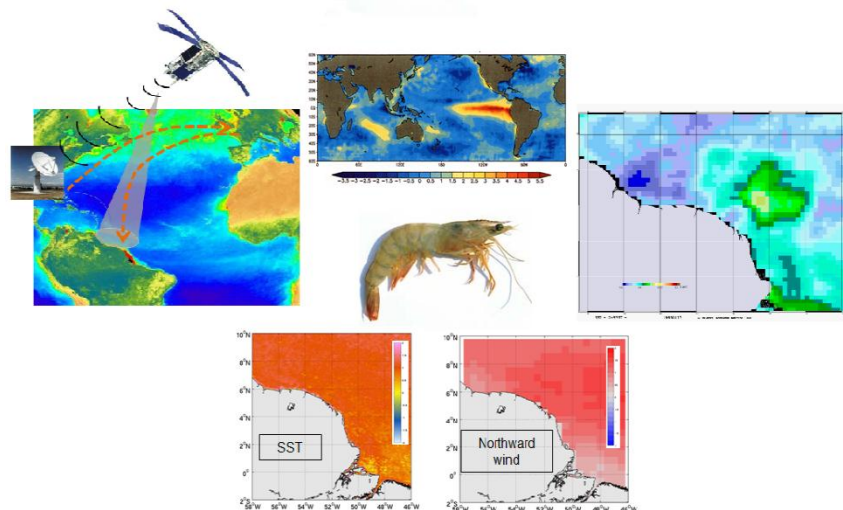


Effet du changement climatique sur le stock guyanais de crevettes pénéïdes

Rapport final du projet PENECLIM



Effet du changement climatique sur le stock guyanais de crevettes pénéïdes

Rapport final du projet PENECLIM

Fiche documentair

Numéro d'identification du rapport : Diffusion : libre : <input checked="" type="checkbox"/> restreinte : <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/> Validé par : Adresse électronique :		date de publication : 07/2014 nombre de pages : 25 bibliographie : illustration(s) : langue du rapport :
Titre de l'article Effet du changement climatique sur le stock guyanais de crevettes pénéides		
Contrat n° Rapport intermédiaire <input type="checkbox"/> Rapport définitif <input checked="" type="checkbox"/>		
Auteur(s) principal(aux) : Amira Magraoui, Loïc Baulier, Fabian Blanchard	Organisme / Direction / Service, laboratoire Ifremer, unité Biodiversité Halieutique, Guyane	
Encadrement(s) :		
Cadre de la recherche : Programme DPMA		
Destinataire : DPMA		
Résumé Le recrutement du stock de crevette farfantepeneus subtilis est en déclin, ainsi que le stock. La pression de pêche n'en serait pas la cause. En parallèle, des changements au sein de diverses composantes de l'écosystème sont observés. Ce travail met en évidence l'existence possible de relations entre les changements environnementaux observés et la baisse du recrutement.		
Abstract		
Mots-clés		
Words keys		



Sommaire

1. INTRODUCTION	2
2. MATERIEL.....	8
Présentation des données.....	8
2.1. Les données sur le vivaneau.....	8
2.2. Données environnementales	9
2.3. Série de recrutement par analyse des populations virtuelles (VPA).....	9
3. METHODES	10
3.1. Sectorisation.....	10
3.2. Désaisonnalisation.....	10
3.3. Décalage temporel	11
3.4. Projection des vecteurs courant.....	11
3.5. Analyse multivariée (ACP)	12
3.6. Corrélations linéaires.....	13
4. RESULTATS.....	14
4.1. Analyse des composantes principales.....	14
4.2. Tendance des séries	14
4.3. Corrélations linéaires.....	17
5. DISCUSSION - CONCLUSION	22
6. Bibliographie.....	24
Annexe.....	25

1. INTRODUCTION

L'activité crevettière est un secteur économique de premier plan dans l'économie de la Guyane (Vendeville *et al.*, 2008), représentant le premier poste d'exportation du secteur primaire (IEDOM 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012). La pêche crevettière de Guyane s'est développée à la fin des années 50 avec des flottilles américaines et l'extension de la pêche du Golfe du Mexique le long de l'Amérique Centrale puis au début années 60 au Nord de l'Amérique du Sud jusqu'au Brésil. Dans les années 70, une petite flottille japonaise se joignait à la flottille américaine. Après la création de la ZEE en 1978, la gestion de cette pêche fut confiée à la France puis à la Communauté Européenne. Les flottilles étrangères étaient obligées de prendre des licences communautaires et respecter le TAC défini par celle-ci. Ce n'est qu'en 1981 que se développait un armement français (Vendeville et Lhomme, 1997) et en 1992 le dernier crevettier américain quittait la zone (Figure 1).

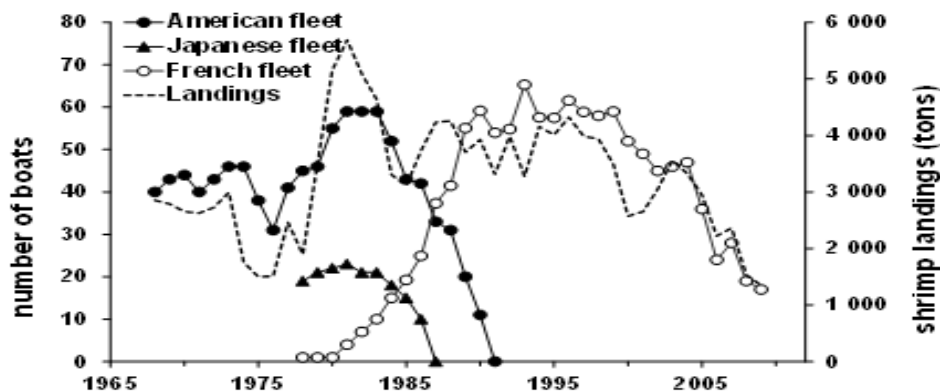


Figure 1. Historiques de la pêche de Guyane (Chaboud *et al.*, 2011).

La flottille française exploite deux espèces de crevettes tropicales : la crevette brune nommée Brown shrimp, *Farfantepenaeus subtilis* et la crevette royale rose nommée Pink spotted, *Farfantepenaeus brasiliensis*, qui représentaient respectivement de 86 à 92% et 7 à 13% des débarquements de crevettes en Guyane au cours des années 90 (Charuau *et al.*, 2000). A partir de fin 99, les volumes des débarquements diminuent, alors que dans le même temps, la pression de pêche diminue (Figure 2). En 1992 la flottille crevettière compte 71 navires (Moguedet, 1993). En 1999 elle compte 63 navires dont 59 en activité, en 2004, 47 navires en activité, en 2010, 17 en activité et en 2013 il subsiste 20 navires actifs. Le déclin que connaît la pêche entraîne des dépôts de bilan successifs d'armements qui étaient au nombre de 10 en 1999, 4 en 2007 (Fayet, 2007), 3 en 2013.

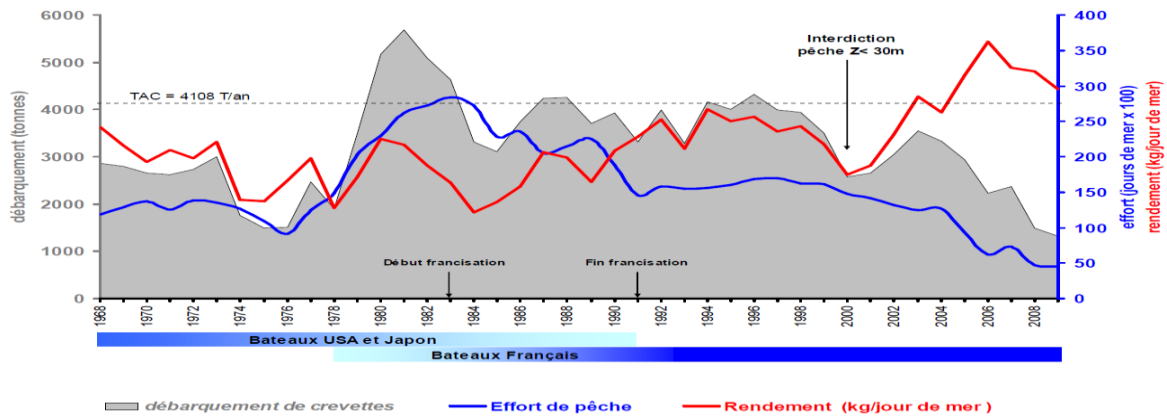


Figure 2. Evolution des débarquements de crevettes, de leur effort et rendement en Guyane (Lampert, 2011).

Les diagnostics actuels permettent de dire que la baisse du stock de crevettes exploité n'est pas liée à un impact de la pêche car il n'apparaît pas de relation claire entre la biomasse féconde (SSB) et le recrutement (Figure 3). Les causes sont plutôt à rechercher au sein de l'écosystème, dans les changements environnementaux. En effet, des changements environnementaux hydro-climatiques ont été observés (vents, températures de surface). Ces changements peuvent en théorie modifier le succès de la reproduction des crevettes et contribuer ainsi à expliquer la diminution du stock.

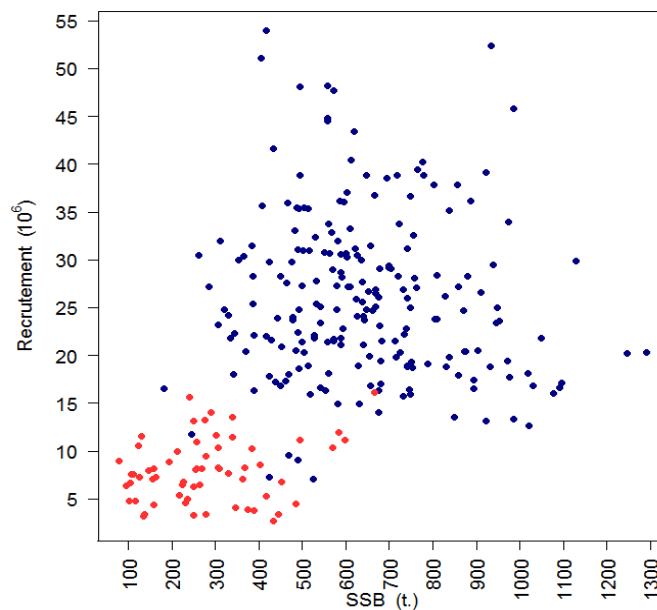


Figure 3. Relation entre la biomasse féconde et le recrutement mensuel à 2 mois (en bleu avant juin 2007 et en rouge après).

