
**Rapport intermédiaire du Marché DPMA 2012-021 :
Etude portant sur l'effet du changement climatique
et/ou du réseau trophique sur le stock guyanais de
crevettes péneïdes**

**Etude de la crise de la pêche de la
crevette en Guyane**



Crevettes de la pêche guyanaise

SOMMAIRE

Introduction.....	3
Partie 1 : Données environnementales	
CHAPITRE 1. VENTS.....	6
1.1. Hypothèses de travail	6
1.2. Ile Royale	7
1.3. Rochambeau	9
1.4. Kourou.....	14
1.5. Evolution des jours avec vent calme	16
1.6. A-t-il une évolution temporelle dans les vitesses des vents des trois stations Météo-France ?	16
1.7. Existe-t-il des différences dans l'évolution des vents par tranche de vitesse ?	17
1.8. Quel site est plus représentatif des vents de mer ?	17
1.9. Conclusions sur les vents.....	18
1.10. Indicateur des vents.....	19
CHAPITRE 2. LA HOULE	20
2.1. Récurrence des directions de la houle	20
2.2. Hauteur de la houle.....	22
2.3. Période de la houle	24
2.4. Indicateur de la houle	24
CHAPITRE 3. PRECIPITATIONS.....	25
3.1. Indicateur de pluviométrie.....	27
CHAPITRE 4. DEBIT DES FLEUVES	28
4.1. Fleuves côtiers.....	28
4.2. Fleuve composite « Guyane »	28
4.3. Fleuve Amazone.....	31
4.4. Indicateur des fleuves.....	31
CHAPITRE 5. PHENOMENES CLIMATIQUES A GRANDE ECHELLE	32
5.1. Indice SOI	34
5.2. Indice NAO.....	34
5.3. Température de surface de la mer (SST)	35
5.4. Indicateurs des changements climatiques.....	36
Partie 2 : Traitement des données	
CHAPITRE 6. SERIES TEMPORELLES DES RECRUTEMENTS.....	38
6.1. Analyse de la série complète	38
6.2. Découpage en deux séries	39
CHAPITRE 7. Données environnementales.....	42
7.1. Régressions sur données mensuelles	43
7.2. Décalages temporels des effets environnementaux.....	45
7.3. Régressions sur des données annuelles	47
7.4. Analyses en composantes principales (ACP)	48
CHAPITRE 8. DISCUSSION - CONCLUSION.....	51
Bibliographie	52

INTRODUCTION

Ce travail fait suite à la publication du premier volume « Etude de la crise de la pêche de la crevette en Guyane » (Lampert, 2011). Dans ce premier volume nous avons répondu à la première question qui se posait : « la crise de la crevette est-elle due à la pêche elle-même ? ». Nous avons pu répondre par la négative, laissant la porte ouverte à des hypothèses environnementales et trophiques.

Facteurs environnementaux

La piste des facteurs environnementaux est liée aux changements climatiques, pérennes ou cycliques. L'augmentation de la température de surface de la mer, les changements dans le régime des vents, de la houle et la salinité, la relation qu'il peut y avoir entre le recrutement et les précipitations locales, les débits des fleuves guyanais ou de l'Amazonie. Sans oublier les indicateurs climatiques à grande échelle tels que la Southern Oscillation Index (SOI) et la Northern Oscillation Index (NOI) (Santamaria-del-Ángel et al. 2011 ; Aragon-Noriega et Alcántara-Razo 2005 ; Parsons et Lear 2001 ; Serge Garcia et Le Reste 1981 ; S. Garcia 1988 ; Saoud et Davis 2003 ; Rivierre 2007 ; Leal-Gaxiola et al. 2001 ; Li et Clarke 2005 ; Lee 2004 ; Ouellet, Savard, et Larouche 2007).

Facteurs trophiques

La crevette étant l'une des proies préférées des poissons de Guyane, nous avons avancé dans le premier volume l'hypothèse d'un impact trophique suite à la pression de la pêche au vivaneau. De l'autre côté du réseau trophique, il reste à explorer la piste des changements dans l'abondance phytoplanctonique, qui constitue l'essentiel de l'alimentation des larves de crevette. Un changement significatif dans leur source de nourriture pourrait avoir des conséquences dans leur recrutement. Il en va de même pour l'évolution de la mangrove en biomasse, qui fournit matière organique et refuge pour les larves (Anderson 2000 ; Fuentes-Yaco et al. 2007 ; D. G. Parsons et Colburne 2000 ; Santamaria-Miranda et al. 2005).

Les données collectées sont présentées dans la première partie de ce document avec une étude de chaque paramètre et le choix du meilleur indicateur. Dans la deuxième partie nous abordons un premier traitement de ces données afin d'évaluer leur pertinence dans les relations qui peuvent exister avec les valeurs des recrutements de crevettes. Une étude plus exhaustive sera menée dans un prochain volume où seront ajoutés des paramètres tels que les concentrations en chlorophylle, en matières en suspension ou des matières organiques dissoutes.

Ce deuxième volume est réalisé dans le cadre du marché ouvert par la Direction des Pêches Maritimes et de l'Agriculture (DPMA) « Marché DPMA 2012-021 », intitulé : Etude portant sur l'effet du changement climatique et/ou du réseau trophique sur le stock guyanais des crevettes péneïdes. Il constitue le rapport intermédiaire du marché.

Dans le troisième volume pourra être abordé l'étude liée au réseau trophique par les analyses des contenus stomacaux des vivaneaux, par les séries de données de biomasse phytoplanctonique (images satellite) et de son paramètre « chlorophylle » et par l'évolution temporelle de la biomasse de la mangrove.

