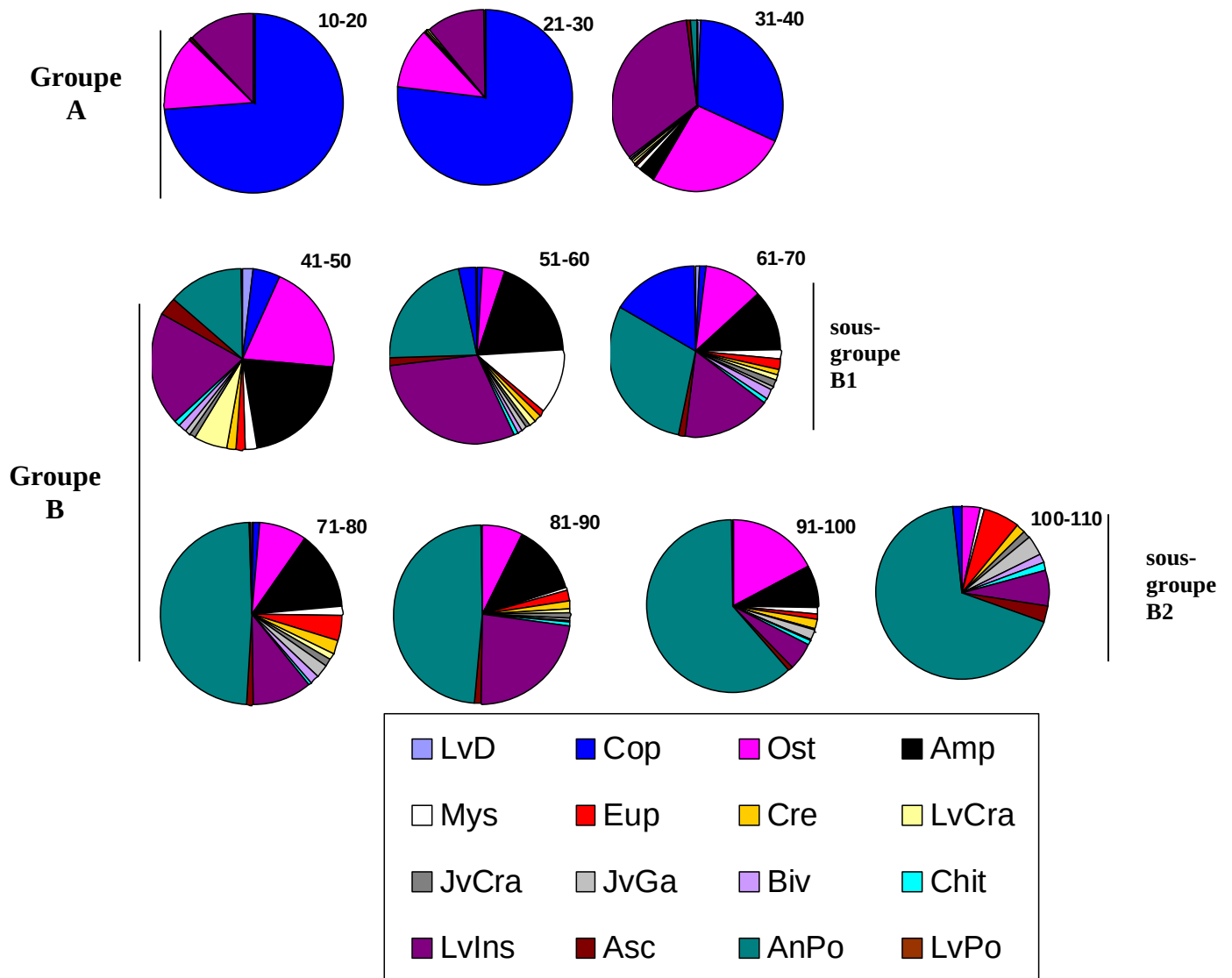


Figure 13: Répartition des proies (abondance relative) dans les différentes classes de tailles des juvéniles d'*Eucinostomus melanopterus* (illustration des proies cf Abréviations).

III-3-1-3 Variation spatio-temporelle

L'étude de la variation spatio-temporelle du régime alimentaire des juvéniles d'*E. melanopterus* a été réalisée en effectuant une ACP sur les données d'occurrence des proies des individus récoltés aux différentes dates dans chaque site. Les juvéniles d'*E. melanopterus* ont été capturés dans quatre des cinq stations : Bapindo, Moundé, Ndiamniadio et Badaïe.

L'ACP révèle une structuration spatiale nette du régime alimentaire avec le long de l'axe I une opposition entre les stations aval et les stations amont. En effet, les stations Bapindo (Ba) et Moundé (Mo) dont les caractéristiques sont similaires, se regroupent et se distinguent de la station amont Badaïe (Bd). La station Ndiamniadio (Nd) est à mi-chemin entre les stations amont et aval (figure 14A). L'axe I sépare les proies des juvéniles capturés sur les stations Bapindo et Moundé en aval (débris d'algues, annélides polychètes et larves de crabes) de celles des juvéniles capturés à Badaïe en amont : larves d'insectes (chironomidés), ostracodes et copépodes benthiques (harpacticoïdes) (Figure 14 B).

Le spectre alimentaire des individus capturés dans la station intermédiaire, Ndiamniadio est caractérisé par les euphausiacés et les amphipodes.

Les autres proies telles que les ascidies, les crevettes (Pénéides), les larves de poissons, etc..., forment un nuage de points à l'origine indiquant une certaine homogénéité spatiale.

L'ACP (Figure 14 C) ne révèle pas de variation temporelle du régime alimentaire. Les périodes d'échantillonnage présentent de fortes similitudes et forment un nuage de point proche de l'origine, indiquant une constance temporelle du régime alimentaire de cette écophase dans les différentes stations.

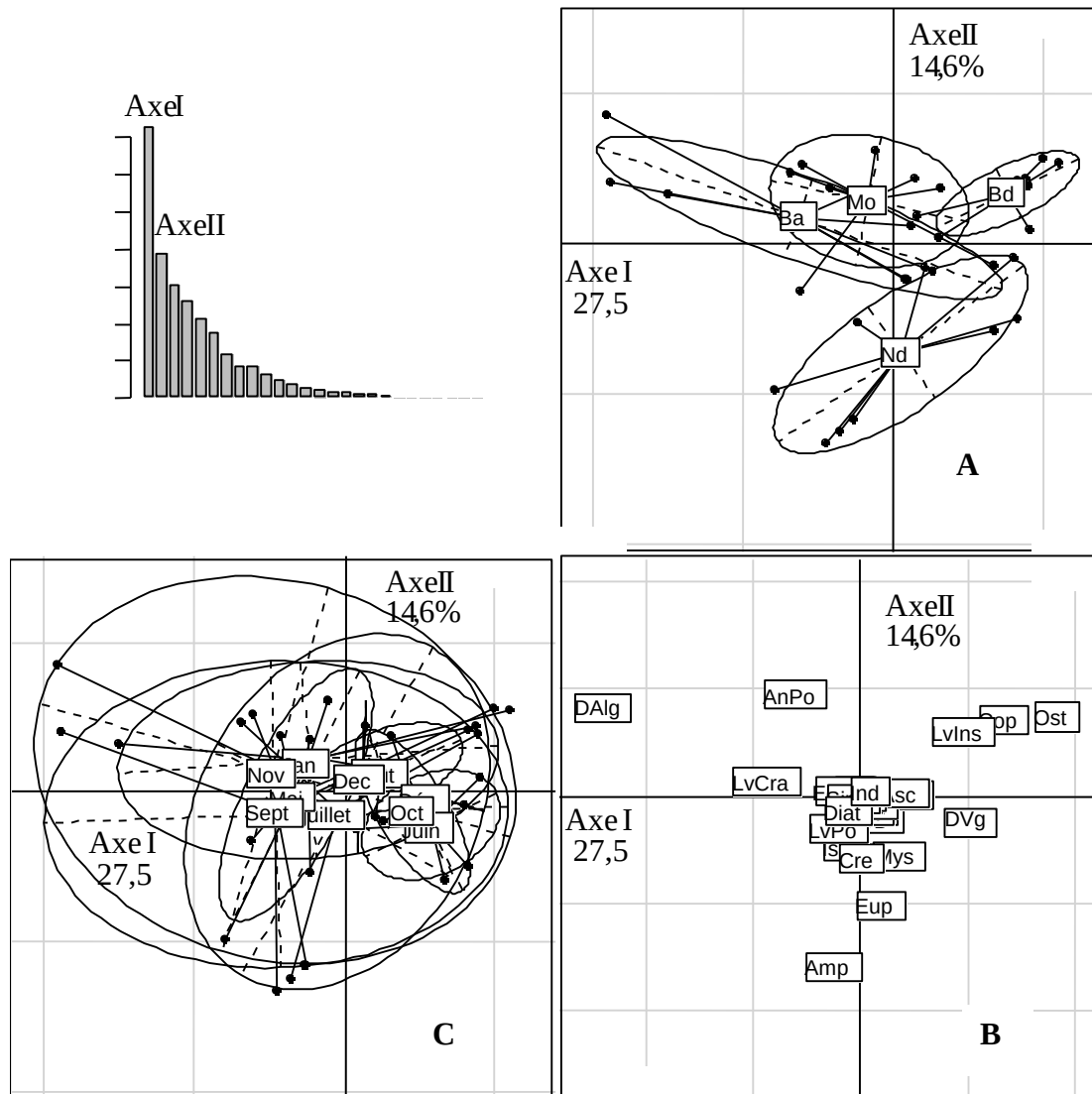


Figure 14: Variation spatio-temporelle du régime alimentaire des juvéniles d'*Eucinostomus melanopterus* (illustration des proies cf Abréviation). A: Structuration spatiale; B: Distribution des proies; C : Structuration temporelle

III-3-2 *Ethmalosa fimbriata*

III-3-2-1 Régime global

L'alimentation des juvéniles d'*E. fimbriata* a été étudiée sur 352 individus dont la taille est comprise entre 25 et 97 mm. La distribution des individus par classe de taille ainsi que le nombre d'estomacs vides et non vides et le taux de vacuité figurent dans le tableau 6. La taille moyenne des individus échantillonnés est de 57mm. Sur les 352 estomacs analysés, 92 ne contenaient pas de nourriture, conduisant à un pourcentage de vacuité de 26%.

Tableau 6 : Répartition par classe de taille des juvéniles d'*Ethmalosa fimbriata* étudiés

Classe de taille (mm)	20-40	41-60	61-80	80-100	Total
Nombre total d'estomacs	66	173	49	64	352
Estomacs vides	7	48	14	23	92
Estomacs non vides	59	125	35	41	260
Taux de vacuité (%)	11	28	29	36	26

Qualitativement, les copépodes et les larves de crabe sont les proies préférentielles avec respectivement 37,3% et 29,6% d'occurrence (tableau 7). Les proies secondaires comprennent les diatomées avec 19,2% d'occurrence, ainsi que les larves et juvéniles de gastéropodes, les ascidies et les ostracodes avec des occurrences comprises entre 13 et 10%. D'autres proies sont consommées avec des occurrences faibles inférieures à 10% telles que les euphausiacés, les amphipodes ou les mysidacés. La présence des débris de végétaux supérieurs dans 13,5% des estomacs est notable.

Du point de vue quantitatif, l'alimentation des juvéniles d'*E. fimbriata* est dominée par les copépodes qui représentent 68% du nombre total de nourriture ingérée (tableau 7). Les larves de crabes sont assez représentées en nombre avec 27,8%. Toutes les autres proies rencontrées ont des pourcentages inférieurs à 2%.

Tableau 7: Régime alimentaire global des juvéniles d'*Ethmalosa fimbriata* (taille comprise entre 25 et 97 mm). No = nombre d'occurrence des proies %F = fréquence d'occurrence; Ni = nombre de proies ; %N = pourcentage numérique.

Proies	No	%F	Ni	%N
Crustacés				
Copépodes	97	37,3	5879	68,6
Ostracodes	26	10,0	48	0,6
Amphipodes	1	0,4	1	0,0
Mysidacés	5	1,9	5	0,1
Euphausiacés	2	0,8	4	0,0
Larves Crabes	77	29,6	2382	27,8
Juvéniles Crabes	6	2,3	12	0,1
Autres larves décapodes	8	3,1	20	0,2
Mollusques				
Larves gastéropodes	35	13,5	100	1,2
Juvéniles gastéropodes	30	11,5	56	0,7
Bivalves	3	1,2	3	0,0
Autres mollusques	1	0,4	1	0,0
Insectes				
Larves d'insectes	1	0,4	1	0,0
Ascidies	29	11,2	59	0,7
Poissons				
Ecailles de poissons	2	0,8	2	0,0
Végétaux				
Siphonophores	23	8,8		
Diatomées.	50	19,2		
Débris d'algues	24	9,2		
Débris végétaux supérieurs	35	13,5		
Indéterminés	7	2,7		
total			8573	100,0

III-3-2-2 Variation en fonction de la taille

La classification par groupement agglomératif des classes de tailles en fonction de l'alimentation montre deux classes isolées de petites tailles et un groupe (groupe A) rassemblant les deux classes de grandes tailles 61-80 et 81-100 mm (figure 15). Les juvéniles d'*Ethmalosa fimbriata* connaissent des modifications de leur alimentation au cours de la croissance

L'indice de similarité Horn-Morisita (tableau 8) ne montre aucune similarité entre les deux classes de taille du groupe A et les deux autres classes de petites tailles. Par ailleurs, il n'y a pas de similarité significative entre les deux classes de petite taille ($I_{mh} = 0,40$).

L'étude détaillée du régime au sein des classes de taille (figure 16) révèle que les individus de la classe 20-40 mm se nourrissent à 95,1% de copépodes, ceux de la classe 41-60 mm consomment 67,8% de larves de crabes et 27,6% de copépodes. Ceci explique l'absence de similarité entre ces deux classes. Les classes de taille du groupe A présentent un spectre alimentaire très diversifié, dominé par les larves de gastéropodes, les ostracodes, les ascidies et les larves de crabes.

En résumé, les juvéniles d'*E. fimbriata* consomment essentiellement des copépodes jusqu'à une taille de 40mm, ensuite leur alimentation évolue en intégrant d'autres proies notamment les larves de crabes entre 41 et 60mm, puis les ostracodes et les mollusques chez les individus de 61 à 100mm.

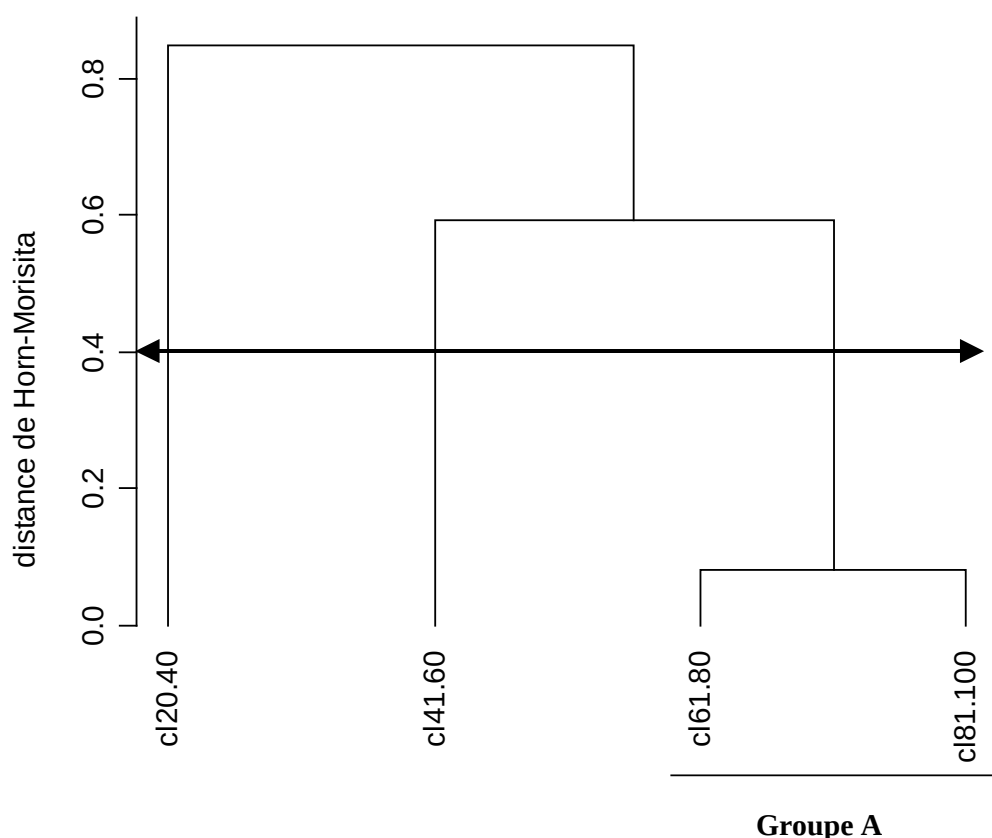


Figure 15: Classification par groupement agglomératif des classes de taille des juvéniles d'*Ethmalosa fimbriata* en fonction de leur régime alimentaire (abondance relative des proies). La flèche indique la valeur seuil retenue pour l'établissement des groupes

Tableau 8: Indice de similarité Horn-Morisita entre les classes de tailles (mm) des juvéniles d'*E. fimbriata*. Significativité signalée en rouge à $I_{mh} \geq 0,6$

	20-40	41-60	61-80	81-100
20-40				
41-60	0,40			
61-80	0,04	0,30		
81-100	0,02	0,52	0,91	

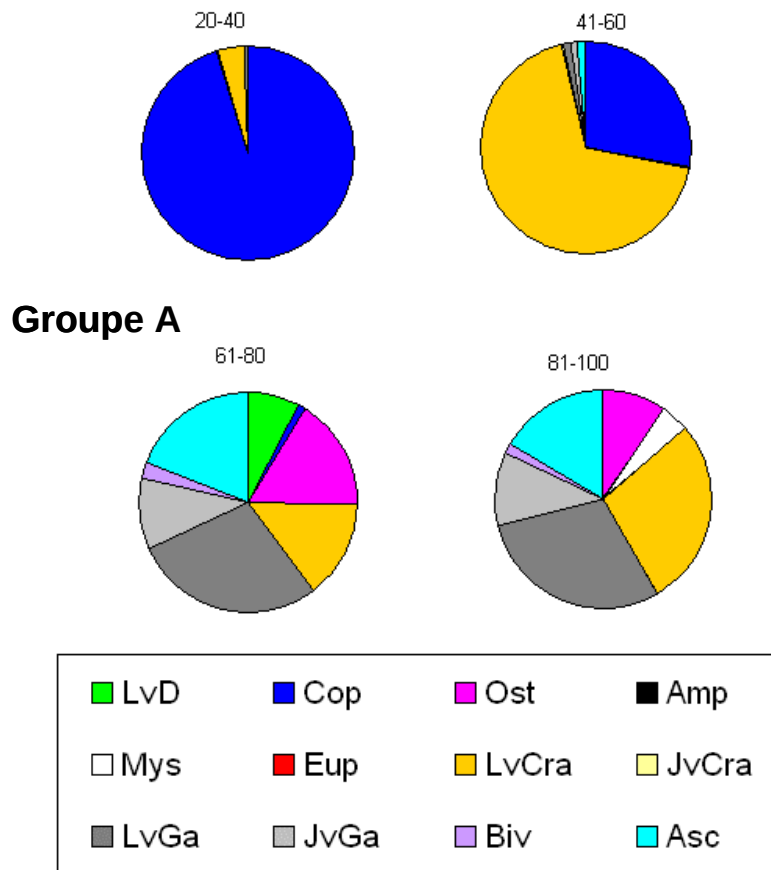


Figure 16: Répartition des différentes proies (pourcentage numérique) dans l'alimentation des juvéniles d'*Ethmalosa fimbriata* de différentes classes de taille (illustration des proies cf abréviation).

III-3-2-3 Variation spatio-temporelle

Les juvéniles d'*E. fimbriata* ont été capturés sur les cinq stations au cours des différentes périodes d'échantillonnage. L'ACP réalisée, indique une variation du régime alimentaire dans le temps et dans l'espace de leur régime alimentaire. L'axe I (figure 17 A) oppose des stations aval de Bapindo (Ba) et de Moundé (Mo) à celles de l'amont de Badaïe (Bd) et de Kaolack (KL). La station intermédiaire, Ndiamniadio (Nd) est plus proche des stations d'aval. La projection des différentes catégories de proies (figure 17 B), indique que les diatomées et les larves de crabes se positionnent en regard des stations d'aval et par conséquent caractérisent le régime alimentaire des individus de cette partie de l'estuaire. Les ostracodes et les copépodes benthiques (harpacticoïdes) constituent l'alimentation des juvéniles d'*E. fimbriata* capturés dans les stations d'amont. Les

autres proies se regroupent au milieu et forment un nuage de point révélant une certaine homogénéité spatiale.

Sur le plan temporel (figure 17 C), il existe une certaine variation entre les différentes périodes de captures. Suivant l'axe I, les mois septembre, décembre et janvier se regroupent et se distinguent des mois août et novembre. Cette disposition ne donne aucun renseignement clair sur l'évolution temporelle.

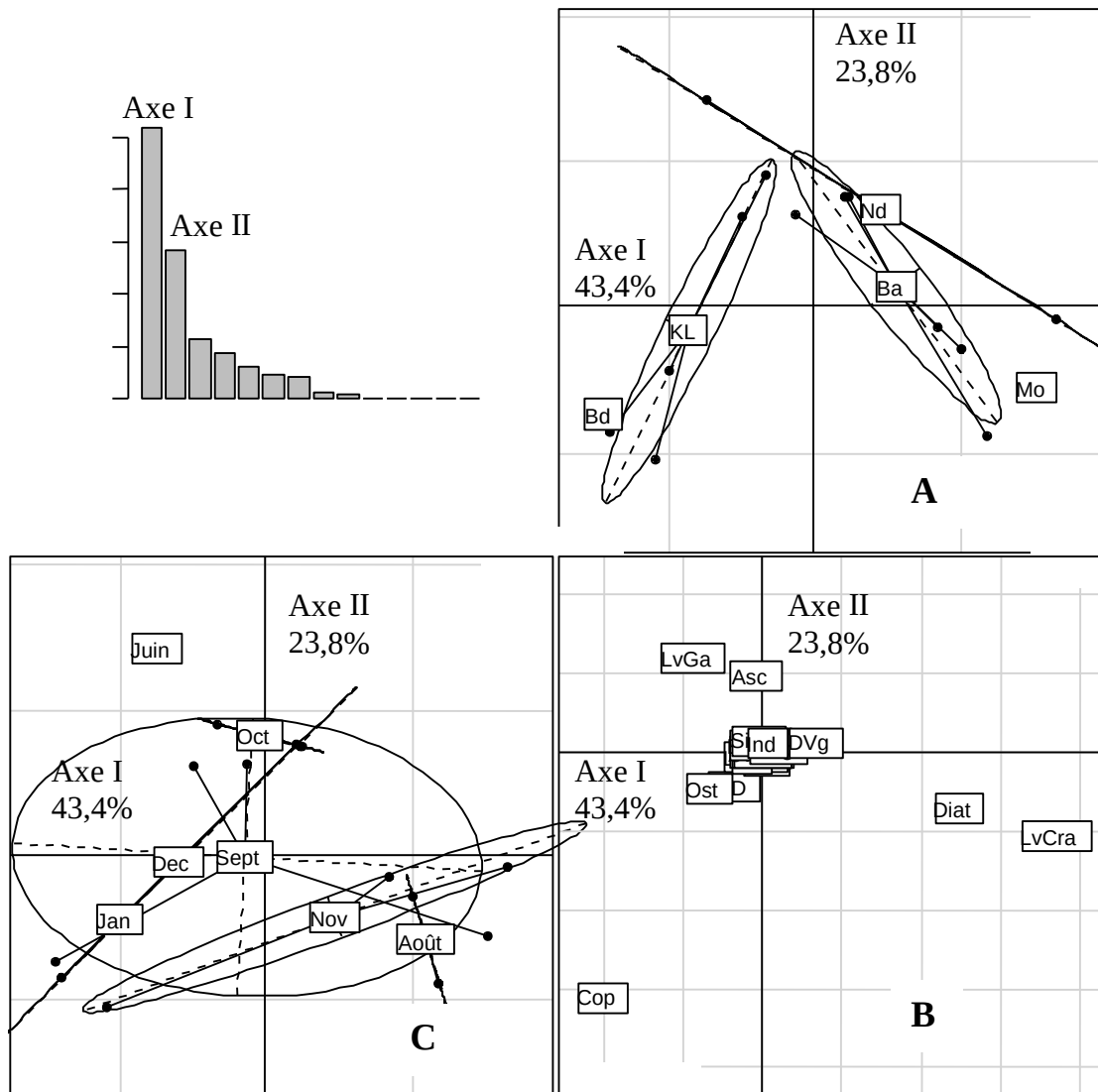


Figure 17 Variation spatio-temporelle du régime alimentaire des juvéniles d' *Ethmalosa fimbriata* (Illustrations des proies cf Abréviation). A: Variation spatiale; B: Distribution des proies; C :Variation temporelle.

III-3-3 *Monodactylus sebae*

III-3-3-1 Régime global

Le profil alimentaire des juvéniles de *M. sebae* a été établi sur 478 individus dont la taille est comprise entre 18 et 111 mm. La répartition des individus, le nombre d'estomacs vides et non vides ainsi que le taux de vacuité par classe de taille sont représentés dans le tableau 9. La plus petite et la plus grande classe de taille sont faiblement échantillonnées. La taille moyenne des individus échantillonnés est de 70 mm. Parmi les 478 estomacs, 91 étaient vides (19% de vacuité).

Tableau 9 : Répartition par classe de taille des juvéniles de *Monodactylus sebae* étudiés

Classe de taille (mm)	20-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100	101-110	Total
Nombre total d'estomacs	14	21	43	62	122	83	71	51	11	478
Estomacs vides	6	15	11	18	19	13	4	4	1	91
Estomacs non vides	8	6	32	44	103	70	67	47	10	387
Taux de vacuité (%)	43	71	26	29	16	16	6	8	9	19

Du point de vue qualitatif (tableau 10), les juvéniles de *M. sebae* possèdent une très large gamme de proies parmi lesquelles les annélides polychètes et les juvéniles de crabes sont les proies préférentielles avec des occurrences respectives de 37,5% et 23,8%. Les larves de crabes, les amphipodes, les euphausiacés et les débris d'algues sont les proies d'ordre secondaire avec respectivement 17,6%, 16,0%, 15,5% et 14,7%. D'autres proies sont aussi présentes dans les contenus stomacaux avec des occurrences faibles inférieures à 10% telles que les mysidacés, les mollusques, les insectes, les ascidies, les siphonophores. La présence des débris de végétaux supérieurs associés à des grains de sable et/ou à des particules fines de sédiments est également notée dans 40,6% des estomacs.

Du point de vue quantitatif, le régime alimentaire des juvéniles de *Monodactylus sebae* est dominé par les annélides polychètes qui représentent 64,6% du nombre total des proies consommées. Ensuite suivent les amphipodes avec 9,7%. Les juvéniles de crabes, les euphausiacés, les mysidacés, les larves de crabes, les crevettes pénéides et les larves d'insectes viennent ensuite avec des pourcentages compris entre 4 et 2%. Les autres proies sont négligeables en nombre avec des pourcentages inférieurs à 2%.

Tableau 10: Régime alimentaire global des juvéniles de *Monodactylus sebae* (18<LF<111 mm). No = nombre d'occurrence des proies %F = fréquence d'occurrence; Ni = nombre de proies ; %N = abondance relative.

Proies	No	%F	Ni	%N
Crustacés				
Copépodes	11	2,8	23	0,4
Ostracodes	12	3,1	26	0,5
Amphipodes	62	16,0	538	9,7
Isopodes	13	3,4	31	0,6
Mysidacés	50	12,9	164	3,0
Euphausiacés	60	15,5	206	3,7
Pénéidés	36	9,3	122	2,2
Larves de crabes	68	17,6	151	2,7
juvéniles de crabes	92	23,8	254	4,6
Autres larves de décapodes	8	2,1	16	0,3
Mollusques				
Larves de gastéropodes	9	2,3	16	0,3
juvéniles de gastéropodes	29	7,5	77	1,4
Bivalves	24	6,2	27	0,5
Autres mollusques	12	3,1	24	0,4
Insectes				
Larves d'insectes	14	3,6	112	2,0
Insectes	35	9,0	87	1,6
Annélides				
Polychètes	138	35,7	3572	64,6
Poissons				
Larves de poissons	4	1,0	4	0,1
Juvéniles de poissons	3	0,8	8	0,1
Écailles de poissons	3	0,8	8	0,1
Ascidies	38	9,8	65	1,2
Siphonophores	17	4,4		
Végétaux				
Diatomées	6	1,6		
Débris d'algues	57	14,7		
Débris de végétaux supérieurs	157	40,6		
Indéterminés	3	0,8		
Total			5531	100

III-3-3-2 Variation en fonction de la taille

L'alimentation des juvéniles de *Monodactylus sebae* subit des modifications au cours de la croissance. La classification des classes de taille en fonction de l'alimentation sépare deux groupes : A, et B (figure 18). Le groupe A est constitué par les classes de tailles 20-30 et 31-40 mm, le groupe B, les classes de tailles de 41-50 à 91-110 mm. Cependant une sous-structuration du groupe B en B1 et B2 est mise en évidence. Le sous-groupe B1 rassemble les classes de taille 41-50mm et 51-60mm et le sous-groupe B2, les classes de taille allant de 61-70mm à 91-110mm.

L'indice de Horn-Morisita (tableau 11) révèle que ce changement du régime alimentaire en fonction de la taille est progressif. Les deux classes de taille du groupe A ne montrent aucune similarité significative ($I_{mh} < 0,6$) avec les classes de taille du groupe B. Les classes de taille du sous-groupe B1 présentent certaines similarités significatives avec le sous-groupe B2 ($I_{mh} > 0,6$). En effet, la classe de taille 41-50 du sous-groupe B1 possède des similitudes significatives avec les deux classes de plus petite taille du sous-groupe B2 ($I_{mh} > 0,6$). La classe de taille 51-60 mm présente des similitudes significatives avec tout le sous-groupe B2 ($I_{mh} > 0,6$).

L'étude détaillée du spectre alimentaire des classes de taille (figure 19) montre que les classes de tailles du groupe A présentent des proies similaires, essentiellement des larves de crabes, les copépodes et les ascidies avec respectivement les mêmes proportions numériques 36,4%, 31,8% et 22,7%. Les classes de tailles du sous-groupe B1 possèdent aussi des spectres similaires avec une grande diversité de proies, avec une disparition progressive des copépodes (5,3% et 0,3%) et l'apparition progressive d'autres proies dont les plus importantes sont les annélides polychètes (28,7% et 38,0%). Les classes de tailles du sous-groupe B2 ont également des spectres semblables. Les deux premières classes de tailles ont les mêmes proportions d'annélides polychètes (52,0%) avec la présence d'autres proies non négligeables notamment des amphipodes avec 7,6% et 11,3% respectivement dans 61-70mm et 71-80mm. Les spectres alimentaires des trois autres classes de tailles du sous-groupe B2 sont également similaires dominés à plus de 80% par les annélides polychètes.

En résumé, les juvéniles de *M. sebae* jusqu'à 40mm, ont un régime basé sur les copépodes, ensuite entre 41 et 60mm, ils ont un régime constitué d'une plus large variété d'invertébrés avec une tendance vers les polychètes. Au delà de 60mm, leur régime alimentaire se stabilise avec les annélides polychètes.

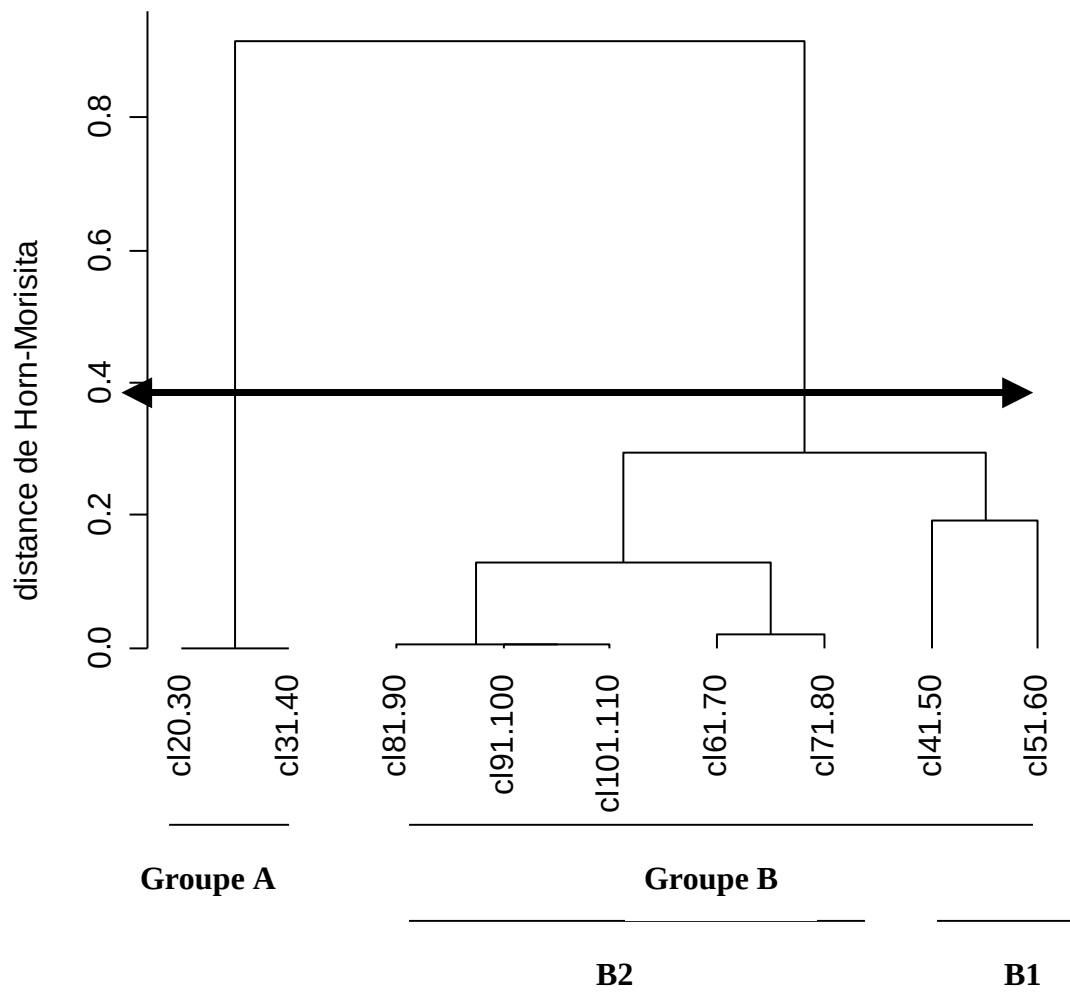


Figure 18 : Classification par groupement agglomératif des classes de taille des juvéniles d' *Monodactylus sebae* en fonction du régime alimentaire (abondance relative des proies). La flèche indique la valeur seuil retenue pour l'établissement des groupes

Tableau 11: Indice de similarité Horn-Morisita entre les classes de tailles (mm) des juvéniles de *Monodactylus sebae*. Significativité signalée en rouge à $I_{mh} \geq 0,6$

	20-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100	101-110
20-30									
31-40	0,99								
41-50	0,41	0,41							
51-60	0,06	0,06	0,81						
61-70	0,07	0,07	0,78	0,87					
71-80	0,02	0,02	0,78	0,84	0,98				
81-90	0,02	0,02	0,58	0,70	0,89	0,88			
91-100	0,02	0,02	0,58	0,70	0,88	0,87	0,99		
101-110	0,00	0,00	0,55	0,68	0,86	0,84	0,99	0,99	

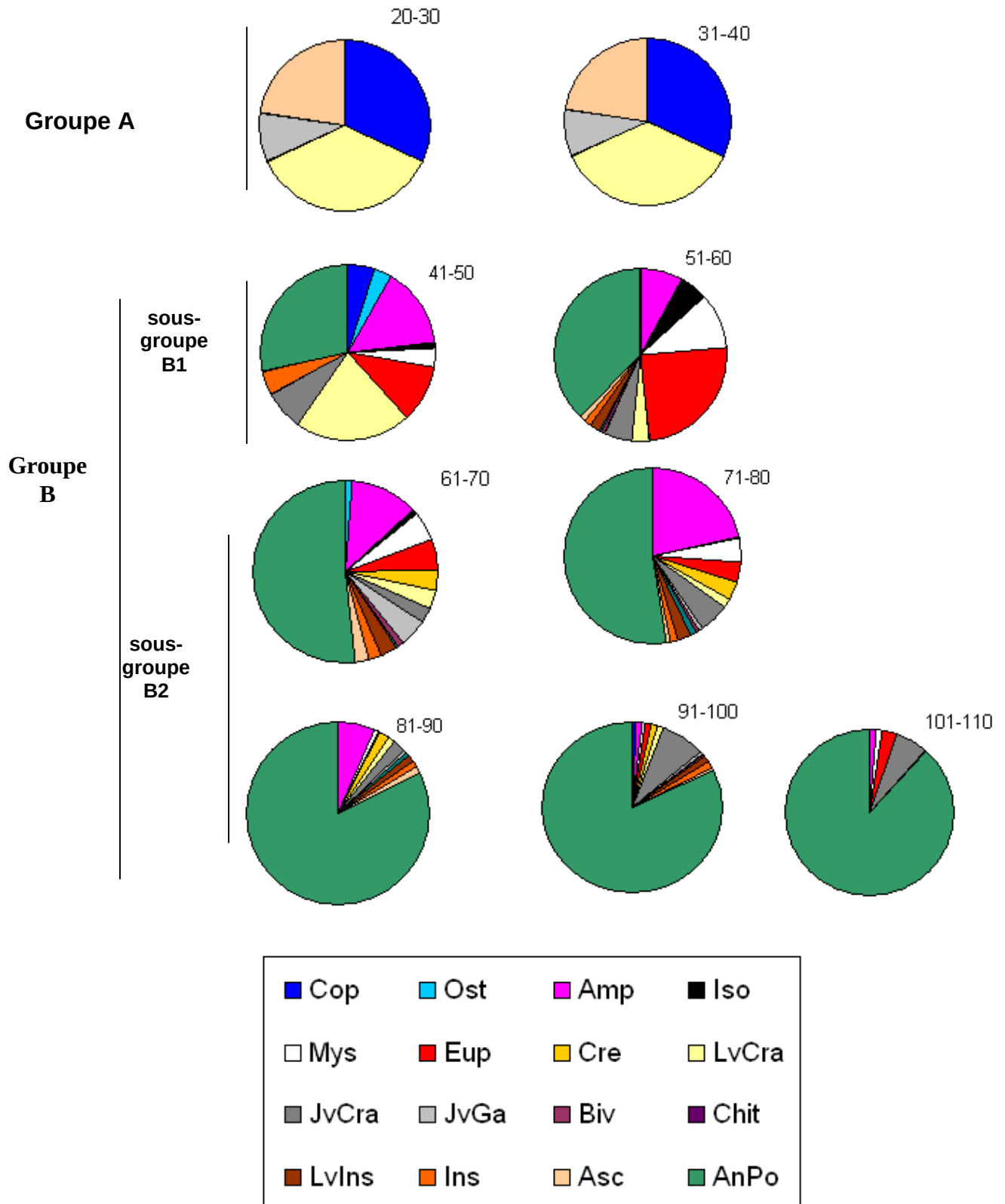


Figure 19: Répartition des proies (pourcentage numérique) dans l'alimentation des juvéniles de *Monodactylus sebae* des différentes classes de tailles (illustration des proies cf Abréviation).