Par ailleurs, une diminution de la flotte crevetteière favoriserait le développement des prédateurs de la crevette. En effet, les vivaneaux (Lutjanidés) font partie de la capture accessoire des crevetteiers et sont des prédateurs de crevettes au moins au stade juvénile. La modification du réseau trophique interviendrait-elle alors aussi pour partie dans la chute du stock ?

Le projet PENECLIM financé par la DPMA (Direction des Pêches Maritimes et de l'Aquaculture), qui étudie l'effet du changement climatique et/ou du réseau trophique sur le stock guyanais de crevettes pénéides, devra permettre de diagnostiquer s'il s'agit d'une crise passagère cyclique ou d'un changement à long terme des conditions écosystémiques. L'étude visera à répondre à cette question cruciale pour assurer la gestion des structures et des flottilles.

Cette étude est basée sur des hypothèses qui sont :

- 1- La pêche n'est pas le facteur principal qui pourrait expliquer le déclin des recrutements de crevettes car : il a été démontré dans une étude précédente (Lampert, 2011) que la relation stock-recrutement n'était pas significative (du moins jusqu'à la seconde moitié des années 2000) ce qui signifie que le niveau du recrutement n'est pas lié au stock de géniteurs donc à la pression de la pêche sur ce stock (Figure 3). Même si aujourd'hui on obtient une relation stock recrutement significative statistiquement avec les données les plus récentes, le recrutement était en déclin avant ; cela semble donc davantage être dû à un changement récent du régime de recrutement. Cependant il existe une forte corrélation positive entre le recrutement et le stock, suggérant que la biomasse féconde et celle du stock en général, dépendent du niveau du recrutement (Figure 4). Donc plus il y aura de recrues, plus le stock de crevettes sera important. Et ce qui renforce encore plus cette hypothèse, c'est qu'en observant l'évolution du recrutement et de la biomasse féconde on remarque que c'est le recrutement qui chute en premier en 1999 (Figure 5), puis il augmente en 2003 jusqu'à 2005 et chute très rapidement en 2006. Et malgré la baisse de l'effort de pêche depuis quelques années et le cycle de vie court des crevettes (36 mois, Vendeville et Lhomme, 1997), le recrutement continue de chuter et le stock ne se reconstitue pas.

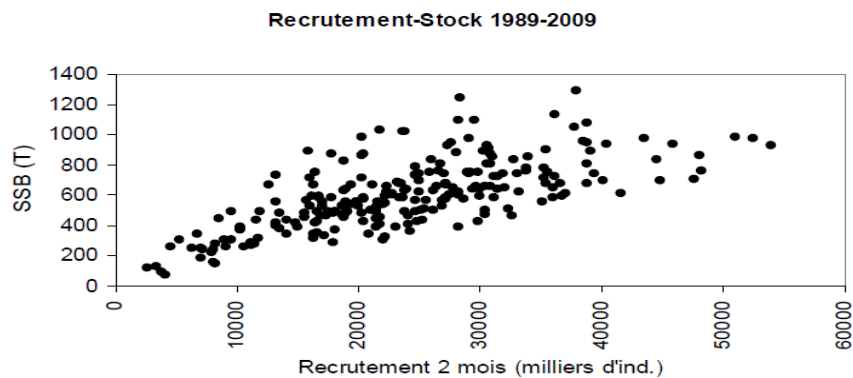


Figure 4. Relation recrutement-biomasse féconde (Lampert, 2011).

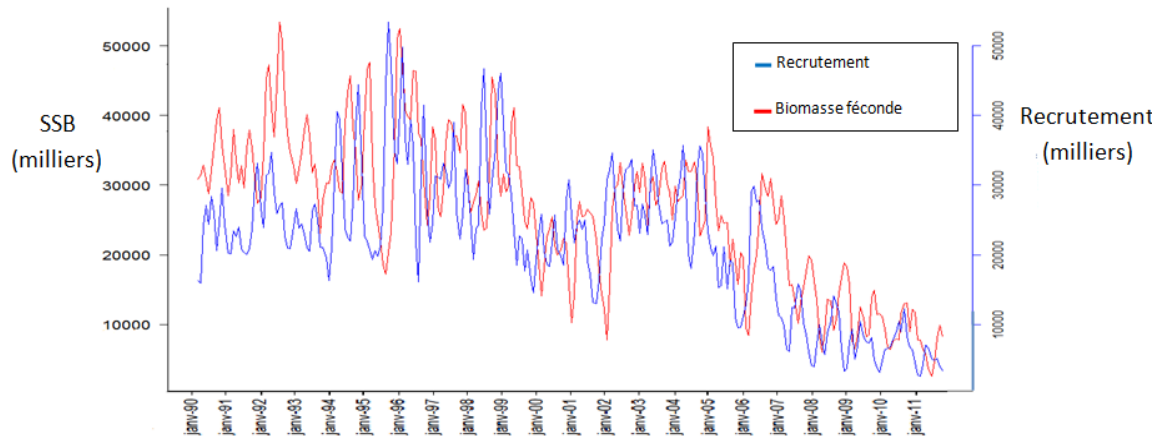


Figure 5. Evolution du recrutement et de la biomasse féconde de *F.subtilis* entre 1989 et 2012.

2- Des changements dans l'écosystème :

a. En premier, l'hypothèse du changement dans le réseau trophique : l'augmentation du recrutement observée chez le vivaneau rouge (*Lutjanus purpureus*) à partir de 2002 (Figure 6) qui pourrait être en partie liée à la baisse de l'effort de pêche au chalut, réduisant ainsi les captures accessoires des vivaneaux, pourrait avoir un impact sur le recrutement des crevettes en raison de leur prédation par les jeunes vivaneaux qui présentent une augmentation significative.

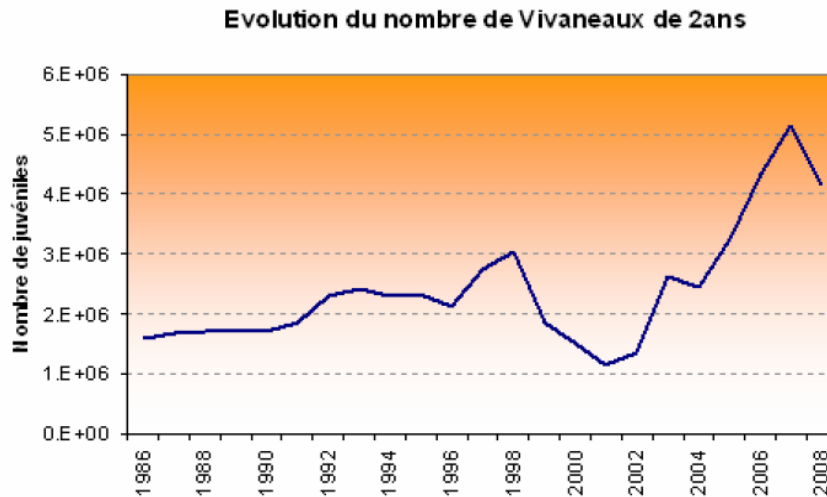


Figure 6. Evolution du nombre de juvéniles de Vivaneau de 2 ans sur le plateau guyanais selon les calculs par VPA.

b. En second, l'influence des facteurs environnementaux : il faut noter qu'un certain nombre de variables environnementales, ont déjà été traitées dans le rapport précédent (Lampert, 2013) mais sans pouvoir identifier d'impact significatif sur le recrutement, du moins lorsque les décalages temporels entre les séries sont jugés compatibles avec les processus biologiques sous-jacents.

- Un changement dans l'intensité et direction des vents et/ou courants pourrait avoir des conséquences défavorables sur la dispersion et l'arrivée des larves de crevettes en provenance du nord du Brésil.
- La houle peut être un facteur handicapant pour la stabilité et le développement des jeunes crevettes benthiques près de la côte, car celle-ci peut être à l'origine des changements de la nature des fonds, sachant que des bancs de vase se situent près de la côte (Froidefond *et al.*, 1988) et que l'énergie de la houle, ainsi que sa direction vont conditionner la remise en suspension des vases et la formation des bancs côtiers qui pourrait modifier la capacité des juvéniles à se nourrir. Une même zone géographique peut passer par différentes périodes de changement de la nature du fond. Le stress provoqué par ces changements pourrait affecter l'évolution des phases juvéniles.
- Les précipitations agissent sur le débit des fleuves et sur la salinité de l'eau de mer et des estuaires et par conséquent sur la variation des apports en matière en suspension. Les larves et les juvéniles des crevettes sont sensibles aux fluctuations de la salinité et des nutriments disponibles et cela peut modifier leur croissance et jouer sur leur taux de mortalité.
- Les facteurs hydroclimatiques à large échelle SOI (Southern Oscillation Index : indice reflétant le phénomène d'El Niño) et NAO (North Atlantic Oscillation) sont des indicateurs synthétiques qui reflètent les changements à grande échelle tels que circulation, température de l'eau, vents, précipitations etc.
- La température de surface de la mer est un bon indicateur du réchauffement dû aux gaz à effet de serre (Allison *et al.*, 2009). Un changement des températures pourrait avoir un impact sur le déplacement des populations de jeunes crevettes, sur leur taux de croissance et/ou de mortalité ainsi que sur la maturation des femelles et ainsi la fécondité et la viabilité des oeufs.
- Les fluctuations saisonnières des apports d'eau de l'Amazone influencent les concentrations en chlorophylle, la matière en suspension disponible et ainsi la turbidité de l'eau. Elles sont conditionnées par le courant du nord du Brésil qui longe la côte guyanaise. Ces trois facteurs environnementaux sont très reliés et sont corrélés à la disponibilité des nutriments, la variation de salinité et la productivité du milieu. Ainsi ils peuvent impacter la survie et la croissance des post-larves.