La piste de la dérive des œufs et larves de crevettes depuis les côtes brésiliennes pourra également être explorée si le modèle de courants de surface venait à être opérationnel en 2013. Il permettrait d'avoir des cartes de courants et vitesses de surface permettant de valider l'hypothèse émise dans le volume 1.

PARTIE 1

**DONNEES
ENVIRONNEMENTALES**

CHAPITRE 1 : VENTS

Les données météorologiques ont été collectées par Météo France Guyane. Une convention a été établie afin d'avoir une plus grande souplesse dans l'obtention des données de la base « Climathèque », consultable par Internet. Le travail sur des fichiers tri-horaires complique le traitement des données du fait de la forte quantité de données disponibles. Un fichier de vents sur la période 1995-2007, présente environ 40 000 lignes, qui, avec un découpage par secteur en 30°, génère 12 secteurs (figure 1.1), engendrant ainsi environ 1 000 000 de données à traiter par site. Ceci a été réalisé avec des scripts sous le logiciel gratuit « R » afin d'agrèger les données et permettre de les traiter plus facilement.

Quelques travaux préliminaires, réalisés dans le laboratoire BIODIVHAL de l'Ifremer en Guyane, ont montré une corrélation entre les vents et les recrutements de crevette. Nous allons donc approfondir cette piste d'étude avec les vents des sites de Rochambeau et de l'île Royale.

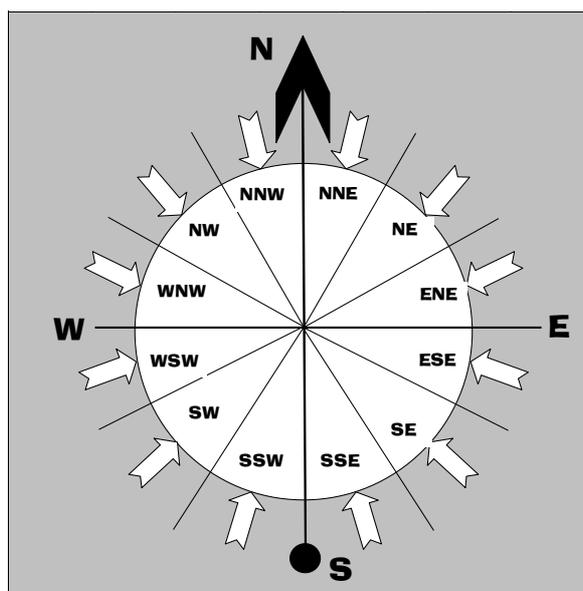


Figure 1.1 : Rose des vents avec découpage des secteurs par tranche de 30°

1.1. Hypothèses de travail

Un changement dans la force et direction des vents pourrait avoir des conséquences sur l'arrivée des larves de crevettes aux nourriceries littorales. Il faudra donc découper les séries des vents tri-horaires par direction et par tranche de vitesses, et mettre en évidence les changements qui ont pu être opérés lors des dernières années.

Une autre hypothèse intéressante est l'effet de l'augmentation de la température moyenne de l'eau de mer à cause du réchauffement climatique. Si la température augmente, les effets des brises de terre peuvent être plus forts et empêcher l'arrivée des

larves sur la côte. Nous devons alors vérifier cette hypothèse avec les données de l'île Royale, éloignée de 14 km des côtes.

1.2. Ile Royale

Fréquences :

Nous appelons ici fréquence, le nombre de fois qu'un vent a soufflé d'un des secteurs géographiques, en sachant que avec des vents tri-horaires, nous avons 8 mesures par jour et 2920 par an.

Les vents observés à l'île Royale, présentent les secteurs dominants ENE et ESE. Depuis 2003, ceux du secteur NE ont doublé en fréquence, tandis que ceux du secteur ESE ont diminué (figure 1.2).

Les vents de ENE présentent peu de variations. La diminution observée en 1998 correspond à un manque d'échantillonnage et non à un réel changement dans leur fréquence. Les autres secteurs avec des occurrences inférieures à 200/an, présentent une augmentation des fréquences des secteurs SSE et SW.