III-3-3-3 Variation spatio-temporelle

Les juvéniles de *M. sebae*, espèce typique des zones de mangrove, ont été capturés dans les trois stations présentant cette formation végétale : Bapindo, Moundé et Ndiamniadio.. L'ACP (figure 20 A) montre une faible variation du régime alimentaire entre les trois stations. Néanmoins suivant l'axe II, les stations aval Bapindo (Ba) et Moundé (Mo) se distinguent de la station intermédiaire, Ndiamniadio (Nd). La projection des proies (figure 20B) indique que les juvéniles de crabes et les annélides polychètes caractérisent le régime des individus issus des stations aval. D'autre part, les euphausiacés et les amphipodes sont associés au régime des poissons capturés à Ndiamniadio. Les autres proies forment un nuage de point au milieu, ce qui traduit une abondance relativement indépendante de la station d'origine des poissons.

Sur le plan temporel (figure 20 C), une légère variation est observée suivant l'axe I. Les mois successifs juillet, août, septembre dont les caractères environnementaux sont proches (période de pleine saison des pluies, température et salinité voisines) se regroupent d'un côté et se distinguent des mois suivants, octobre, novembre et décembre (fin saison des pluies et début saison sèche). Les mois de mai et de juin (pleine saison sèche) se rangent du côté de la période d'octobre et de décembre.

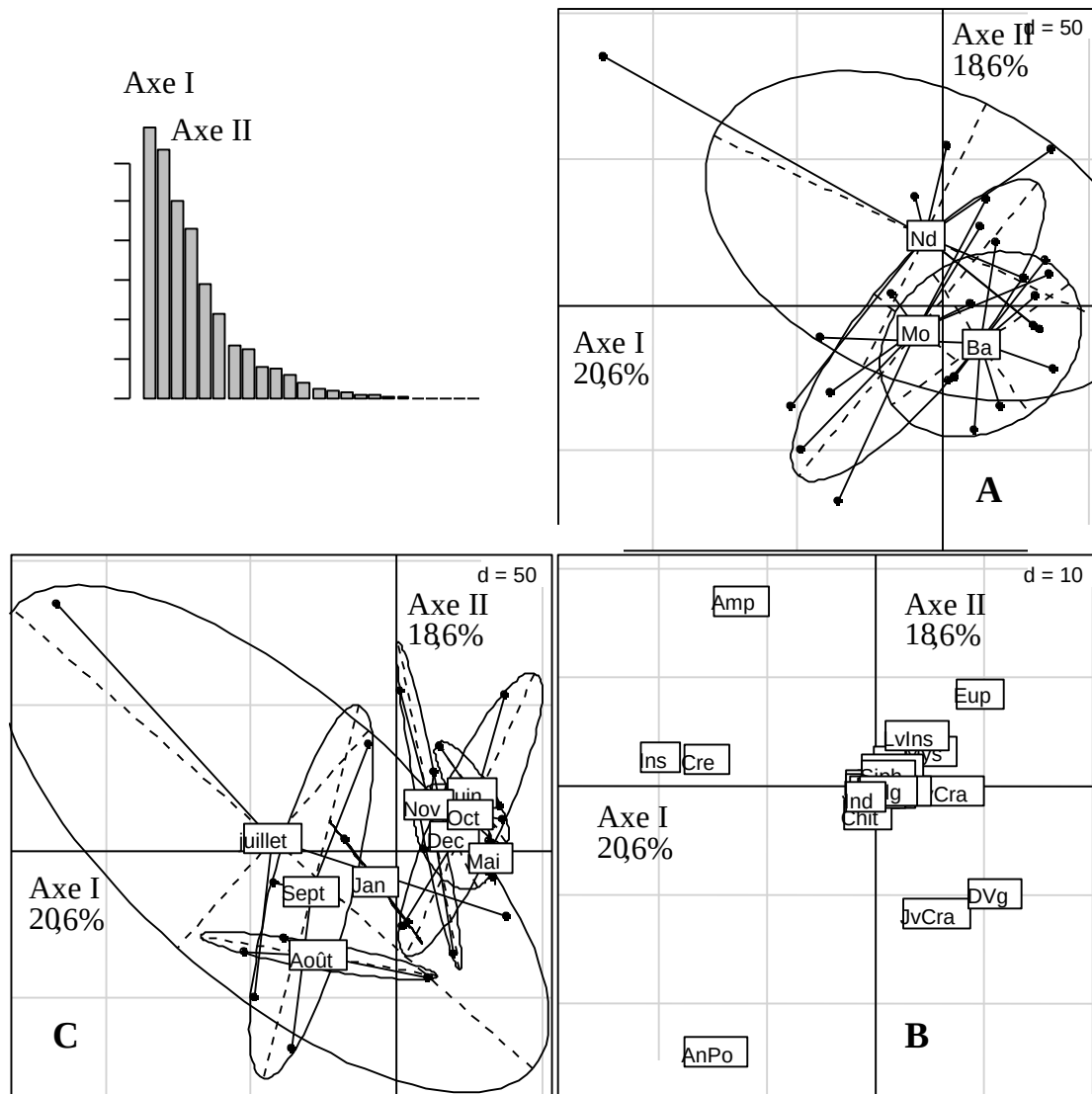


Figure 20 Variation spatio-temporelle du régime alimentaire des juvéniles de *Monodactylus sebae* (illustration des proies cf Abréviations) A: Variation spatiale; B: Distribution des proies; C :Variation temporelle

III-3-4 *Sarotherodon melanotheron*

III-3-4-1 Régime global

L'alimentation des juvéniles de *S. melanotheron* a été étudiée sur 655 individus dont la taille était comprise entre 13 et 126 mm. La répartition des individus, le nombre d'estomacs vides et non vides ainsi que le taux de vacuité par classe de taille sont donnés dans le tableau 12. La taille moyenne est de 60mm. Parmi les 655 estomacs examinés, 114 étaient vides (17% de taux de vacuité)

Tableau 12 : Répartition des juvéniles de *Sarotherodon melanotheron* étudiés par classe de taille

Classe de taille (mm)	10-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100	101-110	111-120	Total
Nombre total d'estomacs	37	104	91	79	52	39	46	81	81	32	13	655
Estomacs vides	5	24	15	9	11	7	11	13	10	8	1	114
Estomacs non vides	32	80	76	70	41	32	35	68	71	24	12	541
Taux de vacuité (%)	14	23	16	11	21	18	24	16	12	25	8	17

Du point de vue qualitatif (tableau 13), les contenus stomacaux des juvéniles de *S. melanotheron* sont dominés par les larves d'insectes, les débris d'algues, les ostracodes avec respectivement 38,6%, 36,6% et 30,7%. Les insectes, les diatomées, les copépodes, les siphonophores et les mollusques suivent avec des occurrences respectives de 26,2%, 18,7%, 15,5%, 15,2% et 14,8%. D'autres proies sont rencontrées dans les contenus stomacaux avec des occurrences inférieures à 10%. Les détritus mélangés avec de la vase sont observés très fréquemment (49,9%) dans les contenus stomacaux. Les débris de végétaux d'origine terrestre sont trouvés dans 64,7 % des estomacs.

Du point de vue quantitatif (tableau 13), l'alimentation des juvéniles de *S. melanotheron* est dominée par les copépodes avec 33,2%. Les insectes et les larves d'insectes sont aussi largement consommés avec respectivement 25,5% et 24,5%. Les ostracodes, les mollusques et les annélides polychètes représentent respectivement à 5,6%, 2,4% et 2% des proies totales ingérées. Les autres proies ont des pourcentages numériques inférieurs à 2%.

Tableau 13: Régime alimentaire global des juvéniles de *Sarotherodon melanothron* (taille comprise entre 13 et 126 mm). No = nombre d'occurrence des proies %F = fréquence d'occurrence; Ni = nombre de proies ; %N = pourcentage numérique.

Proies	No	%F	Ni	%N
Crustacés				
Copépodes	82	15,2	1082	33,2
Ostracodes	166	30,7	182	5,6
Amphipodes	6	1,1	4	0,1
Isopodes	4	0,7	2	0,1
Mysidacés	6	1,1	5	0,2
Euphausiacés	0	0,0	2	0,1
Larves de crabes	2	0,4	2	0,1
Autres larves de décapodes	10	1,8	6	0,2
Mollusques				
Larves de gastéropodes	20	3,7	18	0,6
Juveniles de gastéropodes	46	8,5	41	1,3
Bivalves	62	11,5	61	1,9
Autres mollusques	80	14,8	78	2,4
Insectes				
Larves Insectes	209	38,6	799	24,5
Insectes	142	26,2	832	25,5
Annélides				
Polychètes	34	6,3	64	2,0
Poissons				
Larves de poisson	16	3,0	16	0,5
Juveniles de poisson	20	3,7	23	0,7
Écailles de poissons	4	0,7	4	0,1
Ascidies	30	5,5	42	1,3
Siphonophores	84	15,5		
Végétaux				
Diatomées.	101	18,7		
Débris d'algues	198	36,6		
Débris végétaux supérieurs	350	64,7		
Détritus	270	49,9		
Indéterminés	54	10,0		
Total			3263	100,0

III-3-4-2 Variation en fonction de la taille

La classification des classes de tailles en fonction de l'alimentation permet d'identifier deux groupes (figure 21). Le groupe A comprend les classes de tailles de 31-40mm à 61-70mm, le groupe B, les classes de tailles 71-80, 81-90, 101-110 et 111-120 mm. Les classes de taille 10-20mm, 21-30mm et 90-100mm se distinguent des deux groupes.

L'indice de Horn-Morisita (tableau 14) montre une évolution progressive du régime alimentaire en fonction de la taille. En effet, la classe de taille 21-30mm possède une similarité significative ($I_{mh} > 0,6$, $r = 0,71$) avec la plus petite classe de taille 31-40 mm du groupe A. De même, les deux classes de grande taille du groupe A sont significativement similaires aux deux classes de petite taille du groupe B. La classe de taille 91-100mm est plus proche des deux classes de petite taille du groupe B et possède des similarités significatives ($I_{mh} > 0,6$) avec elles. Elle présente de faibles similarités avec les deux classes de grande taille du groupe B.

L'étude détaillée du spectre alimentaire des différentes classes de taille (figure 22) montre que l'alimentation des individus de taille 10-20 mm est dominée par les copépodes qui représentent à 96% du spectre, ce qui explique leur dissimilarité avec les autres classes de taille. La similarité de la classe de taille 21-30 mm avec celle 31-40 mm du groupe A s'explique par la présence des larves d'insectes et petits insectes qui caractérisent en grande partie l'alimentation du groupe A. L'alimentation du groupe C est caractérisée en plus des larves d'insectes et petits insectes par l'apparition progressive d'autres proies telles que des ostracodes et les mollusques (bivalves). Le groupe B possède le spectre le plus diversifié avec la dominance des mollusques (gastéropodes et bivalves) et des ostracodes. La similitude de la classe de taille 91-100mm avec les plus petites tailles du groupe B s'explique par la présence des annélides polychètes qui représentent 43% des proies consommées par cette classe de taille et qui sont présentes uniquement dans les plus petites tailles du groupe B.

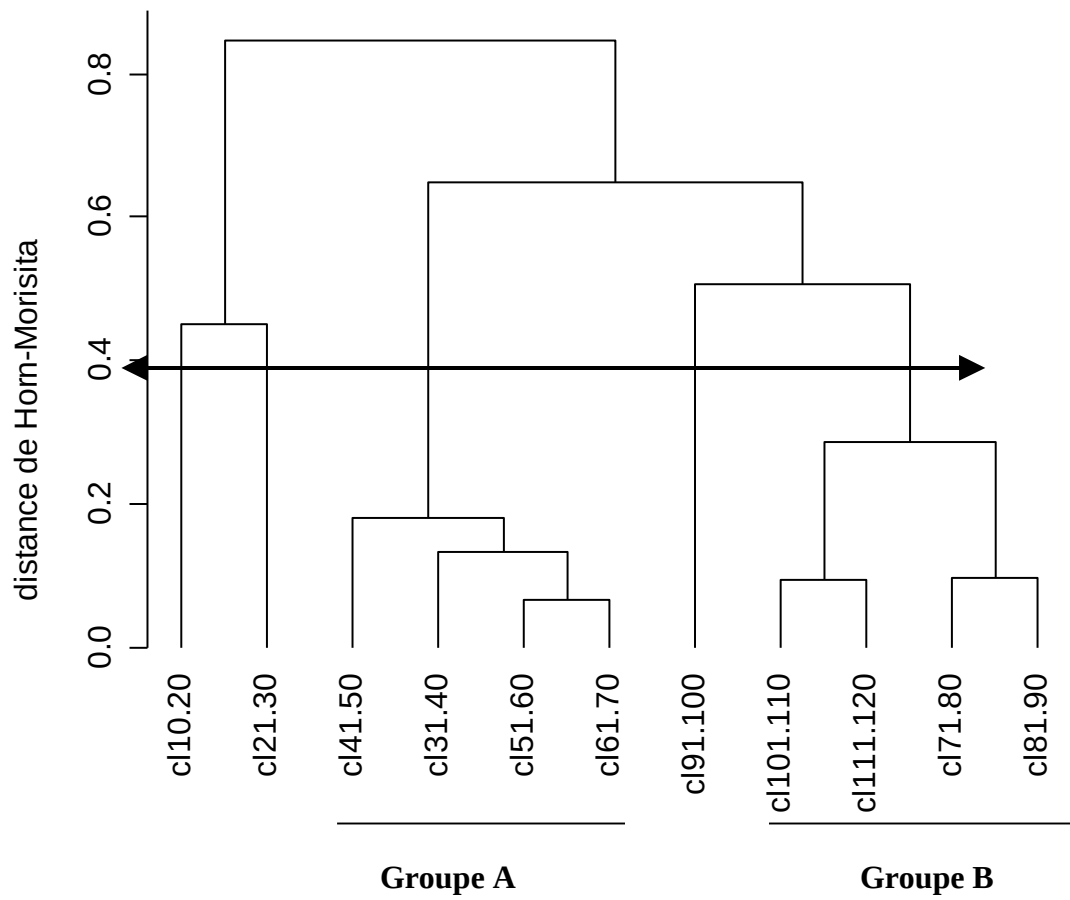


Figure 21 : Répartition des classes de taille des juvéniles *Sarotherodon melanotheron* en fonction de leur régime alimentaire.

Tableau 14: Indice de similarité Horn-Morisita entre différentes classes de tailles (mm) des juvéniles de *Sarotherodon melanotheron*. Significativité signalée en rouge à $I_{mh} \geq 0,6$

	10-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100	101-110	111-120
10-20											
21-30	0,55										
31-40	0,07	0,71									
41-50	0,02	0,43	0,86								
51-60	0,02	0,44	0,87	0,83							
61-70	0,01	0,48	0,86	0,76	0,93						
71-80	0,01	0,29	0,50	0,33	0,63	0,70					
81-90	0,01	0,09	0,36	0,33	0,61	0,67	0,90				
91-100	0,01	0,07	0,28	0,30	0,42	0,44	0,63	0,65			
101-110	0,01	0,05	0,12	0,03	0,32	0,30	0,68	0,71	0,35		
111-120	0,01	0,04	0,12	0,03	0,28	0,27	0,75	0,72	0,36	0,91	

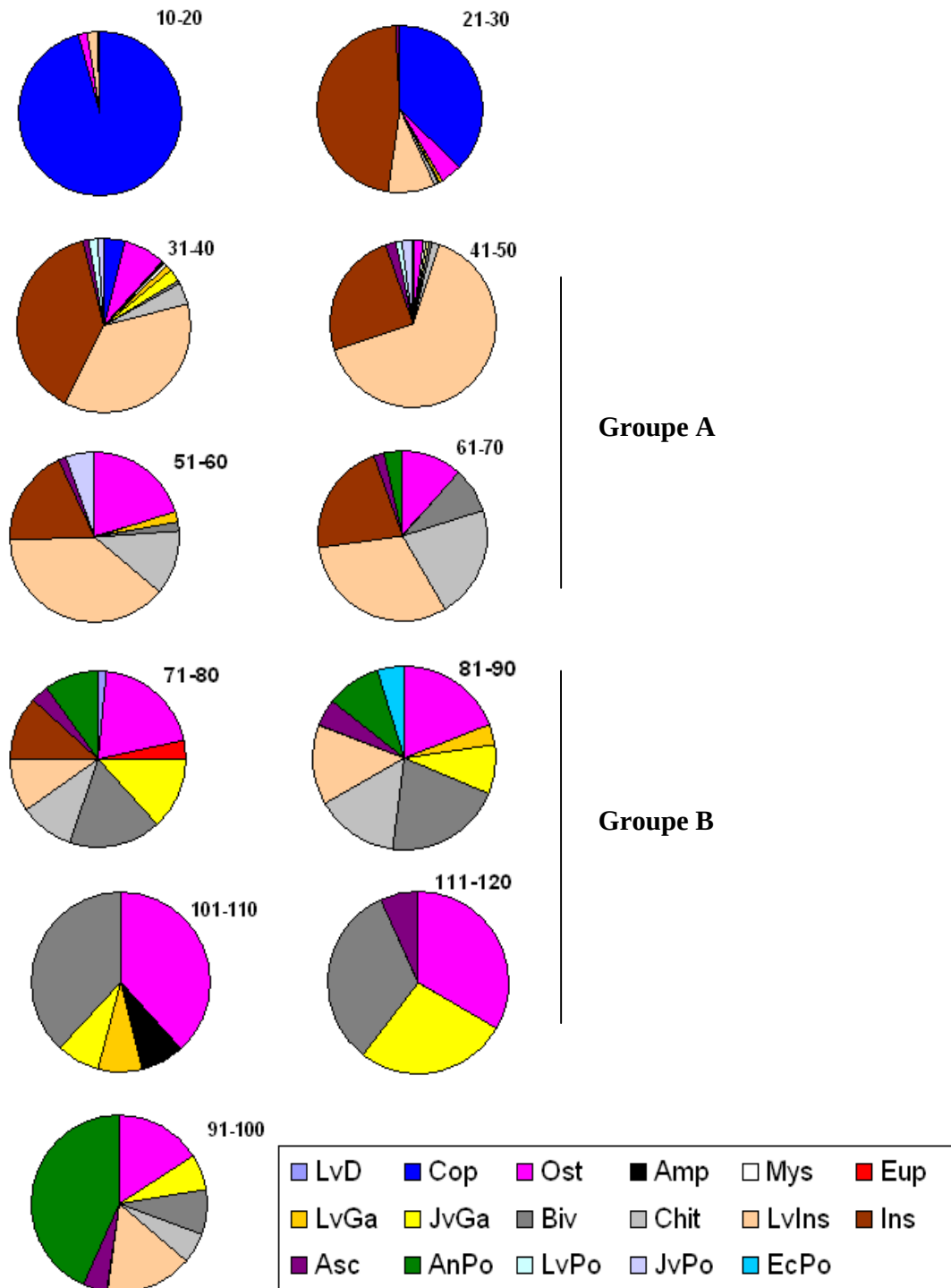


Figure 22 : Répartition des différentes proies (pourcentage numérique) dans l'alimentation des différentes classes de tailles chez les juvéniles de *Sarotherodon melanotherodon*. (illustration des proies cf Abréviations)

III-3-4-3 Variation spatio-temporelle

S. melanotheron a une répartition assez homogène, les juvéniles ont été capturés sur nos cinq stations d'étude pendant les différentes périodes de campagne. L'ACP réalisée, révèle une certaine variation de leur alimentation en fonction des stations de capture. Les stations dont les caractéristiques environnementales sont similaires, se regroupent suivant l'axe I (figure 23A), avec les stations d'aval Bapindo (Ba) et Moundé (Mo) opposées à celles d'amont Kaolack (KL) et Badaïe (Bd) et la station Ndiamniadio (Nd) se situe en position intermédiaire.

Considérant la projection des différentes catégories de proies (figure 23B), le bol alimentaires des juvéniles de *S. melanotheron* des zones aval est dominé par les bivalves et une forte présence des débris de plantes vasculaires. Dans les zones amont, les larves d'insectes (chironomidae) et les copépodes benthiques (harpacticoïdes) caractérisent le régime de cette écophase. Les autres proies forment un nuage de points au centre dénotant une certaine homogénéité spatiale.

Enfin considérant les dates de captures (Figure 23 C), aucune évolution du régime alimentaire ne peut être observée. En effet, la projection regroupée des dates à l'exception du mois de Janvier au centre du plan indique une stabilité temporelle du régime alimentaire des juvéniles *S. melanotheron* au sein des stations d'échantillonnage.

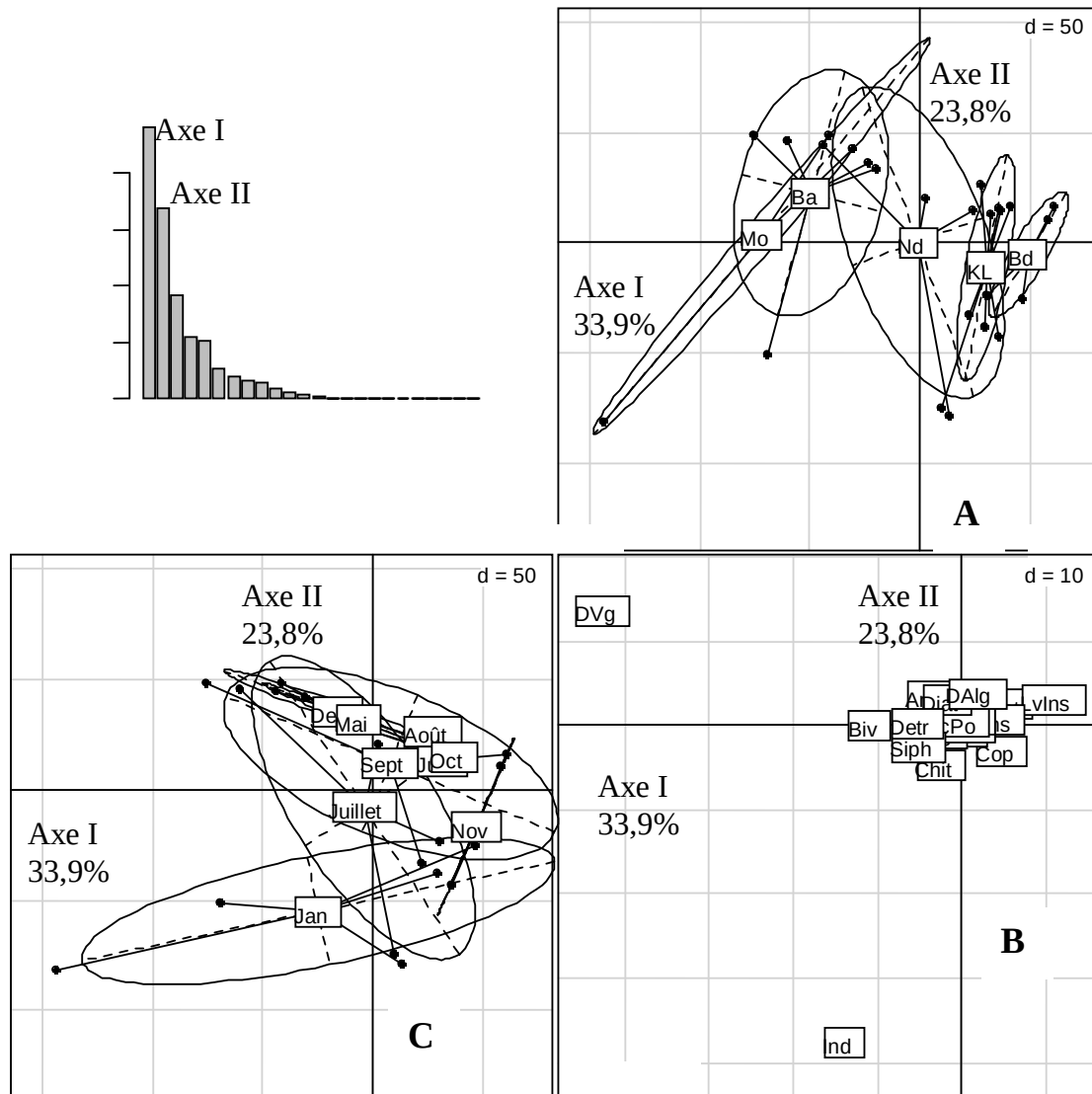


Figure 23 Variation spatio-temporelle du régime alimentaire chez les juvéniles de *Sarotherodon melanotheron* (illustration des proies cf Abréviations) **A:** Variation spatiale; **B:** Distribution des proies; **C :** Variation temporelle

IV APPORT DES ISOTOPES STABLES DANS L'E RESEAU TROPHIQUE

Le but de l'utilisation de la méthode d'analyse des isotopes stables dans ce travail est de déterminer les variations de la signature des isotopes stables du carbone et de l'azote chez les juvéniles de poissons le long du gradient de salinité, entre le début et la fin de la saison de recrutement, en fonction de la taille des individus. Par ailleurs, cette étude permettra de caractériser la structure du réseau trophique, en particulier l'origine des sources de carbone, le long du gradient de salinité. Après un bref rappel des notions de base sur les isotopes stables et l'expression mathématique de la composition isotopique, les principes et techniques de l'analyse des isotopes stables seront exposés puis les résultats seront présentés.

IV-1 Définitions

IV-1-1 Rappels sur la structure de l'atome

Un atome est constitué :

- - d'un noyau qui est lui-même formé de neutrons et de protons (de charge positive); les protons et les neutrons sont aussi appelés nucléons et la masse globale des nucléons est quasiment celle de l'atome;
- - d'un cortège d'électrons (de charge négative) autour du noyau et dont la charge équilibre celle du noyau.

Les protons et les neutrons ont des masses similaires de respectivement $1,672623 \cdot 10^{-27}$ kg $1,674928 \cdot 10^{-27}$ kg. La masse de l'électron est environ 1800 fois plus faible que celle d'un nucléon et est égale à $9,10 \cdot 10^{-31}$ kg

La nomenclature d'un atome s'écrit ${}^A_Z X$

X représente le symbole chimique de l'élément auquel l'atome appartient ;

A est le nombre de masse = nombre de protons + nombre de neutrons ;

Z est le numéro atomique = nombre de protons donc d'électrons.

IV-1-2 Notion d'isotope

La notion d'isotopes est apparue avec le perfectionnement du spectromètre de masse par Aston en 1910, qui a découvert que de nombreux corps sont formés du mélange de deux ou de plusieurs isotopes légèrement différents (Fry, 2006).

Les isotopes, en grec *iso* signifiant même et *topos* lieu, sont les différents atomes qui appartiennent à un même élément chimique. Deux isotopes d'un même élément diffèrent essentiellement par leur masse : on parle d'isotopes « légers » et « lourds ».

Certains isotopes sont pourvus d'un noyau de structure stable, qui ne subit aucune modification au cours du temps en l'absence d'apport d'énergie extérieure, ce sont des isotopes stables. Au contraire, les isotopes qui possèdent un noyau instable qui se transforme spontanément en un autre par émission d'un rayonnement ou d'une particule, sont dits radioactifs. Le carbone, par exemple, a trois isotopes : ^{12}C , abondant, léger et stable ; ^{13}C , rare, lourd et stable et ^{14}C rare, lourd et radioactif. Le stock global en isotopes stables de carbone est composé pour 98,89 % de la forme légère ^{12}C et seulement 1,11 % de la forme lourde ^{13}C . L'azote a lui 2 isotopes dont deux stables : ^{14}N , abondant et léger et ^{15}N , lourd et rare (Fry, 2006). La forme légère ^{14}N représente 99,64 % du stock global en isotopes stables contre 0,36 % pour la forme lourde ^{15}N (Mariotti, 1995). Les variations des abondances isotopiques naturelles sont de fait très faibles.

IV-1-3 Notion de fractionnement isotopique

L'inégalité de masse des isotopes entraîne des différences de certaines propriétés physico-chimiques: volume molaire, température de fusion, viscosité, vitesse de réaction, constante d'équilibre. Ces différences de propriétés sont à l'origine de différence de comportement et de répartition des isotopes au cours des réactions biologiques, chimiques et physique. Lorsque, au cours du déroulement d'une réaction faisant intervenir un mélange d'isotopes d'un même élément la réaction a lieu préférentiellement avec un type d'isotope, il en résulte un fractionnement isotopique. Le fractionnement isotopique est une conséquence du fait que certaines propriétés thermodynamiques (dont la fréquence de vibration) des molécules dépendent de la masse des atomes qui les composent. Le fractionnement ou la discrimination isotopique se mesure par la variation de la composition d'un composé avant et après sa transformation (Ghashghaie, 2001). Le fractionnement isotopique se définit alors comme le rapport entre la composition isotopique de la source et celle du produit.

IV-1-4 Mesure des isotopes stables par spectrométrie de masse

L'analyse des compositions isotopiques par le système utilisé comporte plusieurs étapes (DeNiro et Epstein, 1978). Un analyseur élémentaire réalise d'abord la combustion des échantillons en présence d'oxygène, puis leur réduction et leur oxydation. Les gaz issus de la combustion (CO_2 , N_2) sont entraînés par un flux d'hélium, une colonne chromatographique permet la séparation du N_2 et du CO_2 qui sont envoyés successivement dans le spectromètre. A ce niveau, le gaz introduit

est ionisé par bombardement électronique et accéléré sous plusieurs kilovolts vers l'analyseur de masse. Les faisceaux ioniques y sont séparés par des champs magnétiques en fonction de leur rapport masse/charge. Les deux faisceaux d'ions correspondant aux deux isotopes sont ensuite collectés par des détecteurs ioniques. Les impulsions électriques qu'ils engendrent sont amplifiées pour donner le signal de mesure, traité ensuite par un système informatique (Figure 24).

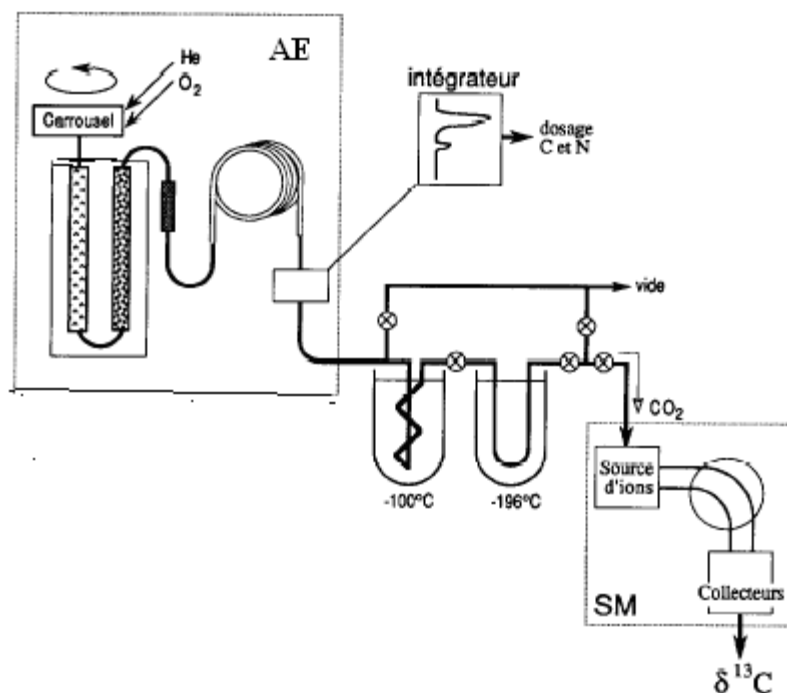


Figure 24 Schéma du spectromètre de masse (AE = Analyseur élémentaire ; SM= spectromètre de masse)

IV-1-5 Notation et expressions

Les ratios isotopiques en carbone et en azote fournis par le système informatique sont exprimés par la notation conventionnelle "delta" (δ). Le δ de l'échantillon est obtenu en comparant le rapport (R) "isotope lourd/isotope léger" contenu dans l'échantillon au même rapport d'une référence internationale. Les valeurs obtenues sont donc relatives.

La référence internationale pour le carbone est le PDB, un rostre de Bélemnite fossile provenant de la Pee Dee Formation aux États-Unis et celle de l'azote est le N₂ atmosphérique (tableau 15). Les variations (δ) sont très faibles de ce fait les valeurs sont multipliées par mille et la signature isotopique est exprimée en (‰) :

$$\delta X (\text{‰}) = [(R \text{ échantillon} / R \text{ référence}) - 1] \times 1000$$

où **X** correspond soit à ¹⁵N soit à ¹³C et **R** représente le ratio isotopique ¹⁵N / ¹⁴N ou ¹³C / ¹²C

Tableau 15: Rapports isotopique des références internationales d'après Fry (2006).