Dans ce contexte, les objectifs de cette étude sont de :

- a) Mettre en évidence d'éventuelles modifications des facteurs environnementaux.
- b) Tester la crédibilité de l'hypothèse d'une chute du recrutement de la crevette due à une augmentation de la prédation par les jeunes vivaneaux rouges (*Lutjanus purpureus*).
- c) Réaliser un diagnostic concernant les causes de la chute du stock de crevettes.

Pour cela il faudra :

- Analyser les séries temporelles de données environnementales disponibles (température de surface, chlorophylle, matière en suspension, turbidité, courant...) concernant le plateau continental guyanais.
- Etudier le recouvrement entre les distributions des crevettes et des jeunes vivaneaux rouges, puis éventuellement analyser les contenus stomacaux des vivaneaux pour identifier la part des crevettes pénéides dans le régime alimentaire des vivaneaux de différentes tailles et à partir de ces résultats et ceux de la série temporelle d'abondance de biomasse de vivaneaux, extrapoler la quantité de

crevettes pénéides consommée par les vivaneaux afin de voir si l'ordre de grandeur de crevettes consommées par les vivaneaux est compatible avec l'ordre de grandeur de la diminution d'abondance observée des recrues de crevettes.

- Rechercher l'existence de corrélations statistiques entre les séries de données environnementales et de recrutement de la crevette.

2. MATERIEL

Présentation des données

Les données environnementales dont on dispose (Figure 7) ont été traitées puis mises en relation avec le recrutement mensuel des crevettes *F.subtilis* afin d'essayer de trouver la ou les variables du milieu qui pourraient expliquer la chute du recrutement de la crevette en Guyane.

Quatre types de données ont été utilisés pour cette étude :

- Les données *in-situ* (vents, précipitations, débit des fleuves et abondance des vivaneaux).
- Les sorties de modèles (houle et courants).
- Les données issues de la télédétection (SST « température de la surface de l'eau », turbidité, chlorophylle a, MES « matière en suspension » et Kpar « coefficient d'atténuation de la lumière utilisable pour la photosynthèse »).
- Les indices synthétiques (NAO « North Atlantic Oscillation » et SOI « Southern Oscillation Index »).

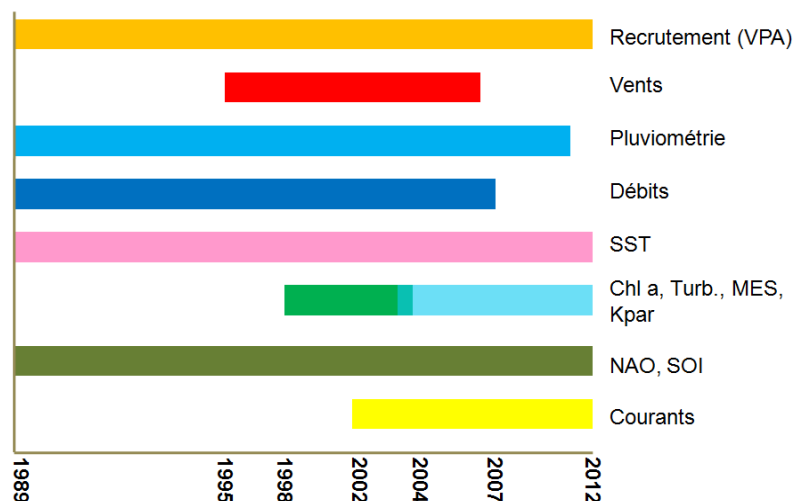


Figure7. Couverture temporelle des différentes données environnementales disponibles.

2.1. Les données sur le vivaneau

En ce qui concerne l'hypothèse de prédation par les jeunes vivaneaux, avant de procéder à l'étude du régime alimentaire de ces derniers, il a été décidé de tester le recouvrement entre les captures de crevettes et de vivaneaux au cours de campagnes scientifiques. En effet, si les observations *in-situ* montrent que les deux populations ne se rencontrent pas alors l'hypothèse de prédation n'apparaît plus réaliste. Les données de deux séries de campagnes de chalutage ont donc été exploitées: Resubguy 2 à 5 (mai 1993, octobre 1993, mai 1994 et octobre 1994) et Chaloupe (octobre 2006, mai 2007 et novembre 2007). Ces données contiennent la position des traits de chalut, ainsi que les nombres d'individus et la somme des poids de ces individus par espèce pour chacun des traits de chalut. Une première partie de l'étude a consisté en une description de la variabilité spatio-temporelle de la co-occurrence de *F. subtilis* et *L. purpureus* au cours de chacune des campagnes. Des

secteurs statistiques, tels que définis par l’Ifremer pour l’étude des pêcheries guyanaises, séparent la zone en quatre secteurs d’est en ouest. A ces secteurs statistiques s’ajoutent des strates de bathymétrie. Cinq strates ont été distinguées ici : 0-20m, 20-30m, 30-40m, 40-50m et >50m. Dans une seconde partie, la significativité de l’association entre les deux espèces a été éprouvée à l’aide de tests statistiques.

Les différents tests statistiques employés pour étudier la distribution relative des deux espèces convergent pour indiquer soit une indépendance de distribution soit une exclusion de ces deux espèces. Mais aussi le manque de cohérence entre les résultats des analyses menées sur les poids moyens des individus de *F. subtilis* et *L. purpureus* suggère que les quelques liens significatifs obtenus reflètent davantage un effet de la taille réduite des échantillons qu’une relation écologique entre les deux espèces. Il a donc été estimé que l’analyse des contenus stomacaux des jeunes vivaneaux n’était plus nécessaire. Même s’il existe malheureusement peu de données sur le régime alimentaire de *L. purpureus*, toutefois, Furtado-Ogawa et Ferreira de Menezes (1972), au cours d’une étude menée sur cette espèce dans le nord-est du Brésil, ont estimé à seulement 4% l’occurrence des crevettes (toutes familles confondues) dans les contenus stomacaux de vivaneaux. Cette faible proportion confirme la décision d’écarter l’hypothèse de la prédation par le vivaneau rouge pour expliquer la chute du recrutement de la crevette.

2.2. Données environnementales

Les variables environnementales (vents, houle, précipitations, débit des fleuves et indices climatiques à grande échelle NAO et SOI), ont été traitées, explorées et mises en relation avec les données mensuelles de recrutement de crevettes mais il n’y a pas eu de résultats significatifs qui pourraient expliquer les variations du recrutement de la crevette. Les résultats concernant l’analyse de ces variables sont détaillés dans le rapport intermédiaire (Lampert, 2013).

Nous avons traité ici les séries de données (SST, chlorophylle a, MES, turbidité et Kpar), qui sont à la base des données de « couleur de l’eau » issues de la télédétection, traitées par le bureau d’études ACRI.

2.3. Série de recrutement par analyse des populations virtuelles (VPA)

L’analyse des populations virtuelles est une méthode qui permet d’estimer plusieurs paramètres liés à la dynamique d’un stock exploité : mortalité par pêche par âge, recrutement, biomasse en mer par âge, en suivant l’évolution de chaque cohorte individuellement à partir des données de captures structurées en âge.

La série de recrutement à l’âge de 2 mois utilisée est issue des calculs par VPA (Virtual Population Analysis). Ces calculs ont été menés sur une série de données 1989-2012 disponible à l’Ifremer et afin de les réaliser il faut disposer des valeurs de paramètres de croissance de la population visée. Le pas de temps utilisé est le mois et les calculs ont été réalisés avec un script développé au laboratoire BIODIVHAL de Guyane avec le logiciel « R ». Toutes les procédures sont détaillées dans le rapport « Mode d’emploi du script R pour le calcul par VPA du nombre de recrues de crevettes et de leur biomasse » (Lampert, 2011 b).

3. METHODES

Afin de tester les corrélations qui peuvent exister entre les données de crevettes et les séries de variables environnementales, nous avons construit des séries de moyennes par secteur géographique, que nous avons ensuite désaisonnalisées pour se concentrer sur les variations à long terme des dites variables.

3.1. Sectorisation

Les variables environnementales collectées sont sectorisées de l'est vers l'ouest en cinq secteurs et afin d'affiner l'étude en examinant l'influence des variables selon un gradient côte-large. Ces secteurs ont été subdivisés en différentes strates bathymétriques (Figure 8). Les valeurs moyennes sont calculées par secteur/strate et sont ensuite comparées à la série mensuelle de recrutement.

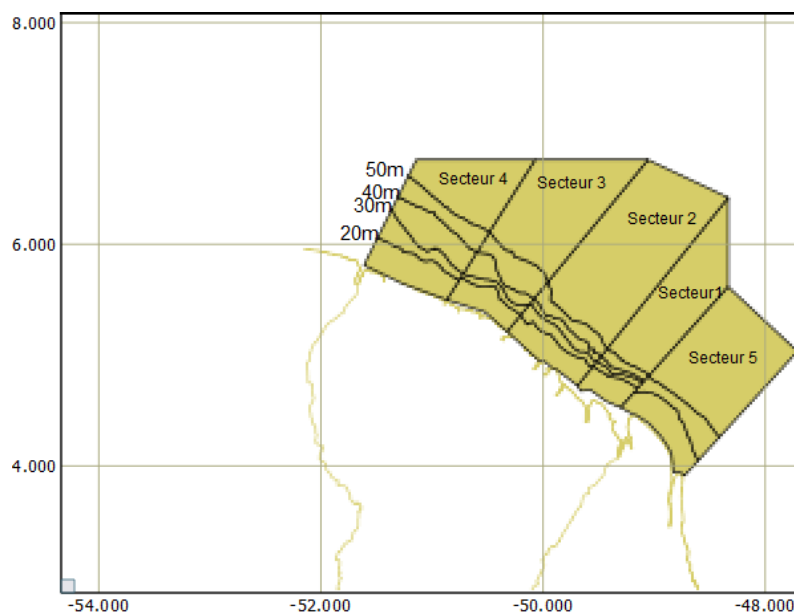


Figure 8. Secteurs/strates utilisées pour le calcul des moyennes des variables environnementales.