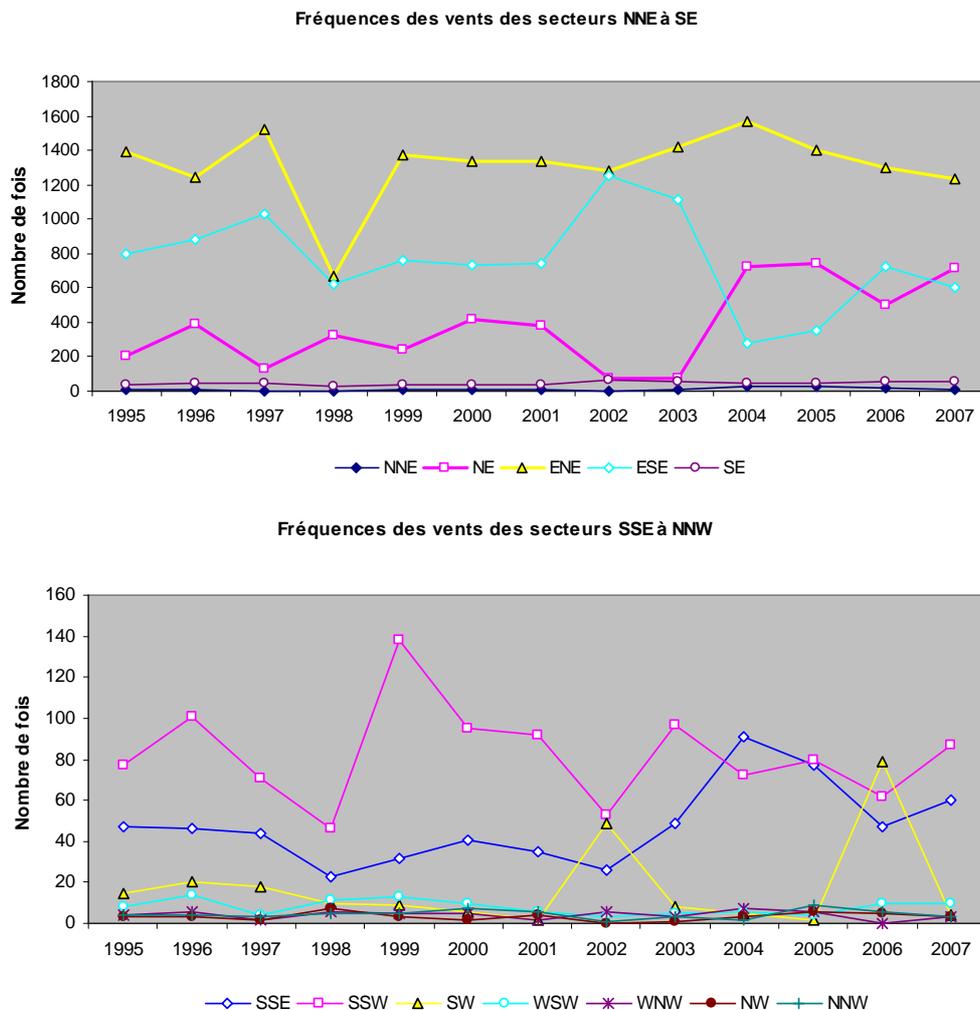


Figure 1.2 : Evolution de la fréquence des vents à l'île Royale par secteur et par année, entre 1995 et 2007

Vitesses :

L'évolution temporelle des vitesses par secteurs montre une tendance à la diminution de leur intensité (figure 1.3). Ces tendances décroissantes sont significatives pour les secteurs ENE, ESE, SW, WSW, WNW et NW (tableau 1.1).

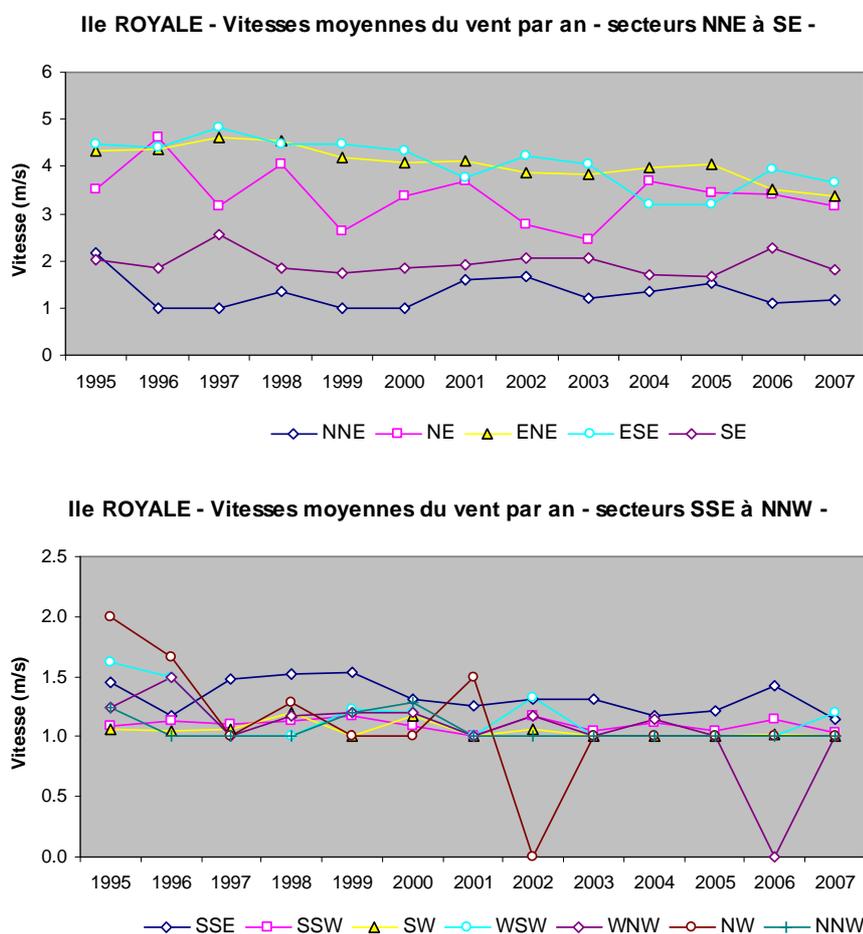


Figure 1.3 : Evolution de la vitesse annuelle moyenne des vents par secteur, entre 1995 et 2007

ILE ROYALE 1995-2007		
Secteur	Fréquence	Vitesse
NNE	↑	---
NE	↑	---
ENE	---	↓
ESE	↓	↓
SE	---	---
SSE	↑	---
SSW	---	---
SW	↑	↓
WSW	---	↓
WNW	---	↓
NW	---	↓
NNW	---	---

Tableau 1.1 : Tendances pluriannuelles significatives (au seuil de 95%) des fréquences et vitesses des vents à l'Ile Royale entre 1995 et 2007

La direction des vents n'est pas régulière dans la journée. A l'Ile Royale, sur la période 1995-2007, nous observons que les vents du secteur dominant ENE suivent une évolution journalière qui les fait passer d'un minimum entre 6h et 9h et un maximum journalier entre 15h et 21h (figure 1.4).