	Molécules	(lourd/léger)	R (lourd/léger)
Pee Dee Formation	CaCO ₂	¹³ C/ ¹² C	0,011237
N ₂ (AIR)	N ₂	¹⁵ N/ ¹⁴ N	0,003676

IV-2 Intérêt de la méthode en écologie trophique

Utilisés dans de nombreux domaines scientifiques (chimie, géologie, océanologie, archéologie, physiologie...), les isotopes stables sont devenus, au cours des vingt dernières années, des outils d'investigation courants en écologie, et leur application à l'écologie des poissons se développent (Fry, 1999; Dufour et Gerdeaux, 2001). L'analyse des compositions en isotopes stables est une méthode puissante utilisée actuellement pour caractériser les flux de matières et d'énergie dans les réseaux trophiques au sein des écosystèmes (Fry, 2006). Etant donné que la composition isotopique des consommateurs reflète celle de leur nourriture (De Niro et Epstein, 1978, 1981), les isotopes stables sont utilisés pour identifier les sources de nourriture des consommateurs à différents niveaux de la chaîne trophique (Dufour et Gerdeaux, 2001). L'étude des isotopes stables fournit une description qualitative et parfois quantitative des interactions trophiques entre les individus d'une même espèce ou d'espèces différentes (Sakarinis *et al.*, 2002).

L'analyse des isotopes stables permet également de suivre les animaux dans leur migration d'une zone de nourriture à une autre, d'identifier les zones de nourricerie et d'estimer leur contribution au renouvellement des populations. Les migrateurs et sédentaires peuvent ainsi être distingués à partir de leurs rapports isotopiques (Fry, 1999).

IV-3 Couplage ^{13}C / ^{12}C et ^{15}N / ^{14}N dans l'étude des relations trophiques

La matière organique est essentiellement composée de C, H, O, N, les isotopes stables du carbone et de l'azote sont le plus souvent utilisés dans l'étude des réseaux trophiques. Le carbone est alors très souvent couplé à l'azote puisque le fractionnement isotopique de l'azote lors d'un transfert trophique (contrairement à celles de l'oxygène ou de l'hydrogène) en fait un marqueur intéressant des relations prédateurs-proies. En effet le couplage des deux isotopes (C et N) dans l'étude des relations trophiques est basé sur le principe que ces deux isotopes varient de façon définie entre un organisme et sa nourriture. Le $\delta^{13}\text{C}$ d'un organisme subit un faible enrichissement de 0 à 1‰ par rapport à sa nourriture (De Niro et Epstein, 1978), par perte d'isotope ^{12}C au cours de la respiration et fournit ainsi une information sur la nature et l'origine de cette nourriture. Le $\delta^{15}\text{N}$ subit un enrichissement moyen de 3,4‰ (De Niro et Epstein, 1981 ; Minagawa et Wada, 1984) entre chaque niveau trophique et fournit une information sur la position trophique des consommateurs. Cet enrichissement en ^{15}N s'explique par une excrétion préférentielle du ^{14}N au cours de la métabolisation.

L'utilisation simultanée des isotopes stables du carbone et de l'azote permet donc un suivi efficace des relations trophiques (figure 25)

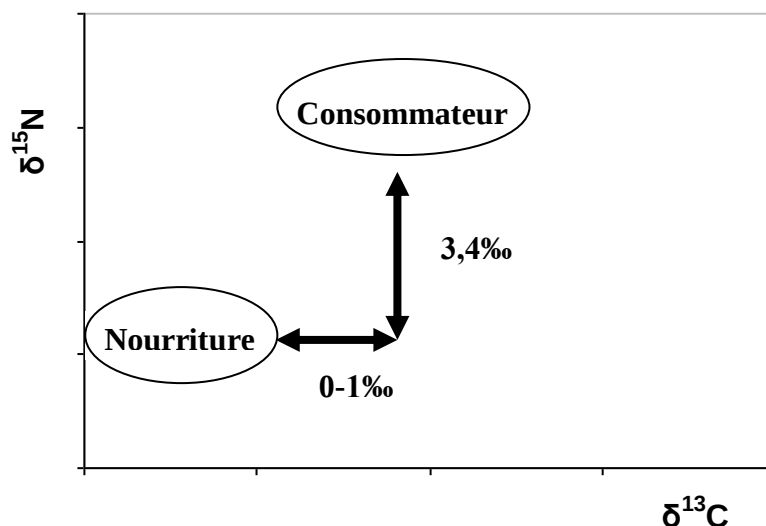


Figure 25: Augmentation des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ lors d'une relation trophique.

IV-4 Différences de signatures isotopiques des producteurs primaires

Les sources de matières organiques qui sont à la base des réseaux trophiques possèdent des signatures isotopiques très distinctes. En effet la composition isotopique des producteurs primaires dépendent non seulement **1)** des éléments nutritifs originels qui eux-même sont sous contrôle des plusieurs facteurs environnementaux, mais également **2)** des cycles biochimiques utilisés au cours de la synthèse de la matière organique. Concernant le premier point, les plantes terrestres utilisent le CO_2 atmosphérique au cours de la photosynthèse tandis que les plantes aquatiques (phytoplancton, macroalgues) usent le carbone inorganique dissous (CID). Le CID dépend également de plusieurs facteurs tels que l'hydrodynamisme, la morphologie et la croissance algale (Fry, 2006). Concernant le second point, la synthèse de la matière organique par photosynthèse peut suivre des voies différentes selon les plantes et conduisent à des signatures isotopiques distinctes (C3 ou C4) : les plantes en C3 tels que les végétaux terrestres et les plantes aquatiques des régions tempérées, utilisent la ribulose-1,5-biphosphate (RuBP) et forment des molécules à trois atomes de carbone (cycle de Calvin ou cycle C3) et les plantes C4 tels que les légumineuses utilisent la phosphoénolpyruvate (PEP) et forment des molécules à quatre carbones (cycle de Hatch-Slack, ou cycle C4) (Fry, 2006). Le $\delta^{13}\text{C}$ montre de fortes variations entre les différents producteurs primaires (tableau 16) et dépend de plusieurs facteurs cités ci-dessus. Il est important de bien maîtriser le milieu d'étude pour la bonne marche de l'utilisation des isotopes stables.

Tableau 16: Gammes des ratios (‰) des isotopes du carbone et de l'azote des principaux producteurs primaires terrestres et marins d'après Ostrom et Fry (1993)

	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
Mangrove	-29 à -25	6 à 7
Plantes C3 (terrestres)	-30 à -23	-7 à -6
Plantes C3 (marais)	-29 à -23	3 à 5
Plantes C4 (marais)	-15 à -12	1 à 8
Phytoplancton marin	-24 à -18	-2 à 12
Phytoplancton estuarien	-30 à -15	2 à 19
Macrophytes benthiques	-27 à -10	-1 à 10
Phanérogames marines	-16 à -4	0 à 6

IV-5 Matériels et méthodes

IV-5-1 Echantillonnage

A) Période d'échantillonnage

Les échantillons ont été prélevés durant deux campagnes (2005 et 2006), correspondant au début (juillet-août) et à la fin du recrutement (novembre-décembre).

B) Sites d'échantillonnage

En 2005, trois stations ont été prises en compte, une station aval, Bapindo et deux stations amont, Badaïe et Kaolack. Le choix de deux stations en amont visait à assurer la capture des espèces retenues là où les populations sont peu abondantes. En, 2006, une station supplémentaire, Ndiamniadio, de salinité moyennement élevée (+/- 50) et sur laquelle la mangrove est encore

présente a été incluse dans l'échantillonnage afin d'aider à discerner les influences respectives de la salinité et de la mangrove (figure 2).

C) Protocole d'échantillonnage

Les prélèvements sont effectués sur les poissons capturés pour l'analyse des contenus stomacaux (Chapitre IV). Le nombre d'individus destinés à l'analyse avait pour objectif 10 par espèce, par station et par date d'échantillonnage dans la mesure du possible (tableau 17). Les contraintes de terrain et la rareté des individus à certaines stations n'ont pas permis d'atteindre à chaque fois cet objectif. Au total 260 individus toutes espèces confondues ont été inclus dans cette étude.

Sur le bateau, les poissons ont été mesurés individuellement et disséqués soigneusement en prélevant un fragment du muscle dorsal. Les échantillons ont été conservés dans des cryotubes individualisés et hermétiquement fermés. Ils ont été congelés dans l'azote liquide ($t^{\circ} = -150^{\circ}\text{C}$) jusqu'à leur retour au laboratoire où ils ont été conservés dans des congélateurs ($t^{\circ} = -80^{\circ}\text{C}$). En général, l'individu sur lequel le prélèvement a été effectué a été inclus dans l'échantillon destiné à l'analyse des contenus stomacaux.

Tableau 17 : Récapitulatif de l'échantillonnage des poissons destinés à l'analyse des isotopes stables : T= Taille (minimum-maximum) ; n= nombre d'individus échantillonnés

Stations	Espèces	2005				2006			
		août		décembre		juillet		novembre	
		T (mm)	n	T (mm)	n	T (mm)	n	T (mm)	n
Bapindo	<i>E. melanopterus</i>	30-68	10	36-80	10	28-90	10	38-94	10
	<i>E. fimbriata</i>	48-60	5	54-75	9	42-51	7	48-53	10
	<i>P. sebae</i>	45-83	8	30-80	5	29-83	10	27-93	10
	<i>S. melanothron</i>			95-100	5	97-107	5		
Ndiamniadio	<i>E. melanopterus</i>					42-88	6	30-100	9
	<i>E. fimbriata</i>							28-45	5
	<i>P. sebae</i>					71-87	4	64-85	3
	<i>S. melanothron</i>					118-129	5		
Badaïe	<i>E. melanopterus</i>	31-100	10	32-95	10	13-89	10	22-88	10
	<i>E. fimbriata</i>	40-48	5			92-108	5		
	<i>S. melanothron</i>	36-40	5			29-45	5	30-37	5
Kaolack	<i>E. fimbriata</i>	57-86	5	47-50	5			30-45	5
	<i>S. melanothron</i>	40-101	10	34-79	4	35-119	10	25-84	10

Les invertébrés proies potentielles des juvéniles de poissons ont été récoltés de deux manières : les espèces planctoniques ont été capturées à l'aide d'un filet à plancton à maille de 200 µm, les organismes du périphyton ont été récoltés en grattant soigneusement les racines des palétuviers (tableau 18). Sur le bateau, les échantillons ont été conservés dans de l'azote liquide. De retour au laboratoire, les invertébrés ont été triés sous une loupe binoculaire, débarrassés de toute trace de débris végétaux, soigneusement rincés à l'eau distillée, groupés par groupes taxonomiques (copépodes, amphipodes, mysidacés, micro-gastéropodes etc.) et congelés séparément.

Afin de déterminer les origines de la matière organique au sein des réseaux trophiques des juvéniles, différents producteurs primaires ont été échantillonnés. Les feuilles fraîches et mortes de palétuviers (*Rhizophora mangle*) ont été récoltées à la main, soigneusement rincées à l'eau distillée puis congelées. La matière organique particulaire (MOP) a été obtenue en filtrant 1 litre d'eau prélevé à la surface sur des filtres GF/F préalablement calcinés (4 heures au four à 450°C). Les filtres ont été placés dans des tubes numérotés et datés puis congelés.

Tableau 18: Proies et sources potentielles de nourritures, J = juillet ; N = novembre; n= nombre d'échantillons analysés

Eléments échantillons	Bapindo		Ndiamniadio		Badaïe		Kaolack	
	J n	N n	J n	N n	J n	N n	J n	N n
Mangrove (feuilles vertes)	5	5	5	5				
Mangrove (feuilles mortes)		5	5	5				
Matière organique particulaire	3	3	3	3	3	3	3	3
Copépodes	1	1						
Amphipodes		2	1					
Mysidacés		1		2		1		
Larves de crabes		1		5				1
Juvéniles de crabes		1		3				
Huîtres (<i>Crassostrea gasar</i>)	5	5	5	5				
Cumacés		5						
Gastéropodes			1					
Bivalve			3					
Annélides polychètes			2					
Larves d'insectes						2		

D) Conditionnement des échantillons

Les échantillons congelés ont été lyophilisés et réduits en poudre fine à l'aide d'un broyeur à bille ou d'un mortier et d'un pilon pour les particules plus dures et conservés dans un dessiccateur. Pour éviter toute contamination des échantillons au cours de la dissection et du broyage, le matériel utilisé pour le broyage (pinces, scalpels, mortier, pilon, billes etc.) a été nettoyé avec de l'acétone puis rincé à l'eau distillée et séché à l'étuve entre chaque échantillon. Afin de doser la seule signature isotopique du carbone organique dans les échantillons, les carbonates ont été éliminés dans les échantillons susceptibles d'en contenir. Les filtres ont été placés sous une atmosphère d'acide chlorhydrique fumant pendant 4h puis placés à l'étuve à 50°C pendant 24h. Les invertébrés et les feuilles de palétuviers ont été acidifiés avec de l'acide chlorhydrique à 10% (1,2 M), puis les échantillons ont été rincés à l'eau distillée et mis à l'étuve à 50°C pendant 48h.

Les quantités de matières sèches nécessaires (1 mg) ont été pesées au centième de milligramme et placées dans des capsules en étain ultra propres et numérotées. Les analyses ont été réalisées par le Dr Charlie Scrimgeour au Mylnefield Research Services Ltd, à Dundee en Écosse.

.

IV-5-2 Analyses statistiques des données

L'utilisation des tests paramétriques exige la vérification des conditions d'applications telles que la normalité des distributions de données et l'homogénéité des variances. Ces deux hypothèses sont difficiles à vérifier lorsque l'effectif de l'échantillon est faible. Dans ce travail, la taille des échantillons par station et par date varie entre 3 et 10, de ce fait des tests non paramétriques ont été réalisés. Le test U de Mann-Whitney a été utilisé dans le cas de 2 d'échantillons et le celui de Kruskal-Wallis dans le cas où le nombre d'échantillons dépasse 2. Dans le cas du test non-paramétrique de Kruskal-Wallis, un test Bonferroni a été utilisé pour discriminer les échantillons.

L'étude de la variation des signatures isotopiques en carbone et azote de la taille des poissons a été réalisée par régression linéaire.

L'ensemble des analyses statistiques a été effectué à l'aide des logiciels Statistica version 6 et XLStat version 2008.

IV-6 Résultats

IV-6-1 Evolution des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des juvéniles de poissons le long du gradient de salinité

IV-6-1-1 *E. melanopterus*

E. melanopterus a été capturé dans les stations Bapindo et Badaïe en 2005 sur 3 stations Bapindo, Ndiamniadio et Badaïe en 2006 (tableaux 19 et 20).

Tableau 19: Valeurs moyennes et écart-type des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des juvéniles de *E. melanopterus* dans les différentes stations en 2005, n= nombre d'individus; U= Test U de Mann-Whitney (significativité marquée à $p < 0,05$, s = significatif, ns = non significatif).

2005		Stations	n	Moy+/- EC (‰)	U
Août	$\delta^{13}\text{C}$	Bapindo	10	-22,9+/-0,7	s
		Badaïe	10	-13,4+/-1,2	
	$\delta^{15}\text{N}$	Bapindo	10	8,4+/-0,1	ns
		Badaïe	10	9,1+/-0,6	
Décembre	$\delta^{13}\text{C}$	Bapindo	9	-23,6+/-0,9	s
		Badaïe	9	-15,4+/-1,0	
	$\delta^{15}\text{N}$	Bapindo	9	8,9+/-1,3	ns
		Badaïe	9	9,4+/-0,7	

Tableau 20: Valeurs moyennes et écart-type des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des juvéniles de *E. melanopterus* dans les différentes stations en 2005, n= nombre d'individus; KW= Test de Kruskal Wallis (significativité marquée à $p < 0,05$, s = significatif, ns = non significatif), Bonf= Test Bonferroni (les mêmes lettres indiquent l'absence de différence significative)

2006		Stations	n	Moy+/- EC (‰)	KW	Bonf	
Juillet	$\delta^{13}\text{C}$	Bapindo	10	-19,5+/-1,0	s	A	
		Ndiamniadio	6	-17,1+/-1,7		A	B
		Badaïe	9	-14,7+/-2,1			B
	$\delta^{15}\text{N}$	Bapindo	10	8,4+/-0,2	ns	A	
		Ndiamniadio	6	8,4+/-0,4		A	
		Badaïe	9	9,0+/-0,6		A	
Novembre	$\delta^{13}\text{C}$	Bapindo	10	-22,9+/-2,3	s	A	
		Ndiamniadio	10	-19,5+/-1,5		A	
		Badaïe	10	-13,8+/-1,8		B	
	$\delta^{15}\text{N}$	Bapindo	10	8,7+/-1,8	ns	A	
		Ndiamniadio	10	8,1+/-0,9		A	
		Badaïe	10	8,7+/-0,9		A	

A) $\delta^{13}\text{C}$

En 2005, les $\delta^{13}\text{C}$ des individus de Bapindo sont significativement différents (test U, $p < 0,05$) de ceux de Badaïe quelle que soit la date avec respectivement des valeurs moyennes de $-22,9 \pm 0,7\text{‰}$ ($n=10$) et $-13,4 \pm 1,2\text{‰}$ ($n=10$) en août (figure 26A) et $-23,6 \pm 0,9\text{‰}$ ($n=9$) et $-15,4 \pm 1,0\text{‰}$ ($n=9$) en décembre (figure 26B).

En 2006, les valeurs moyennes de $\delta^{13}\text{C}$ sont toujours significativement différentes (test Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) avec $-19,5 \pm 1,0\text{‰}$ ($n=10$), $-17,1 \pm 1,7\text{‰}$ ($n=6$) et $-14,7 \pm 2,1\text{‰}$ ($n=9$) respectivement à Bapindo, Ndiamniadio et Badaïe en juillet (Figure 26C). Le test de Bonferroni montre que cette différence est seulement significative entre Bapindo et Badaïe. En novembre (figure 26D), les différences significatives sont toujours notées (test Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) avec des $\delta^{13}\text{C}$ de $-22,9 \pm 2,3\text{‰}$ ($n=10$), $-19,5 \pm 1,5\text{‰}$ ($n=6$) et $-13,8 \pm 1,8\text{‰}$ ($n=10$) respectivement à Bapindo, Ndiamniadio et Badaïe. Le test de Bonferroni montre que cette différence est significative entre Bapindo et Badaïe, entre Ndiamniadio et Badaïe et non entre Bapindo et Ndiamniadio.

Quelle que soit la période ou l'année d'étude, les juvéniles de *E. melanopterus* présentent des signatures isotopiques en carbone significativement supérieures en amont de l'estuaire. Ils montrent, par contre, des similitudes entre l'aval et la station intermédiaire.

B) $\delta^{15}\text{N}$

En 2005, les valeurs moyennes de $\delta^{15}\text{N}$ de $8,4 \pm 0,1\text{‰}$ ($n=10$) et $9,1 \pm 0,6\text{‰}$ ($n=10$) respectivement à Bapindo et Badaïe sont similaires (test U $p>0,05$) en août (Figure 26A). De même, en décembre (Figure 26B), les $\delta^{15}\text{N}$ sont comparables avec $8,9 \pm 1,3\text{‰}$ ($n=9$) et $9,4 \pm 0,7\text{‰}$ ($n=9$) pour Bapindo et Badaïe (test U $p>0,05$).

En juillet 2006 (Figure 26C), les $\delta^{15}\text{N}$ des juvéniles de *E. melanopterus* sont similaires (test Kruskal-Wallis, $p>0,05$) entre les trois stations avec des valeurs moyennes de $8,4 \pm 0,2\text{‰}$ ($n=10$), $8,4 \pm 0,4\text{‰}$ ($n=6$), $9,0 \pm 0,6\text{‰}$ ($n=9$) respectivement à Bapindo, Ndiamniadio et Badaïe. En novembre (figure 26D), les valeurs moyennes de $\delta^{15}\text{N}$ sont également similaires (test Kruskal-Wallis, $p>0,05$) entre Bapindo, Ndiamniadio et Badaïe avec respectivement $8,7 \pm 1,8\text{‰}$ ($n=10$), $8,1 \pm 0,9\text{‰}$ ($n=10$) et $8,7 \pm 0,9\text{‰}$ ($n=10$).

Chez *E. melanopterus*, aucune différence significative des rapports isotopiques pour l'isotope ^{15}N est observée entre les stations quelle que soit la date de capture.

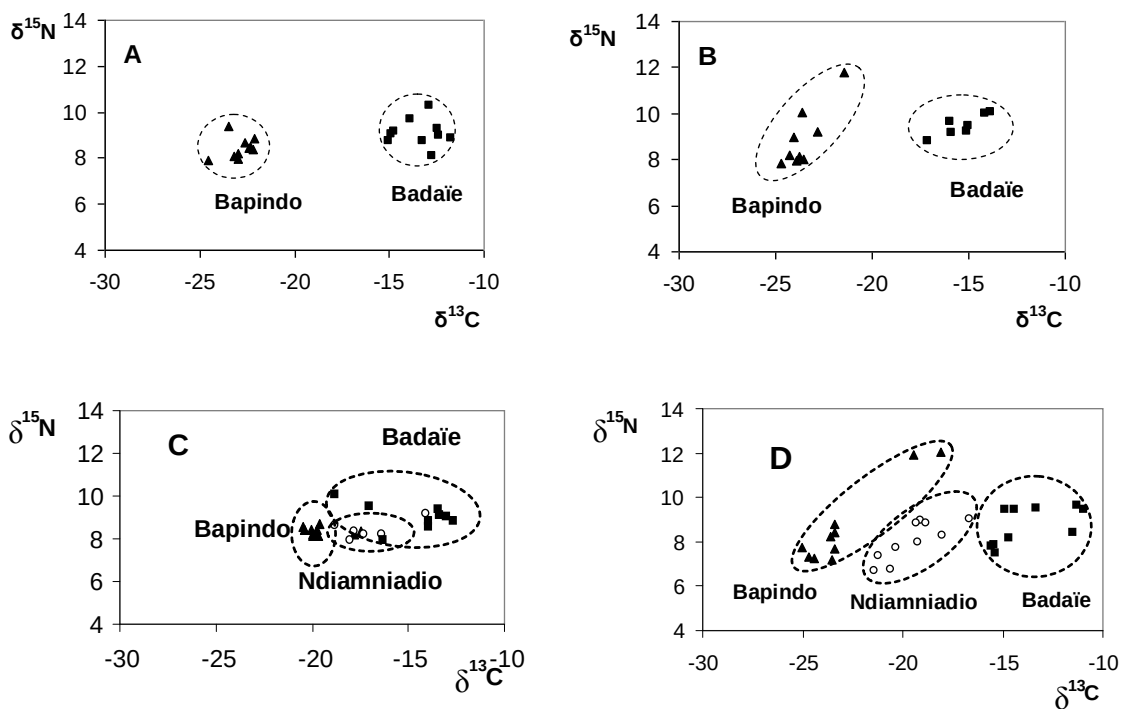


Figure 26: Evolution des rapports isotopiques $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des juvéniles de *E. melanopterus* le long du gradient de salinité : A (août 2005), B (décembre 2005), C (juillet 2006), D (novembre 2006). Les ellipses en pointillés délimitent les individus appartenant à la même station

IV-6-1-2 *E. fimbriata*

Les juvéniles d'*E. fimbriata* ont été capturés en 2005 sur trois stations Bapindo, Badaïe et Kaolack en août et sur deux stations Bapindo et Kaolack en décembre. En 2006, ils ont été récoltés sur deux stations, Bapindo et Badaïe, en juillet et sur les quatre stations Bapindo, Ndiamniadio, Badaïe et Kaolack, en novembre (tableaux 21 et 22).

Tableau 21 : Valeurs moyennes et écart-type des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des juvéniles de *E. fimbriata* dans les différentes stations en 2005, n= nombre d'individus; KW/U= Test de Kruskal Wallis/ ou Test U de Mann-Whitney (significativité marquée à $p < 0,05$, s = significatif, ns = non significatif), Bonf= Test Bonferroni (les mêmes lettres indiquent l'absence de différence significative).

2005		Stations	n	Moy+/- EC (‰)	KW/ U	Bonf
Août	$\delta^{13}\text{C}$	Bapindo	6	-23,3+/-0,8	s	A
		Badaïe	5	-18,0+/-1,0		B
		Kaolack	2	-18,0+/-1,6		B
	$\delta^{15}\text{N}$	Bapindo	6	8,0+/-0,8	ns	A
		Badaïe	5	7,3+/-0,5		A
		Kaolack	2	8,4+/-0,2		A
Décembre	$\delta^{13}\text{C}$	Bapindo	4	-20,6+/-0,3	ns	A
		Kaolack	5	-20,1+/-0,9		A
	$\delta^{15}\text{N}$	Bapindo	4	9,9+/-1,1	ns	A
		Kaolack	5	11,2+/-0,4		A

Tableau 22 : Valeurs moyennes et écart-type des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des juvéniles de *E. fimbriata* dans les différentes stations en 2006, n= nombre d'individus; KW/U= Test de Kruskal Wallis/ ou Test U de Mann-Whitney (significativité marquée à $p < 0,05$, s = significatif, ns = non significatif), Bonf= Test Bonferroni (les mêmes lettres indiquent l'absence de différence significative)

2006		Stations	n	Moy+/- EC (‰)	KW/ U	Bonf
Juillet	$\delta^{13}\text{C}$	Bapindo	7	-22,1+/-0,2	s	A
		Badaïe	3	-13,5+/-1,5		B
	$\delta^{15}\text{N}$	Bapindo	7	7,3+/-0,4	ns	A
		Badaïe	3	6,1+/-0,4		A
Novembre	$\delta^{13}\text{C}$	Bapindo	10	-23,6+/-1,1	s	A
		Ndiamniadio	5	-19,8+/-1,2		B
		Kaolack	5	-20,0+/-0,2		B
	$\delta^{15}\text{N}$	Bapindo	10	7,4+/-0,1	s	A
		Ndiamniadio	5	7,1+/-1,6		A
		Kaolack	5	10,5+/-0,5		B

A) $\delta^{13}\text{C}$

En août 2005 (figure 27A), les juvéniles d'*E. fimbriata* de Bapindo, de Badaïe et de Kaolack ont des $\delta^{13}\text{C}$ moyens significativement différents (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$). Le test de Bonferroni confirme cette différence significative entre Bapindo, avec $-23,3 \pm 0,8\text{‰}$ ($n=6$), et les deux autres stations dont les $\delta^{13}\text{C}$ moyens sont plus élevés et identiques respectivement $-18,0 \pm 1,0\text{‰}$ ($n=5$) et $-18,0 \pm 1,6\text{‰}$ ($n=2$). En décembre 2005 (figure 27B), les valeurs moyennes de $\delta^{13}\text{C}$ des individus de Bapindo ($-20,6 \pm 0,3\text{‰}$; $n=4$) et celles des individus de Kaolack ($-20,1 \pm 0,9\text{‰}$; $n=5$) sont similaires (test U, $p > 0,05$).

En juillet 2006 (figure 27C), les juvéniles de cette espèce présentent des différences significatives de $\delta^{13}\text{C}$ entre Bapindo et Badaïe (test U, $p < 0,05$) avec des valeurs moyennes respectives de $-22,1 \pm 0,2\text{‰}$ ($n=7$) et $-13,5 \pm 1,5\text{‰}$ ($n=3$). En novembre (figure 27D), les valeurs moyennes $\delta^{13}\text{C}$ sont différentes entre Bapindo, Ndiamniadio et Kaolack (test Kruskal Wallis, $p < 0,05$) avec respectivement $-23,6 \pm 1,1\text{‰}$ ($n=10$), $-19,8 \pm 1,2\text{‰}$ ($n=5$) et $-20,0 \pm 0,2\text{‰}$ ($n=5$). Le test de Bonferroni montre que c'est Bapindo qui est significativement différent des 2 autres.

Chez les juvéniles de *E. fimbriata*, des différences significatives de $\delta^{13}\text{C}$ entre l'aval et l'amont ne sont notées qu'à la période juillet-août, quelle que soit l'année.

B) $\delta^{15}\text{N}$

En août 2005 (figure 27A), les valeurs moyennes de $\delta^{15}\text{N}$ sont très proches entre Bapindo, Badaïe et Kaolack avec respectivement $8,0 \pm 0,8\text{‰}$ ($n=6$), $7,3 \pm 0,5\text{‰}$ ($n=5$) et $8,4 \pm 0,2\text{‰}$ ($n=2$) (test Kruskal Wallis, $p > 0,05$). De même, en décembre (figure 27B), *E. fimbriata* présente un $\delta^{15}\text{N}$ similaire entre Bapindo et Kaolack (test U $p > 0,05$) respectivement de $9,9 \pm 1,1\text{‰}$ ($n=4$) et $11,2 \pm 0,4\text{‰}$ ($n=5$).

En juillet 2006 (figure 27C), les $\delta^{15}\text{N}$ sont comparables entre Bapindo et Badaïe avec respectivement $7,3 \pm 0,4\text{‰}$ ($n=7$) et $6,1 \pm 0,4\text{‰}$ ($n=3$) (test U, $p > 0,05$). En novembre 2006 (figure 27D), les $\delta^{15}\text{N}$ sont similaires entre Bapindo et Ndiamniadio (test Kruskal Wallis, $p > 0,05$, suivi de test Bonferroni) avec respectivement $7,4 \pm 0,1\text{‰}$ ($n=10$) et $7,1 \pm 1,6\text{‰}$ ($n=5$). A Kaolack, les $\delta^{15}\text{N}$ sont plus élevés avec une valeur moyenne de $10,5 \pm 0,5\text{‰}$ ($n=5$) et sont significativement différents de ceux de Bapindo et Ndiamniadio.

E. fimbriata présente des $\delta^{15}\text{N}$ élevés à Kaolack surtout en novembre 2006.

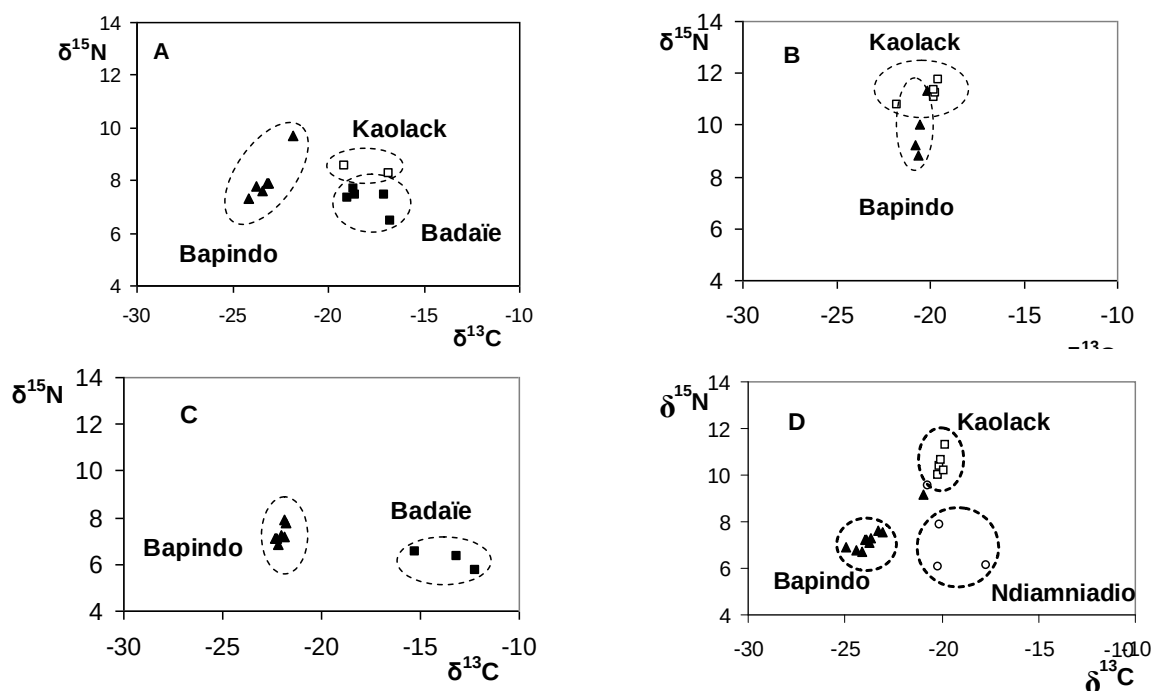


Figure 27: Evolution des rapports isotopiques des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ le long du gradient de salinité des juvéniles de *E. fimbriata*: A (août 2005), B (décembre 2005), : C (juillet 2006), D (novembre 2006).

IV-6-1-3 *M. sebae*

Cette espèce n'est présente et n'a été capturée que dans les stations pourvues de mangrove. En 2005 elle n'a été capturée qu'à Bapindo et en 2006 à Bapindo et Ndiamniadio en juillet et en novembre. En conséquence, la variation des teneurs relatives en isotopes stables de cette espèce le long du gradient de salinité ne peut être étudiée qu'entre Bapindo et Ndiamniadio en 2006 (tableau 23).

Tableau 23 : Valeurs moyennes et écart-type des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des juvéniles de *M. sebae* dans les différentes stations en 2006, n= nombre d'individus; U= Test U de Mann-Whitney (significativité marquée à $p < 0,05$, s = significatif, ns = non significatif)

2006		Stations	n	Moy+/- EC (%)	U
Juillet	$\delta^{13}\text{C}$	Bapindo	10	-23,3+/-0,6	s
		Ndiamniadio	4	-18,5+/-1,5	
	$\delta^{15}\text{N}$	Bapindo	10	8,6+/-1,0	ns
		Ndiamniadio	4	9,2+/-0,8	
Novembre	$\delta^{13}\text{C}$	Bapindo	10	-23,2+/-0,5	s
		Ndiamniadio	5	-19,8+/-1,3	
	$\delta^{15}\text{N}$	Bapindo	10	8,9+/-0,7	ns
		Ndiamniadio	5	8,6+/-0,6	

A) $\delta^{13}\text{C}$

Les $\delta^{13}\text{C}$ moyens des juvéniles de *M. sebae* sont significativement différents entre Bapindo et Ndiamniadio (test U, $p < 0,05$) quelle que soit la date de capture avec respectivement $-23,3 \pm 0,6\text{‰}$ ($n=10$) et $-18,5 \pm 1,5\text{‰}$ ($n=4$) en juillet (figure 28A) et $-23,2 \pm 0,5\text{‰}$ ($n=10$) et $-19,8 \pm 1,3\text{‰}$ ($n=5$) en novembre (figure 28B).

B) $\delta^{15}\text{N}$

Aucune différence significative n'a été notée entre les $\delta^{15}\text{N}$ moyens de *M. sebae* de Bapindo et de Ndiamniadio (test U, $p > 0,05$). Cela est vérifié quelle que soit la date avec respectivement $8,6 \pm 1,0\text{‰}$ ($n=10$) et $9,2 \pm 0,8\text{‰}$ ($n=4$) en juillet (figure 28A) et $8,9 \pm 0,7\text{‰}$ ($n=10$) et $8,6 \pm 0,6\text{‰}$ ($n=5$) en novembre (figure 28B).

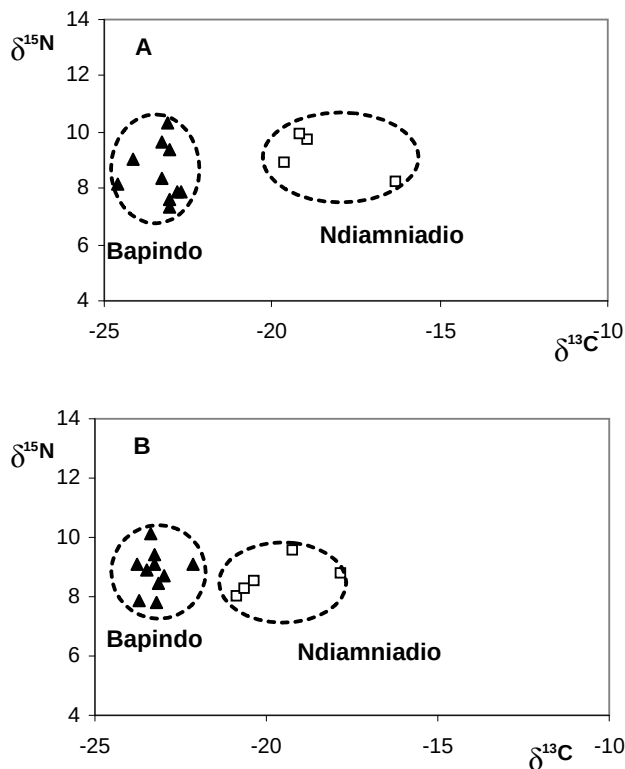


Figure 28: Évolution des rapports isotopiques $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des juvéniles de *M. sebae* le long du gradient de salinité en 2006: A (juillet), B (novembre)

Les juvéniles de *M. sebae* montrent des différences entre Bapindo et Ndiamniadio pour $\delta^{13}\text{C}$ et non pour $\delta^{15}\text{N}$

IV-6-1-4 *S. melanotheron*

Les juvéniles de *S. melanotheron* ont été capturés à Badaïe et Kaolack en août 2005 et à Bapindo et Kaolack en décembre 2005. En 2006, ils ont été récoltés sur quatre stations, Bapindo, Ndiamniadio, Badaïe et Kaolack en juillet et sur Badaïe et Kaolack en novembre (tableaux 24 et 25).