3.2. Désaisonnalisation

Les saisons exercent une influence certaine sur les ressources halieutiques et ainsi sur l'activité de la pêche. Les populations de crevettes sont caractérisées par des abondances et biomasses qui varient naturellement entre les saisons mais aussi entre les années (figure 5) autour de valeurs moyennes (à l'échelle de plusieurs décennies cette valeur moyenne peut changer en regard des conséquences du changement climatique). Par conséquent, une corrélation significative entre la série de recrutement et une variable environnementale non désaisonnalisée peut découler de la synchronie entre les fluctuations saisonnières de ces deux variables, même s'il n'existe pas de lien au niveau interannuel, qui est l'échelle pertinente pour cette étude. Donc pour qu'un impact environnemental soit significatif il faudrait qu'il fasse sortir les abondances de la population de la gamme naturelle de variations saisonnières et inter-annuelles, tel qu'on peut le voir à partir de 1999 sur la figure 5.

Comme dans notre étude on cherche à expliquer les variations interannuelles du recrutement, la désaisonnalisation permettra de déceler et estimer les effets saisonniers et de calendrier combinés pour les éliminer des différentes séries chronologiques (recrutement et variables environnementales). La série qui en résulte est alors dite désaisonnalisée et ne comprend plus que la tendance à long terme et les variations aléatoires. La série désaisonnalisée nous permet d'évaluer la direction de la tendance à long terme.

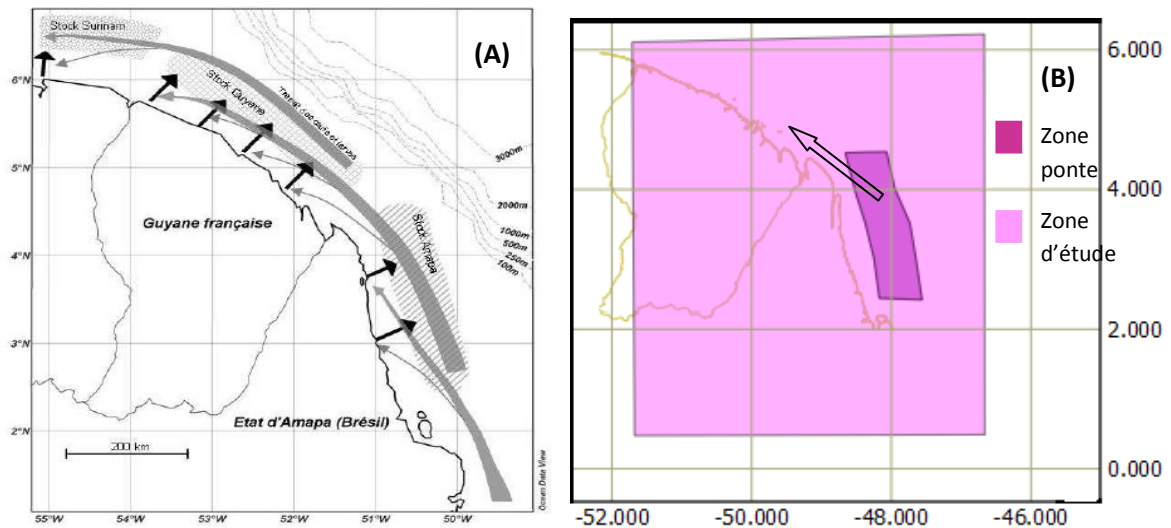
3.3. Décalage temporel

Après avoir sectorisé et désaisonnalisé les facteurs environnementaux et avant d'analyser les relations linéaires qui peuvent exister entre ces derniers et le recrutement, il a été procédé à un décalage temporel afin d'étudier le lien entre le nombre de recrues à 2 mois et les conditions environnementales qui régnaient au moment de la ponte. A partir de l'hypothèse que la ponte se fait au large du Nord du Brésil et que la dérive des œufs et larves vers les zones de nourricerie en Guyane est d'environ 3 semaines (Lampert, 2011a) additionné au temps de développement nécessaire pour qu'une larve devienne une jeune recrue dans les estuaires (1 mois ou 1 mois et demi). On a donc introduit un décalage de 2 mois entre la variable environnementale et le recrutement.

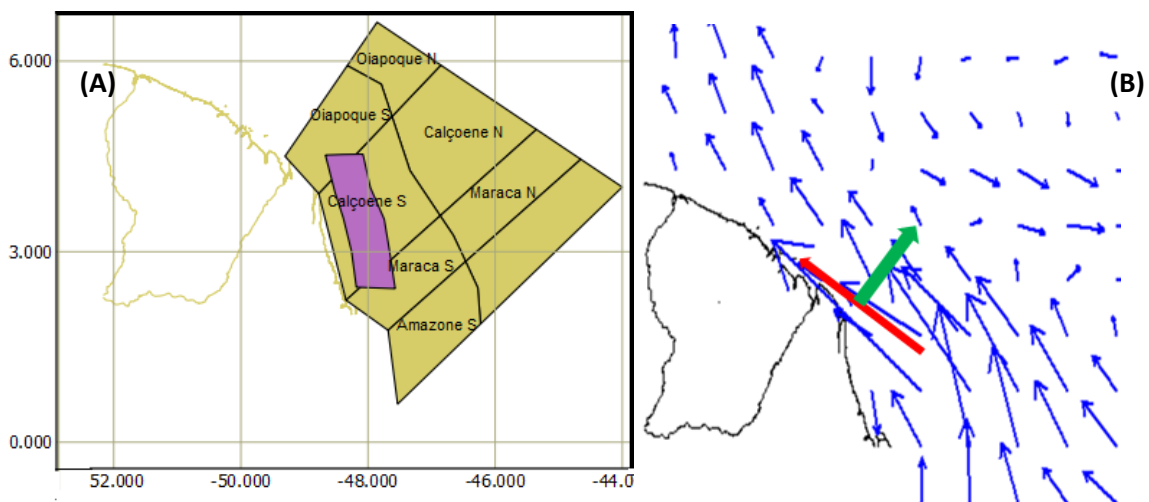
La relation stock recrutement était significative statistiquement, mais si on considère l'évolution de cette relation au cours du temps, on observe deux périodes (figure 3) : avant 2006 il n'y a pas de relation, mais si l'on ajoute les observations post 2006, les recrutements sont plus faibles, ainsi que la biomasse féconde, alors la relation devient statistiquement significative. Toutefois, c'est la chute du recrutement qui a induit au cours du temps une baisse de la biomasse féconde et non l'inverse. L'ajustement d'un modèle unique de type Beverton et Holt par exemple n'aurait donc pas de fondement écologique. L'hypothèse étant donc que les changements environnementaux auraient fait baisser le recrutement, et ensuite la biomasse féconde qui en dépend, d'où une apparente relation stock recrutement mais sans relation de causalité. C'est pour ça qu'on a décidé de ne pas utiliser les résidus d'un tel modèle pour s'affranchir de l'influence de la taille du stock, ce qui n'est pas nécessaire.

3.4. Projection des vecteurs courant

Afin d'étudier les données de courant entre 2002 et 2012, en premier lieu il a été décidé de restreindre la zone d'étude des courants entre 54° ouest et 49° ouest de longitude et 0.5° nord et 6.2° nord de latitude, ce qui correspond à la zone entre l'Amapá (supposé être la zone de ponte des crevettes) et la frontière du Surinam (puisque le courant amène les œufs et larves du Nord du Brésil jusqu'aux côtes guyanaises) (Lampert, 2011a) (Figure 9A).



Par la suite, on a synthétisé l'effet des courants, en faisant des moyennes mensuelles par secteur (Figure 10A) qu'on a projetées par la suite selon la direction « zone de ponte vers la zone de nurricerie » puis selon la direction « côte-large » (Figure 10B).



3.5. Analyse multivariée (ACP)

Dans cette étude nous avons traité un certain nombre de variables. Afin d'explorer les corrélations qui peuvent exister entre ces différentes variables nous avons utilisé une Analyse des Composantes Principales (ACP).

Nous avons utilisé les valeurs moyennes mensuelles désaisonnalisées des variables environnementales dans la strate bathymétrique 20-30 m au niveau de tous les secteurs (pour les

données de courant, on a choisi les moyennes au niveau des secteurs près de la côte donc les secteurs dits sud, (Figure 10A). L'ACP va nous permettre de décrire ce jeu de données et de le résumer. Mais aussi, elle va étudier les liaisons linéaires entre les variables, et ainsi visualiser les corrélations qui peuvent exister entre elles.

3.6. Corrélation linéaire

Afin d'analyser le lien qui peut exister entre le recrutement et les différentes variables environnementales, nous avons utilisé un modèle linéaire comme indiqué ci-dessous :

$$\text{Recrutement} = \alpha + \beta \cdot \text{Enviro} + \varepsilon$$

Avec :

α : ordonnée à l'origine, β : la pente et ε : terme d'erreur.

Par la suite on applique le test du Chi 2 qui permet de mesurer l'indépendance qui existe entre les deux variables et de voir si une relation significative apparaît (probabilité <0.05) :

$$X^2 = \sum \sum \frac{(A_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

Où :

A_{ij} = est l'effectif réel de la i-ème ligne et la j-ème colonne.

E_{ij} = est l'effectif théorique dans la i-ème ligne et la j-ème colonne.

4. RESULTATS

4.1. Analyse des composantes principales

L'examen de la représentation des variables dans le premier plan factoriel (figure 11), nous permet d'identifier deux groupes de variables qui s'opposent totalement : la SST et la concentration en chlorophylle a. La première a une tendance à l'augmentation et la seconde une tendance à la diminution. On observe aussi qu'au niveau des secteurs 2, 3 et 4, les variables Kpar, MES et turbidité sont corrélées. Mais le recrutement (en bleu) est très mal représenté. Ce premier plan des variables représente moins de la moitié de la variance totale.