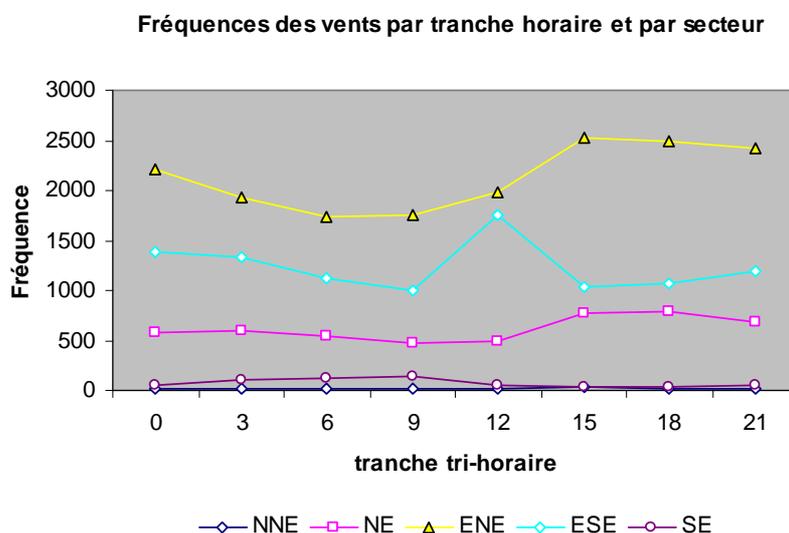


Figure 1.4 : Evolution journalière de la fréquence des vents à l'Ile Royale selon le secteur, entre 1995 et 2007

Les vents d'ESE ont un pic vers midi, ceux de NE augmentent l'après midi et les vents minoritaires de SE, connaissent leur maximum le matin. Il existe donc, une succession journalière dans la distribution des secteurs de vents. Ceci prend son importance au moment de décider de l'étude des vents. Des études récentes (Augustinus 2004; Eisma, Augustinus, et Alexander 1991), menées sur le plateau guyanais, ont utilisé les vents de Kourou et Rochambeau à 500m d'altitude et à 12h, ce qui introduit un biais, car en considérant une tranche horaire, nous n'intégrons pas la variabilité journalière.

1.3. Rochambeau

Fréquences :

A Rochambeau les vents dominants changent quelque peu par rapport à ceux de l'Ile Royale (figure 1.5). Nous observons les plus fortes fréquences pour les secteurs ENE et NE. Les vents de ESE sont moins représentés qu'à l'Ile Royale. Pour les vents dominants, les tendances évolutives sont à la diminution de leur fréquence pour les secteurs ENE et ESE et à l'augmentation pour les vents NE. Pour les vents avec des fréquences inférieures à 200/an, nous observons une tendance positive pour le secteur SW, fortement marquée à partir de 2004 ; une augmentation des fréquences des vents NNE à partir de 2005, puis, une diminution pour le secteur WSW depuis 2000.

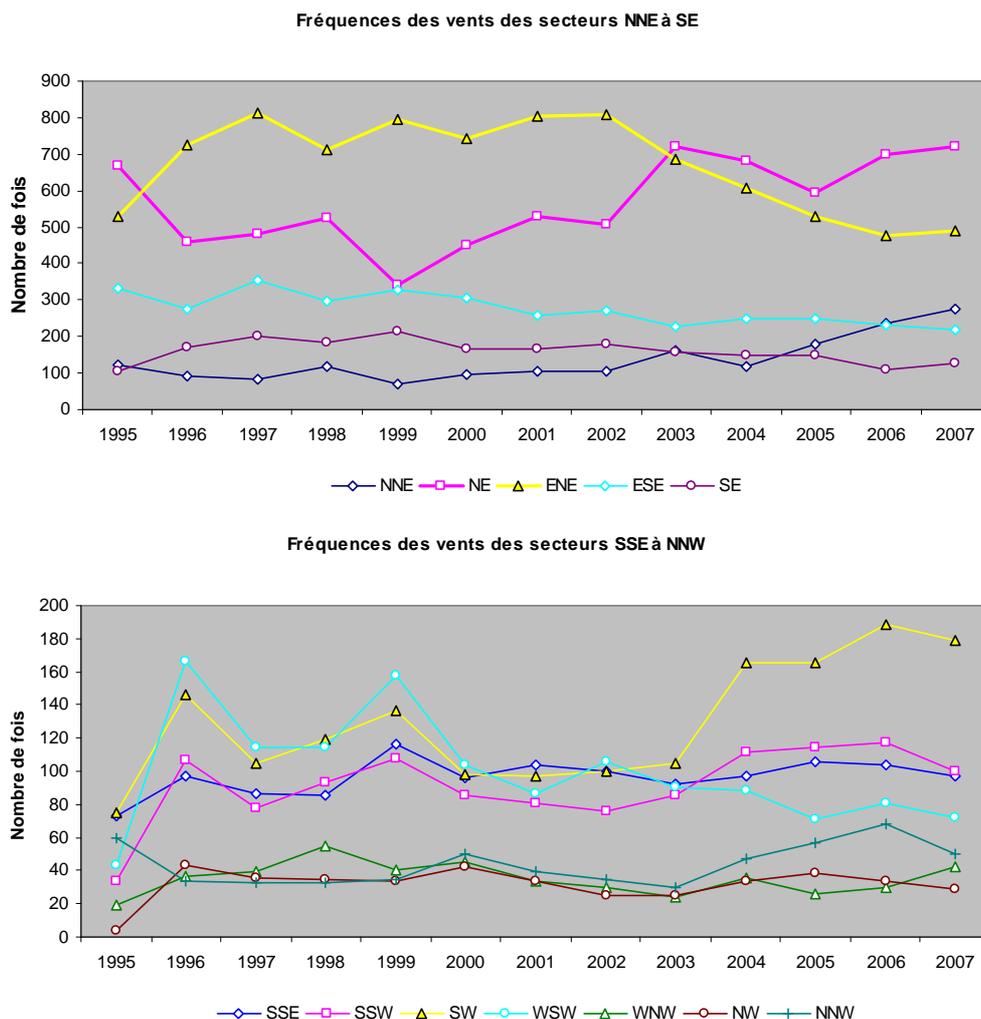


Figure 1.5 : Evolution de la fréquence des vents à Rochambeau par secteur et par année, entre 1995 et 2007