Tableau 24 : Valeurs moyennes et écart-type des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des juvéniles de *S. melanotheron* dans les différentes stations en 2005, n= nombre d'individus; U= Test U de Mann-Whitney (significativité marquée à $p < 0,05$, s = significatif, ns = non significatif)

2005		Stations	n	Moy+/- EC (%)	U
Août	$\delta^{13}\text{C}$	Badaïe	4	-11,0+/-0,7	s
		Kaolack	9	-13,9+/-1,6	
	$\delta^{15}\text{N}$	Badaïe	4	6,3+/-0,7	s
		Kaolack	9	9,4+/-1,7	
Décembre	$\delta^{13}\text{C}$	Bapindo	5	-20,4+/-2,2	s
		Kaolack	4	-15,7+/-1,8	
	$\delta^{15}\text{N}$	Bapindo	5	5,0+/-0,7	s
		Kaolack	4	11,2+/-1,4	

Tableau 25 : Valeurs moyennes et écart-type des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des juvéniles de *S. melanotheron* dans les différentes stations en 2006, n= nombre d'individus; KW/U= Test de Kruskal Wallis/ ou Test U de Mann-Whitney (significativité marquée à $p < 0,05$, s = significatif, ns = non significatif), Bonf= Test Bonferroni (les mêmes lettres indiquent l'absence de différence significative)

2006		Stations	n	Moy+/- EC (%)	KW/U	Bonf
Juillet	$\delta^{13}\text{C}$	Bapindo	5	-19,7+/-1,6	s	A
		Ndiamniadio	5	-15,3+/-0,5		B
		Badaïe	5	-12,2+/-3,4		B
		Kaolack	10	-15,3+/-3,2		B
	$\delta^{15}\text{N}$	Bapindo	5	4,9+/-0,9	s	A
		Ndiamniadio	5	6,7+/-0,3		A B
		Badaïe	5	6,5+/-2,0		A
		Kaolack	10	9,3+/-2,7		B
Novembre	$\delta^{13}\text{C}$	Badaïe	5	-11,3+/-0,2	s	A
		Kaolack	10	-15,9+/-2,7		B
	$\delta^{15}\text{N}$	Badaïe	5	8,9+/-0,3	s	A
		Kaolack	10	12,4+/-1,9		B

A) $\delta^{13}\text{C}$

Les juvéniles de *S. melanotheron* montrent une différence significative (test U, $p < 0,05$) entre $\delta^{13}\text{C}$ moyens de Badaïe et de Kaolack en août 2005 (figure 29A) même si les signatures isotopiques se trouvent dans la même gamme de valeur avec respectivement $-11,0 \pm 0,7\text{‰}$ ($n=4$) et $-13,6 \pm 1,6\text{‰}$ ($n=9$). En décembre 2005 (figure 29B), les valeurs moyennes présentent un écart significatif entre Bapindo et Kaolack avec respectivement $-20,4 \pm 2,2\text{‰}$ ($n=5$) $-15,7 \pm 1,8\text{‰}$ ($n=4$) (test U, $p < 0,05$).

En 2006, les $\delta^{13}\text{C}$ moyens sont différents (test Kruskal Wallis, $p < 0,05$) entre les quatre stations en juillet (figure 29C) avec des valeurs moyennes de $-19,7 \pm 1,6\text{‰}$ ($n=5$) à Bapindo, $-15,3 \pm 0,5\text{‰}$ ($n=5$) à Ndiamniadio, $-12,2 \pm 3,4\text{‰}$ ($n=5$) à Badaïe et $-15,3 \pm 3,2\text{‰}$ ($n=10$) à Kaolack. Le test de Bonferroni montre que la différence est significative entre Bapindo et les 3 autres sites. Au sein de ces derniers, aucune différence significative de $\delta^{13}\text{C}$ n'a été trouvée. En novembre (figure 29D), les $\delta^{13}\text{C}$ moyens de Badaïe et de Kaolack, bien que du même ordre de grandeur avec respectivement $-11,3 \pm 0,2\text{‰}$ ($n=5$) et $-15,9 \pm 2,7\text{‰}$ ($n=10$), sont significativement différents (test U, $p < 0,05$).

Les juvéniles de *S. melanotheron* montrent des différences significatives $\delta^{13}\text{C}$ entre l'aval et l'amont quelle que soit l'année. Des différences $\delta^{13}\text{C}$ ont été notées chez cette espèce entre les deux stations amont mêmes si les valeurs sont du même ordre de grandeur.

B) $\delta^{15}\text{N}$

Les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ des juvéniles de *S. melanotheron* entre Badaïe et Kaolack en août 2005 (figure 29A) sont significativement différentes (test U $p < 0,05$) avec respectivement $6,3 \pm 0,7\text{‰}$ ($n=10$) et $9,4 \pm 1,7\text{‰}$ ($n=4$). En décembre (figure 29B), les $\delta^{15}\text{N}$ moyens entre Bapindo ($5,0 \pm 0,7\text{‰}$, $n=5$) et Kaolack ($11,2 \pm 1,4\text{‰}$, $n=4$) sont significativement différents (test U $p < 0,05$). D'ailleurs, l'écart est très important.

En juillet 2006 (figure 29C), les $\delta^{15}\text{N}$ sont significativement différents entre les quatre sites échantillonnés (test Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) avec $4,9 \pm 0,9\text{‰}$ ($n=5$), $6,7 \pm 0,3\text{‰}$ ($n=5$), $6,5 \pm 2,0\text{‰}$ ($n=5$) et $9,3 \pm 2,7\text{‰}$ ($n=10$) respectivement à Bapindo, Ndiamniadio, Badaïe et Kaolack. Le test de Bonferroni montre que seules les différences entre Bapindo et Kaolack et entre Badaïe et Kaolack sont significatives.

En novembre (figure 29D), les $\delta^{15}\text{N}$ sont significativement différents (test U, $p < 0,05$) entre Badaïe et Kaolack avec respectivement $8,9 \pm 0,3\text{‰}$ ($n=5$) et $12,4 \pm 1,9\text{‰}$ ($n=10$).

Les juvéniles de *S. melanotheron* montrent des différences $\delta^{15}\text{N}$ entre l'aval et l'amont quelle que soit l'année avec des valeurs beaucoup plus élevées les zones amont surtout à Kaolack

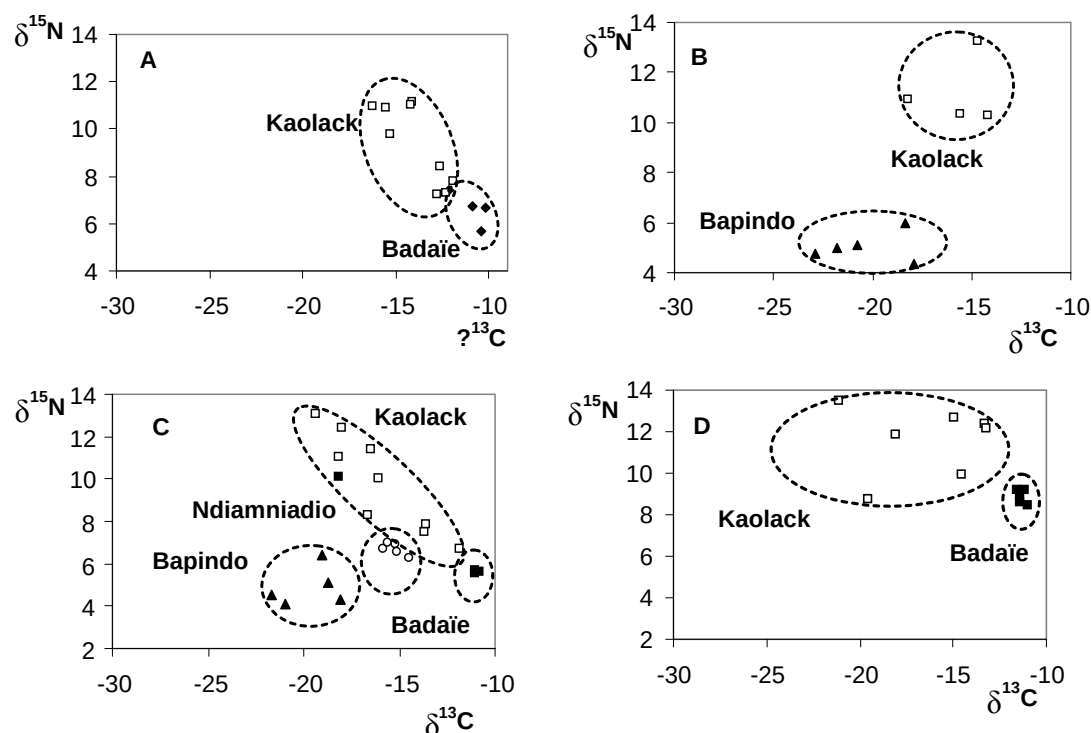


Figure 29: Evolutions des rapports isotopiques des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des juvéniles de *S. melanotheron* le long du gradient de salinité : A (août 2005), B (décembre 2005), C (juillet 2006), D (novembre 2006)

IV-6-2 Evolution des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des juvéniles entre le début et la fin du recrutement

IV-6-2-1 *E. melanopterus*

A) $\delta^{13}\text{C}$

Les juvéniles d'*E. melanopterus* présentent des $\delta^{13}\text{C}$ moyens différents entre le début et la fin de la saison de recrutement. Cette différence est significative (test U, $p < 0,05$) dans toutes les stations à l'exception de Badaïe en 2006 (Figure 30). Les juvéniles d'*E. melanopterus* ont un $\delta^{13}\text{C}$ plus élevé au début de la saison de recrutement (juillet-août) qu'à la fin (novembre-décembre) quelle que soit la station. A Bapindo, le $\delta^{13}\text{C}$ est significativement inférieur de 0,7‰ à la fin du recrutement en

2005 et de 3,4‰ en 2006 (test U, $p < 0,05$). A Ndiamniadio, le $\delta^{13}\text{C}$ est significativement inférieur de 1,7‰ à la fin du recrutement en 2006 (test U, $p < 0,05$). A Badaïe, cette diminution est seulement notée en 2005, elle est significative avec, en décembre, un $\delta^{13}\text{C}$ inférieur de 2‰ à celui mesuré en août (test U, $p < 0,05$).

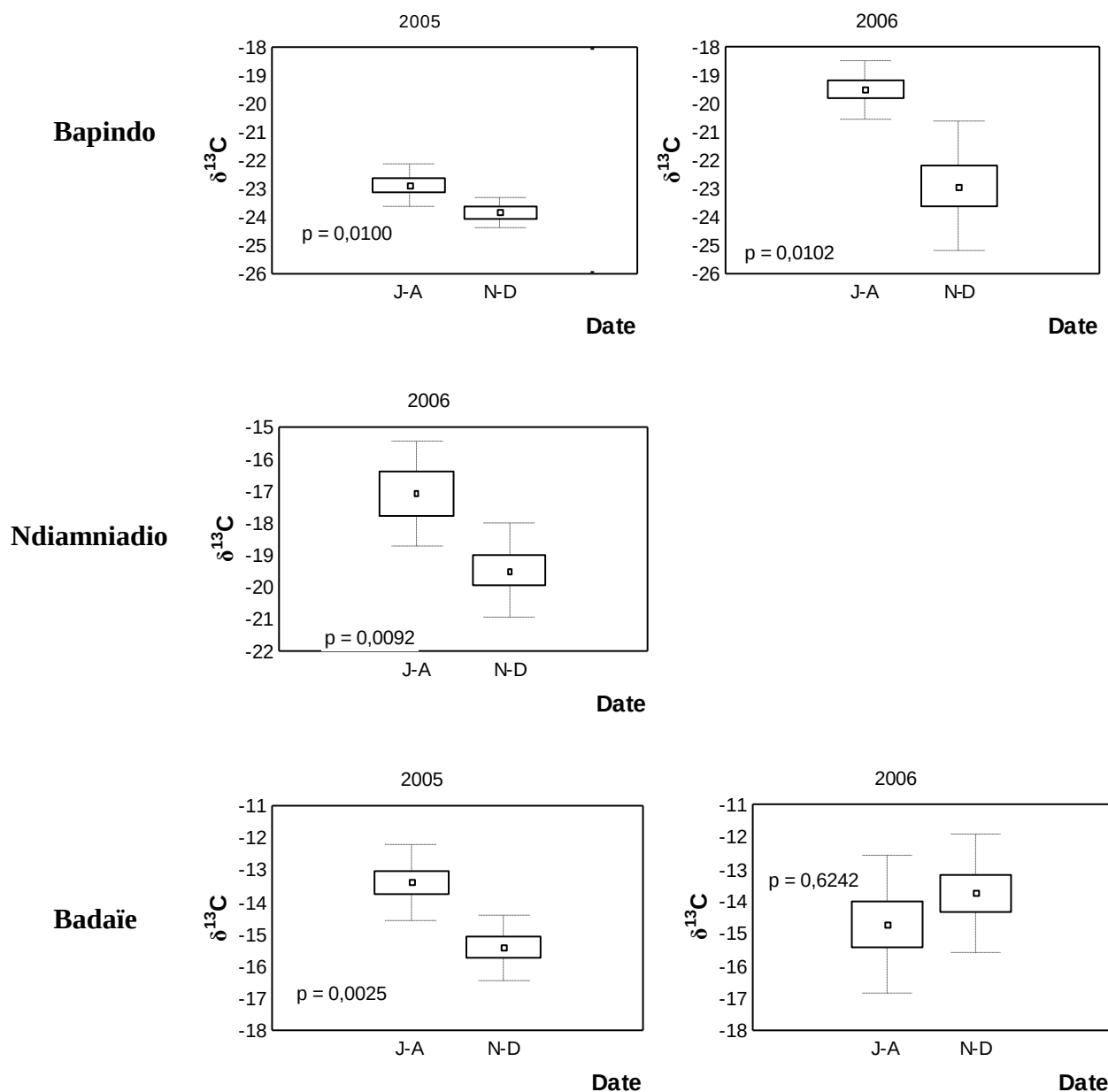


Figure 30 : Différences de $\delta^{13}\text{C}$ (Moyenne $\pm$ écart type) entre le début (juillet-août) et la fin (novembre-décembre) de la saison de recrutement chez les juvéniles de *E. melanopterus* (Test U, significativité marquée à $p < 0,05$)

B) $\delta^{15}\text{N}$

Aucune différence significative (test U, $p > 0,05$) des signatures isotopiques en azote ($\delta^{15}\text{N}$ n'a été détectée entre le début (juillet-août) et la fin (novembre-décembre) de la saison de recrutement (figure 31) quelle que soit la station et quelle que soit l'année d'étude. A Bapindo, les valeurs moyennes de $\delta^{15}\text{N}$ en juillet-août et en novembre-décembre sont voisines de 8,5‰ quelle que soit l'année (test U, $p > 0,05$). A Ndiamniadio, les valeurs moyennes à ces deux périodes sont voisines de 8‰ (test U, $p > 0,05$). A Badaïe, le même résultat est observé avec cependant des valeurs plus élevées voisines de 9‰.

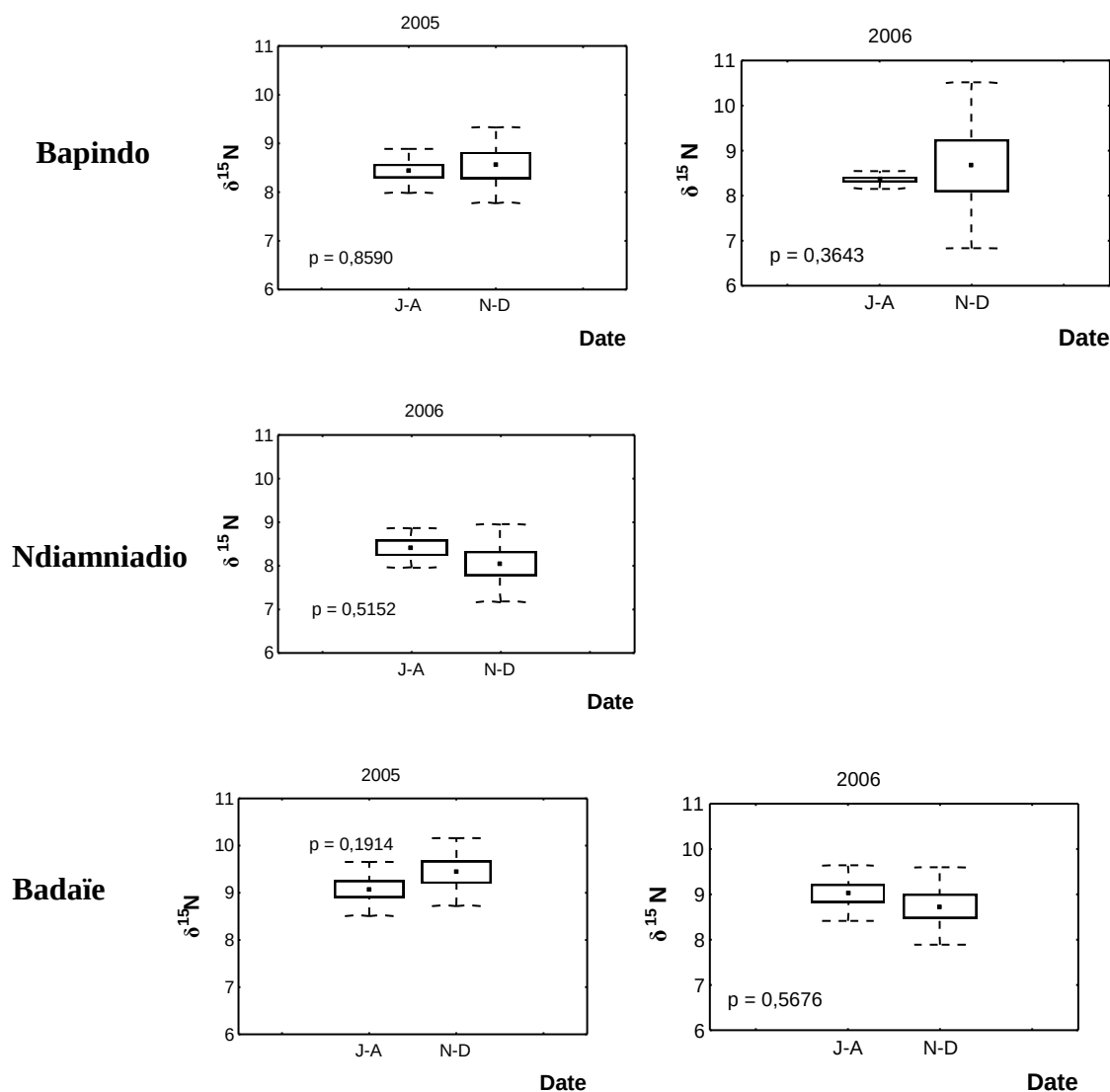


Figure 31 Différences de $\delta^{15}\text{N}$ (Moyenne $\pm$ écart type) entre le début (juillet-août : J-A) et la fin (novembre-décembre : N-D) de la saison de recrutement chez les juvéniles de *E. melanopterus*, (Test U, significativité marquée à $p < 0,05$)

IV-6-2-2 *E. fimbriata*A) $\delta^{13}\text{C}$

Les juvéniles d'*E. fimbriata* présentent des différences significatives des rapports isotopiques en ^{13}C entre le début (juillet-août) et la fin (novembre-décembre) de la saison du recrutement (figure 32). A Bapindo, une augmentation significative de 2,7‰ a été constatée à la fin du recrutement en 2005 (test Kruskal Wallis, $p < 0,05$) alors qu'en 2006, dans cette même station, c'est une diminution significative de 1,5‰ (test U, $p < 0,05$) qui a été notée à la fin du recrutement. A Kaolack, les juvéniles d'*E. fimbriata* présentent des valeurs moyennes de $\delta^{13}\text{C}$ avec une diminution significative de 2‰ à la fin du recrutement. Le sens de variation de $\delta^{13}\text{C}$ chez cette espèce n'est pas stable.

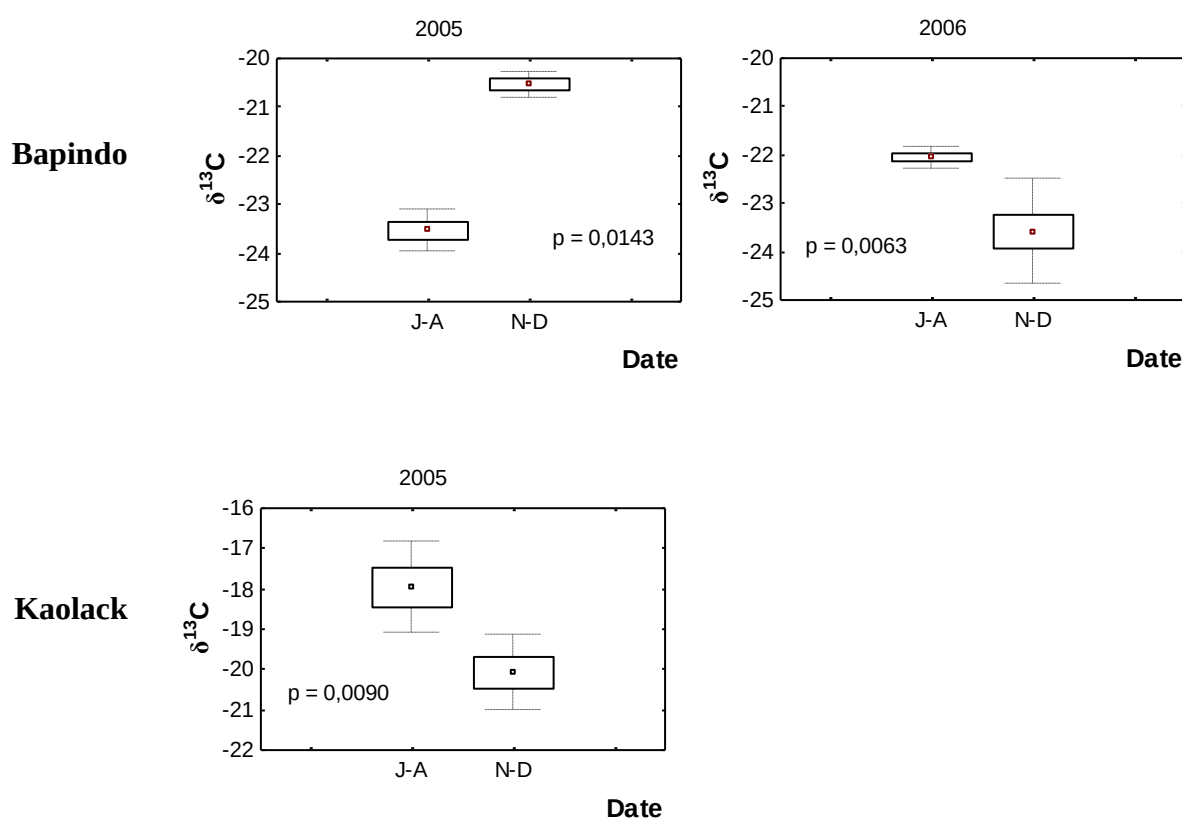


Figure 32 Différence des $\delta^{13}\text{C}$ (Moyenne $\pm$ écart type) entre le début (juillet-août : J.A) et la fin (novembre-décembre : N-D) du recrutement chez les juvéniles de *E. fimbriata*. (Test U, significativité marquée à $p < 0,05$)

B) $\delta^{15}\text{N}$

Les juvéniles d'*E. fimbriata* présentent des différences significatives des $\delta^{15}\text{N}$ moyens (figure 33) en début (juillet-août) et en fin de saison de recrutement (novembre-décembre). Sur les stations de Bapindo et de Kaolack en 2005, une augmentation significative, de 1,9‰ et de 3,6‰ respectivement, a été trouvée entre le début et la fin de la saison de recrutement (test U, $p < 0,05$). Par contre, à Bapindo, en 2006, aucune différence significative de $\delta^{15}\text{N}$ n'a été observée (test U, $p > 0,05$)

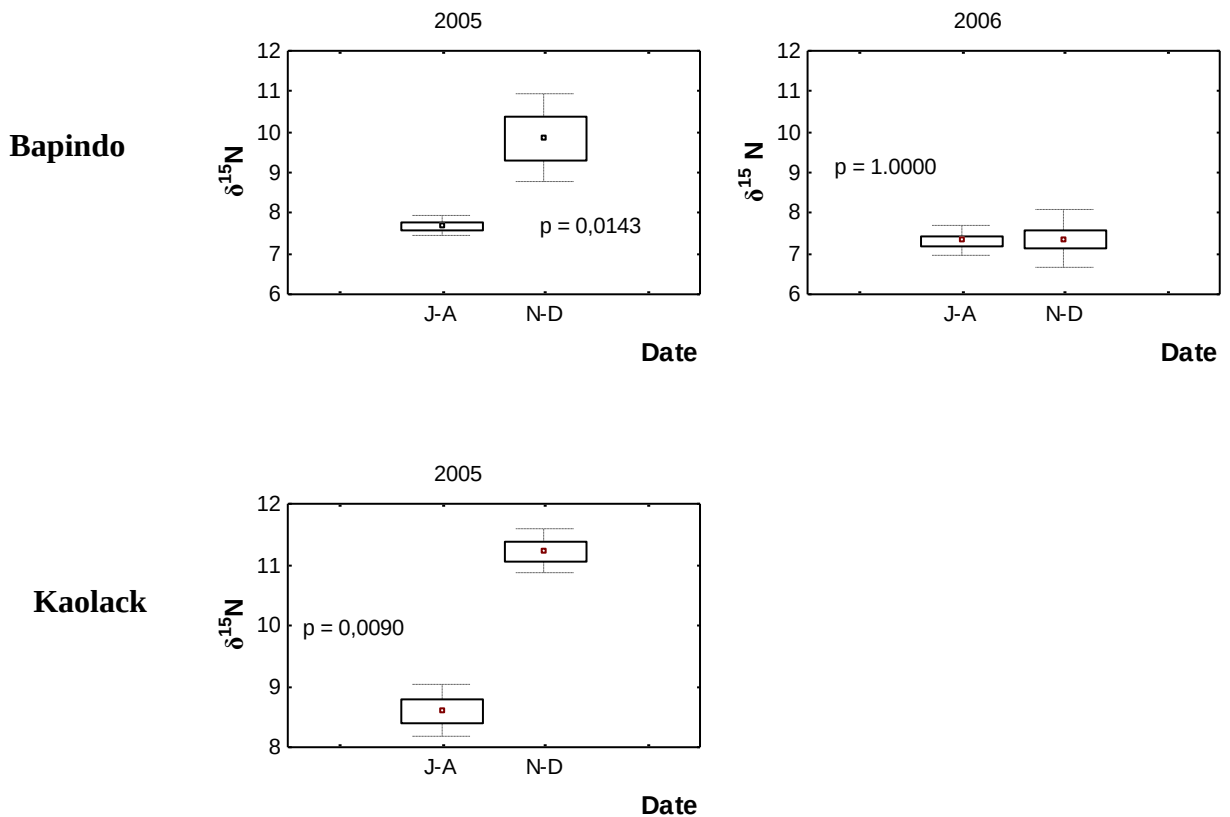


Figure 33. Différence des $\delta^{15}\text{N}$ (Moyenne $\pm$ écart type) entre le début (juillet-août J-A) et la fin (novembre-décembre, N-D) du recrutement chez les juvéniles de *E. fimbriata*, (Test U, significativité marquée à $p < 0,05$)

IV-6-2-3 *M. sebae*A) $\delta^{13}\text{C}$

Les juvéniles de *M. sebae* ne présentent pas de différences significatives des rapports isotopiques en carbone entre le début (juillet-août) et la fin du recrutement (novembre-décembre). A Bapindo, les valeurs moyennes de $\delta^{13}\text{C}$ entre les deux périodes sont similaires et proches avec -24‰ et -23,5‰ respectivement en 2005 et en 2006 (test U, $p > 0,05$).

A Ndiamniadio, également, aucune différence significative (test U, $p > 0,05$) n'a été observée entre le début et la fin du recrutement avec respectivement 18,5‰ et 19,8‰ en 2006 (figure 34).

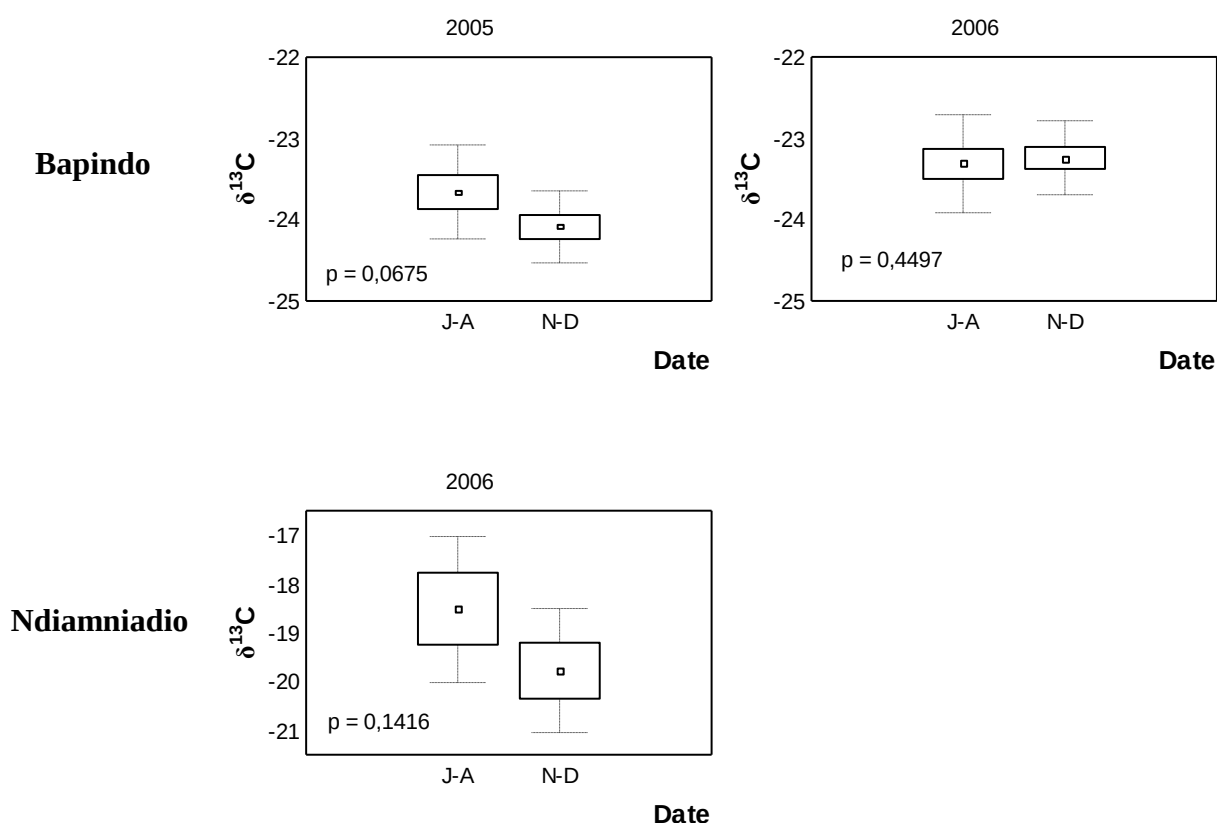


Figure 34: Différence des $\delta^{13}\text{C}$ (Moyenne $\pm$ écart type) entre le début (juillet-août : J-A) et la fin (novembre-décembre : N-D) du recrutement chez les juvéniles de *M. sebae* (Test U, significativité marquée à $p < 0,05$)

B) $\delta^{15}\text{N}$

M. sebae ne présente pas de différence significative entre les rapports isotopiques en azote du début (juillet-août) et de la fin (novembre-décembre) de la saison de recrutement. A Bapindo, les valeurs moyennes entre le début et la fin du recrutement restent voisines de 9‰ en 2005 (test U, $p > 0,05$) et de 8,5‰ en 2006. A Ndiamniadio, les valeurs moyennes de $\delta^{15}\text{N}$ sont identiques, proches de 8,5‰, entre le début et la fin de la saison (figure 35) .

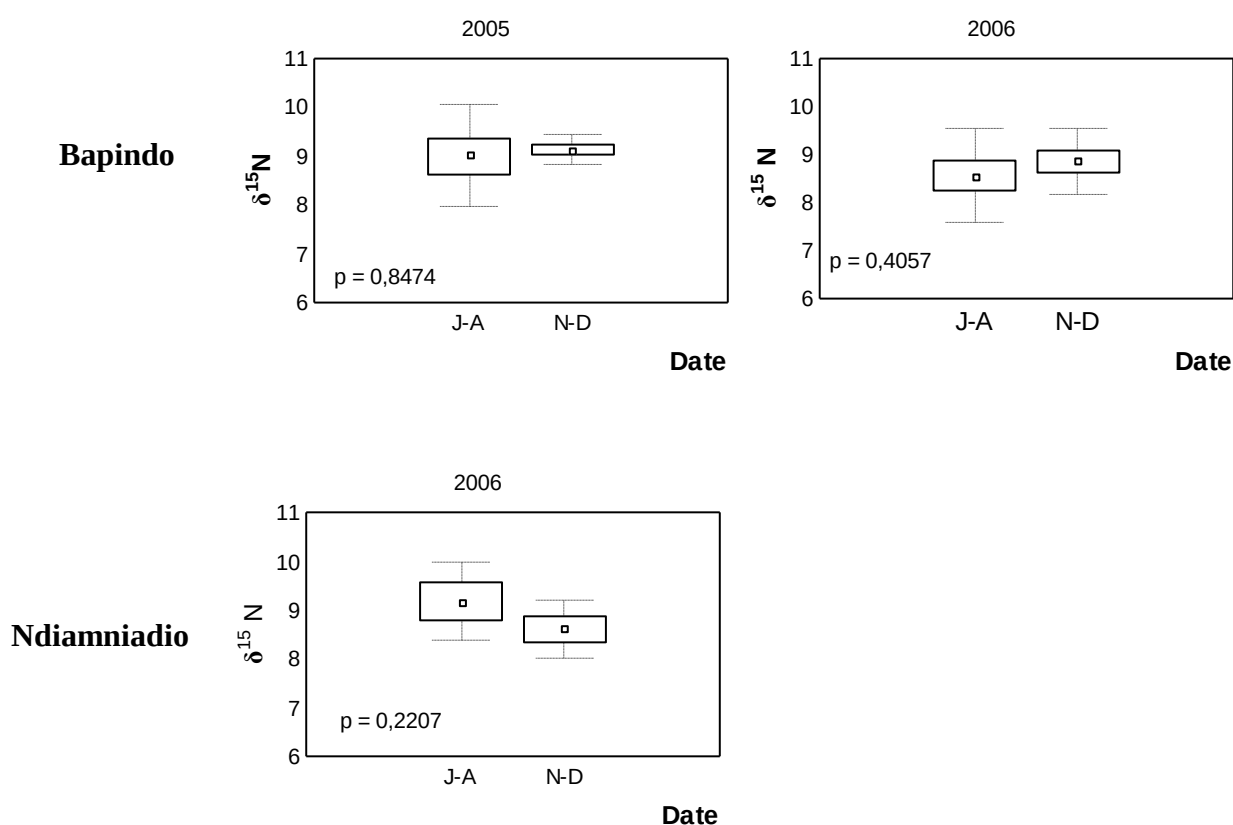


Figure 35 :Différences des $\delta^{15}\text{N}$ (Moyenne $\pm$ écart type) entre le début (juillet-août : J-A) et la fin (novembre-décembre : N-D) du recrutement chez les juvéniles de *M. sebae* (Test U, significativité marquée à $p < 0,05$)

IV-6-2-4 *S. melanotheron*A) $\delta^{13}\text{C}$

Les juvéniles de *S. melanotheron* ne montrent aucune différence significative (test U, $p > 0,05$) de leurs rapports isotopiques en carbone entre le début et la fin du recrutement (figure 36). Les valeurs moyennes de $\delta^{13}\text{C}$ sont similaires entre juillet-août et novembre-décembre. A Badaïe, les valeurs moyennes sont de $-12,2\text{‰}$ et $-11,0\text{‰}$ respectivement en juillet-août et novembre-décembre en 2006. A Kaolack, les valeurs moyennes sont comparables entre les deux périodes quelle que soit l'année de capture (test U, $p > 0,05$).