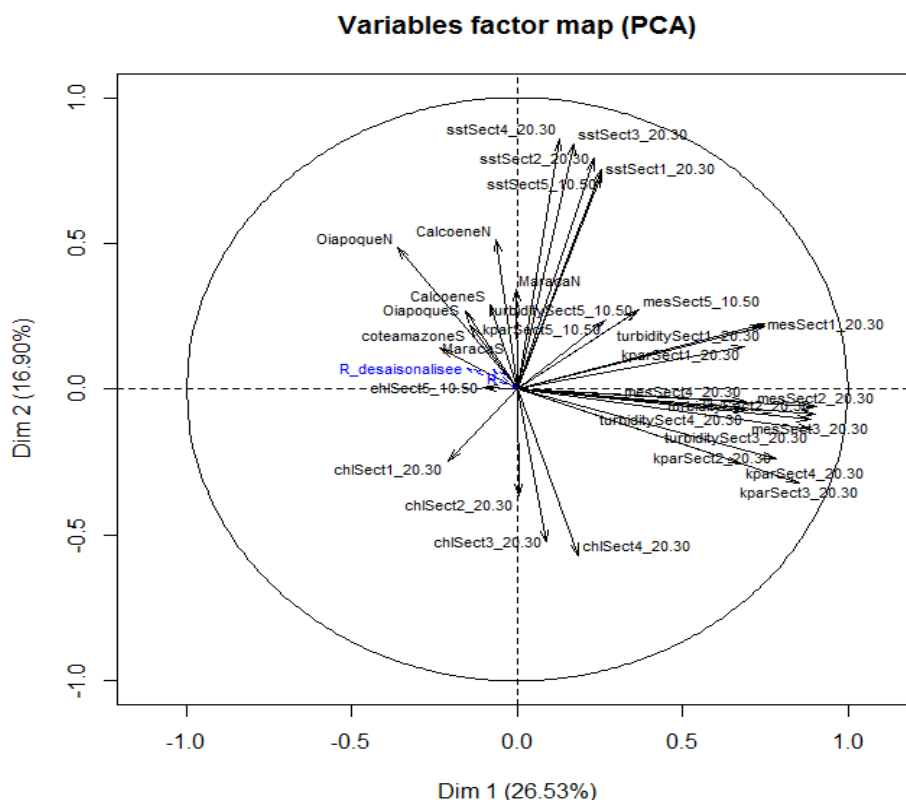


Figure 11. Cercle des corrélations entre variables dans le plan défini par les axes factoriels 1 et 2 (43.43% de la variance expliquée)

4.2. Tendance des séries

Toutes les séries de variables environnementales ne montrent pas de tendance significative, mais on a pu identifier quelques unes dans certaines variables environnementales.

La série de température moyenne de surface (SST) montre une tendance à la hausse, elle a augmenté d'environ 0.7°C depuis 1986 (Figure 12). Toutefois, l'observation visuelle indique que l'augmentation des SST n'est pas linéaire. En effet, une augmentation assez nette est observée après 1998.

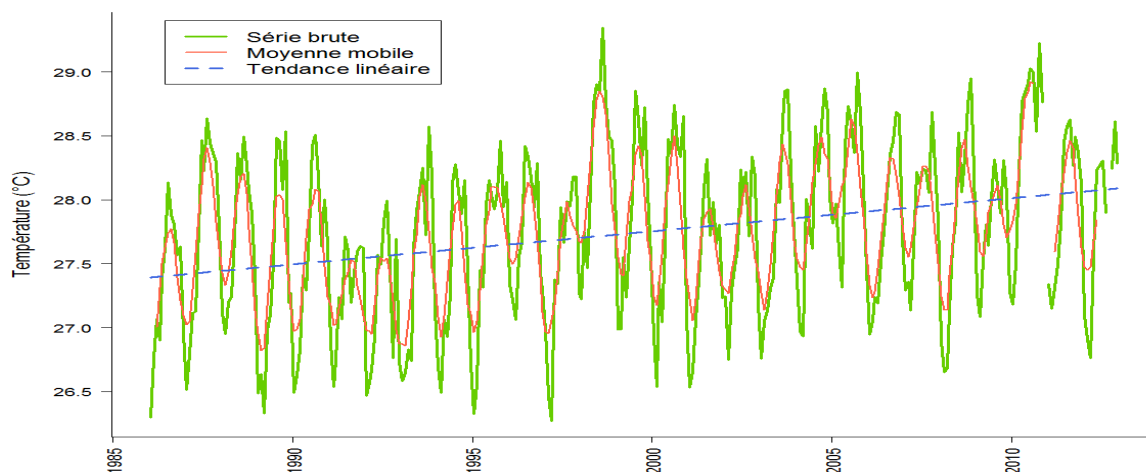


Figure 12. Température de surface moyenne au niveau du Secteur 1 à la strate 20-30 (en vert), moyenne mobile (en rouge) et la tendance linéaire (en tirets) entre 1986 et 2012.

La série de chlorophylle a présente une tendance à la diminution mais celle-ci est plus marquée à la côte du Brésil donc au niveau du secteur 5 (figure 13). Le encore, la tendance ne semble pas vraiment linéaire, avec une diminution observable plutôt à partir de 2007-2008.

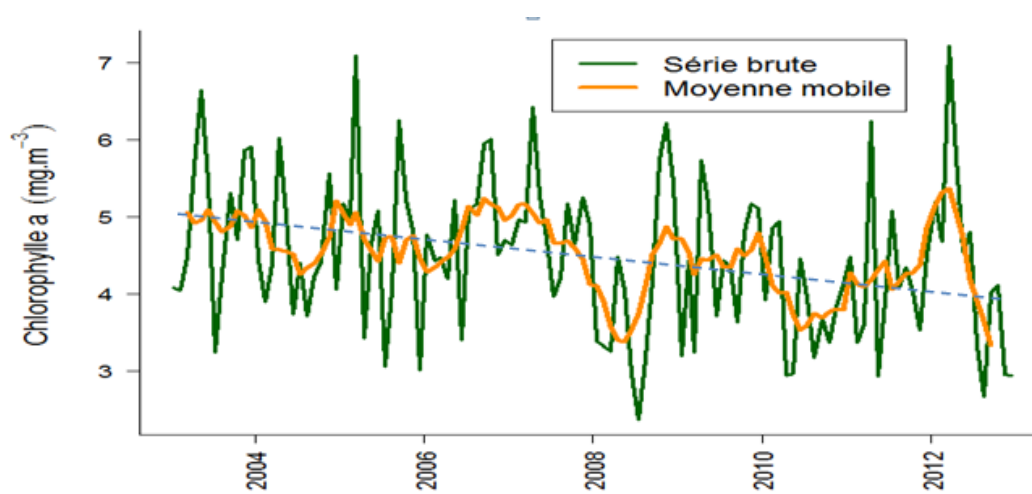


Figure 13. Evolution de la concentration en chlorophylle a au niveau du Secteur 5 à la strate 10-50 (en vert), moyenne mobile (en orange) et tendance linéaire (en tirets) entre 2003 et 2012.

Les données de courant selon la projection côte-large au niveau de Maraca Nord (figure 14) et selon la projection Sud Est-Nord Ouest (zone de ponte- zone de nourricerie) au niveau de Maraca Nord, Oiapoque Nord et Oiapoque Sud (figure 15) montrent une tendance à l'augmentation aussi. De même que pour la chlorophylle, la tendance ne semble pas vraiment linéaire, avec une augmentation observable plutôt à partir de 2007-2008.

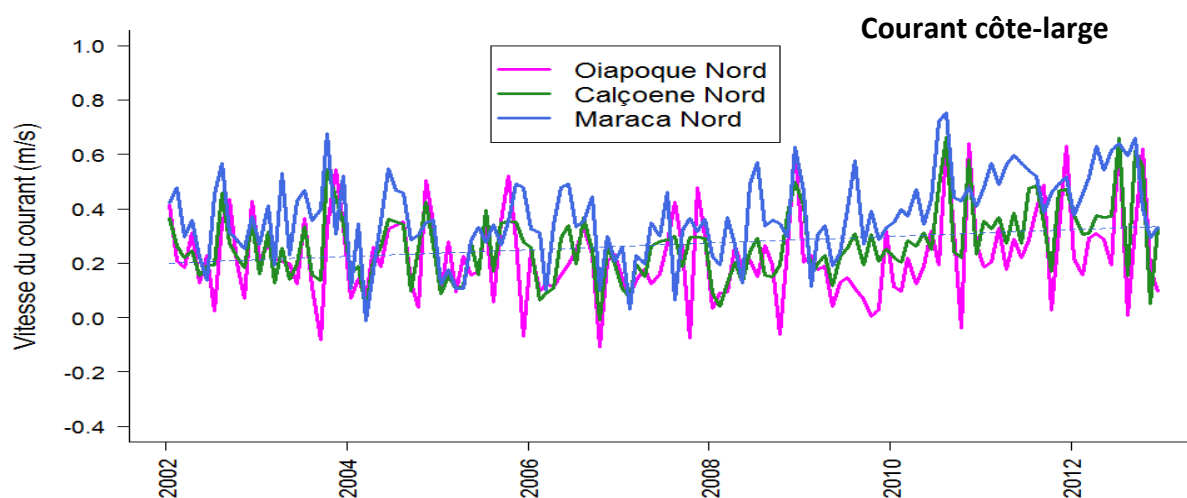


Figure 14. Evolution des courants au niveau des zones du large du Brésil selon la projection côte-large entre 2002 et 2013. Les tendances linéaires sont figurées uniquement dans les zones où elles apparaissent statistiquement significatives, test F de Student, $p < 0.05$, (en tirets).