Vitesses :

Les tendances générales sont à la diminution, ou à la stabilité dans le temps. Un seul cas de tendance positive est observé, pour le secteur NNE (figure 1.6). Au tableau 1.2 nous présentons les tendances significatives des fréquences et vitesses pour l'ensemble des secteurs sur la période 1995-2007. Il en ressort la diminution générale des vitesses de vent et l'augmentation des fréquences des vents du sud. Les vents dominants ENE et ESE connaissent une diminution significative de fréquence et de vitesse, tandis que pour les vents de NE, leur fréquence reste stable avec une augmentation des vitesses.

La distribution des fréquences des vents par secteur sur la journée à Rochambeau est similaire à celle déjà observée dans la figure 1.4 pour l'île Royale. La véritable différence est constatée dans les distributions des valeurs de fréquences.

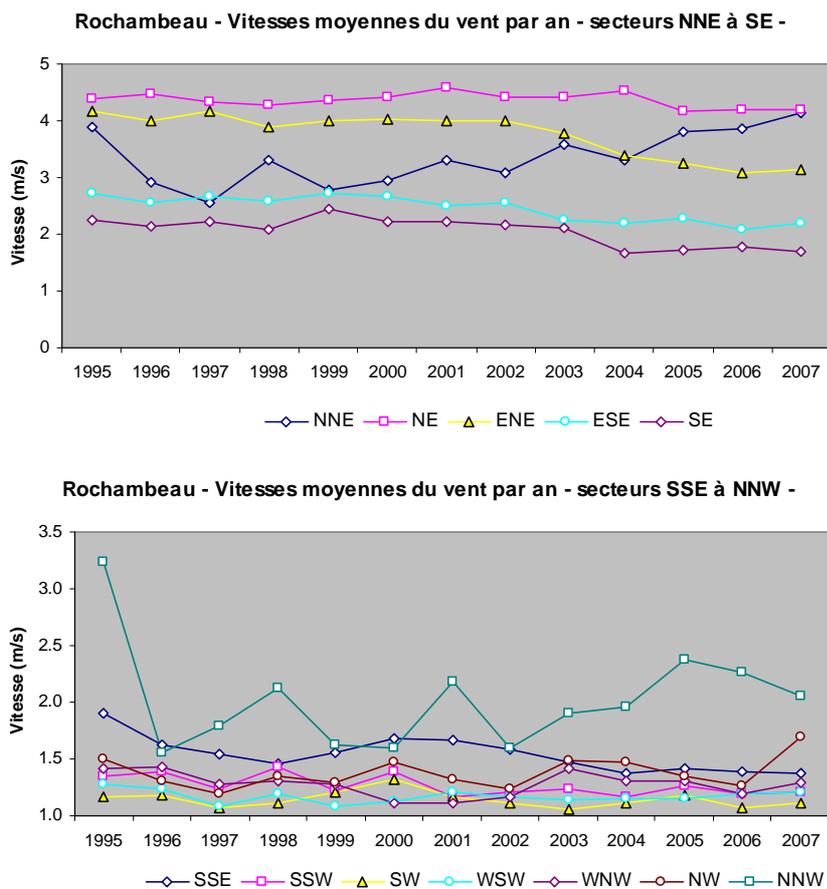


Figure 1.6 : Evolution de la vitesse des vents à Rochambeau par secteur et par année, entre 1995 et 2007

ROCHAMBEAU 1995-2007		
Secteur	Fréquence	Vitesse
NNE	↑	↑
NE	↑	---
ENE	↓	↓
ESE	↓	↓
SE	---	↓
SSE	↑	↓
SSW	↑	↓
SW	↑	---
WSW	---	---
WNW	---	---
NW	---	---
NNW	---	---

Tableau 1.2 : Tendances pluriannuelles significatives (au seuil de 95%) des fréquences et vitesses des vents à Rochambeau entre 1995 et 2007

L'une des questions qui se posent est : les vents de faible intensité, tous secteurs confondus, sont-ils de plus en plus fréquents ?

Pour y répondre, dans la figure 1.7 sont présentés le nombre de fois que les vents ont été enregistrés à Rochambeau par tranche de vitesse. Les faibles vents présentent les plus fortes occurrences et la plus forte variabilité également. En 1995, en même temps que les vents de 0m/s diminuent brutalement en fréquence, les vents de 1m/s augmentent. Ils restent relativement stables par la suite jusqu'en 2003. Dès 2004, les vents de 0 à 2 m/s deviennent plus fréquents et ceux supérieurs à 3m/s diminuent. A partir de 2005-2006 cette tendance se stabilise ou repart pour un nouveau cycle. Les vents de 0 et 1m/s semblent ainsi suivre un cycle de 7 à 8 ans. Il reste à confirmer s'il s'agit d'une tendance longue ou d'un phénomène local.