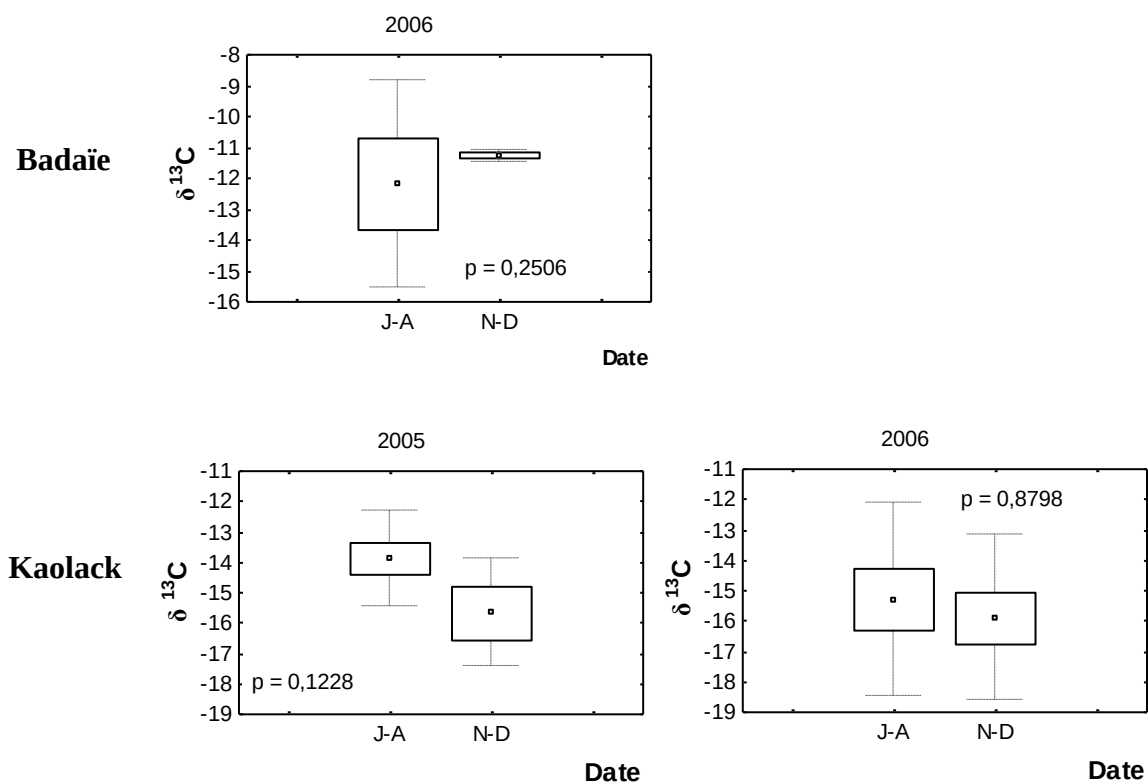


Figure 36: Différences des $\delta^{13}\text{C}$ (Moyenne $\pm$ écart type) entre le début J.A (juillet-août) et la fin N-D (novembre-décembre) du recrutement chez les juvéniles de *S. melanotheron*. (Test U, significativité marquée à $p < 0,05$)

B) $\delta^{15}\text{N}$

Les valeurs moyennes de $\delta^{15}\text{N}$ de *S. melanothron* ne présentent pas de différences significatives (test U, $p > 0,05$) entre le début et la fin du recrutement à l'exception de Kaolack en 2006. A Badaïe, en 2006, les valeurs moyennes de $\delta^{15}\text{N}$ sont similaires en juillet-août et en novembre-décembre avec respectivement 6,5‰ et 8,9‰. A Kaolack en 2005, les valeurs moyennes ne sont pas significativement différentes entre juillet-août et novembre-décembre avec respectivement 9,5‰ et 11,2‰ (figure 37). En revanche, en 2006, la valeur de $\delta^{15}\text{N}$ en novembre-décembre est significativement supérieure à celle de juillet-août.

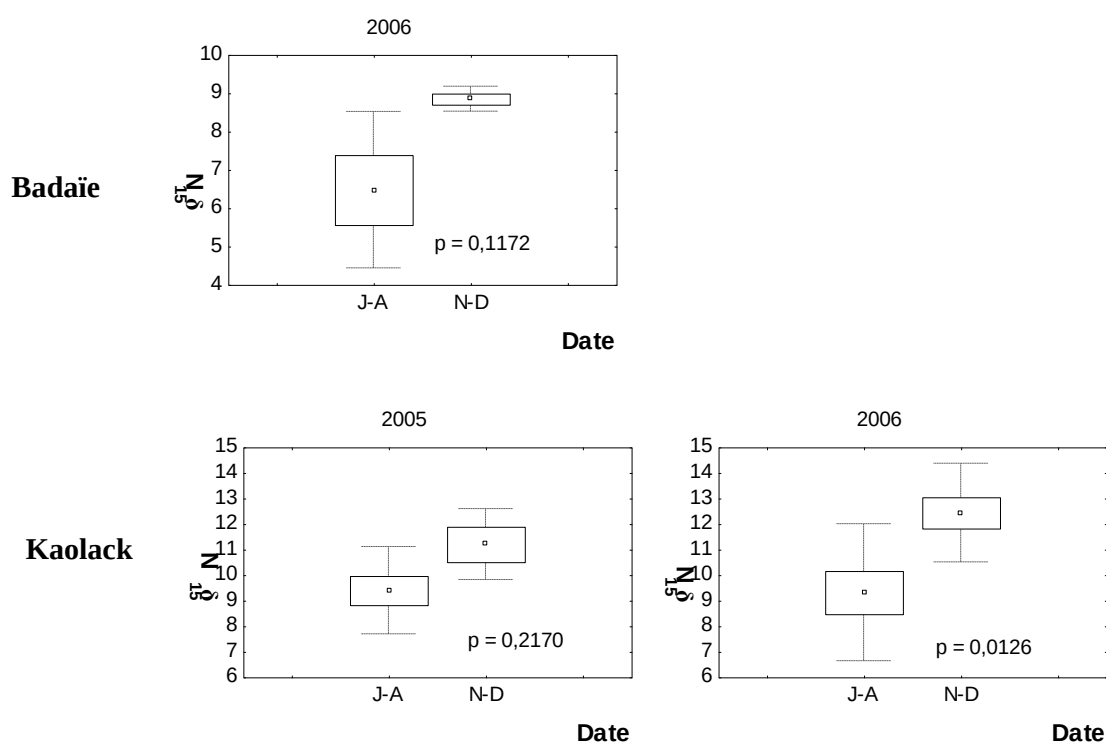


Figure 37: Différences des $\delta^{15}\text{N}$ (Moyenne $\pm$ écart type) entre le début J-A (juillet-août) et la fin N-D (novembre-décembre) de la saison de recrutement chez les juvéniles de *S. melanothron* (Test U, significativité marquée à $p < 0,05$)

IV-6-3 Conclusion sur les différences de $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des juvéniles entre le début et la fin du recrutement

L'étude de la signature isotopique du carbone chez les juvéniles des espèces considérées montre que seules les espèces mobiles *E. melanopterus* et *E. fimbriata* présentent des différences significatives entre le début et la fin de la saison de recrutement quelles que soient la station et l'année de capture. Les deux autres espèces, sédentaires, *M. sebae* et *S. melanothron* ne montrent pas de différence significative de leurs signatures isotopiques en carbone.

En ce qui concerne les signatures isotopiques en azote, seule *E. fimbriata* présente des différences significatives du $\delta^{15}\text{N}$ entre le début et la fin du recrutement quelles que soient la station et l'année. Les trois autres espèces conservent sensiblement les mêmes teneurs en azote entre le début et la fin du recrutement.

IV-6-4 Evolution des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des juvéniles en fonction de la taille

IV-6-4-1 *E. melanopterus*

La variation de la signature isotopique en fonction de la taille chez *E. melanopterus* a été étudiée en août et en décembre en 2005. En 2006, l'étude a été faite sur trois stations Bapindo, à Ndiamniadio et à Badaïe en juillet et en novembre.

L'étude de la relation entre le $\delta^{13}\text{C}$ ou le $\delta^{15}\text{N}$ (figure 38) et la taille des individus à Bapindo et à Badaïe en août et décembre en 2005 ne révèle aucune variation significative (régression linéaire, $p > 0,05$, tableau 26) quelle que soit la station et quelle que soit la date.

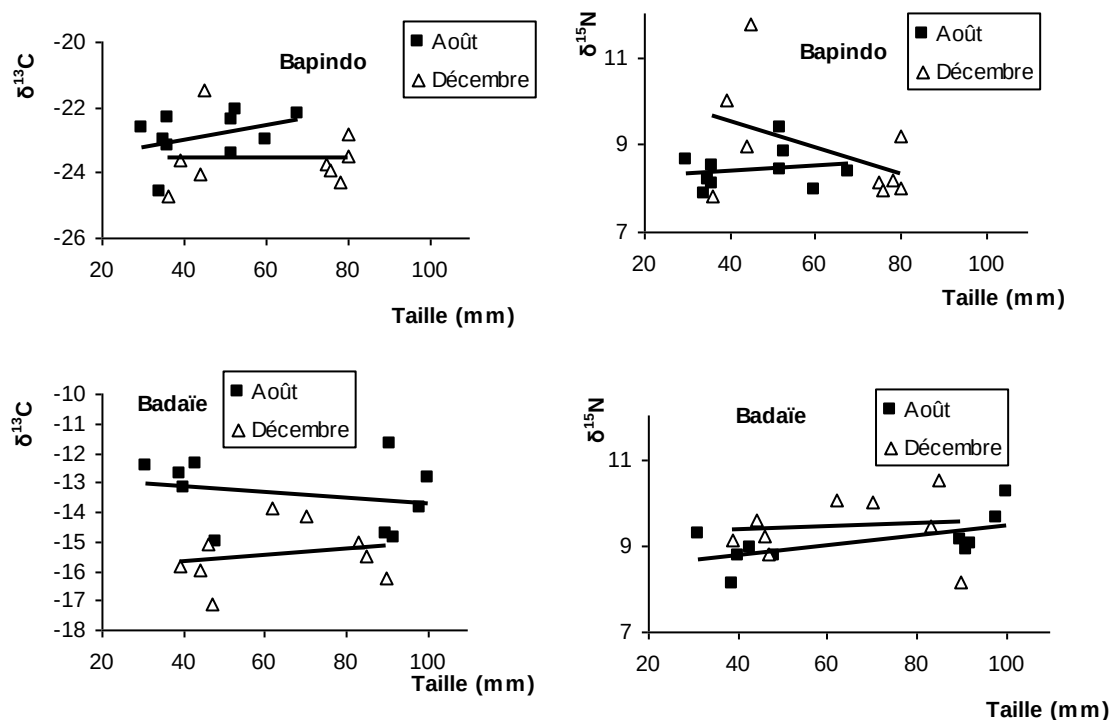


Figure 38: Relation entre le $\delta^{13}\text{C}$ ou le $\delta^{15}\text{N}$ et la taille des individus chez *E. melanopterus* en 2005

Tableau 26: Régression linéaire entre $\delta^{13}\text{C}$ ou $\delta^{15}\text{N}$ et la taille des individus chez *E. melanopterus* en 2005

	Août					Décembre				
	n	$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$		n	$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$	
		r^2	P	r^2	P		r^2	P	r^2	P
Bapindo	10	0,146	0,276	0,029	0,639	9	0,000	0,980	0,210	0,214
Badaïe	10	0,061	0,490	0,361	0,066	9	0,044	0,590	0,009	0,092

En 2006, aucune variation la signature isotopique du carbone en fonction de la taille n'a été notée à Bapindo quelle que soit la date. Par contre, une faible variation de la signature isotopique du carbone (figure 39) a été notée à Ndiamniadio en novembre (régression linéaire; $r^2 = 0,526$; $p=0,018$) et à Badaïe quelle que soit la date (régression linéaire; $r^2 = 0,521$; $p=0,028$ en juillet; $r^2 = 0,592$; $p=0,009$ en novembre) (tableau 26). Dans ces deux stations, la relation est positive avec une augmentation légère des signatures isotopiques du carbone.

En ce concerne l'azote (figure 39), une relation significative en fonction de la taille a été observée en novembre quelle que soit la station (régression linéaire : $r^2 = 0,321$; $P=0,057$ à Bapindo, régression linéaire; $r^2 = 0,815$; $P=0,009$ à Ndiamniadio, régression linéaire; $r^2 = 0,551$; $P=0,014$ à

Badaïe) (tableau 27). La relation ne varie pas dans le même sens dans les différentes stations, elle est négative à Bapindo et positive à Ndiamniadio et Badaïe.

En résumé, l'étude de la relation entre la signature isotopique en carbone ou azote avec la taille chez *E. melanopterus* ne montre pas une évolution nette. Les variations en carbone sont en général non significatives par contre celles en azote sont plus marquées mais pas toujours dans le même sens.

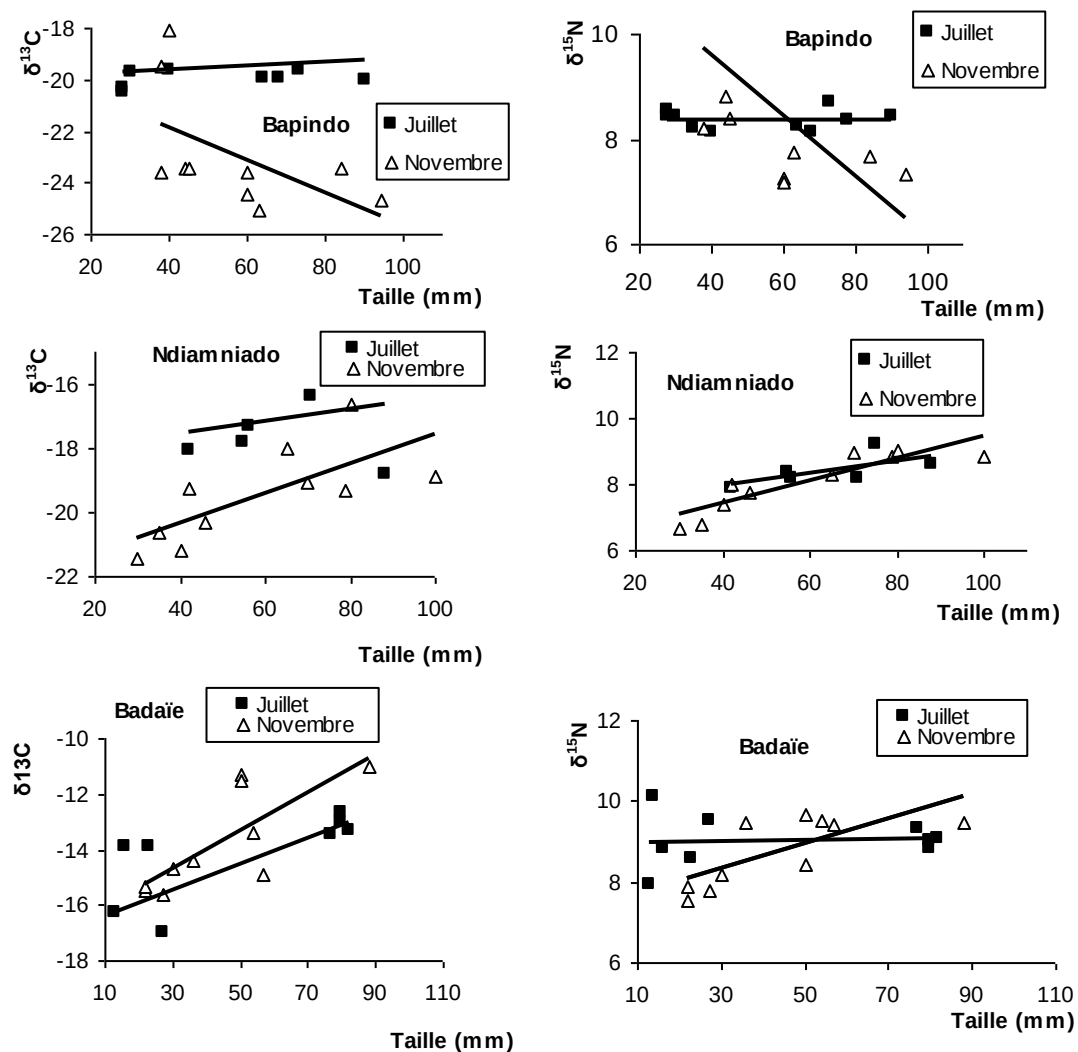


Figure 39: Relation (régression linéaire) entre le $\delta^{13}\text{C}$ ou $\delta^{15}\text{N}$ et la taille des individus chez *E. melanopterus* en 2006

Tableau 27: Régression linéaire entre $\delta^{13}\text{C}$ ou $\delta^{15}\text{N}$ et la taille des individus chez *E. melanopterus* en 2006, (la significativité de la relation est marquée en gras à $p < 0,05$)

Tableau 1. Les données de la campagne de mesure de la température de l'air et de la température de l'eau, de la salinité, de la conductivité, de la turbidité, de la chlorophylle <i>a</i> et de la chlorophylle <i>b</i> en 2017.										
	n	Juillet				n	Novembre			
		$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$			$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$	
		r^2	P	r^2	P		r^2	P	r^2	P
Bapindo	10	0,032	0,623	0,003	0,873	10	0,545	0,104	0,381	0,057
Ndiamniadio	6	0,036	0,719	0,474	0,131	10	0,526	0,018	0,815	0,000
Badaïe	9	0,521	0,028	0,007	0,830	10	0,592	0,009	0,551	0,014

IV-6-4-2 *E. fimbriata*

L'étude de la variation des isotopes stables de carbone et d'azote fonction de la taille chez *E. fimbriata* en a été étudiée seulement à Bapindo en 2006 où le nombre d'individus est supérieur à 5. *E. fimbriata* ne présente aucune relation significative entre la signature isotopique en carbone ou azote (figure 40) et la taille des individus quelle que soit la date (régression linéaire, tableau 28).

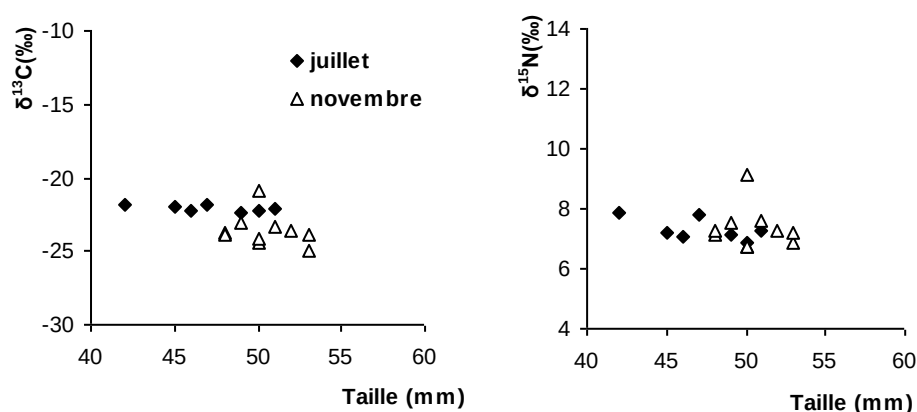


Figure 40: Relation (régression linéaire) entre le $\delta^{13}\text{C}$ ou le $\delta^{15}\text{N}$ et la taille des individus chez *E. fimbriata* en 2006

Tableau 28: Régression linéaire entre $\delta^{13}\text{C}$ ou $\delta^{15}\text{N}$ et la taille des individus chez *E. fimbriata* (la significativité de la relation est marquée en gras à $p < 0,05$)

	n	Juillet				n	Novembre			
		$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$			$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$	
		r^2	P	r^2	P		r^2	P	r^2	P
Bapindo	7	0,315	0,190	0,396	0,130	10	0,067	0,469	0,011	0,770

IV-6-4-3 *M. sebae*

La relation entre les signatures isotopiques du carbone et de l'azote et la taille chez *M. sebae* a été étudiée à Bapindo en 2005 et en 2006.

M. sebae ne montre aucune variation significative de ses deux isotopes stables avec la taille des individus en 2005 (figure 41). Néanmoins une légère variation du carbone en fonction de la taille a été constatée en décembre (tableau 29)

En 2006, seul l'azote des juvéniles de *M. sebae* évolue en fonction de la taille (figure 42). La relation est significative en juillet (régression linéaire : $r^2 = 0,698$; $P=0,003$) (tableau 30)

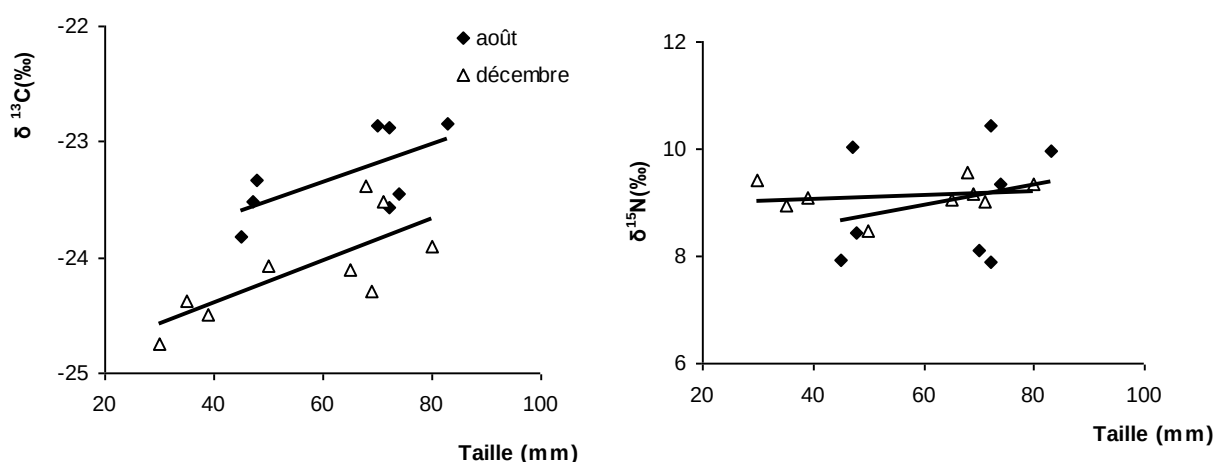


Figure 41: Relation (régression linéaire) entre le $\delta^{13}\text{C}$ ou le $\delta^{15}\text{N}$ et la taille des individus chez *M. sebae* à Bapindo en 2005.

Tableau 29: Valeurs r^2 et p de la relation (régression linéaire) entre $\delta^{13}\text{C}$ ou $\delta^{15}\text{N}$ et la taille des individus chez *M. sebae* en 2005, (la significativité de la relation est marquée en gras à $p < 0,05$)

Août					Décembre				
	n	$\delta^{13}\text{C}$			$\delta^{15}\text{N}$				
		r^2	p		r^2	p			
Bapindo	8	0,408	0,088		0,079	0,500	9	0,565	0,020
								0,043	0,591

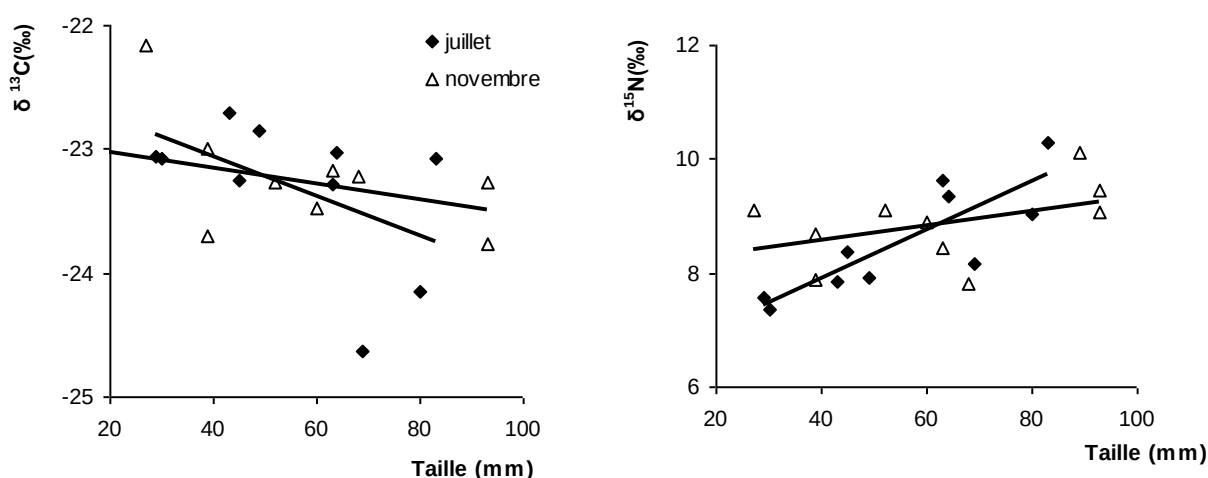


Figure 42 Relation (régression linéaire) entre le $\delta^{13}\text{C}$ ou le $\delta^{15}\text{N}$ et la taille des individus chez *M. sebae* en 2006

Tableau 30: Régression linéaire entre $\delta^{13}\text{C}$ ou $\delta^{15}\text{N}$ et la taille des individus chez *M. sebae* en 2006. (la significativité de la relation est marquée en gras à $p < 0,05$).

Juillet					Novembre				
	n	$\delta^{13}\text{C}$			$\delta^{15}\text{N}$				
		r^2	p		r^2	p			
Bapindo	11	0,261	0,131		0,698	0,003	10	0,308	0,096
								0,448	0,194

IV-6-4-4 *S. melanotheron*

La relation entre les signatures isotopiques du carbone et de l'azote et la taille a été étudiée Kaolack en août 2005 et en 2006 en juillet et novembre.

En 2005, l'étude de la variation des isotopes stables de carbone et de l'azote (**figure 43**) en fonction de la taille des individus de Kaolack en août montrent une variation significative de leur

carbone (régression linéaire : $r^2 = 0,672$; $P=0,007$ et faiblement significative de leur azote (régression linéaire : $r^2 = 0,442$; $P=0,048$) (tableau 31).

En 2006, cette relation est seulement significative en juillet aussi bien pour le carbone que pour l'azote (figure44, tableau 32).

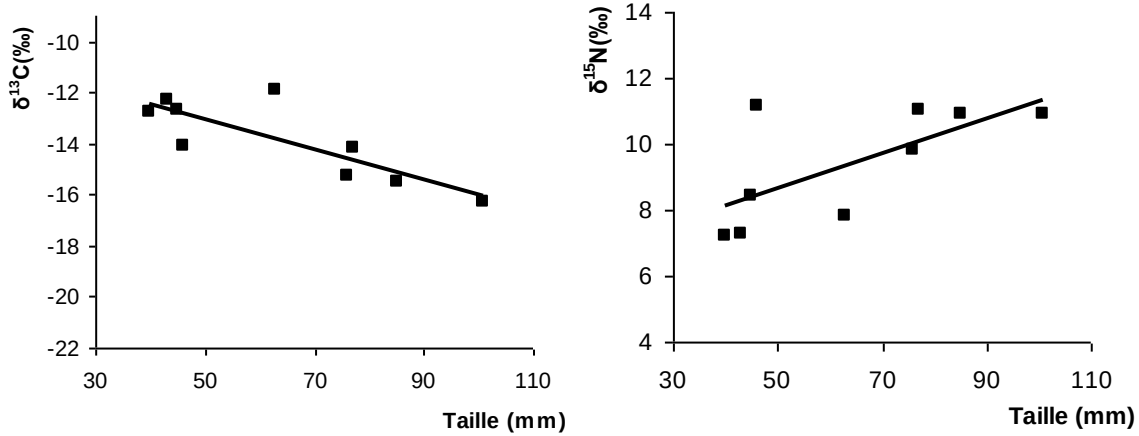


Figure 43: Relation (régression linéaire) entre le $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ et la taille des individus de *S. melanothron* en 2005

Tableau 31: Régression linéaire entre $\delta^{13}\text{C}$ ou $\delta^{15}\text{N}$ et la taille des individus chez *S. melanothron* en 2005 (la significativité de la relation est marquée en gras à $p<0,05$)

Août					
	n	$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$	
		r^2	P	r^2	P
Kaolack	9	0,672	0,007	0,449	0,048

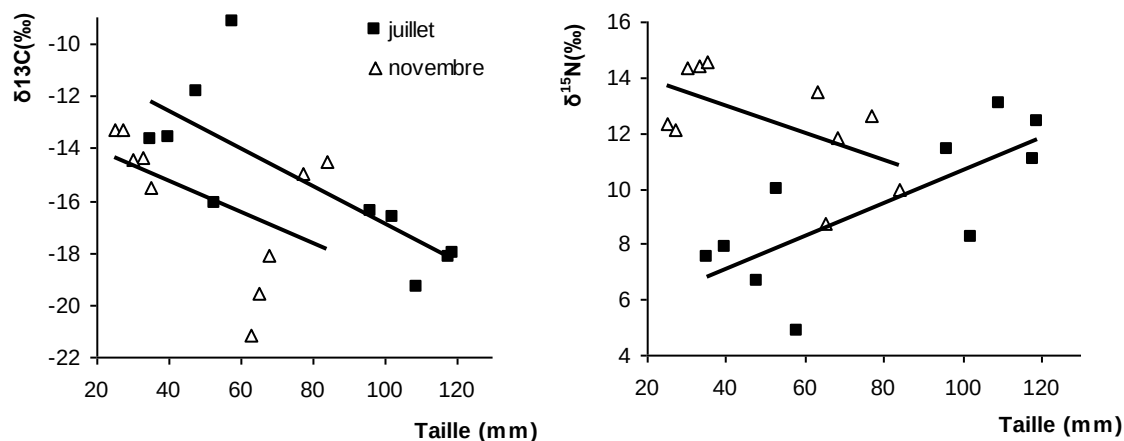


Figure 44: Relation (régression linéaire) entre le $\delta^{13}\text{C}$ ou $\delta^{15}\text{N}$ et la taille des individus de *S. melanotheron* en 2006

Tableau 32: Régression linéaire entre $\delta^{13}\text{C}$ ou $\delta^{15}\text{N}$ et la taille des individus chez *S. melanotheron* en 2006 (la significativité de la relation est marquée à $P < 0,05$)

	Juillet					Novembre				
	n	$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$		n	$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$	
		r^2	P	r^2	P		r^2	P	r^2	P
Kaolack	10	0,590	0,009	0,552	0,014	10	0,247	0,144	0,330	0,082

IV-6-5 Structure du réseau trophique aboutissant aux jeunes poissons.

L'étude des relations trophiques ne concerne que les données de 2006 où l'échantillonnage des différents compartiments trophiques a été plus complète.

IV-6-5-1 Signatures en carbone ($\delta^{13}\text{C}$) et en azote ($\delta^{15}\text{N}$) des sources potentielles de matière organique.

A) La Mangrove.

La signature isotopique des feuilles de mangrove (*R. mangle*) a été mesurée à Bapindo et à Ndiamniadio. Les signatures isotopiques en carbone (test U, $p > 0,05$) et en azote (test U, $p > 0,05$) des feuilles de mangrove ne présentent pas de différences significatives entre ces sites. Les valeurs

moyennes de $\delta^{13}\text{C}$ des feuilles sont comprises entre -28 et -29 ‰ et celles de $\delta^{15}\text{N}$ sont comprises entre 1 et 2 ‰ (tableau 33).

Aucune différence significative des deux isotopes, $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$, n'a été mise en évidence entre les feuilles vertes et les feuilles mortes quelle que soit la station (test U, $p>0,05$).

Tableau 33: Signatures en carbone ($\delta^{13}\text{C}\%$) et en azote ($\delta^{15}\text{N}\%$) (moyenne $\pm$ écart type) des sources potentielles de matière organique échantillonnées. MOP = matière organique particulaire en 2006.

		Bapindo		Ndiarniadio		Badaïe		Kaolack	
		$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
Juillet	Mangrove verte			-28,6 $\pm$ 0,2	2,1 $\pm$ 1,0				
	Mangrove morte			-28,6 $\pm$ 0,6	2,6 $\pm$ 0,6				
	MOP	-24,7 $\pm$ 0,4	1,1 $\pm$ 1,8	-23,1 $\pm$ 1,1	1,9 $\pm$ 0,9	-19,0 $\pm$ 0,9	1,5 $\pm$ 0,2	-24,4 $\pm$ 0,2	4,6 $\pm$ 0,4
Novembre	Mangrove verte	-29,0 $\pm$ 1,3	1,7 $\pm$ 1,0	-28,0 $\pm$ 1,6	2,9 $\pm$ 0,1				
	Mangrove morte	-29,0 $\pm$ 0,3	1,7 $\pm$ 0,5	-28,5 $\pm$ 0,5	1,7 $\pm$ 0,5				
	MOP	-25,1 $\pm$ 0,6	2,7 $\pm$ 0,9	-23,1 $\pm$ 0,4	3,1 $\pm$ 1,8	-24,6 $\pm$ 1,8	3,2 $\pm$ 0,8	-25,8 $\pm$ 1,3	3,8 $\pm$ 1,9

B) La matière organique particulaire (MOP)

La matière organique particulaire (MOP) présente des signatures isotopiques en ^{13}C significativement distinctes de celles de la mangrove (test U $p<0,05$, tableau 34). Par contre, aucune différence significative n'a été notée entre les signatures isotopiques en ^{15}N de la mangrove et de la MOP (test U, $p<0,05$, tableau 33).

Tableau 34 : Comparaison des signatures isotopiques de la mangrove et de la MOP: valeurs de p (test U; significativité marquée en gras à $p<0,05$).

		Bapindo		Ndiarniadio	
		MOP ($\delta^{13}\text{C}$)	MOP ($\delta^{15}\text{N}$)	MOP ($\delta^{13}\text{C}$)	MOP ($\delta^{15}\text{N}$)
Juillet	Mangrove verte			0,005	0,472
	Mangrove morte			0,004	0,217
	MOP				
Novembre	Mangrove verte	0,000	0,238	0,000	0,948
	Mangrove morte	0,000	0,224	0,000	0,129
	MOP				

Les différences du $\delta^{13}\text{C}$ de la MOP en fonction des stations sont illustrées sur les figures 45 A et B. Aucune différence significative n'a été observée entre les stations Bapindo, Ndiamniadio et Kaolack en juillet (test Kruskal Wallis, $p > 0,05$). Par contre, à cette même date, dans la station de Badaïe, le $\delta^{13}\text{C}$ de la MOP est significativement supérieur (test Kruskal Wallis, $p < 0,05$) à ceux des trois autres stations (figure 45 A). En novembre, la seule différence significative du $\delta^{13}\text{C}$ se situe entre Ndiamniadio et Kaolack (test Kruskal Wallis, $p < 0,05$).

Aucune différence significative (test U, $p > 0,05$) n'a été observée pour les signatures de la MOP entre les deux dates à Bapindo, Ndiamniadio et Kaolack, excepté pour Badaïe.

Les différences du $\delta^{15}\text{N}$ de la MOP en fonction des stations sont illustrées sur les figures 46 A et B. Aucune différence significative entre les stations (test Kruskal Wallis, $p > 0,05$) ou entre les deux dates (test U, $p > 0,05$) n'a été notée. Néanmoins, les valeurs moyennes $\delta^{15}\text{N}$ de la MOP sont supérieures à Kaolack.