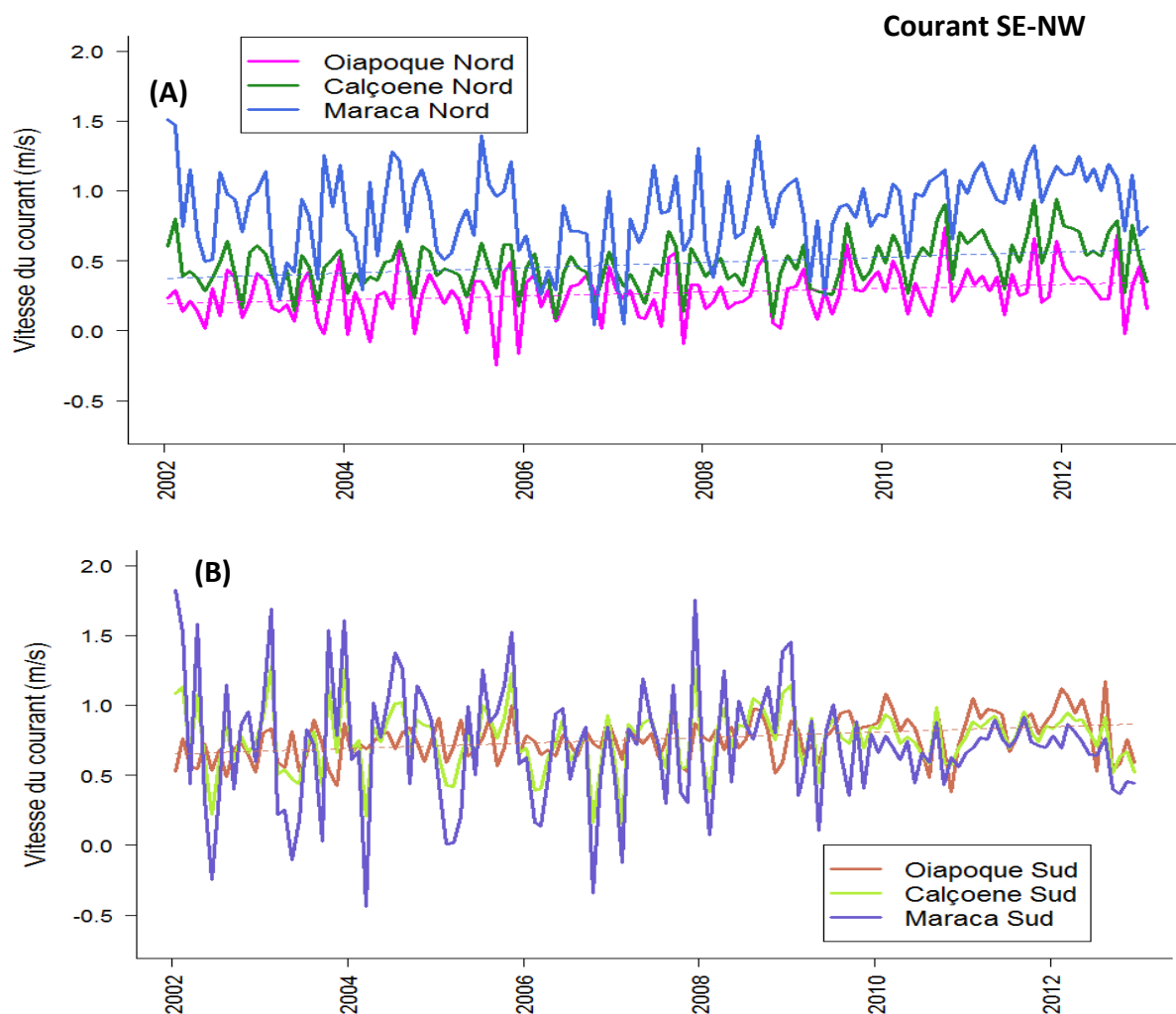


Figure 15. Evolution des courants au niveau des zones du large du Brésil (A) et près des côtes (B) selon la projection Sud Est-Nord Ouest entre 2002 et 2013. Les tendances linéaires sont figurées uniquement dans les zones où elles apparaissent statistiquement significatives, test F de Student, $p < 0.05$ (en tirets).

4.3. Corrélations linéaires

Certaines corrélations apparaissent entre la série de recrutement désaisonnalisée et les données environnementales désaisonnalisées avec un décalage de 2 mois de pour les variables suivantes :

- la SST
- la chlorophylle a
- les courants

Des corrélations négatives significatives apparaissent entre les données mensuelles de recrutement et les séries de SST désaisonnalisées au niveau de toutes les zones, avec des p.value inférieures à 0.05. La significativité est à chaque fois plus élevée de la côte vers le large (Tableau1). Plus la température augmente et moins il y a de recrues. Toutefois, la relation entre la température de surface et le recrutement n'existe que lorsqu'on utilise la série de données allant de 1989 à 2012. L'effet de la température n'est plus significatif quand on considère seulement les années disponibles pour les autres variables. De plus, l'observation visuelle (figure 16), confirme bien la faiblesse de la variance expliquée par cette corrélation. Ainsi quand on simule les valeurs du recrutement à partir du modèle de relation linéaire obtenue entre le recrutement et les SST, la chute du recrutement survenant après 2007 n'est pas reproduite (figure 17). La tendance de la SST ne suffit donc pas pour expliquer à elle seule la chute du recrutement. Il est tout de même intéressant de noter que la première chute du recrutement intervient en 1999 (figure 5), quelques mois après une nette première augmentation de la SST.

Une relation positive apparaît entre les données mensuelles de recrutement et celles de la chlorophylle a au niveau de la côte du Brésil (secteur 5, strate 0-10 et 10-50 m). On observe que plus la concentration en chlorophylle a baisse, moins y aura de recrues en Guyane (figure 18). Toutefois, la baisse de chlorophylle intervient à partir de 2008, correspondant à la seconde forte chute de recrutement. L'observation visuelle de la dispersion des points confirme la faible variance expliquée par le modèle.

Il existe une relation significative (test Chi 2 avec p.value < 0.05) entre les courants et le recrutement au niveau des zones de Calçoene Nord (p.value=0.000106), Oiapoque Nord (p.value= 0.0191) et Sud (p.value= $1.15 \times 10^{-0.5}$) selon la projection SE-NW (figure 19). Mais aussi au niveau des zones de Maraca Nord (p.value=0.00158) et Calçoene Nord (p.value=0.0103) selon la projection des courants de la côte vers le large (figure 20). Ces corrélations sont négatives, ce qui veut dire que plus le courant est fort au niveau de ces zones, plus le recrutement sera faible. Toutefois, même si l'observation visuelle indique une relation, avec une variance expliquée par ce modèle linéaire (jusqu'à 13%) supérieure à celle expliquée par les autres modèles ajustés avec les variables SST et chlorophylle (moins de 6%), la variance expliquée reste faible. De plus, là encore, la réelle augmentation des courants visible graphiquement intervient à partir de 2008, correspondant à la seconde forte chute du recrutement.

Tableau 1 : Résultats statistiques (p.value du test Chi 2) des corrélations entre le recrutement mensuel et les différentes variables environnementales.

Secteurs/Variables	SST	Chloro	MES	Turbidité	Kpar	Courant SE-NW	Courant cote large
Sect1_0.20	0.0083	0.159513	0.9782	0.8759	0.8956		
Sect1_20.30	0.0038	0.198640	0.8237	0.7494	0.7985		
Sect1_30.40	0.0027	0.362330	0.9092	0.9679	0.8999		
Sect1_40.50	0.001	0.326173	0.7262	0.6619	0.7234		
Sect1_.50	4.17e-06	0.307171	0.3213	0.3184	0.3021		
Sect2_0.20	0.001900	0.078039	0.9041	0.8537	0.7894		
Sect2_30.40	0.000715	0.769380	0.5944	0.6230	0.6123		
Sect2_20.30	0.001102	0.305651	0.5769	0.6315	0.5899		
Sect2_40.50	0.000270	0.658393	0.6793	0.7348	0.7254		
Sect2_.50	7.16e-07	0.799451	0.4798	0.4980	0.4263		
Sect3_0.20	0.000460	0.290742	0.2278	0.2441	0.2871		
Sect3_20.30	0.000226	0.383385	0.0777	0.0882	0.0799		
Sect3_30.40	0.000133	0.678035	0.4202	0.4451	0.3892		
Sect3_40.50	5.66e-05	0.515670	0.7581	0.7280	0.8652		
Sect3_.50	1.07e-06	0.789003	0.6970	0.7231	0.7825		
Sect4_0.20	0.000943	0.959201	0.8208	0.8098	0.8999		
Sect4_20.30	0.000366	0.536988	0.1285	0.1247	0.0999		
Sect4_30.40	9.69e-05	0.955378	0.3373	0.3437	0.3982		
Sect4_40.50	2.36e-05	0.442378	0.8213	0.7722	0.7896		
Sect4_.50	2.25e-06	0.278846	0.7780	0.9051	0.6594		
Sect5_0.10	0.0006	0.004833	0.3223	0.9051	0.1458		
Sect5_10.50	4.73e-05	0.011852	0.9693	0.9051	0.8929		
Sect5_.50	1.13e-06	0.107073	0.4694	0.9051	0.3261		
Calçoene Nord						0.00106	0.0103
Calçoene Sud						0.39054	0.8946
Oiapoque Nord						0.0191	0.0015
Oiapoque Sud						1.15e-05	0.9972
Maraca Nord						0.0853	0.8110
Maraca Sud						0.5661	0.0761
Amazone Sud						0.174	0.83

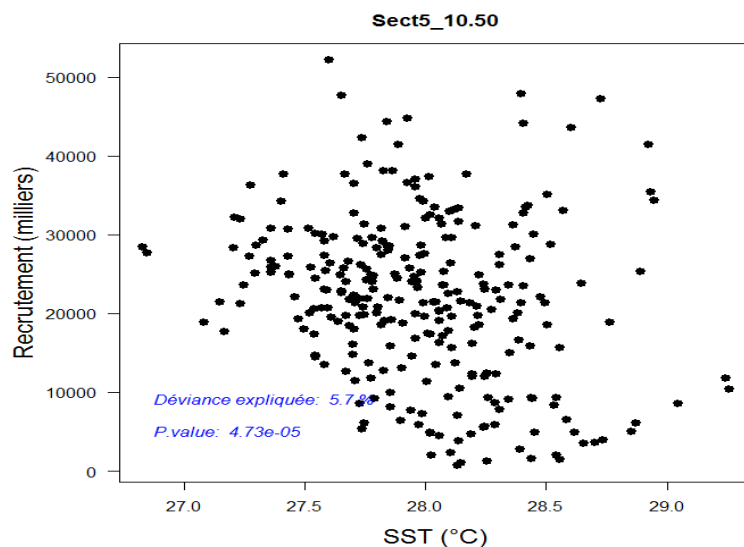


Figure 16. Relation entre la SST et le recrutement dans le secteur 5 et dans la strate 10-50 m. Les statistiques indiquées en bleu correspondent à la régression linéaire entre le recrutement et la SST.