Evolution des tranches de vitesses de vent

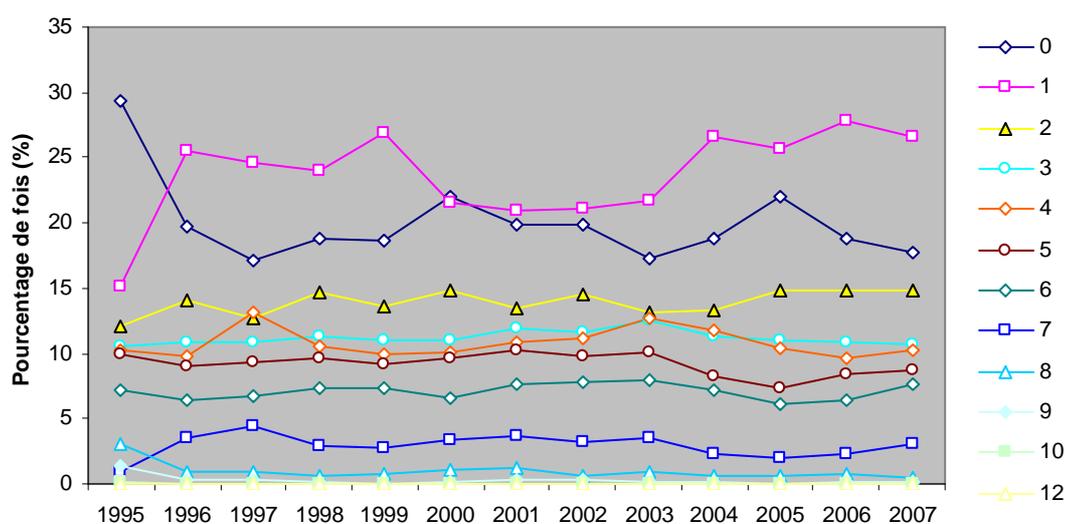


Figure 1.7 : Evolution annuelle de la fréquence des vents à Rochambeau par tranche de vitesse, entre 1995 et 2007

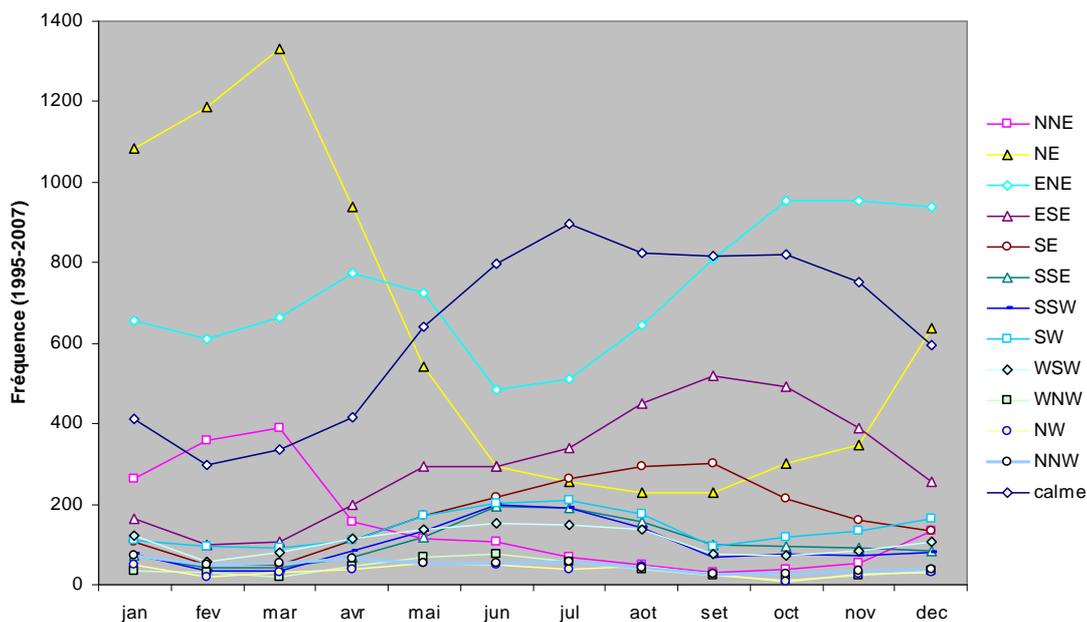
Saisonnalité :

Pour répondre à la question de la saisonnalité dans les fréquences et vitesses des vents par secteur, nous avons produit des tableaux de synthèse sur la période 1995-2007 pour le site de Rochambeau, où nous disposons d'un maximum de données (figure 1.8).

Sur la période 1995-2007 nous observons une saisonnalité dans les fréquences des vents par secteur (figure 1.8 [haut]). Le cas le plus marqué est celui des vents du secteur NE, qui ont soufflé de janvier à mars, plus de 1000 fois entre 1995 et 2007. Puis, leur fréquence diminue fortement d'avril à août, pour remonter à partir de septembre. Cette saisonnalité des fréquences est à mettre en parallèle avec les vitesses (figure 1.8 [bas]). Pour le cas des vents de NE, nous constatons que ce sont les plus forts, avec ceux du secteur ENE, et qu'ils présentent une diminution des vitesses moyennes de mai à juillet.

La saisonnalité des fréquences est plus marquée que celle des vitesses. Le cas le plus remarquable est celui des vents NNE, qui soufflent à des vitesses moyennes de 4m/s entre février et mars, pour en descendre aux environs de 2-2.5 m/s en juillet.