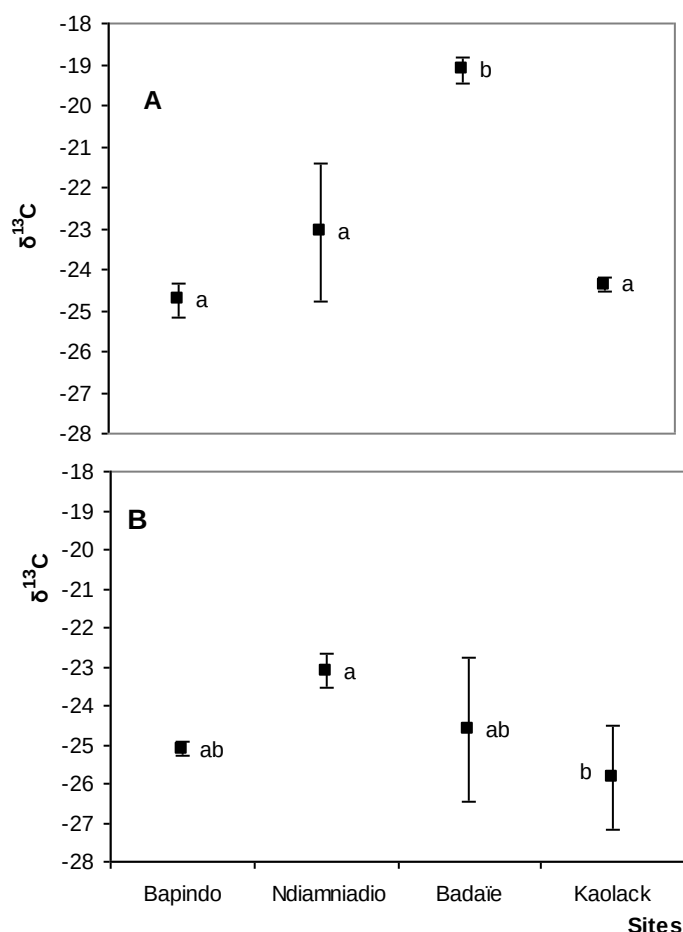


Figure 45: Valeurs moyennes et écart-type des $\delta^{13}\text{C}$ de la MOP au niveau des différentes stations en A (juillet) et en B (novembre). Les mêmes lettres près de chaque moyenne indiquent l'absence de différence significative (test Kruskal Wallis $p > 0,05$).

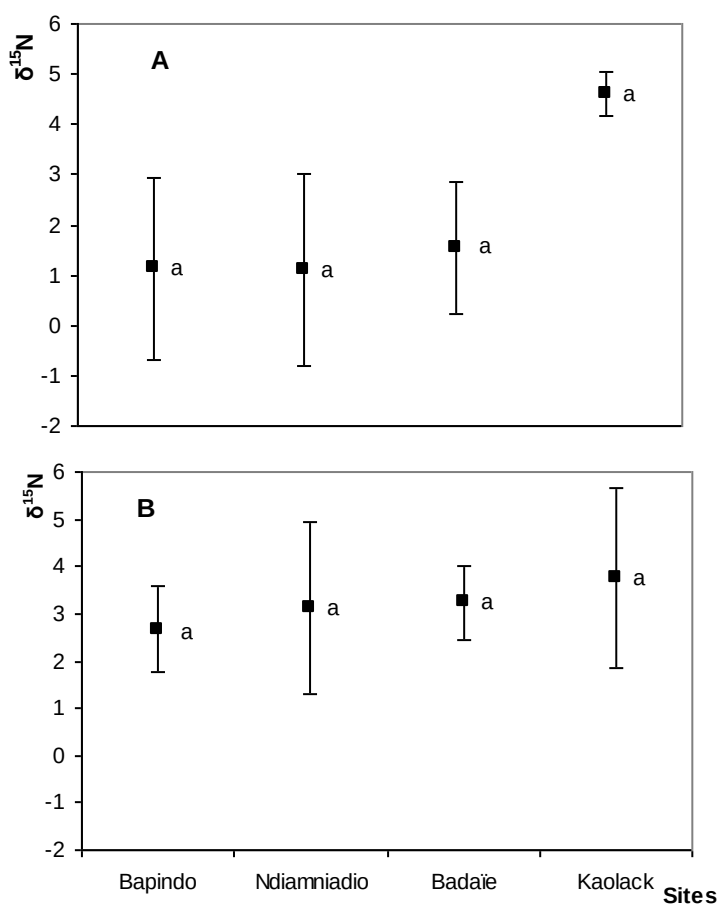


Figure 46: Valeurs moyennes et écart-type des $\delta^{15}N$ de la MOP au niveau des différentes stations en A (juillet) et en B (novembre). (test Kruskal Wallis $p > 0,05$; les mêmes lettres indiquent l'absence de différence significative)

C) Le microphytobenthos (MPB)

Les valeurs de signature isotopique du microphytobenthos utilisées dans ce travail ont été extraites des travaux de Vignot (2007) dans le Sine Saloum. Les signatures isotopiques ont été mesurées à la station amont de Badaïe. Le microphytobenthos présente des signatures isotopiques en carbone de $-15,9\text{‰}$ très éloignées de celles de la MOP et de la mangrove (respectivement de -24‰ et de -29‰) et de $2,9\text{‰}$ en azote.

D) Les huîtres de palétuvier (*Crassostrea gasar*)

Les huîtres sont connues comme des filtreurs sélectifs du phytoplancton à partir de la matière organique particulaire, l'étude de leurs signatures isotopiques a été réalisée afin d'approcher la signature isotopique du phytoplancton. Les huîtres récoltées dans les zones de mangrove de Bapindo et de Ndiamniadio présentent des signatures isotopiques en carbone proches de celles de la MOP (figure 47 A et B). Les $\delta^{13}\text{C}$ des huîtres suivent la même évolution que ceux de la MOP en fonction des stations. Ces organismes répondent aux variations de la signature isotopique de la matière organique particulaire en suspension et semblent capables d'intégrer cette signature isotopique.

Aucune différence des $\delta^{15}\text{N}$ entre ces deux stations n'a été notée chez les huîtres (test U $p > 0,05$) comme pour les deux sources (MOP et mangrove). Néanmoins, les mesures de $\delta^{15}\text{N}$ des huîtres ont été significativement (test Kruskal Wallis, $p < 0,05$) supérieures à celles de la MOP et celles de la mangrove quelle que soit la date. (figure 48 A et B).

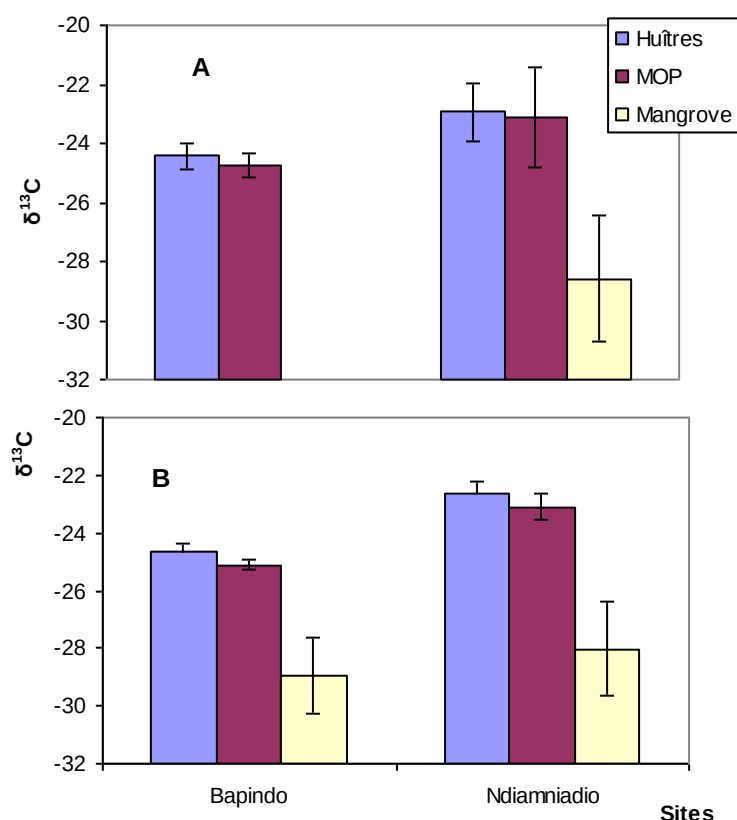


Figure 47: Signatures isotopiques en carbone ($\delta^{13}\text{C}$) des huîtres, de la matière organique particulaire et de la mangrove à Bapindo et à Ndiamniadio en Juillet (A) et en Novembre (B).

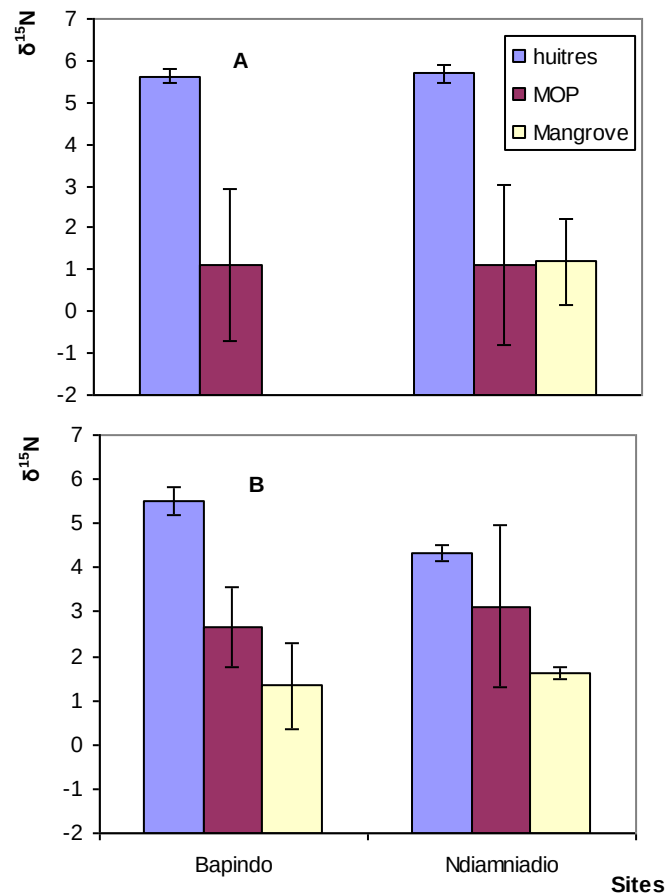


Figure 48: Signatures isotopiques en azote ($\delta^{15}\text{N}$) des huîtres, de la matière organique particulaire et de la mangrove à Bapindo et à Ndiamniadio en Juillet (A) et en Novembre (B).

IV-6-5-2 Relation trophique et son évolution le long du gradient aval-amont

L'étude des relations trophiques a été réalisée en novembre de l'année 2006 où l'échantillonnage des différents compartiments surtout en ce qui concernent les proies a été plus homogène (figure 49).

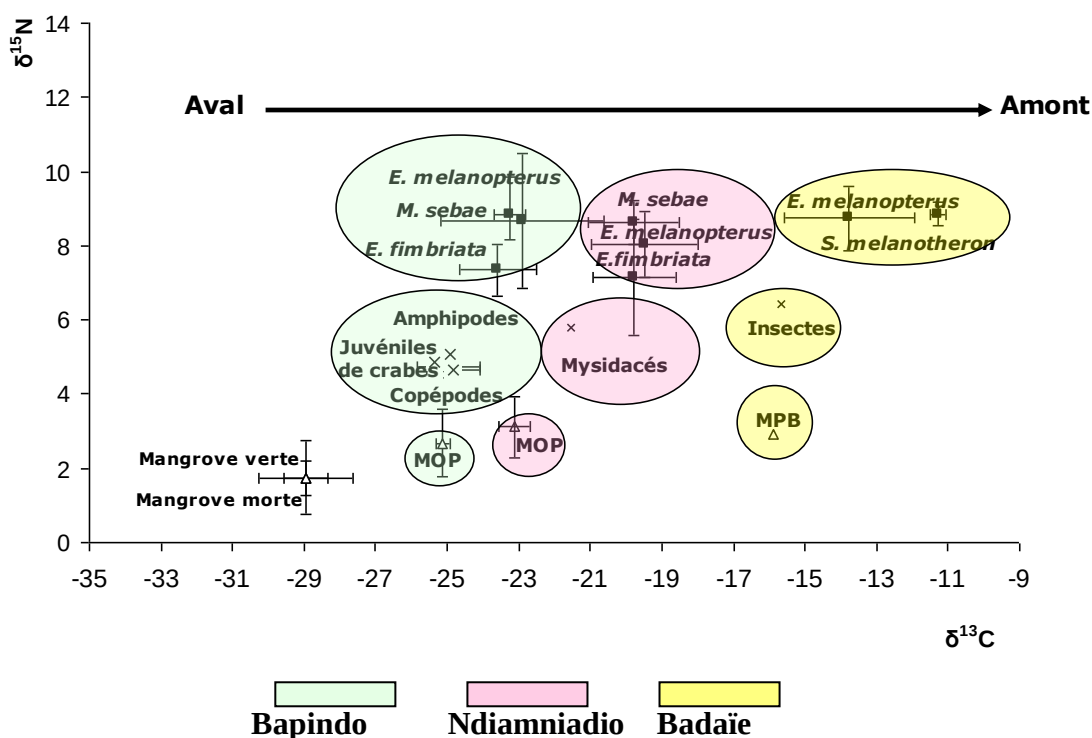


Figure 49: Structure trophique et son évolution le long du gradient de salinité. (Δ) Producteurs primaires ; (x) invertébrés; (■) Juvéniles poissons. MOP = matière organique particulaire, MPB=Microphytonbenthos.

A) En zone aval : Bapindo

L'ensemble des invertébrés capturés : les juvéniles de crabes (-24,9‰) les amphipodes (-24,9‰), les copépodes (-25,3‰), et les mysidacés (-24,7) ont des valeurs moyennes de $\delta^{13}\text{C}$ dans la même gamme que la MOP. Les fractionnements isotopiques par rapport à la MOP s'étendent de 0,2 à 0,5‰ ce qui suggère une exploitation du carbone originaire de la MOP. Les juvéniles de poissons (*E. melanopterus*, *E. fimbriata*, *M. sebae*) ont des $\delta^{13}\text{C}$ enrichis de 1,5 à 2,2‰ par rapport à la MOP, ces valeurs de fractionnements révèlent une utilisation du carbone originaire de la MOP via une médiation trophique par les invertébrés.

Les valeurs moyennes de $\delta^{15}\text{N}$ de l'ensemble des invertébrés au sein de cette station sont comprises entre 4 et 5 ‰ avec des fractionnements de 3 à 4 ‰ par rapport à la MOP indiquant une consommation primaire et directe de cette source. Les juvéniles de poissons ont des valeurs moyennes $\delta^{15}\text{N}$ comprises entre 7 et 9 ‰ et leur fractionnement par rapport à la MOP est compris entre 4 et 6‰ indiquant un niveau trophique secondaire.

B) En zone intermédiaire: Ndiamniadio

Les valeurs moyennes de $\delta^{13}\text{C}$ des mysidacés récoltés (-21,5‰) sont dans la même gamme que celles de la MOP avec un enrichissement de 1,6‰ indiquant une origine du carbone via la MOP.

Les valeurs moyennes de $\delta^{13}\text{C}$ des juvéniles de poissons (*E. melanopterus*, *E. fimbriata*, *M. sebae*) sont dans la même gamme que la MOP avec un enrichissement de 0,5 à 1,2‰, indiquant une exploitation du carbone originaire de la MOP via une médiation trophique par les invertébrés.

La valeur moyenne de $\delta^{15}\text{N}$ des mysidacés est de 5,8‰ avec un enrichissement de 2,7‰ par rapport à la MOP et celles des juvéniles de poissons sont comprises entre 7 et 8,6‰ avec un enrichissement de 4 à 6 ‰. Ces mesures indiquent un niveau de consommateur primaire pour les mysidacés et consommateurs secondaires pour les juvéniles de poissons.

C) En zone amont : Badaïe

La capture des invertébrés a été très faible voire inexistante, indépendant de notre volonté et malgré les efforts déployés.

Les valeurs moyennes de $\delta^{13}\text{C}$ des juvéniles de poissons (*E. melanopterus*, *S. melanotheron*) sont dans la même gamme que le MPB enrichis de 2 à 4‰. Les insectes capturés dans cette zone possèdent également un $\delta^{13}\text{C}$ proche de celui du MPB avec un enrichissement de 0,3‰. Le MPB semble être la source de carbone exploitée par cette communauté dans cette zone. Les valeurs moyennes de $\delta^{15}\text{N}$ des juvéniles de poissons (*E. melanopterus*, *S. melanotheron*) ont un enrichissement de 5 à 6‰ par rapport au MPB indiquant que cette source serait utilisée par les jeunes poissons via une médiation trophique non identifiée ici.

La comparaison des stations aval, intermédiaire et amont, met en évidence un décalage progressif de cette relation trophique avec des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ de moins en moins négatifs vers la zone amont.

V DISCUSSIONS ET CONCLUSIONS GÉNÉRALES

V-1 Régime des juvéniles de poissons par la méthode des contenus stomacaux

L'examen des contenus stomacaux des juvéniles de *E. melanopterus*, *E. fimbriata*, *M. sebae* et *S. melanotheron* a permis de caractériser les préférences trophiques de cette écophase pour chacune des espèces dans l'estuaire du Sine-Saloum. Ces espèces sont adaptées aux milieux lagunaires et estuariens où elles sont fréquentes. Dans l'estuaire du Sine-Saloum, malgré l'abondance des juvéniles dans le peuplement, leur stratégie alimentaire a été longtemps négligée. L'analyse des contenus stomacaux révèle que ces jeunes poissons ont un régime alimentaire diversifié composé essentiellement **d'invertébrés**.

L'examen des contenus stomacaux des juvéniles de *E. melanopterus* révèle un régime alimentaire très diversifié. Il est composé d'invertébrés, pour l'essentiel de petits crustacés (copépodes, d'ostracodes, de larves de crabes et d'amphipodes), d'annélides polychètes et de larves de chironomidés. Ces résultats sont en accord avec ceux de Sasima, (2002) sur cette même espèce dans les estuaires du sud-est brésilien où les régimes alimentaires sont toujours dominés par des proies de très petite taille, notamment les amphipodes et les annélides polychètes. Les crustacés de petite taille occupent une part importante du régime alimentaire des *E. melanopterus* au stade juvénile dans l'estuaire du Sine-Saloum. Les jeunes et pré-adultes de cette espèce étudiés par Albaret et Desfossez (1988) dans la lagune Ebrié en Côte d'Ivoire ont révélé également la présence des crustacés (essentiellement des petites crevettes) dans leurs contenus stomacaux. La consommation des copépodes est rarement évoquée dans la littérature, à l'exception de *Gerres oblongus* parmi les cinq *Gerres* étudiés par Cyrus et Blaber (1983) dans les estuaires de Natal en Afrique du Sud. Chez *Gerres oblongus* de taille supérieure à 40mm, le régime alimentaire est dominé par les polychètes et les copépodes du genre *Calanus*. La présence des annélides polychètes dans les contenus stomacaux de cette espèce a été signalée par Longhurst (1957) en Sierra Leone ainsi que par Fagade et Olaniyan (1973) dans la lagune de Lagos au Nigéria. Les larves de chironomidés ont été trouvées dans les contenus stomacaux de *Gerres acinates* par Cyrus et Blaber (1983) dans les estuaires sud-africains. Les mollusques, notamment les bivalves et les gastéropodes, sont faiblement représentés dans le régime alimentaire des juvéniles d'*E. melanopterus* du Sine-Saloum mais sont cités comme proies dans la littérature (Cyrus et Blaber, 1983, Albaret et Desfossez, 1988). Le comportement trophique d'*E. melanopterus* et d'une manière générale les *Gerres* dans les estuaires brésiliens, ouest africains ou sud africains est sensiblement similaire. Ils ont un régime à tendance zoobenthophage dès le stade juvénile.

Les juvéniles de *E. fimbriata* exploitent une grande variété de proies, essentiellement des invertébrés. Le régime alimentaire est dominé qualitativement et quantitativement par les copépodes et des larves de crabes au stade zoé. Ce régime zooplanctonophage a également été montré par Fagade et Olaniyan (1973) au Nigéria et Charles-Dominique (1982) en Côte d'Ivoire chez les jeunes et sub-adultes d'ethmaloses de taille inférieure à 70mm. Les copépodes constituent l'essentiel de l'alimentation en termes d'abondance. Les diatomées centriques sont fréquentes même si elles sont moins abondantes contrairement à ce qui a été montré en Lagune Ebrié en Côte d'Ivoire (Charles-Dominique, 1982). La présence de quelques invertébrés benthiques comme les ostracodes et les petits gastéropodes est un résultat original de notre étude. Ces auteurs qui ont travaillé sur le régime alimentaire de cette espèce n'ont pas noté de présence significative d'organismes benthiques dans les contenus stomacaux. Nos résultats permettent de suggérer que ce Clupéidé à certain moment de sa présence dans l'estuaire parvient à exploiter la communauté d'espèces du périphyton vivant autour des racines des palétuviers.

M. sebae, au stade juvénile, présente lui aussi un régime alimentaire très varié comprenant essentiellement des espèces de la communauté du périphyton telles que les annélides polychètes, les amphipodes, les larves de chironomidés... Les annélides polychètes dominent en abondance. Les informations sur le comportement trophique de cette espèce au stade juvénile sont rares dans la littérature. Fagade et Olaniyan (1973), dans une étude portant sur vingt et un individus de taille comprise entre 68 et 150 mm dans la lagune de Lagos au Nigéria n'ont pas trouvé d'annélide polychète. Les contenus stomacaux contenaient d'autres invertébrés tels que les amphipodes, les mysidacés, les euphausiacés et des algues filamenteuses. Chez une espèce voisine, *Monodactylus argenteus* étudiée par Moreau *et al.* (2008) en Australie, le régime alimentaire est basé essentiellement sur les algues filamenteuses et les amphipodes avec respectivement 55% et 20% des contenus stomacaux en termes de biomasse. Nos résultats révèlent que le régime zoobenthophage des juvéniles de *M. sebae* dans l'estuaire est basé essentiellement sur les annélides polychètes. Cette espèce est principalement localisée dans les zones de mangrove où les annélides polychètes constituent une part importante de la faune typique (Marius, 1985, Feller et Sitnik, 1996) bien que les autres invertébrés y soient abondants notamment les larves de crabes, les mollusques, etc. Cette prépondérance des annélides polychètes dans le régime alimentaire des jeunes *M. sebae* semble montrer un comportement sélectif pour cette catégorie de proies.

S. melanotheron possède un large spectre alimentaire au stade juvénile. Il consomme des invertébrés essentiellement des copépodes, des larves de chironomidés, des ostracodes, des mollusques, des annélides polychètes, ainsi que des végétaux comme les diatomées, les débris d'algues filamenteuses et des détritiques de diverses origines. Cette diversité de proies révèle un

comportement omnivore à ce stade de développement. Cette espèce qualifiée de microphage filtreur par Lauzanne (1988) est capable de se nourrir du zoo- ou phytoplancton mais peut également s'alimenter à partir de la pellicule détritique du fond riche en algues sédimentées et en invertébrés benthiques notamment les ostracodes et les mollusques. Les individus étudiés par Fagade (1971) au Nigéria montrent un même régime alimentaire constitué essentiellement d'algues filamenteuses et de diatomées avec l'ingestion d'invertébrés et de particules du substrat.

Cette variété d'invertébrés qu'exploitent les juvéniles de poissons peut être liée à la richesse trophique disponible et accessible dans le milieu. Cette richesse est supposée être liée aux conditions particulières du milieu (Diouf, 1996): notamment **la forte productivité, la présence de la mangrove** dans la partie aval mais également **l'absence de l'exportation des éléments nutritifs vers la mer** liée au fonctionnement hydrologique particulier de l'estuaire inverse. Ces trois points contribuent à la fonction de nurserie que peut assurer l'estuaire du Sine-Saloum.

Pour **la productivité**, le Sine-Saloum, comme la plupart des estuaires tropicaux (Whitfield, 1998), est reconnu pour ses valeurs élevées. Ces estuaires reçoivent des apports de matières en suspension par les eaux marines et/ou continentales selon leur dynamique hydrologique particulière. Dans le cas du Sine-Saloum, où l'hydrodynamisme est majoritairement orienté de la mer vers l'estuaire (Diouf, 1996), les sources d'éléments nutritifs proviennent des apports marins mais aussi en partie des eaux de ruissellement provenant de la pluie (Pagès, 1994). Ces éléments sont utilisés par les producteurs primaires (phytoplancton, microphytobenthos et potentiellement les plantes terrestres) qui sont à la base des chaînes trophiques. Cette faune d'invertébrés semble jouer un rôle important dans la croissance des juvéniles de poisson comme l'ont montré Evjemo *et al.* (2003). Selon ces auteurs, l'abondance des petits crustacés tels que les copépodes est positivement corrélée à la croissance des larves et juvéniles de poissons. De manière générale, dans l'estuaire du Sine-Saloum, l'arrivée, la survie et la croissance des juvéniles de poissons peuvent être expliquées en grande partie par la présence et la richesse de la communauté faunistique.

Pour **la présence de la mangrove**, cela concerne surtout la partie aval de l'estuaire. La plupart, des invertébrés rencontrés dans le régime alimentaire des jeunes poissons sont inféodés aux zones de mangrove et vivent généralement autour des racines des palétuviers, constituant la communauté du périphyton (Marius, 1985 ; Feller et Sitnik, 1996). Cette communauté "périphytique" semble jouer un rôle important dans les fonctions trophiques de l'estuaire. L'abondance des juvéniles de poissons dans les zones de mangrove est positivement corrélée à la complexité structurale (Laegdsgaard et Johnson, 2001). Cela permet d'émettre l'hypothèse que, en plus de son rôle d'habitat et de protection contre la prédation (Laegdsgaard et Johnson 2001), la mangrove est également le support physique de ressources exploitables par les jeunes poissons (Blaber, 2007). Des

divergences existent en ce qui concerne le rôle exact de la mangrove dans la fonction de nurserie, notamment en terme de contribution au réseau trophique. L'apport de cette étude pour éclaircir ce point dans le cas du Sine-Saloum sera plus détaillé dans la partie de l'analyse des isotopes stables. Concernant **l'absence de l'exportation des éléments nutritifs vers la mer**, elle est supposée expliquer par la richesse du milieu (Diouf, 1996). Dans les estuaires normaux, selon la classification de Pritchard (1967), les influences marines et continentales sont en équilibre instable. Le dynamisme des eaux chargées éléments nutritifs entraîne une certaine instabilité de la richesse trophique. Dans ces estuaires normaux, le bilan hydrologique est positif vers la mer, les éléments nutritifs sont le plus souvent exportés vers la mer. Au Sine-Saloum, classé parmi les estuaires inverses (Pritchard, 1967), le fonctionnement hydrologique s'effectue avec un bilan positif de la mer vers l'estuaire et la richesse trophique semble être plus stable et confinée à l'intérieur de l'estuaire. Des mesures d'éléments nutritifs par Pages (1986) dans l'estuaire de la Casamance dont le fonctionnement est similaire à celui du Sine Saloum ont montré de fortes concentrations vers l'amont, et par conséquent, une forte production primaire.

V-2 Changements ontogéniques du régime alimentaire

L'étude des contenus stomacaux des juvéniles de poissons a montré une évolution du régime alimentaire au cours de la croissance. Les besoins nutritionnels des poissons ainsi que leur comportement alimentaire changent au cours de la croissance (Paugy et Lévêque, 1999).

Les juvéniles de *E. melanopterus* de taille comprise entre 20 et 40mm ont un régime basé essentiellement sur les copépodes pélagiques et benthiques. Les individus de taille comprise entre 41 et 70 mm sont "zoobenthophages" plus diversifiés. Ce résultat est similaire à celui obtenu par Cyrus et Blaber (1983) chez les cinq espèces de Gerreidae de taille supérieure à 40 mm dans les estuaires de Natal en Afrique du Sud où l'alimentation repose entièrement sur les invertébrés benthiques. Dans notre travail, le régime alimentaire chez les individus de tailles comprises entre 71 et 110 mm est constitué essentiellement d'annélides polychètes. Ceci traduit l'acquisition progressive du régime adulte de l'espèce tel que montré par Longhurst (1957). Par ailleurs, quatre des cinq espèces de Gerreidae étudiées par Cyrus et Blaber (1983), ont une alimentation dominée par les bivalves et les annélides polychètes.

Les juvéniles de *E. fimbriata* ont également montré une évolution de leur régime alimentaire au cours du développement. Les individus de taille comprise entre 20 et 60mm ont un régime zooplanctonophage comprenant des copépodes essentiellement pélagiques et des larves de crabes. A une taille comprise entre 60 et 97mm, ils ont une alimentation zoobenthophage composée d'invertébrés benthiques issus en grande partie de la communauté périphtyque. Par la suite, cette espèce adopte progressivement le régime adulte phytoplanctonophage (Sene, 1994 ;

Nieland, 1980). Cette évolution de l'alimentation se rapproche des observations de Fagade et Olaniyan (1973) sur une cohorte de taille comprise entre 33 et 255 mm. Selon ces auteurs, les individus de 30 à 58 mm sont exclusivement zooplanctonophages, ceux de taille 58 à 138 mm sont zooplanctonophages avec une tendance phytoplanctonophage et ceux de taille supérieure à 138 mm sont exclusivement phytoplanctonophages. Cependant, le régime zoobenthophage déterminé au Sine Saloum pendant une période intermédiaire chez *E. fimbriata* est un résultat nouveau et original. Ce comportement trophique peut être lié à la disponibilité d'invertébrés vivant sur les racines de palétuviers indépendamment de la taille du poisson. Dans une étude menée en lagune Ebrie (Côte d'Ivoire) sur environ 200 contenus stomacaux de cette espèce Lazzaro (Comm. pers.in Charles Dominique, 1982) a abouti à la conclusion que le régime alimentaire traduirait plus la disponibilité des proies dans le milieu, qu'une influence directe de la taille du poisson. Pour une étude précise de l'évolution ontogénique du régime alimentaire, il faut impérativement une gamme de taille allant des post-larves aux adultes capturés dans un même milieu.

M. sebae a montré aussi des changements de régime alimentaire au cours de la croissance. Les individus de taille comprise de 20 et 40mm sont zooplanctonophages. Ceux de taille entre 41 et 80 mm sont zoobenthophages avec une diversité élevée d'invertébrés benthiques. Enfin, ceux de taille entre 81 et 110mm sont zoobenthophages avec un régime constitué presque exclusivement d'annélides polychètes. Ce régime zoobenthophage est celui des adultes étudiés par Sène (1994) dans ce même milieu.

S. melanotheron a révélé une évolution de son alimentation au cours de la croissance. Les individus de taille comprise entre 10 et 30 mm ont une alimentation basée sur les copépodes et les larves d'insectes. Ceux de taille entre 31 et 70 mm ont un régime basé sur les insectes. Ceux de taille comprise entre 71 et 90mm, exploitent une grande diversité d'invertébrés benthiques. Les individus de 90 et 100mm de taille, ont un régime exclusivement basé sur les annélides polychètes. Les individus de taille plus grande comprise entre 101 et 120mm, s'alimentent sur les mollusques et les ostracodes avant d'acquérir un régime détritivore caractéristique des adultes au Sine Saloum (Sène, 1994; Diouf, 1996).

De nombreux auteurs ont mentionné ces changements de composition du régime alimentaire au cours de la croissance (Lauzanne, 1988; Sene, 1994; Sarre *et al.*, 2000; Linda et Carol, 2000; Cabral, 2000; Baldo et Drake, 2002; Elliott *et al.*, 2002). Les copépodes sont les proies les plus consommées par les poissons aux premiers stades de vie pour la plus grande majorité d'espèces quel que soit leur régime adulte. Cela peut être lié à la très petite taille de ces proies qui facilite leur capture et leur ingestion par les jeunes poissons. Par ailleurs, ces crustacés de petite taille renferment des teneurs très élevées en protéines, essentielles pour la croissance et la

survie des premiers stades de vie des poissons comme l'ont montré Evjemo *et al.* (2003). Dans des études similaires réalisées dans d'autres estuaires tropicaux, notamment en Afrique du sud (Whitfield, 1998), les copépodes surtout du genre *Calanus* constituent l'alimentation essentielle des poissons nouvellement recrutés. Néanmoins, ce régime zooplanctonophage évolue rapidement vers un régime soit zoobenthophage, soit détritivore ou soit phytoplanctonophage. Dans le cas du Sine-Saloum, le régime zoobenthophage des juvéniles d'*E. melanopterus* et de *M. sebae* annonce déjà celui des adultes. Au cours du développement, les poissons notamment *E. fimbriata* et *S. melanotheron* adoptent un régime transitoire zoobenthophage avant d'acquérir le régime adulte qui, sera phytoplanctonophage dans le premier cas ou détritivore dans le second. Ce changement de régime peut permettre de répondre aux besoins métaboliques différents entre les individus. Les plus petits tailles ont des besoins nutritionnels destinés à la croissance alors que les adultes auront plutôt des besoins orientés vers la maintenance et la reproduction.