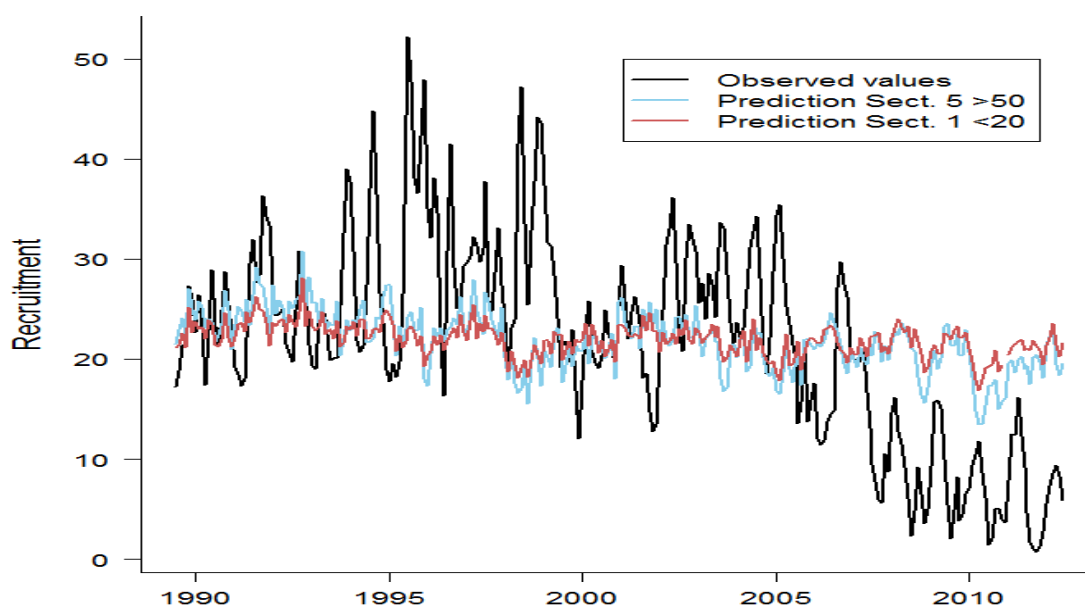


Figure 17. Valeurs observées et prédites du recrutement en fonction de la température de surface.

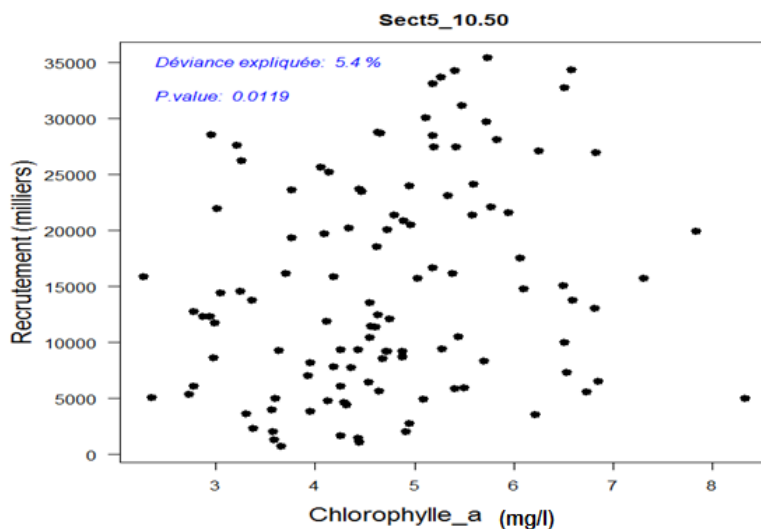


Figure 18. Relation entre la chlorophylle et le recrutement au secteur 5 et à la strate 10-50 m. Les statistiques indiquées en bleu correspondent à la régression linéaire entre le recrutement et la chlorophylle a.

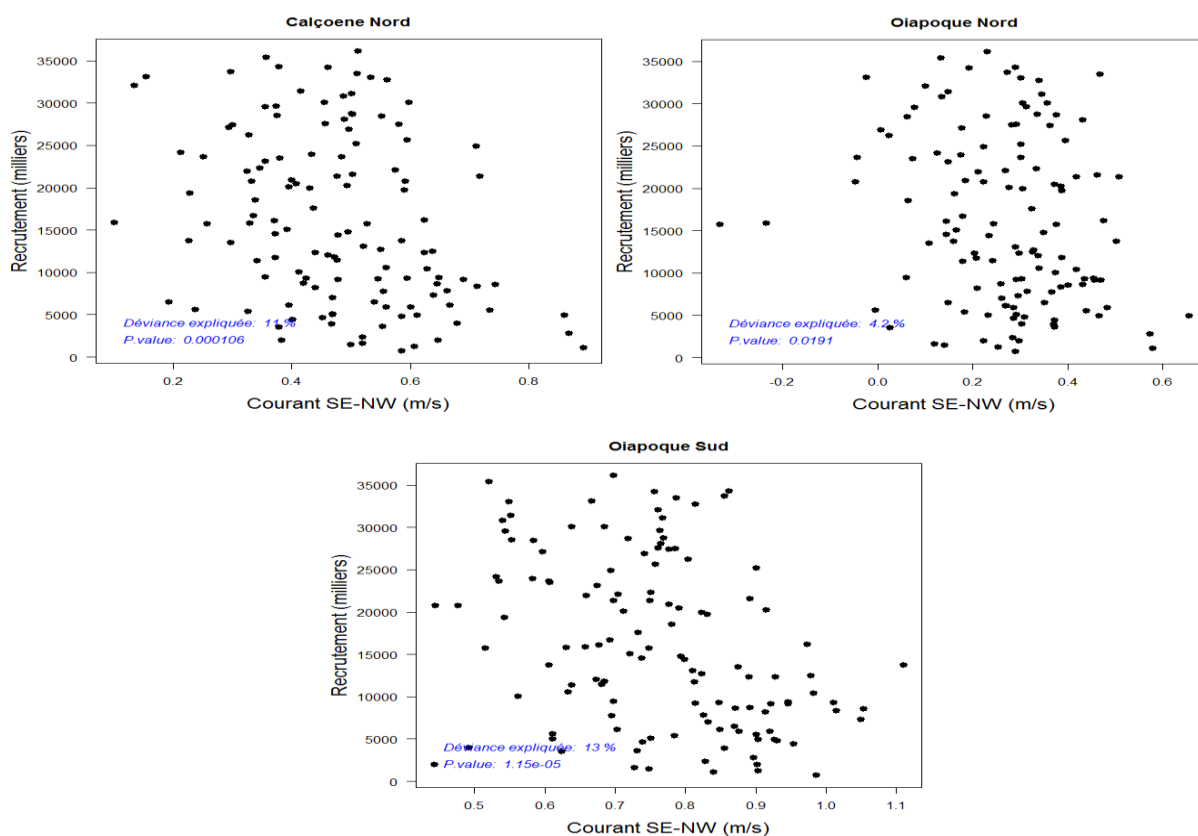


Figure 19. Relation entre la composante SE-NW des courants moyens par zone et le recrutement à différentes zones.

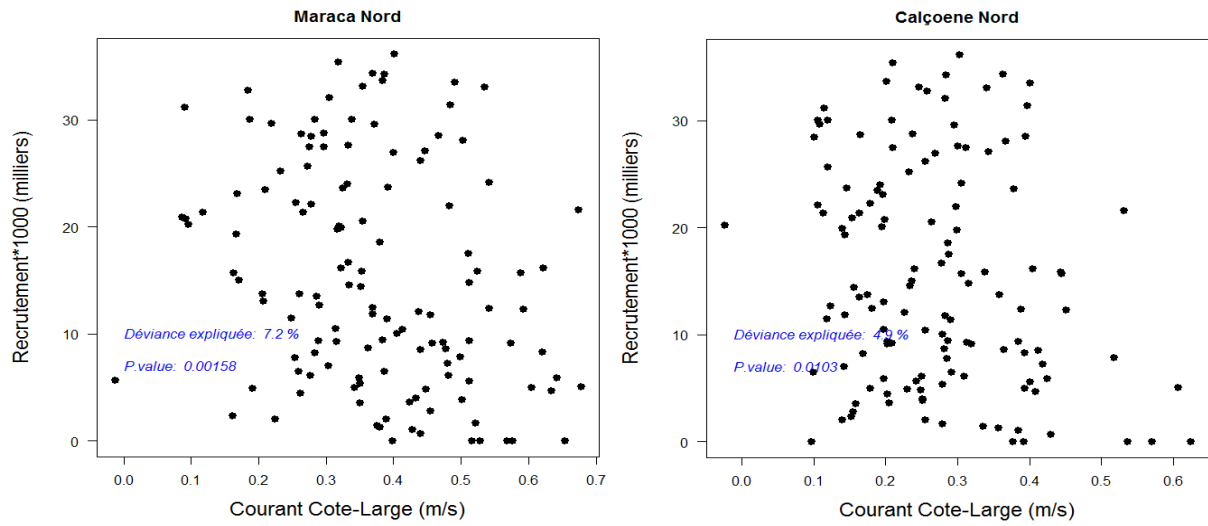


Figure 20. Relation entre la composante côte-large des courants moyens par zone et le recrutement.

5. DISCUSSION - CONCLUSION

Dans cette étude nous avons essayé de mettre en relation les données environnementales dont nous disposons (SST, MES, Kpar, turbidité, chlorophylle a et courants de surface) avec la série mensuelle de recrutement de la crevette *F. subtilis* à 2 mois. La chute du recrutement est bien significative, avec une première intervenant en 1999, et une seconde après 2007. Certaines variables environnementales montrent aussi une évolution sur la période considérée. La température de surface de l'eau (SST) montre une augmentation moyenne de 0.7°C depuis 1986, mais surtout visible à partir de 1998-1999, la chlorophylle a montre une tendance à la diminution mais celle-ci est plus prononcée vers la côte brésilienne et à partir de 2008. Enfin, on observe aussi une augmentation des vitesses de courant au niveau des différentes zones Maraca Nord et Oiapoque Nord et Sud selon la projection zone de ponte-zone de nourricerie (SE-NW) et au niveau de Maraca N selon la projection côte-large surtout visible aussi après 2007-2008.