Saisonnalité des vitesses des vents par secteur entre 1995 et 2007 à Rochambeau



Saisonnalité des vitesses des vents par secteur entre 1995 et 2007 à Rochambeau

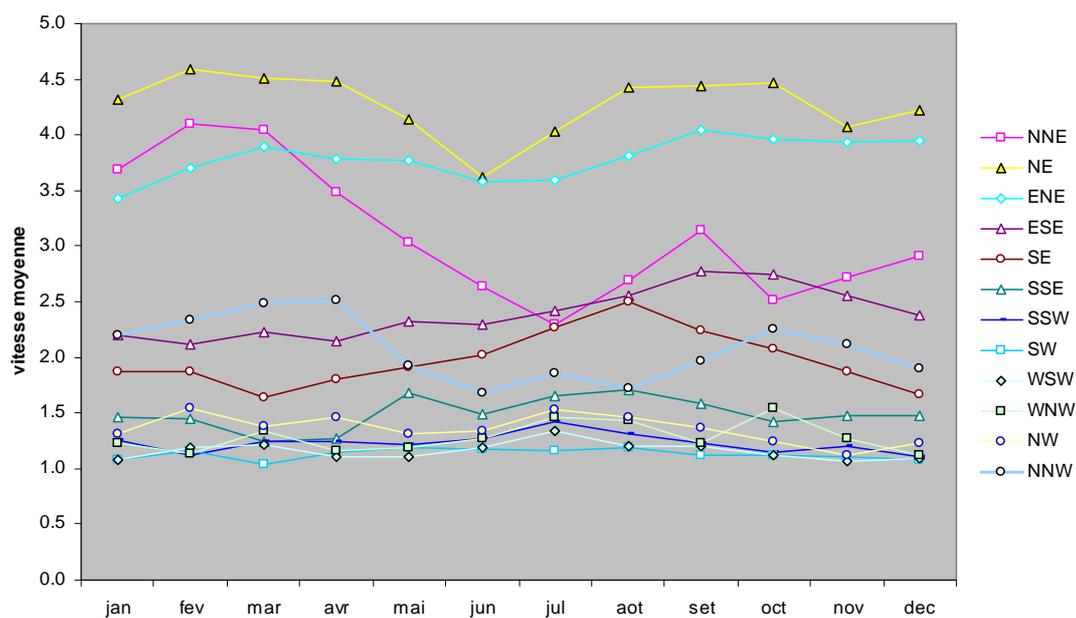


Figure 1.8 : Evolution saisonnière de la fréquence (haut) et la vitesse (bas) des vents à Rochambeau selon le secteur, entre 1995 et 2007

1.4. Kourou :

Fréquences :

A Kourou, à une vingtaine de kilomètres de l'Île Royale, le site du CSG enregistre les paramètres des vents tri-horaires également. Il est fortement intéressant de voir la différence qui peut exister dans la distribution de ce paramètre sur une si faible distance, mais où l'influence de la mer peut générer des forts gradients.

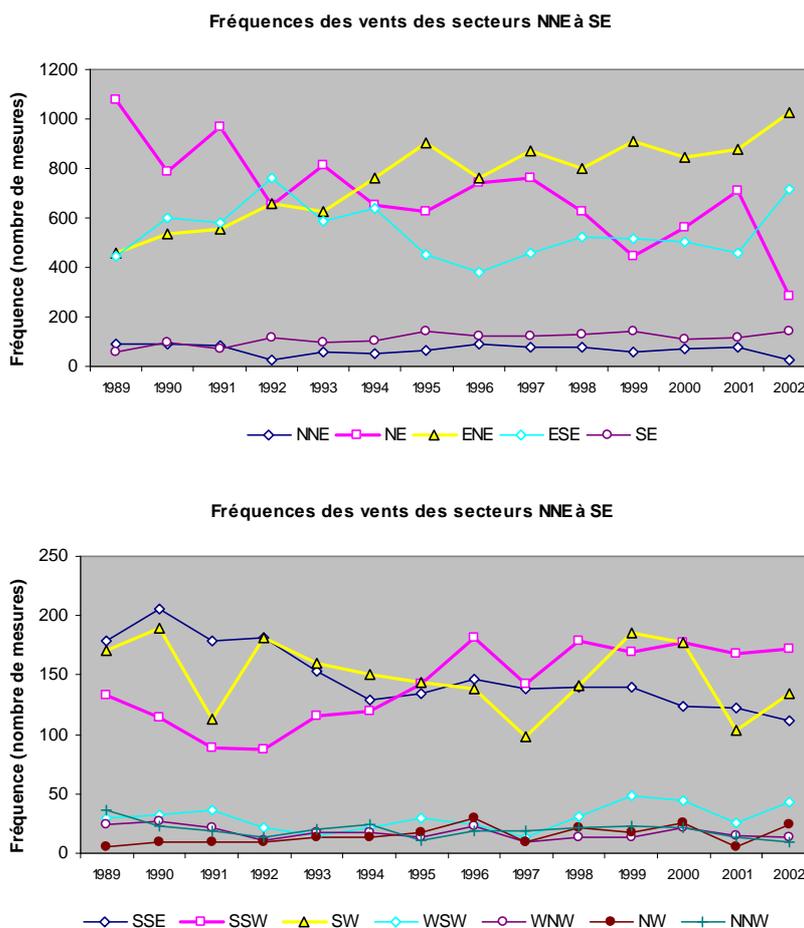
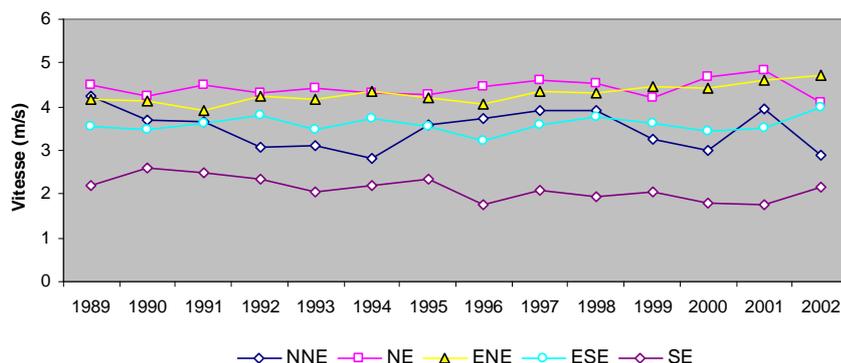