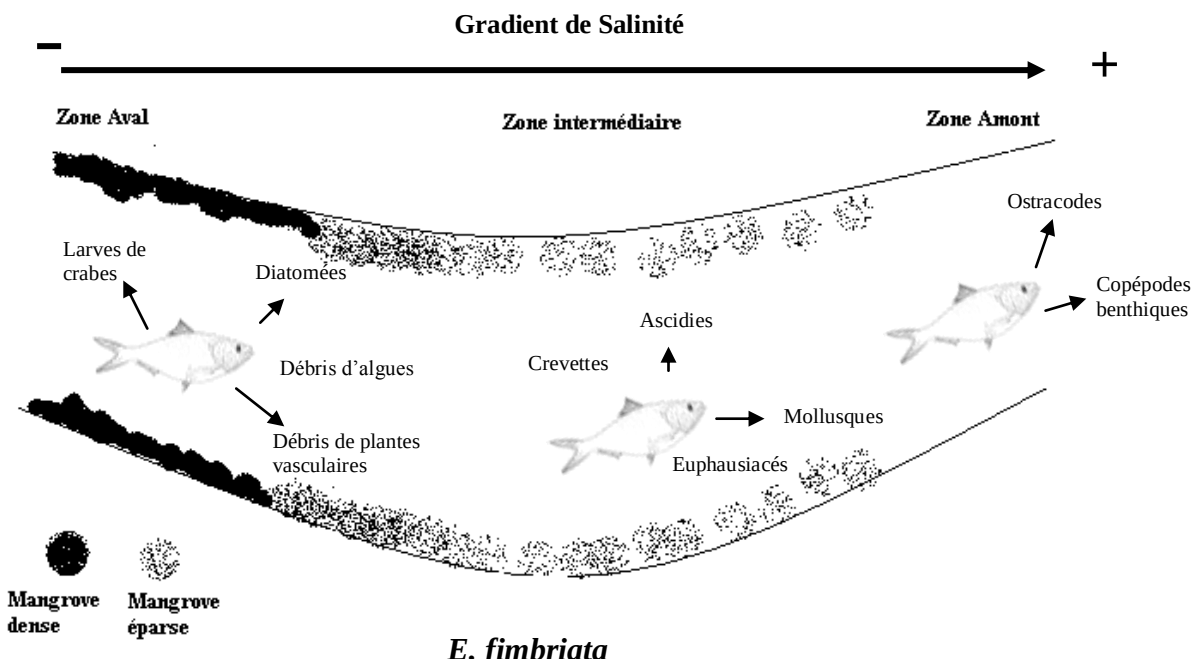
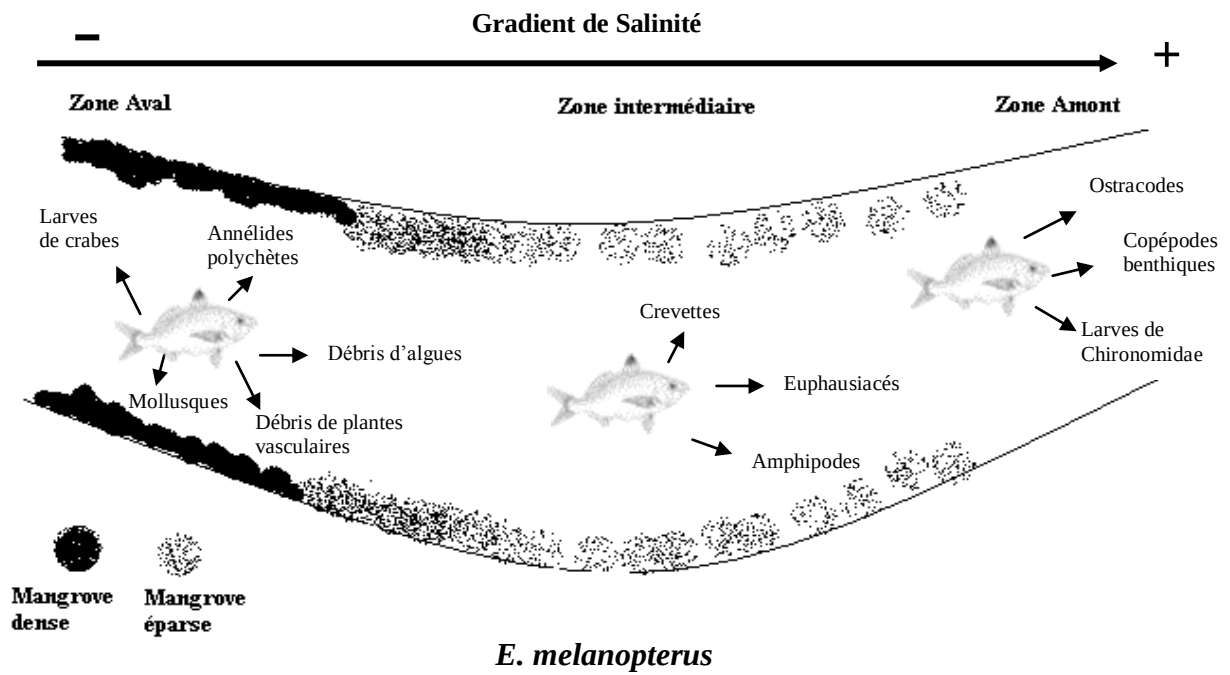
V-3 Variation du régime alimentaire des juvéniles de poissons le long du gradient de salinité en relation avec la présence/absence de la mangrove

L'étude des contenus stomacaux a révélé des différences de nature des proies exploitées par les juvéniles de poissons le long du gradient de salinité en rapport avec la présence/absence de la mangrove. La figure 50 synthétise les résultats obtenus. D'une manière générale, les invertébrés consommés dans la zone aval caractérisée par une mangrove dense et des salinités proches de celles de la mer sont : **les annélides polychètes, les larves de crabes, les ascidies, les mollusques, les débris d'algues**. Dans la zone intermédiaire avec une mangrove éparse et des salinités moyennement élevées, **les amphipodes, les euphausiacés et les autres crevettes** constituent l'aliment de base des jeunes poissons. Enfin dans la zone amont sursalée voire hypersalée et sans mangrove, **les ostracodes, les copépodes benthiques et les larves de chironomidés** sont les principales proies exploitées. La variation spatiale du régime alimentaire des juvéniles de *E. melanopterus* peut être expliquée par les différences de conditions environnementales entre les différents sites. Par exemple, on suggère que la présence/absence de la mangrove en relation avec la salinité (Whitfield *et al.*, 2006) influent sur la disponibilité des proies exploitables par les jeunes poissons. Les polychètes, les larves de crabes, les ascidies, les mollusques et les autres crustacés tels que les amphipodes, les euphausiacés sont inféodés aux zones aval. Ils constituent une part importante de la communauté périphtyque, faune typique des mangroves (Marius, 1985 ; Feller et Sitnik, 1996). Cela peut expliquer leur abondance dans les contenus stomacaux des juvéniles capturés dans les zones de mangrove. Cette communauté d'invertébrés joue un rôle important dans l'alimentation des jeunes poissons et par conséquent dans la structure et le fonctionnement des

écosystèmes de la mangrove comme l'ont montré plusieurs auteurs (Thollot *et al.*, 1999, Bingham 2001, Laegdsgaard et Johnson 2001). La quasi-absence de certains invertébrés tels que les annélides polychètes dans le régime alimentaire des jeunes poissons dans la zone intermédiaire où la mangrove existe encore peut s'expliquer par la salinité plus élevée de la zone. En effet, la salinité semble agir dans la distribution de la faune associée à la mangrove. La distribution du macrobenthos dans les zones de mangrove est contrôlée par les grains du sédiment, la salinité et les courants des marées (Bingham, 2001). Dans l'estuaire du Sine-Saloum, la salinité influence non seulement la productivité et le développement de la mangrove (Diop, 1982) mais aussi affecte la distribution des différentes proies potentielles. Les salinités élevées agissent au détriment de la mangrove par leur effet négatif sur la photosynthèse en agissant sur les enzymes carboxylases par un mécanisme inconnu (Bingham 2001). Les conditions extrêmes de salinité en amont de l'estuaire du Sine-Saloum sont les principales causes de la disparition de la mangrove (Diop *et al.* 1997) et, par conséquent, de sa faune associée.

Cette disparition de la mangrove en amont de l'estuaire ainsi que la faune qui lui est associée, liée à la sursalinité ou même l'hypersalinité conduit les juvéniles à exploiter les proies disponibles : copépodes benthiques, larves de chironomidés et ostracodes. Ces invertébrés benthiques subsistent à de fortes salinités (supérieures à 55) comme l'ont montré Whitfield *et al.* (2006), ce qui explique leur abondance et le fait qu'ils puissent être largement consommés par de jeunes poissons présents dans ces zones amont. De ce fait l'abondance relative d'une proie dans les contenus stomacaux des juvéniles de poissons peut également refléter son abondance, sa disponibilité dans un milieu donné. C'est ce qu'ont montré Cyrus et Blaber (1983) pour les *Gerres* et par Lazzaro (comm. Pers.) in Charles-Dominique (1982) pour les ethmaloses.

La capacité des jeunes poissons à adapter leur régime alimentaire en fonction des conditions environnementales et des types de proies disponibles peut être considérée comme une stratégie pour s'adapter aux contraintes du milieu. Les stratégies d'adaptation des poissons face au stress environnemental dans le Sine-Saloum ne se limiteraient donc pas aux modalités de reproduction (Panfili *et al.* 2004 a et b), ou de répartition (Albaret et Diouf, 1994) mais concerneraient également leur comportement trophique. La faible spécialisation et l'opportunisme alimentaire des jeunes poissons sont mis en évidence par notre étude. Ces comportements sont caractéristiques des poissons des milieux estuariens et lagunaires des milieux tropicaux (Diouf, 1996). Cette stratégie trophique est souvent adoptée par les poissons pour s'adapter aux contraintes du milieu notamment à la variabilité ou à l'insuffisance des ressources alimentaires.





147

V-4 Différences des sources de carbones entre l'aval et l'amont de l'estuaire du Sine-Saloum

L'analyse des isotopes stables de carbone et d'azote a révélé chez les juvéniles de poissons étudiés, une différence nette de leurs teneurs en carbone entre les stations aval et amont. Les juvéniles de poissons ont des signatures isotopiques moyennes en carbone voisines de -23‰ en aval et de -15‰ en amont. L'analyse conjointe des isotopes stables des producteurs primaires potentiellement disponibles dans l'estuaire (mangrove, MOP, microphytobenthos) révèle une utilisation de sources de carbone différentes entre l'aval et l'amont de l'estuaire. La mangrove ne montre pas de variation des teneurs en carbone au cours de la décomposition car les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ des feuilles fraîches et celles des feuilles mortes sont identiques et sont comprises entre -28 et -29‰. Ces valeurs ont été trouvées dans plusieurs travaux dans les zones de mangroves (Marguillier *et al.*, 1997, Dehairs *et al.*, 2000, Schwamborn, 2002 ; Fry et Ewel, 2003). Elles indiquent une action négligeable des microorganismes sur les signatures isotopiques des feuilles lors de la décomposition. Cette action dépend cependant du type, de la diversité et de l'abondance de ces microorganismes décomposeurs présents dans le milieu (Bouillon *et al.*, 2008). Les valeurs -28 et -29‰ de la mangrove du Sine-Saloum sont comparables aux valeurs signalées dans beaucoup d'estuaires tropicaux notamment au Kenya (-29 et -31‰, Bouillon, *et al.*, 2004), en Australie (-27,6 et -28,7‰, Loneragan *et al.*, 1997), en Malaisie (-28, 7‰, Chong *et al.*, 2001), en Afrique du Sud (-27,2‰, Mbande *et al.*, 2004) et à Taïwan (-28,1‰, Lin *et al.*, 2007). Ces valeurs sont typiques des plantes C_3 (Fry, 2006).

Les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ de la MOP sont comprises entre -24 et -25‰ dans l'estuaire du Sine-Saloum et sont similaires à celles enregistrées dans certains estuaires tropicaux tels que ceux du nord-est du Brésil (-24,9‰, Schwamborn *et al.*, 2002) et en Thaïlande (-26,3‰, Thimdee *et al.*, 2004). Par ailleurs, les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ de la MOP trouvées dans le Sine-Saloum sont beaucoup plus négatives que celles notées par Bouillon *et al.* (2000) au Kenya (-22,7‰), par Loneragan *et al.* (1997) en Australie (-22‰), par Newell *et al.* (1995) en Malaisie (de -22,6 à -18,5‰). Ces différences indiquent que le $\delta^{13}\text{C}$ de la MOP dépend des milieux et de leurs conditions environnementales mais également de l'origine des composés organiques qui la constituent. En effet, les valeurs $\delta^{13}\text{C}$ de la MOP et de la mangrove trouvées par Schwamborn *et al.* (2002) sont similaires et ils concluent que cette matière organique particulière provient essentiellement de la mangrove. Dans l'estuaire du Sine-Saloum, les valeurs $\delta^{13}\text{C}$ de la MOP (-25‰) sont très éloignées de celles de la mangrove (-29‰), on suppose que la contribution de la mangrove dans la composition de la MOP est faible voire négligeable. Par ailleurs, il est difficile d'obtenir une mesure directe de la signature isotopique du phytoplancton estuarien (Bouillon *et al.*, 2000), cette mesure est généralement obtenue indirectement via la matière organique particulière (Marguillier *et al.*, 1997, Chong *et al.*,

2001). Néanmoins, nous devons garder à l'esprit que cette matière organique particulière est constituée de beaucoup d'éléments en suspension et pour s'assurer de la dominance du phytoplancton dans sa composition il faut recourir à des comparaisons des rapports C/N (Redfield *et al.* 1963, Geider and La Roche, 2001).

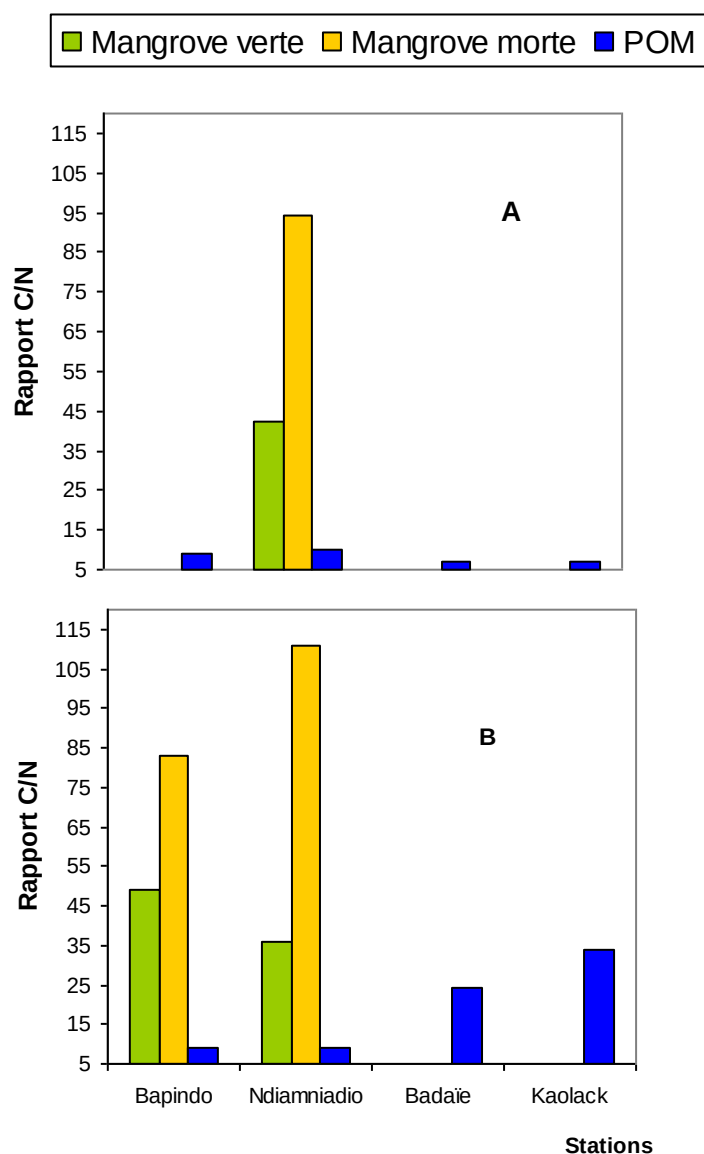


Figure 51: Rapport C/N de la mangrove et de la matière organique particulière MOP le long du gradient de salinité en juillet (A) et en novembre (B).

Le rapport C/ N (figure 51) de la mangrove varie de 30 à 50 pour les feuilles fraîches et de 50 à 110 pour les feuilles mortes dans l'estuaire du Sine-Saloum. Des valeurs similaires ont été trouvées par Bouillon *et al.* (2000) avec la même évolution de ce rapport au cours de la décomposition des feuilles. L'augmentation du rapport dans les feuilles en décomposition s'explique par l'absorption rapide de l'azote sous l'action des bactéries et par la résistance de la lignine. Les rapports C/N de la mangrove sont très différents de ceux de la MOP en aval qui vont de 7 à 10. Ce rapport C/N de la MOP est comparable à ceux de 6 à 12 et de 8 à 14 trouvés respectivement par Bouillon *et al.* (2000) et par Marguillier *et al.*, (1997). Ils sont caractéristiques du phytoplancton (Redfield *et al.* 1963, Geider and La Roche, 2001) qui, par conséquent, est la principale composante de la MOP dans cette partie de l'estuaire. Le phytoplancton est la principale source de carbone exploitée par les juvéniles de poissons, *via* leurs proies, dans cette partie aval de l'estuaire. Tandis qu'en amont, les valeurs moyennes $\delta^{13}\text{C}$ des juvéniles de poissons sont voisines de celle du microphytobenthos (-15‰). Cette même valeur a été trouvée dans la littérature (Corbisier *et al.*, 2006; Richoux et Froneman, 2007). Le microphytobenthos semble être la source de carbone exploitée dans cette partie de l'estuaire. Le réseau trophique aboutissant aux jeunes poissons est affecté par le fort contraste aval-amont qui caractérise cet estuaire inverse. En aval, le réseau trophique est d'origine pélagique avec comme ligne de base le phytoplancton tandis qu'en amont, le réseau trophique est plus d'origine benthique avec comme ligne de base le microphytobenthos. Ces résultats confirment ceux des analyses des contenus stomacaux avec une dominance des proies benthiques dans la zone hypersalée, notamment les harpacticoïdes, les ostracodes, les larves de chironomidés qui sont essentiellement des détritivores se nourrissant sur la couche sédimentaire recouverte d'algues benthiques (Whitfield *et al.*, 2006). Cette source benthique pourrait être due à la disponibilité plus importante du microphytobenthos en raison de l'existence de très grandes vasières dans la zone hypersalée (Whitfield *et al.*, 2006). Même si, par ailleurs, le phytoplancton peut être très abondant dans la zone hypersalée de l'estuaire comme l'a montré Pagès (1994) dans l'estuaire de la Casamance dont le fonctionnement est similaire à celui du Sine-Saloum, il n'intervient pas dans le réseau trophique. Le phytoplancton n'est pas consommé directement pas les juvéniles de poissons. Il est consommé par le zooplancton et autres proies de cette écophase. Or, le zooplancton et les autres proies qui assurent la médiation trophique entre le phytoplancton et les jeunes poissons ne supportent pas l'hypersalinité (Whitfield *et al.*, 2006) et sont rares dans la zone amont.

Par ailleurs, le rapport C/N (figure 51) de la MOP récolté en novembre dans les zones amont est compris entre 25 et 35. Ces valeurs sont plus proches de la mangrove que du phytoplancton et indiquent une probable contribution de celle-ci dans la composition de la matière organique en suspension dans les zones amont. Cette hypothèse rejoint celle de Diouf (1996) dans l'estuaire du Sine-Saloum. Selon cet auteur, l'examen de la répartition spatiale du seston fait apparaître une relative richesse en matière organique de la partie amont provenant essentiellement de la mangrove. Cela est lié au fonctionnement hydrologique caractéristique de ce milieu dans un sens aval–amont prépondérant conduisant à une exportation de la matière organique des mangroves de la zone aval vers les zones amont par les masses d'eaux. Pour valider ces hypothèses, la détermination de la contribution relative de la mangrove et du phytoplancton est nécessaire. Pour éclaircir cette ambiguïté, certains auteurs utilisent des modèles d'équation (Schwamborn *et al.*, 2002, Bouillon *et al.*, 2008). Généralement ces modèles d'équation ne considèrent que deux sources alors que la matière organique provient de plusieurs sources, à notre avis cette méthode doit être utilisée avec beaucoup de précaution. Par exemple, en amont du Sine-Saloum, se situe la ville de Kaolack et l'activité des populations peut avoir une incidence dans l'estuaire. De ce sens, l'influence anthropique (McClelland et Valiela, 1998) ainsi que l'apport des matières organiques en suspension d'origine diverses par les eaux de ruissellements (de la pluie) ne doivent pas être négligés. Dans ce cas, cette méthode ne peut être utilisée en considérant que deux sources. De même, lorsque la différence entre ces deux sources est faible ou bien lorsque la variabilité des teneurs isotopiques au sein d'une source est très importante (Bouillon *et al.*, 2008), la mise en application de ces modèles est difficile.

L'évolution des $\delta^{13}\text{C}$ des juvéniles des poissons ainsi que leur proies et les productions primaires induisant un décalage progressif de la structure trophique en fonction du gradient de salinité semble être une réponse à ce paramètre. La signature isotopique dépend de plusieurs processus notamment du métabolisme cellulaire et étant donné que l'osmorégulation est importante chez les poissons dans les zones hyper-salées (Panfili *et al.*, 2004 a et b), la forte respiration qu'elle entraîne peut être à l'origine d'une perte considérable de ^{12}C . Il en résulte un enrichissement du ^{13}C et par conséquent une augmentation du rapport $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ comme l'ont indiqué Fry et Sherr (1984). De ce fait plus la salinité est élevée, plus le phénomène d'osmorégulation est important, plus la respiration est intense et par conséquent plus l'enrichissement relatif en ^{13}C des différents compartiments du réseau trophique est important.

V-5 Rôle de la mangrove dans le réseau trophique aboutissant aux juvéniles de poissons

Les résultats de l'analyse des contenus stomacaux ont montré que le régime alimentaire des juvéniles de poissons est composé essentiellement de copépodes, d'ostracodes, de larves de crabes ; d'annélides polychètes et de petits gastéropodes d'une manière générale de petits invertébrés inféodés aux zones de mangrove et vivant autour des racines des palétuviers. Ce résultat nous incitait à suivre les nombreux auteurs qui, à partir de l'étude des contenus stomacaux

ont considéré que la mangrove était initiatrice du réseau trophique (Odum et Heald, 1975; Thollot, 1992; Moore *et al.*, 2004). L'analyse par les isotopes stables des différents compartiments du réseau trophique aboutissant aux juvéniles de poissons n'a révélé aucune contribution claire de la mangrove aux sources de carbones qui soutiennent le réseau trophique. Les $\delta^{13}\text{C}$ des juvéniles de poissons des différentes zones de l'estuaire ne révèlent en aucun cas une assimilation des débris de plantes vasculaires rencontrés dans les contenus stomacaux. Ce résultat est en accord avec ceux de Rodelli *et al.* (1984) qui ont montré, en Malaisie, que les détritus issus de la mangrove sont ingérés par les crevettes, alors que les valeurs $\delta^{13}\text{C}$ de ces organismes ne révèlent pas leur assimilation. Stoner et Zimmerman (1988) ont montré des résultats comparables dans une lagune de Puerto Rico, avec des $\delta^{13}\text{C}$ des crevettes récoltées de -16‰, proches de celles des algues benthiques (-14‰) et n'indiquant pas une assimilation des détritus issus de la mangrove. Le rôle de la mangrove dans le réseau trophique estuarien suscite beaucoup de débats. Les premières études trophiques dans les zones de mangrove ont toutes abouti aux mêmes conclusions en argumentant que la matière organique produite par les palétuviers est fortement exploitée par le peuplement local et joue un rôle important dans l'enrichissement des eaux côtières et par conséquent contribue au réseau trophique (Odum et Heald, 1975; Thollot, 1992). La nouvelle technique d'analyse des isotopes stables a remis en cause ces hypothèses et affirmations. Les études des isotopes stables ont montré que la matière organique issue de la mangrove n'est pas toujours assimilée par les organismes. Par contre, certains auteurs montrent une contribution limitée en démontrant que seuls les organismes récoltés à l'intérieur ou à proximité immédiate révèlent une assimilation (Mbande *et al.*, 2004) ou encore qu'un nombre restreint d'organismes peut assimiler cette matière organique (Bouillon *et al.*, 2002). D'autres ont évoqué une contribution importante de la mangrove pouvant atteindre plus de 80% (Shawarnborn *et al.*, 2002; Chong *et al.*, 2000; Thimdee *et al.*, 2004) du carbone total exploité. Selon Chong *et al.* (2000), la mangrove contribuerait à 84% du carbone total assimilé par les crevettes dans les estuaires de Malaisie. Même si ces résultats se différencient selon le type de milieu (Layman, 2007), l'état actuel des connaissances sur cette question montre que la mangrove n'est pas toujours la principale source de carbone. D'autres sources de carbones

telles que les algues épiphytiques, le phytoplancton, le microphytobenthos et autres algues peuvent être à la base du réseau trophique dans ces zones de mangrove. Si tel est le cas la contribution relative de chacune des sources doit être déterminée, ce qui n'est pas toujours faisable avec certitude, car le nombre de sources de carbone (6 ou plus) est généralement supérieur au nombre d'isotopes utilisés pour les déterminer (Layman, 2007).

Au Sine-Saloum, le rôle de la mangrove semble être indirect *via* les racines échasses qui multiplient les surfaces de prolifération des invertébrés, principales proies des juvéniles de poissons (Laegsdgaard et Johnson, 2001; Gning *et al*, 2008).

V-6 Fluctuation des signatures isotopiques des juvéniles de poissons entre le début et la fin du recrutement

L'analyse des signatures isotopiques des juvéniles de poissons entre le début et la fin du recrutement a montré que seules les espèces mobiles *E. melanopterus* et *E. fimbriata* révèlent des différences significatives de $\delta^{13}\text{C}$ entre ces deux périodes. Une diminution allant de 0,7 à 3,4‰ à la fin du recrutement a été constatée chez les juvéniles de *E. melanopterus* quelle que soit l'année. Tandis que, les juvéniles *E. fimbriata* ne montrent pas un sens précis de variation. Les deux autres espèces, plus sédentaires, *M. sebae* et *S. melanothron* ne montrent aucune variation de leurs signatures isotopiques en carbone.

En ce qui concerne les signatures isotopiques en azote, seule *E. fimbriata* présente des différences significatives de son $\delta^{15}\text{N}$ entre le début et la fin du recrutement quelles que soient la station et l'année. Les trois autres espèces conservent sensiblement le même teneur en azote entre le début et la fin du recrutement.

Ces fluctuations de $\delta^{13}\text{C}$ chez les juvéniles des espèces marine estuarienne *E. melanopterus* et estuarienne d'origine marine *E. fimbriata* (Albaret, 1994) peuvent être liées à leur déplacement entre l'estuaire et la mer ou à l'intérieur de l'estuaire. Ces mouvements d'un lieu à un autre peuvent s'accompagner d'un changement de nourriture qui pourrait expliquer le changement de la signature isotopique (Herzka, 2005). *E. melanopterus* se reproduit en mer et arrive dans l'estuaire à l'état post-larvaire ou juvénile avec une signature isotopique typiquement marine. Les valeurs obtenues (-19 à -23‰) au début du recrutement dans les stations sont voisines de la signature isotopique du phytoplancton marin (-21‰, Newell *et al.*, 1995). Cela laisse supposer une source de carbone phytoplanctonique marine. Même si les juvéniles de *E. melanopterus* dès leur entrée dans l'estuaire, commencent à se nourrir, l'intégration de la signature isotopique de cette nourriture prend à certains temps. Le temps requis pour détecter la signature isotopique d'une nourriture dans les tissus musculaires d'un consommateur peut atteindre un mois chez les poissons adultes (Hesslein *et al.*, 1993; Jardine *et al.*, 2003). Cette espèce ne présente aucune différence de sa

signature en azote, cela peut être lié au fait qu'au cours du renouvellement de la signature isotopique de la nourriture, l'azote se substitue plus rapidement que le carbone (Fry, 2006). De ce fait l'azote de la nourriture pris dans l'estuaire s'intègre plus vite et varie faiblement tout au long du séjour.

E. fimbriata a la faculté de se reproduire aussi bien en milieu marin qu'en milieu estuarien. La variation de signature isotopique entre le début et la fin du recrutement indique que la cohorte étudiée pourrait être issue d'une reproduction en mer. *E. fimbriata* est une espèce très mobile (Charles-Dominique, 1982). Les fluctuations de sa signature isotopique en carbone sont difficiles à interpréter. Néanmoins, au cours de sa migration, elle peut changer en même temps de nourriture (Charles-Dominique, 1982), et l'analyse peut avoir lieu à des moments où la signature isotopique de la nouvelle nourriture n'est pas totalement intégrée ou est en phase de substitution de la nourriture précédente, aboutissant ainsi à des mesures imprécises ne pouvant caractériser de façon claire aucune source de producteurs primaires.

M. sebae et *S. melanothron* ne montrent aucune variation de leurs signatures isotopiques entre le début et la fin du recrutement. Ces deux espèces sont typiquement sédentaires et la totalité de leur cycle biologique se déroule dans l'estuaire (Albaret, 1994). Leur sédentarité peut justifier la stabilité de leur signature isotopique entre le début et la fin du recrutement. Même si dans certains cas, la nature des proies exploitées change en fonction de la saison (*M. sebae*), les sources de carbones à la base semblent être les mêmes quelle que soit la saison. La forte variation saisonnière de la salinité en amont de l'estuaire liée à l'apport des eaux douces par la pluie, semble avoir une faible influence sur les signatures isotopiques des producteurs primaires de cette partie de l'estuaire. Cela signifie que le temps de séjour des eaux de pluies est court du fait de la forte évaporation (la quantité d'eau évaporée est égale à deux fois la quantité des précipitations) (Diouf, 1996).

V-7 Conclusions et perspectives

Cette étude a clairement montré que l'activité trophique dans les zones de mangrove est affectée par les conditions locales de l'écosystème. L'application simultanée des méthodes d'analyse des contenus stomacaux et celle d'analyse des isotopes stables a apporté des résultats complémentaires pertinents par rapport à notre problématique générale.

Le résultat de l'analyse des contenus stomacaux a révélé que les jeunes poissons possèdent de très larges spectres alimentaires composés d'une grande diversité d'invertébrés. Leur bol alimentaire est constitué essentiellement de petits crustacés (copépodes, d'ostracodes, de larves de

crabes), des annélides polychètes et de petits gastéropodes, les ascidies, les siphonophores, d'une manière générale. Cette grande diversité des petits invertébrés est supposée être liée aux conditions particulières du milieu notamment la haute productivité, la présence de la mangrove dans la zone aval, et l'absence d'exportation des éléments nutritifs vers la mer. L'essentiel de cette communauté d'invertébrés est inféodée aux zones de mangroves et en constitue généralement une faune typique connue sous le nom de périphyton.

Ce travail a montré que le fort gradient de salinité et, par conséquent, le contraste aval-amont qui caractérise cet estuaire inverse, affectent non seulement le comportement trophique des jeunes poissons mis en évidence par l'analyse des contenus stomacaux, mais aussi la structure du réseau trophique conduisant aux jeunes poissons détectée par l'analyse des isotopes stables. Dans ce sens, le régime alimentaire des jeunes poissons varie en fonction du gradient de salinité car la disponibilité et la dynamique des proies semblent être influencées par ce paramètre. Le réseau trophique aboutissant aux jeunes poissons est affecté par ce contraste et fonctionne différemment selon les caractéristiques du milieu. En aval où les salinités sont proches de celles de la mer (voisines de 40), la mangrove est présente, le peuplement est dense et diversifié, le réseau trophique est pélagique avec comme ligne de base le phytoplancton. Tandis qu'en amont, où les salinités sont très élevées (voisines de 100 et plus), le réseau trophique est plutôt benthique avec comme ligne de base le microphytobenthos. Cette plasticité trophique des jeunes poissons peut être considérée comme une stratégie d'adaptation parmi d'autres dans le Sine-Saloum, face au stress environnemental.

Par ailleurs, l'étude de l'évolution ontogénique du régime alimentaire des jeunes poissons a aussi été abordée par les deux approches. La première méthode a révélé une évolution du régime alimentaire au cours des premiers mois de vie, quelle que soit l'espèce. Les espèces étudiées ici débutent toutes par un régime zooplanctonophage, ensuite elles passent par un régime transitoire zoobenthophage avant d'atteindre un régime adulte strictement zoobenthophage pour *E. melanopterus* et *M. sebae*, phytoplanctnophage pour *E. fimbriata* et détritivore pour *S. melanotheron*. Le régime zoobenthophage chez les juvéniles d'*E. fimbriata* à un certain stade de développement de cette espèce pélagique est un résultat original de ce travail. Cette espèce, à un certain stade de développement, arrive dans les zones de mangrove et exploite la communauté d'invertébrés périphytiques.

En revanche, l'approche par la méthode des isotopes stables n'a pas donné de résultats cohérents pour l'évolution ontogénique de l'alimentation. Cela ne met pas en cause l'efficacité de la méthode, mais est probablement lié au faible nombre d'individus disponibles ainsi qu'aux gammes de taille souvent trop restreintes. A notre avis, à partir d'un échantillon inférieur ou égal à 10 individus, il est difficile de déterminer avec certitude une évolution ontogénique. Pour envisager des études d'évolution ontogénique du régime alimentaire à l'aide des isotopes stables, une autre stratégie est

nécessaire reposant notamment sur un nombre plus important d'individus et une gamme de tailles la plus large possible.

Même si l'analyse des contenus stomacaux a montré une exploitation de la faune associée à la mangrove par les juvéniles, l'analyse des isotopes stables ne révèle en aucun cas une assimilation de la matière organique issue de cette végétation, ni par les juvéniles de poissons, ni par leur proies. Ce résultat contribue en partie au débat sur la contribution de la mangrove dans le réseau trophique, ce litige qui oppose beaucoup d'auteurs dans la littérature. En ce qui concerne l'estuaire du Sine-Saloum, la mangrove n'est pas exploitée comme source de carbone par les jeunes poissons et leurs proies et par conséquent elle n'initie en aucun cas le réseau trophique. La fonction de cette formation végétale dans la nurserie du Sine-Saloum est plus ou moins indirecte. Dans ce sens, les racines échasses multiplient les surfaces de prolifération des invertébrés, principales proies des juvéniles de poissons, et sa structure complexe procure de l'abri aux jeunes poissons, minimise la pression de prédation exercée par les grandes espèces et par conséquent favorise leur installation.

La comparaison des rapports C/N de la matière organique particulaire en suspension et de la mangrove a révélé que le phytoplancton est la principale composante de cette matière organique en suspension en aval de l'estuaire tandis qu'en amont cette matière organique particulaire est composée d'un mélange contenant, entre autres, des détritiques issus de la mangrove. Cela s'explique par le fonctionnement hydrologique particulier de cet estuaire avec un bilan positif de la mer vers l'intérieur de l'estuaire. Le phytoplancton en aval de l'estuaire peut ainsi provenir de la mer. Une remontée d'eaux chargées de matière organique issue de la mangrove des zones aval vers l'amont peut expliquer la présence de débris issus de cette végétation dans la composition de la matière organique particulaire de la partie amont de l'estuaire.

Un autre résultat important de ce travail est le décalage progressif de la structure trophique en fonction du niveau de salinité. Le réseau trophique peut aussi être affecté indirectement par les mécanismes d'osmorégulation. Il semble que la signature isotopique est liée aux phénomènes d'osmorégulation qui caractérisent le peuplement des zones hypersalées. Puisque la signature isotopique est liée au métabolisme cellulaire, la forte respiration liée aux phénomènes d'osmorégulation entraîne des pertes considérables de ^{12}C et par conséquent un enrichissement du rapport $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ de l'ensemble des composants du réseau trophique.

Des variabilités de $\delta^{13}\text{C}$ chez les juvéniles des espèces marines estuariennes (*E. melanopterus*) et estuariennes d'origines marines *E. fimbriata* entre le début et la fin du recrutement ont été constatées. Ces espèces, dont la reproduction a généralement lieu en mer, arrivent au stade larvaire ou postlarvaire dans l'estuaire avec des signatures isotopiques d'origine marine. Il faudra un certain temps pour que leur alimentation dans l'estuaire se mette en place et que la signature isotopique reflète les aliments ingérés. La transition des signatures isotopiques de

la nourriture des milieux respectifs n'est pas instantanée, cela peut mettre un certain temps dont on doit tenir compte.

Ce travail a fait la preuve que l'application conjointe de la méthode d'analyse des contenus stomacaux et celle des isotopes stables constitue un outil efficace pour évaluer d'une part l'influence des conditions environnementales caractéristiques du milieu sur la dynamique des ressources nutritives exploitées par les jeunes poissons. D'autre part, le couplage des deux méthodes a également permis de comprendre la réponse de cette écophase face aux contraintes environnementales *via* la modification du comportement trophique. Néanmoins, chacune de ces deux méthodes possède des avantages et des limites. L'analyse des contenus stomacaux nous a procuré des informations fiables en ce qui concerne la composition taxonomique du bol alimentaire des espèces, ce qui est impossible avec la méthode d'analyse des isotopes stables. La nature ou l'identité des proies consommées selon le milieu ou l'âge des espèces ne peut être connue que par l'analyse des contenus stomacaux. De même, les préférences alimentaires en termes d'abondance ou d'occurrence ne peuvent être évaluées que par l'étude directe des contenus stomacaux. Par contre, le milieu renferme une multitude de producteurs primaires notamment, la mangrove, le phytoplancton, le microphytobenthos. De ce fait, l'utilisation des contenus stomacaux dans la caractérisation de l'origine de la matière organique et donc, de la base des réseaux trophiques, devient très complexe voire contestable. Même si on parvient à identifier avec certitude des producteurs primaires dans les contenus stomacaux, la détermination de leur assimilation reste ambiguë. Dans ce cas, seule l'analyse des isotopes stables peut apporter des réponses fiables.