Des corrélations significatives ont pu être mises en évidence entre le recrutement mensuel et la température de surface de l'eau au niveau de toutes les zones d'étude (du secteur 1 au secteur 5). On observe une relation négative entre ces deux variables. Les gradients de significativité sont à chaque fois croissant de la côte vers le large : faut-il y voir une influence plus forte des SST sur la mortalité des larves au large et donc au début de leur migration depuis le large vers la côte ? En effet, l'augmentation moyenne de la température de la surface de l'eau pourrait influencer la croissance des crevettes et surtout impacter les taux de mortalité de celles-ci (Caverivière *et al.*, 2008). Toutefois, si la première chute de recrutement en 1999-2000 intervient après une forte augmentation de SST, les autres chutes de recrutement postérieures à 2007 ne correspondent pas à des augmentations de la SST.

Les données de concentration en chlorophylle a près de la côte du Brésil (secteur 5, strates 0-10 et 10-50) sont positivement corrélées avec la série de recrutement de crevettes. Plus la concentration en chlorophylle a diminue moins y a de recrues. La baisse de la concentration en chlorophylle a qui est corrélée à la baisse du recrutement peut avoir une influence sur la croissance des recrues (Fuentes *et al.*, 2006). La seconde forte chute du recrutement (post 2007) correspondrait à la période de diminution des pics de chlorophylle a.

Les données de courant selon la projection zone de ponte (au niveau du Brésil) vers les zones de nurseries en Guyane sont négativement corrélées avec la série de recrutement au niveau des zones Calçoene Nord et Oiapoque Nord et Sud, et au niveau des zones Calçoene Nord et Maraca Nord selon la projection côte-large. L'interprétation serait que le renforcement des composantes côte/large et sud-est/nord-ouest des courants de surface ne permettrait plus aux larves d'arriver sur les zones de nurseries à temps, c'est-à-dire au moment du début de leur alimentation active induisant une mortalité plus forte. Toutefois, le phénomène ne serait pas linéaire, la seconde forte chute du recrutement (post 2007) correspondrait à la période d'augmentation des courants. Une autre approche serait possible pour appuyer cette hypothèse, par simulation de la dérive des œufs et larves selon les courants en modélisant la diffusion de particules selon les vecteurs de courants.

Le modèle qui met en relation le recrutement avec les variables environnementales est linéaire, alors qu'il semble que la chute du recrutement et les changements des facteurs environnementaux ne le soient pas. Il pourrait s'agir de changements de régimes, d'existence d'effets de seuil, nécessitant de tester d'autres types de modèles non linéaires. Par ailleurs, le déterminisme du recrutement

semblerait multi-factoriel, ce qui n'est pas rare pour les espèces à courte durée de vie et recrutement hautement variable. Il faudrait ainsi tester des modèles à plusieurs variables.

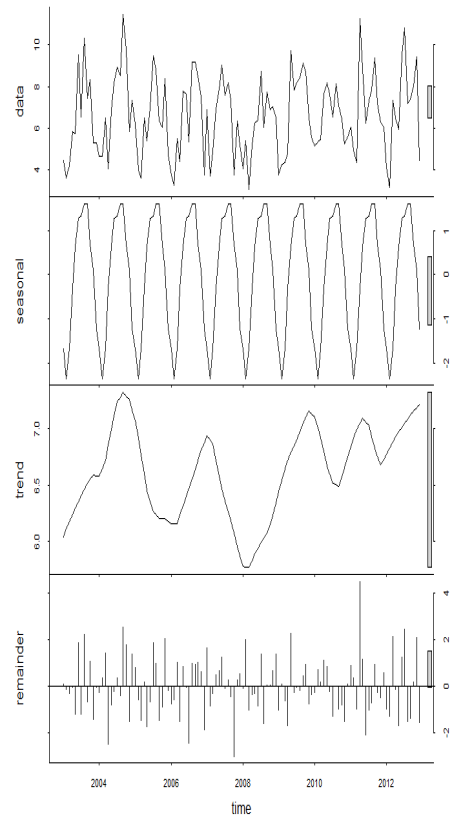
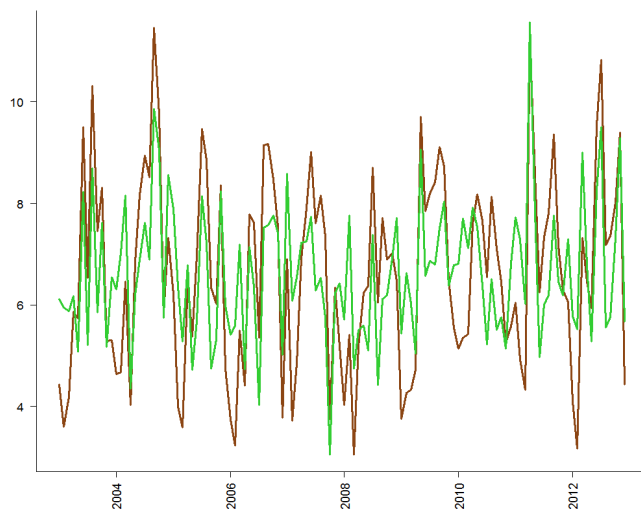
Enfin, en conclusion, il est possible de dire que le recrutement a montré une première forte chute en 1999, avec un déclin plus marqué à partir de 2007. En parallèle, des facteurs environnementaux montrent des changements : augmentation des températures de surface en 1998, baisse de la chlorophylle à partir de 2007 et augmentation des courants de surface à partir de 2007. Si des interprétations écologiques permettent de traduire les relations statistiques en relation de causalité, il reste que la variance expliquée est faible. De plus, hormis la température de surface, les changements des facteurs environnementaux sont intervenus relativement récemment. Il est donc difficile à ce stade d'affirmer i) que les changements de chlorophylle et courants sont bien liés au contexte du changement climatique et non à des cycles, et ii) que les corrélations expliquent la chute du recrutement. Il n'est ainsi pas possible de dire si le recrutement risque de rester à de bas niveaux ne permettant ainsi pas au stock de se reconstituer ou au contraire s'il existe une probabilité de reprise du recrutement et de reconstitution du stock.

6. Bibliographie

- Allison, I., Bindoff, N.L., Bindoff, R.A., Bindshadler, R.A., Cox P.M., de Noblet, N., England, M.H., 2009. « The Copenhagen Diagnosis, 2009: Updating the world on the Latest Climate Science ». The University of New South Wales Climate Change Research Centre (CCRC), Sydney, Australia, 60 pp.
- Caverivière, A., Chaboud, C., Rafalimanana, T., 2008. Les crevettes côtières de Madagascar - Biologie, exploitation, gestion. IRD Edition, Marseille.
- Chaboud, C., Vendeville, P., 2011. Evaluation of selectivity and bycatch mitigation measures using bioeconomic modelling. The cases of Madagascar and French Guiana shrimp fisheries. *Aquatic Living Resources*, 24, 137-148.
- Charuau, A., Rosé, J., Achoun, J., 2000. Évaluation du stock de crevettes *Penæus subtilis* du plateau continental de Guyane Française sous de nouvelles contraintes. Influence des fermetures spatiales et saisonnières. In: Rapport final de convention DG XIV/C/2: study project 97/0031. Ifremer Laboratoire Ressources Halieutiques de Guyane, 69 pp.
- Fayet, H., 2007. Modélisation bioéconomique de la pêche crevette de Guyane française. Université de Montpellier-IRD, 69 pp.
- Froidefond, J.M., Pujos, M., Andre, X., 1988. Migration of mud banks and changing coastline in French Guiana. *Marine Geology* 84 (1-2) (octobre): 19-30.
- Fuentes, C., Koeller, P., Sathyendranath, S., Platt, T., 2006. Liens entre la floraison printanière du phytoplancton et la croissance de la crevette nordique *Pandalus borealis* : une première approche par télédétection spatiale. *AZMP Bulletin PMZA. Pêches et Océans Canada Sciences* No.5.
- Furtado-Ogawa, E., Ferreira de Menezes, M., 1972. Alimentação do pargo *Lutjanus purpureus* Poey, no nordeste brasileiro. *Arquivos de Ciências do Mar* 12(2): 105-108.
- Lampert, L., 2011a. Etude de la crise de la pêche de la crevette en Guyane. Volume 1 : Effets de la pêche-hypothèses des causes. Ifremer Laboratoire Ressources Halieutiques de Guyane.
- Lampert, L., 2011b. Mode d'emploi du script « R » pour le calcul par VPA du nombre de recrues de crevettes et de leur biomasse. Ifremer Laboratoire Ressources Halieutiques de Guyane.
- Lampert, L., 2013. Etude de la crise de la pêche de la crevette en Guyane. Volume 2 : Etude portant sur l'effet du changement climatique et/ou du réseau trophique sur le stock, guyanais de crevettes pénéides. Ifremer Laboratoire Ressources Halieutiques de Guyane.
- Moguedet, P., 1993. Diagnostic sur l'état des ressources de crevettes pénéides exploitées dans la ZEE de la Guyane française. In: (ed. Ifremer). Ifremer Cayenne, France, 32 pp.
- Vendeville, P., Lhomme, F., 1997. Le cycle vital et le recrutement de la crevette *Penæus subtilis* en Guyane. In: Rapport final de convention. ORSTOM, 282pp.
- Vendeville, P., Rosé, J., Viera, A., 2008. Durabilité des activités Halieutiques et maintien de la biodiversité en Guyane. In: Rapport final de Convention CPER- DocUP 2000- 2006. Ifremer Laboratoire Ressources Halieutiques de Guyane, 318 pp.

Annexe

Décomposition du signal



Annexe 1. Exemple de désaisonnalisation (turbidité entre 2003 et 2012) par décomposition des signaux de variations