Cependant, quelques questions restent sans réponse à l'issue de ce travail, notamment en ce qui concerne les points suivants :

- Les hypothèses émises sur l'action de la salinité, facteur très largement dominant dans le contrôle des peuplements de l'estuaire, sur les signatures isotopiques *via* l'osmorégulation nécessitent d'être vérifiés. Des études expérimentales sont envisageables sur des espèces euryhalines notamment *Sarotherodon melanotheron* élevées dans différentes salinités (eau douce, sursalée, hyper salées) tout en maintenant les autres facteurs physico-chimiques constants. Dans ce cas une nourriture standard dont on connaît la signature isotopique est nécessaire.
- Chez les juvéniles de poissons d'espèces marines ou d'origine marines recrutés dans les estuaires, la question qui reste donc posée concerne la vitesse d'apparition de la signature. Ces poissons étant très mobiles à certains moments de leur vie (au moment du recrutement, en période de reproduction), il est nécessaire de connaître les temps d'intégration des signatures isotopiques de la nourriture ingérée pour choisir les moments adéquats à la détection des sources d'alimentation.
- Le troisième point concerne l'évolution ontogénique par la méthode des isotopes stables qui nécessite d'être plus largement explorée, pour cela une étude sur une vaste gamme de taille allant

des larves aux adultes est nécessaire, tout en gardant en mémoire la possibilité de différentes sources de carbone à l'origine des réseaux trophiques locaux.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Albaret J.J.**, 1994. Les poissons, biologie et peuplements. In: J.R. Dufour P. Guiraud D. et Zabi S.G.F. (Edits.). Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire. Tome II – Les milieux lagunaires, ORSTOM éditions Paris, Durand: 239-279
- Albaret J.-J.**, 1999. Les peuplements des estuaires et des lagunes. In: Lévêque, C., Paugy, D. (Eds.), Les Poissons des Eaux Continentales Africaines. Institut de Recherche pour le Développement, Paris, pp. 325-349.
- Albaret J.J. & Desfossez P.**, 1988. Biologie et écologie des Gerreidae (Pisces, teleostei) en lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). Rev. Hydrobiologie tropicale 21(1): 71-88.
- Albaret J.-J. & Diouf, P.S.**, 1994. Diversité des poissons des lagunes et des estuaires ouest-africains. In: Teugels, G.G., Guegan, J.-F.; Albaret, J.-J. (Eds.) Biological diversity in African fresh- and brackish water fishes: geographical overviews PARADI symposium - Diversité biologique des poissons des eaux douces et saumâtres d'Afrique. Symposium PARADI, 15-20 novembre 1993, Saly, Sénégal. Annales du Musée Royal d'Afrique Centrale, Sciences Zoologiques (BEL) 275, pp. 165-177.
- Albaret J.J. & Charles-Dominique E.**, 1982. Observation d'une taille à la première maturation sexuelle exceptionnellement faible chez *Ethmalosa fimbriata* Bowdich dans une baie polluée de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). Doc Sci Cent Rech Océanogr Abidjan XIII (2):23-31.
- Ama-Abasi D, Holzloehner S, & Enin U.**, 2004. The dynamics of the exploited population of *Ethmalosa fimbriata* (Bowdich, 1825, Clupeidae) in the Cross River Estuary and adjacent Gulf of Guinea. Fisheries-Research 68 [1-3], 225-235.
- Baldo F & Drake P.**, 2002. A multivariate approach to the feeding habits of small fishes in the Guadalquivir Estuary. Journal of Fish Biology 61 (Supplement A): 21-32.
- Baran E.**, 1995.- Dynamique spatio-temporelle des peuplements de poissons estuariens en Guinée - Relations avec le milieu abiotique. Thèse de Doctorat Université de Bretagne Occidentale, 242 p.
- Bennett B. A., Hamman K. C. D., Branch., G. M. & Throne., S. C.**, 1985. Changes in the fish fauna of the Bot River estuary in relation to opening and closure of the estuary mouth; Trans. Roy. Soc; S. Afr, 45 449-464.
- Berg J.**, 1979. Discussion of Methods of Investigating the Food of Fishes, with Reference to a Preliminary Study of the Prey of *Gobiusculus flavescens* (Gobiidae). *Marine Biology*, **50**, 263-273.
- Bingham K.**, 2001. Biology of mangroves and mangrove ecosystems *Advances in Marine Biology* 251P.
- Blaber S.J.M**, 2007. Mangroves and fishes: issues of diversity, dependence, and dogma. *Bulletin of Marine Science*, 80(3): 457-472.
- Blaber S.J.M., Cyrus D.P., Albaret J.J., Chong Ving Ching, Day J.W., Elliot M., Fonseca M.S. Hoss D.E, Orensanz, J. Potter I.C. & Silvert W.**, 2000. Effects of fishing on the structure and functioning of estuarine and nearshore ecosystems. *Ices Journal of Marine Science*, 57: 590-602.

- Blaber S.J.M., Staunton-Smith J., Milton D. A., Fry G., Van der Velde T., Pang J., Wong P. & Boon-Teck O.** 1998. The Biology and Life-history Strategies of Ilisha (Teleostei: Pristigasteridae) in the Coastal Waters and Estuaries of Sarawak. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **47**, 499–511.
- Blaber S.J.M. & Blaber T.G.**, 1980. Factors affecting the distribution of juvenile estuarine and inshore fish. *Journal of Fish Biology* **17**, 143-162
- Blaber S.J.M. & Whitfield, A.K.**, 1976. Large scale mortality of fish at St Lucia. *S. Afr. J. Sci.* **72**-218
- Bouillon S., Chandra Mohan, P., Sreenivas, N., & Dehairs, F.**, 2000. Sources of suspended matter and selective feeding by zooplankton in an estuarine mangrove ecosystem, as traced by stable isotopes. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* **208**, 79– 92.
- Bouillon S., Raman, A. V., Dauby, P. & Dehairs, F.**, 2002. Carbon and Nitrogen Stable Isotope Ratios of Subtidal Benthic Invertebrates in an Estuarine Mangrove Ecosystem (Andhra Pradesh, India). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **54**, 901–913.
- Bouillon S., Connolly, R. M., Lee S.Y.**, 2008. Organic matter exchange and cycling in mangrove systems: Recent insights from stable isotope studies. *Journal of Sea Research* **9** 59 44-58.
- Bouillon S., Koedam, N., Baeyens, W., Satyanarayana, B. & Dehairs, F.**, 2004. Selectivity of subtidal benthic invertebrate communities for local microalgal production in an estuarine mangrove ecosystem during the post-monsoon period. *Journal of Sea Research* **51**, 133– 144
- Cabral H.N.**, 2000. Comparative feeding ecology of sympatric *Solea solea* and *S. senegalensis*, within the nursery areas of the Tagus estuary, Portugal. *Journal of Fish Biology* **57**, 1550-1562.
- Charles-Dominique E. & Albaret, J. J.**, 2003. African shads, with emphasis on the West African shad *Ethmalosa fimbriata*. *Am Fish Soc Symp* **35**:27–48
- Charles-Dominique E.**, 1982. Exposé synoptique des données biologiques sur l'ethmalose (*Ethmalosa fimbriata*, S. Bowdich, 1825). *Rev. Hydrobiol. Trop.*, **15** (4) 373-397.
- Chong V.C., Low C.B., & Ichikawa T.**, 2001. Contribution of mangrove detritus to juvenile prawn nutrition: a dual stable isotope study in a Malaysian mangrove forest. *Marine-Biology* **138**[1], 77-86.
- Clark J. R.**, 1992. Integrated management of coastal zones; FAO. Fisheries technical paper 327
- Chao L.B, Pereira L. E. & Vieira J.P.**, 1985. Estuarine fish community of the Dos Patos Lagoon, Brazil. A baseline study. In : Fish community ecology in estuaries and lagoons : towards an ecosystem integration. Mexico, Yanez-Arancibia A.(Edit.) : 429-450.
- Cortès E.**, 1997. A critical review of methods of studying fish feeding based on analysis of stomach contents: application to elasmobranch fishes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **54**, 726-738.
- Corbisier T.N., Soares L.S.H., Petti M.A.V., Muto E.Y., Silva M.H.C., McClelland J. & Valiela I.**, 2006. Use of isotopic signatures to assess the food web in a tropical shallow marine ecosystem of Southeastern Brazil. *Aquatic Ecology* **40**:381–390.

- Cyrus & Blaber, S. J. M.**, 1982. Mouth parts structure and function and the feeding mechanisms of *Gerres* (Teleostei). *South African Journal of Zoology*, 17, 117-121
- Cyrus D. P. & Blaber S. J. M.**, 1983. The food and feeding ecology of Gerreidae, Bleeker 1859, in the estuaries of Natal. *J. Fish Biol.* 22 : 373-393
- Cyrus D. P. & Blaber S. J. M.**, 1987a. The influence of turbidity on juvenile marine fishes in estuaries. Part 1. Field studies at Lake St-Lucia on the South-eastern coast of Africa. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 109 : 53-70.
- Cyrus D. P. & Blaber S. J. M.**, 1987b. The influence of turbidity on juvenile marine fishes in estuaries. Part 2. Laboratory studies, comparison with field data and conclusions. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 109 : 71-91.
- Cyrus D. P. & Blaber, S. J. M.**, 1987c.- The influence of turbidity on juvenile marine fishes in estuaries of Natal, South Africa. *Contin. Shelf. Res.* 7 : 1411-1416.
- Day J. W. & Yanez-Arancibia A.**, 1985. Coastal lagoons and estuaries as a environment for nekton. *In: Mexico. Yanez-Arancibia A. (Ed.). Fish ecology in estuaries and lagoons: towards an ecosystem integration.*:17-34
- Day J.W., Hall C.A.S., Kemp M.W. & Yanez–Arancibia A.**, 1989. *Estuarine ecology*. New York, John Willey & Sons, 558 pp.
- De Niro M. J., & Epstein S.**, 1978. Influence of the diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochimica and Cosmochimica Acta* **42**: 495-506.
- De Niro M. J., & Epstein S.**, 1981. Influence of the diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica and Cosmochimica Acta* **45**: 341-351.
- Debenay J.P., Pages, J. & Diouf, P.S.**, 1989. Ecological zonation of the hyperhaline estuary of the Casamance River (Senegal): Foraminifera, zooplankton and abiotic variables. *Hydrobiologia* **174**, 161-176.
- Dehairs F., Rao, R.G., Chandra Mohan P., Raman A.V., Marguillier S. & Hellings L.**, 2000. Tracing mangrove carbon in suspended matter and aquatic fauna of the Gautami-Godavari Delta, Bay of Bengal (India). *Hydrobiologia* **431**, 225–241.
- De Sylva D. P.**, 1985. Nektonic food webs in estuaries. *In: Yanez-Arancibia A. (Ed.). Fish ecology in estuaries and lagoons: towards an ecosystem integration. Mexico.*:233-245.
- Diop E.S.**, 1982. Introduction. in : atelier d'étude des mangroves et de l'estuaire du Saloum (Sénégal). Rapp. fin. EPEEC, :268.
- Diouf-Goudiaby K.**, 2006. Influences de la salinité sur les déplacements d'un poissons ubiquiste, *Sarotherodon melanotheron* (Teleosteen, Cichlidae), dans les estuaires ouest-Africains. Thèse de doctorat, Université Montpellier II, 137 p.

- Diouf P.S.**, 1996. Les peuplements de poissons des milieux estuariens de l'Afrique de l'Ouest: l'exemple de l'estuaire hyperhalin du Sine-Saloum. Thèse de Doctorat 3^e cycle. Université de Montpellier II. 267 p.
- Domain F.**, 1978. Note sur les périodes de reproduction de quelques espèces démersales du plateau continental sénégalais. Rapp. du groupe de travail ISRA-ORSTOM sur la reproduction des espèces exploitées dans le golfe de Guinée. Dakar, 7-12 nov. 1977 : 112-126.
- Dufour E. & Gerdeaux D.**, 2001. Contribution of stable isotopes to fish ecological studies. *Cybiu*, 4, 369-382.
- Elliott M., Hemingway K.L., Costello M.J., Duhamel S., Hostens K., Labropoulou M., Marshall S. & Winkler H.**, 2002. Links between Fish and Other Trophic Levels. *In*: Elliott M. and Hemingway K.L. (Ed.). *Fishes in Estuaries*. Blackwell Science.: 124-216.
- Evjemo J. O., Reitan K.I, Olsen Y.**, 2003. Copepods as live food organisms in the larval rearing of halibut larvae (*Hippoglossus hippoglossus* L.) with special emphasis on the nutritional value. *Aquaculture* 227 191–210
- Fagade S. O.**, 1971. Observations on the two species of Tilapia from the Lagos lagoon, Nigeria Bulletin de l'IFAN, 41 A (3): 627-653.
- Fagade S. O. & Olaniyan C.I.O.**, 1973. The food and feeding interrelationship of the fishes of Lagos lagoon. *J. Fish. Biol.*, 5 : 205-227.
- Fagade S.O. & Olaniyan C.I.O.**, 1974. Seasonal distribution of the fish fauna of the Lagos Lagoon. Bulletin de l'IFAN, 34 A (1): 244-252.
- Falk T.M., Teugels G.G., Abban, E.K., Villwock W., & Renwranz L.**, 2003. Phylogeographic patterns in populations of the black-chinned tilapia complex (Teleostei, Cichlidae) from coastal areas in West Africa: support for the refuge zone theory. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 27, 81-92.
- Feller I.C. & Sitnik M.**, 1996. *Mangrove Ecology: A Manual for a Field Course*. Smithsonian Institution, Washington. 135p.
- Fry B & Ewel K.C.**, 2003. Using stable isotopes in mangrove fisheries research - A review and outlook. *Isotopes-in-Environmental-And-Health-Studies* 39[3], 191-196.
- Fry B. & Sherr E.B.**, 1984. $\delta^{13}\text{C}$ measurements as indicators of carbon flow in marine and freshwater ecosystems. *Contributions in Marine Science*, 27, 13-47.
- Fry B.**, 1999. Using Stable Isotopes to Monitor Watershed Influences on Aquatic Trophodynamics, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 56 (11), 2167. 2171.
- Fry B.**, 2006. *Stable Isotope Ecology*. Springer Science + Business Media, LLC. 308p
- Ghashghaie J., Tcherkez G., Cornic G., Deléens E.**, 2001. Utilisation de la spectrométrie de masse isotopique en physiologie végétale. www.isv.cnrs-gif.fr/ebv/ghashghaie.pdf

- Geider R.J. & La Roche J.**, 2001. Redfield revisited/ variability of C:N:P in marine microalgae and its biochemical basis . Eur. J. Physiol 37 1-17.
- Gilmore R. G., Donohoe C. J. et Cooke D. W.**, 1981. Fishes of the Indian river lagoon and adjacent waters, Florida. Harbor Branch Foundation, Inc., Technical report n° 41, 28 p
- Gning N. Vidy G.' Thiaw O. T.** 2008: Feeding ecology and ontogenic diet shifts of juvenile fish species in an inverse estuary: The Sine-Saloum, Senegal. Estuarine, Coastal and Shelf Science 76; 1-9.
- Gning N.**, 2004. Etude du régime alimentaire des juvéniles de quelques espèces de poissons dans les estuaires du Sine-Saloum et de la Gambie. Mémoire de DEA, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 96 p.
- Graham B. S., Grubbs D., Holland K. Popp B. N.**, 2007. A rapid ontogenetic shift in the diet of juvenile yellowfin tuna from Hawaii. Mar. Biol. 150:647–658.
- Grassé P.-P., Poisson R., Tuzet O.**, 1961. Précis de Zoologie-Tome 1 Invertébrés, Précis de Sciences Biologiques Masson et Cie Editeurs, Paris 920 pages.
- Gregory R.S.**, 1993.- Effect to turbidity on the predator avoidance behaviour of juvenile chinook salmon .(*Oncorhynchus tshawyscha*). Can. J. Fish. Aquat. Sci., 50 : 241-246.
- Guèye M.**, 2006. Stratégie de la reproduction du tilapia estuarien, *Sarotherodon melanotheron heudelotii* (Duméril, 1859) en milieux naturels, approche expérimentale du rôle de la salinité sur la fonction de reproduction. Thèse de troisième cycle, Université Cheikh Anta Diop, 182
- Herzka S. Z.** 2005. Assessing connectivity of estuarine fishes based on stable isotope ratio analysis. Estuar. Coast. Shelf Sci. 64: 58–69.
- Hesslein R.H; Hallard K.A & Ramlal P.** 1993. Replacement of Sulfur, Carbon, and Nitrogen in Tissue of Growing Broad Whitefish (*Coregonus nasus*) in Response to a Change in Diet Traced by ³⁴S, ¹³C, and ¹⁵N.Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. Volume 50, Number 10, Pages 2071-2076
- Horn H.S.**, 1966. Measurement of overlap in comparative ecological studies. Am. Nat. 100 (914), 419–424.
- Horn M. H. & Allen L.G.**, 1985. Fish community ecology southern California bays and estuaries. In: Yanez-Arancibia A. (Eds.)Fish ecology in estuaries and lagoons: towards an ecosystem integration. Mexico: 169-190
- Hughes D.A.**, 1969. Responses of salinity change as a tidal transport mechanism of the pink shrimp *Penaeus duorarum*. Bjol. Bull. mar. Biol Lab., Woods Hole 153,305-526.
- Hureau J.-C.** 1970. Biologie comparée de quelques poissons antarctiques (Nototheriidae). Bulletin de l'Institut océanographique de Monaco, 68, 139-164.
- Hynes H.B.N.** 1950 The food of freshwater sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus* and *Pygosteus pungitius*) with a review of methods used in studies of the food of fishes. *Journal of Animal Ecology*, **19**, 36-58.

- Hyslop E.J.**, 1980. Stomach contents analysis-a review of methods and their application. *J. Fish Biol.*17: 411-429.
- Ikejima K., Tongnunui P., Medej T., Taniuchi T.**, 2003. Juvenile and small fishes in a mangrove estuary in Trang province, Thailand: seasonal and habitat differences. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 56 447–457.
- Jardine T.D., S.A. McGeachy C.M. Paton M. S. & Cunjak R.A.**, 2003. Stable isotopes in aquatic systems: Sample preparation, analysis, and interpretation. *Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci.* No. 2656: 39 p.
- Jaureguizar A.J., Menni R., Guerrero R. Lasta C.**, 2004. Environnemental factors structuring fish communities of the Rio de la Plata estuary. *Fisheries Research* 66 195-211.
- Johannes R.E.** 1978. Reproductive strategies of coastal marine fishes in the tropics. *Environmental Biology of Fishes*, 1, 65-84
- Krebs C.J.**, 1998. *Ecological Methodology*, 2nd ed. Addison-Welley Publishers
- Lae R. & Lévêque C.**, 1999. La pêche. *In* Les poissons des eaux continentales africaines: Diversité, écologie, utilisation par l'homme. IRD Editions, Paris, :385-424
- Laegsgaard P. & Johnson C.**, 2001. Why do juvenile fish utilise mangrove habitats? *Journal of Exp. Mar. Biol. and Ecol.* (257):, 229 - 253.
- Lauzanne L.**, 1988. Les habitudes alimentaires des poissons d'eau douce africains (Feedings habits of African freshwater fishes) *In*. *Biologie et écologie des poissons d'eau douce Africains*. ORSTOM. Col.Travaux et documents n°216: 221- 242.
- Layman C. A.**, 2007. What can stable isotope ratios reveal about mangroves as fish habitat ? *Bulletin of Marine Science*, 80(3): 457–472.
- Lazzari M. A., Sherman S. & Kanwit J.K.**, 2003. Nursery use of shallow habitats by epibenthic fishes in Maine nearshore waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (56): 73 -83.
- Le Pape O., Holley J., Guérault D. & Désaunay Y.**, 2003. Quality of coastal and estuarine essential fish habitats: estimations based on the size of juvenile common sole (*Solea solea* L.). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 00: 1-11.
- Le Pape O.**, 2005. Les habitats halieutiques essentiels en milieu côtier: les identifier, comprendre leur fonctionnement et suivre leur qualité pour mieux gérer et pérenniser les ressources marines exploitées. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches. Université de Bretagne Occidentale. 78p.
- Lévêque C. & Paugy D.**, 1999. Impacts des activités humaines *In* : Lévêque C. et Paugy D. (eds.). *Les poissons des eaux continentales africaines: Diversité, écologie, utilisation par l'homme*. IRD Editions, Paris, : 365-383.

- Lévêque C.**, 1999. Croissance et Ontogénie In : Lévêque C. et Paugy D. (eds.) Les poissons des eaux continentales africaines: Diversité, écologie, utilisation par l'homme. IRD Editions, Paris, : 153-190.
- Linda L.S. & Carol J.M.**, 2000. Diet of winter flounder in a New Jersey estuary: Ontogenetic change and spatial variation. *Estuaries* Vol. 23 n°3: 381 -391.
- Longhurst, A.**, 1957. The food of the demersal fish of a West. African estuary. *J. Anim. Ecol.* 26 : 369-387.
- Marguillier S., Van der Velde G., Dehairs F., Hemminga M.A & Rajagopal, S.**, 1997. Trophic relationships in an interlinked mangrove-seagrass ecosystem as traced by ^{13}C and ^{15}N . *Marine Ecology Progress Series* **151**, 115–121.
- Marius C.**, 1985. Mangroves du Sénégal et de la Gambie. Ecologie - Pédologie - Géochimie Mise en valeur et aménagement. Editions de l'ORSTOM. Collection Travaux et Documents, 193, 357 p.
- Marius C.** 1977. Propositions pour une classification française des sols de mangroves tropicales. *Cah. ORSTOM, Série Pédo*, 15, 1, p. 89-102.
- Mbande S., Froneman W. & Whitfield A.K.**, 2004. The primary carbon sources utilised by fishes in the Mngazi and Mngazana estuaries, South Africa: a preliminary assessment. *African Journal of Aquatic Science* 29 [2], 195–204.
- McClelland J. W. & Valiela I.**, 1998. Changes in food web structure under the influence of increased anthropogenic nitrogen inputs to estuaries. *Marine Ecology Progress Series*. 168: 259-271,
- Miller J.M. & Reed J.P.**, 1982. Patterns, mechanisms and approaches to the study of migrations of estuarine dependent fish larvae and juveniles. In: J.D. Mc Cleave, G.P. Arnold, J.J. Dodson and W.H. Neill (eds.), *Mechanisms of migration in fishes.*, NATO Conference Series. Series IV. Marine science, 209-225.
- Minagawa M. & Wada E.**, 1984. Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 48, 1135- 1140.
- Moore J.C., Berlow E.L., Coleman D.C., de Ruiter P.C., Dong Q., Hastings A., Johnson N.C., McCann K.S., Melville K., Morin P.J., Nadelhoffer K., Rosemond A.D., Post D. M., Sabo J.L., Scow K.M., Vanni M.J. & Wall D.H.**, 2004. Detritus, trophic dynamics and biodiversity, *Ecology-Letters*, 7 (7), 584-600
- Moreau S., Peron C., Pitt K. A., Connolly R. M., Lee S. Y., & Meziane T.**, 2008. Opportunistic predation by small fishes on epibiota of jetty pilings in urban waterways. *Journal of Fish Biology* 72, 205–217.
- Nagelkerken I., Roberts C. M., Van der Velde G., Dorenbosch M., Van Riel M. C., Cocheret de la Morinière E., Nienhuis P. H.**, 2002. How important are mangroves and seagrass beds for coral-reef fish? The nursery hypothesis tested on an island scale. *Marine Ecology Progress Series*. 244: 299–305

- Newell R.I.E., Marshall N., Sasekumar A., & Chong V.C.**, 1995. Relative importance of benthic microalgae, phytoplankton, and mangroves as sources of nutrition for penaeid prawns and other coastal invertebrates from Malaysia. *Marine Biology* 123, 595–606.
- Nieland H.**, 1980. Qualitative and quantitative aspects of the food of *Ethmalosa fimbriata* (Bowdich) in the Ebrié lagoon (Ivory Coast). *Doc. Scient. Centre Rech. Océanogr. Abidjan*. Vol. XI, n° 1: 85-95.
- Odum W.E. & Heald E.J.**, 1975. The detritus-based food web of an estuarine mangrove community. *Estuarine Research* Vol. 1:262-285.
- Ouattara, N.I., Teugels, G.G., N'Douba, V. & Philippart, J.-C.**, 2003. Aquaculture potential of the black-chinned tilapia, *Sarotherodon melanotheron* (Cichlidae). Comparative study of the effect of stocking density on growth performance of landlocked and natural populations under cage culture conditions in Lake Ayame (Côte d'Ivoire). *Aquaculture Research* 34, 1223-1229.
- Pagès, J.**, 1994. Phytoplanktonic biomass and production in a tropical hypersaline estuary, the Casamance (Senegal, West Africa). *Trends in Hydrology* 1, 299-327.
- Pagès J. & Citeau J.**, 1990. Rainfall and salinity of a Sahelian estuary between 1927 and 1987. *Journal of Hydrobiology*, 113: 325-341.
- Panfili J., Mbow, A., Durand, J.D., Diop, K., Diouf, K., Thior D., Ndiaye P., & Lae R.**, 2004a. Influence of salinity on the life-history traits of the West African black-chinned tilapia (*Sarotherodon melanotheron*) : Comparison between the Gambia and Saloum estuaries. *Aquatic-Living-Resources*, 17(1), 65-74.
- Panfili J., Durand J.D., Mbow, A., Guinand, B., Diop, K., Kantoussan, J., Thior, D., Thiaw, O.T., Albaret, J.-J., Lae, R.**, 2004b. Influence of salinity on life history traits of the bonga shad *Ethmalosa fimbriata* (Pisces, Clupeidae): comparison between the Gambia and Saloum estuaries. *Marine-Ecology-Progress-Series*, 270, 241-257.
- Paugy D., Lévêque C. & Teugels G. G.**, 2003. Poissons des eaux douces et saumâtres de l'Afrique de l'Ouest. (Paugy, D., Lévêque, C. & Teugels, G. G., ed.). Editions de l'IRD, Paris, France.
- Paugy D. & Lévêque C.**, 1999. Régime alimentaire et réseaux trophiques. *In* : Lévêque C. et Paugy D. (eds.). Les poissons des eaux continentales africaines: Diversité, écologie, utilisation par l'homme. IRD Editions Paris, :167-190.
- Pillay T.V.R.**, 1952. A critique of the methods of study of food of fishes. *Journal of the Zoological Society of India*, 4, 185-200.
- Pinkas L., Oliphant M.S. & Iverson I.L.K.**, 1971. Food habits of albacore, blue fin tuna, and bonito in California waters. *Fish Bulletin of California*, 152, 1-105.
- Pottier M., Marsac F., Cherel Y., Lucas V., Sabatie R., Maury O. & Menard, F.**, 2007. Forage fauna in the diet of three large pelagic fishes (lancetfish, swordfish and yellowfin tuna) in the western equatorial Indian Ocean. *Fisheries Research* 83 60–72.

- Potter I.C., Beckley L.E., Whitfield A.K., & Lenanton R.C.J.**, 1990. Comparisons between the role played by estuaries in the life cycles of fishes in temperate Western Australia and Southern Africa. *Environmental biology of fishes* 28 143-178.
- Pritchard D.**, 1967. What is an estuary: physical viewpoint. In: Lauff, G.H. (Ed.), *Estuaries*, vol. 83. American Association for the Advancement of Science, Washington, pp. 3-5.
- Redfield A. C., Ketchum B. H., Richards F. A.**, 1963. The influence of organisms on the composition of seawater. In : Hill M. N. (ed) *The sea*, vol. 2. John Wiley, New York, p. 26-27.
- Richoux N.B. & Froneman P.W.** 2007. Assessment of spatial variation in carbon utilization by benthic and pelagic invertebrates in a temperate South African estuary using stable isotope signatures. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 71, 545-558.
- Sakaranos H.C., Johnson M.L., & Vander Zanden M.J.**, 2002. A synthesis of tissue-preservation effects on carbon and nitrogen stable isotope signatures. *Can. J. Zool.* 80 381–387.
- Saos J.L. & Pagés J.**, 1985. Mesure hydrologiques dans le Sine-Saloum. In *L'estuaire et la mangrove du Sine-Saloum : Atelier régional Unesco-COMAR tenu à Dakar (Sénégal) du 28 Février au 5 Mars* 1983.
- Sarre G.A., Platell M.E., & Potter I.C.**, 2000. Do the dietary compositions of *Acanthopagrus butcheri* in four estuaries and a coastal lake vary with body size and season within and amongst these water bodies? *Journal of Fish Biology* 56:103-122.
- Sazima I.**, 2002. Juvenile snooks (Centropomidae) as mimics of mojarras (Gerreidae), with a review of aggressive mimicry in fishes *Environmental Biology of Fishes* 65: 37–45.
- Schwamborn R, Ekau W, Voss M, & Saint Paul U.**, 2002. How important are mangroves as a carbon source for decapod crustacean larvae in a tropical estuary? *Marine-Ecology-Progress-Series* 229, 195-205.
- Sene N.**, 1994. Contribution à l'étude qualitative du régime alimentaire de quelques poissons dans l'estuaire du Sine-Saloum. Mémoire de DEA de Biologie Animale. Dakar, UCAD. 61p.
- Simier M., Blanc L., Aliaume C., Diouf P.S., & Albaret J.J.**, 2004. Spatial and temporal structure of fish assemblages in an "inverse estuary", the Sine-Saloum system (Senegal). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 59: 69-86.
- Smith G.C., & Parrish J.D.**, 2002. Estuaries as nurseries for the Jacks *Caranx ignobilis* and *Caranx melampygus* (Carangidae) in Hawaii. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 55: 347-359.
- Strydom N.A. Whitfield A.K. & Wooldrige, T.H.**, 2003. The role of estuarine type in characterizing early stage fish assemblages in warm temperate estuaries, South Africa. *African Zoology* 38 (1): 29-43.
- Stoner A. & Zimmerman, R.** 1988. Food pathways associated with penaeid shrimps in a mangrove-fringed estuary. *Fishery Bulletin* 86 543-551.

- Thimdee W., Deen G., Sangrungruang C. & Matsunaga K.,** 2004. Analysis of primary food sources and trophic relationships of aquatic animals in a mangrove-fringed estuary, Khung Krabaen Bay (Thailand) using dual stable isotope techniques. *Wetlands Ecology and Management* 12: 135–144.
- Thollot P.,** 1992. Les poissons de mangrove du lagon Sud-ouest de Nouvelle-Calédonie: Ecologie des peuplements, relations avec les communautés ichthyologiques côtières. Thèse de Doctorat de 3^e cycle. Université Aix-Marseille II (Centre d'Océanologie de Marseille; Observatoire des sciences de l'Univers). ORSTOM: Labo. Océano. Nouméa, Nouvelle-Calédonie. 406p.
- Thollot P., Kulbicki M., & Harmelin-Vivien M.,** 1999. Réseau trophique et fonctionnement trophodynamique de l'ichtyofaune des mangroves de Nouvelle-Calédonie *Lifes Science* 322, 607-619.
- Trewavas E.,** 1983. Tilapia: taxonomy and speciation, P. 3-11. In R.S.V. Pullin and R.H Lowe-McConnell (eds). The biology and culture of tilapias.. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines. ICLARM Conference Proceedings 7. 432p
- Vidy G.,** 2000. Estuarine and mangrove systems and the nursery concept: which is which? The case of the Sine-Saloum system (Senegal). *Wetlands Ecology and Management* 8: 37-51.
- Wallace J.H. & Van der Elst R. P.,** 1975. The estuarine fishes of the east coast of Southern Africa. Part IV. Occurrence of juveniles in estuaries. Part V. Ecology, estuarine dependence and status. Invest. Rep. oceanogr. Res. Inst. 42.
- Watt-Pringle P. & Strydom N. A.,** 2003. Habitats use by larval fishes in a temperate South African surf zone. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 00: 1-10.
- Werner E.E., Guillian J.F., Hall D.J. & Mittelbach G.G.,** 1983.- An experimental test of effects of predation risk on habitat use in fish. *Ecology*, 64 (6) :1540-1548.
- Whitfield, A.K.,** 1988. The fish community of the Swartvlei estuary and the influence of food availability on resource utilization. *Estuaries* 11 : 160-170.
- Whitfield A.K.,** 1989. Ichthyoplankton in a Southern African surf zone : nursery area for postlarvae of estuarine associated fish species ? *Estuarine Coastal Science*, 29 : 533-547. .
- Whitfield A.K., Taylor R.H., Fox C. & Cyrus D.P.,** 2006. Fishes and salinities in the St Lucia estuarine system—a review. *Fish Biology Fisheries* 16, 1–20.
- Whitfield A.K.,** 1994a. Fish species diversity in southern African estuarine systems : an evolutionary perspective. *Environmental of fishes* 40 : 37-48.
- Whitfield A. K.,** 1998. Biology and Ecology of Fishes in Southern African *Estuaries; Ichthyological Monograph of J. L. B. Smith Institute of Ichthyology*, N° 2, 223 PP.
- Whitfield A.K.,** 1999. Ichthyofaunal assemblages in estuaries: a South African case study. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 9, 151-186.
- Yanez-Arancibia A., Lara-Dominguez A.L., Sanchez-Gil P., Maldonado I.V., Abad M.C.G., Alvarez-Guillen H., Garcia M.T., Hernandez D.F. & Lineares F.A.,** 1985. Ecology and

evolution of fish community in coastal ecosystems : estuary-shelf interrelationships in Southern Gulf of Mexico. In : Fish community ecology in estuaries and lagoons : towards an ecosystem integration. Mexico, Yanez-Arancibia, (Edit.) : 475-498.

Young P.C. & Carpenter S.M, 1977. Recruitment of postlarval peneid prawns to nursery areas in Moreton Bay. Queensland. Aust.. J. mar.. Freshwat. Res.. 28,745-773.

Zander C.D., 1982. Feeding ecology of littoral Gobiid and Blennioid fishes of the Banyuls area (Mediterranean sea)- Main food and trophic dimension of niche and ecotope. Vie et Milieu, **32**, 1-10.

Zaret M.R. & Rand A.S., 1971. Competition in tropical stream fishes: support for the competitive exclusion principle. Ecology 52 (2), 336–342.

L'estuaire inverse du Sine-Saloum (Sénégal) caractérisé par une situation de salinité aval-amont contrastée héberge de fortes populations de jeunes poissons. L'écologie trophique des juvéniles des espèces suivantes : *Eucinostomus melanopterus*, *Ethmalosa fimbriata*, *Monodactylus sebae* et *Sarotherodon melanotheron*, a été abordée par deux approches simultanées : la méthode d'analyse des contenus stomacaux et celle d'analyse des isotopes stables. La première approche a révélé que les jeunes poissons exploitent une grande communauté d'invertébrés dont la plupart est inféodé aux zones de mangroves et en constitue généralement une faune typique connue sous le nom de périphyton. Des changements du type de ressources alimentaires exploitées par les juvéniles de poissons ont été identifiés avec la taille des individus chez toutes les espèces étudiées, ainsi que des variations spatiales importantes. L'analyse des isotopes stables a montré que le réseau trophique aboutissant aux jeunes poissons est affectée par ce contraste et fonctionne différemment entre les deux extrémités de l'estuaire. En aval, où les salinités sont voisines de 40, où la mangrove est présente et le peuplement est dense et diversifié, le réseau trophique est pélagique et avec comme ligne de base le phytoplancton. Aucune contribution de la mangrove n'a été détectée à ce niveau. Tandis qu'en amont, où les salinités sont très élevées (voisines de 100 et plus), le réseau trophique est plutôt benthique et soutenu par le microphytobenthos. L'écologie trophique des juvéniles de poissons est affectée par les conditions locales de salinités. La plasticité trophique observée chez les jeunes poissons peut être considérée comme une stratégie d'adaptation parmi d'autres dans le Sine-Saloum, face au stress environnemental.

Trophic ecology of juvenile of four species in an inverse tropical estuary (Sine Saloum, Senegal): consequences of contrasting salinity

The Sine-Saloum inverse estuary, characterized by contrasting salinity, is an important nursery habitat for juvenile fish. The trophic ecology of juvenile for following species: *Eucinostomus melanopterus*, *Ethmalosa fimbriata*, *Monodactylus sebae* and *Sarotherodon melanotheron* were investigated by coupling stomach content and stables isotopes ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) analyses. The first method revealed that almost all juveniles preyed on a wide diversity of organisms belonging to the periphytic community of mangrove roots. Food change with length for all juveniles and important spatial variation were also identified. Stables isotopes analyse indicate that the food webs origins reaching juvenile fish change with local condition salinity. At downstream, with the moderate salinity (40), the food web is based on phytoplankton without any contribution of mangrove carbon. While in upstream, with high salinity, the food web is based on microphytobenthos. Conditions salinities have effects on juvenile fishes ecology trophic. The plasticity trophic detected may be an particularity adaptation to environmental stress.

Spécialité : Évolution, Écologie, Ressources génétiques, Paléontologie

Mots clés : Juvéniles, salinité, nurseries, mangrove, Sine-Saloum, estuaire inverse, isotopes stables, contenus stomacaux, réseau trophique

Keywords: Juvenile fish; salinity; nursery; mangrove, Sine-Saloum; inverse estuary; stables isotopes; stomach content; food web.