Figure 1.9 : Evolution de la fréquence des vents à Kourou par secteur et par année, entre 1989 et 2002

Les plus fortes fréquences sont observées comme pour les deux autres sites de Météo France, des secteurs ENE, ESE et NE (figure 1.9). Les vents de NE présentent une nette tendance à la diminution sur la période 1989-2002, tandis que ceux de ENE sont en augmentation. Les vents des secteurs ESE, SE, SSE, SSW et SW se situent dans la tranche des valeurs de fréquence 100-200 mesures/an, puis, le reste des secteurs, situés entre WSW et NNW ont des valeurs en dessous de 50 mesures/an.

Vitesse moyennes du vent par an et par secteur à KOUROU



Vitesse moyennes du vent par an et par secteur à KOUROU

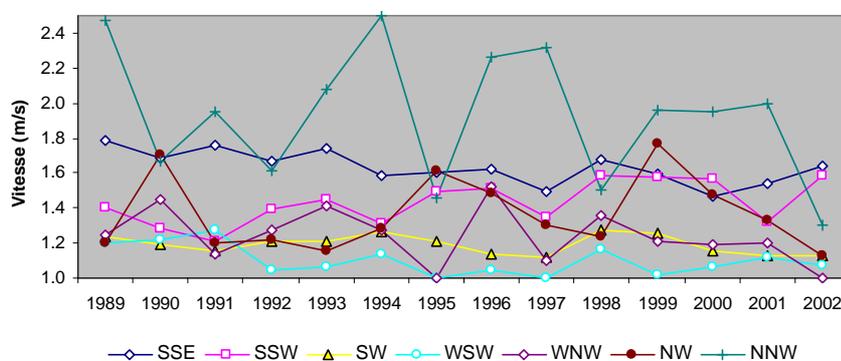


Figure 1.10 : Evolution de la vitesse des vents à Kourou par secteur et par année, entre 1989 et 2002

Vitesses :

Les vents les plus forts (> 2 m/s) correspondent aux secteurs Est et présentent une légère tendance à l'augmentation ou restent stables (figure 1.10). Si nous calculons maintenant la signification statistique de ces tendances, nous nous apercevons que seuls les vents de ENE sont en augmentation de fréquence et de vitesse, ceux de SE augmentent en fréquence et diminuent en vitesse, les vents SSE diminuent en fréquence et vitesse et ceux de NE diminuent en fréquence et restent stables en vitesse (tableau 1.3).

KOUROU 1989-2002		
Secteur	Fréquence	Vitesse
NNE	---	---
NE	↓	---
ENE	↑	↑
ESE	---	---
SE	↑	↓
SSE	↓	↓
SSW	↑	↑
SW	---	---
WSW	---	↓
WNW	↓	---
NW	↑	---
NNW	↓	---

Tableau 1.3 : Tendances pluriannuelles significatives (au seuil de 95%) des fréquences et vitesses des vents à Kourou entre 1989 et 2002

1.5. Evolution des jours de vent calme

Nous pouvons répondre à cette question en représentant le nombre de mesures de vent nul par année et par station (figure 1.11). Les trois séries ne sont pas réalisées sur la même période, mais il existe un chevauchement de huit années. Cette évolution temporelle ne semble pas avoir de tendance lourde, cependant nous remarquons la hiérarchisation des stations, avec un maximum de mesures sans vent à Rochambeau par rapport aux stations de bord de mer. Et dans ces dernières, davantage de mesures sans vent sont enregistrées à Kourou par rapport à l'île Royale.

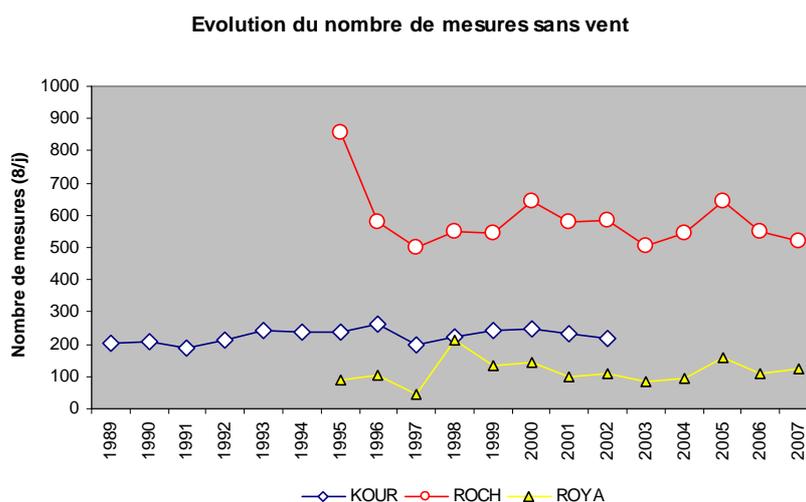


Figure 1.11 : Evolution du nombre de mesures sans vent pour les stations de Rochambeau, Kourou et l'île Royale

1.6. Y a-t-il une évolution temporelle dans les vitesses des vents des trois stations Météo-France ?

Pour y répondre nous avons calculé les vitesses moyennes des vents, toutes directions confondues et tranches horaires confondues (figure 1.12)

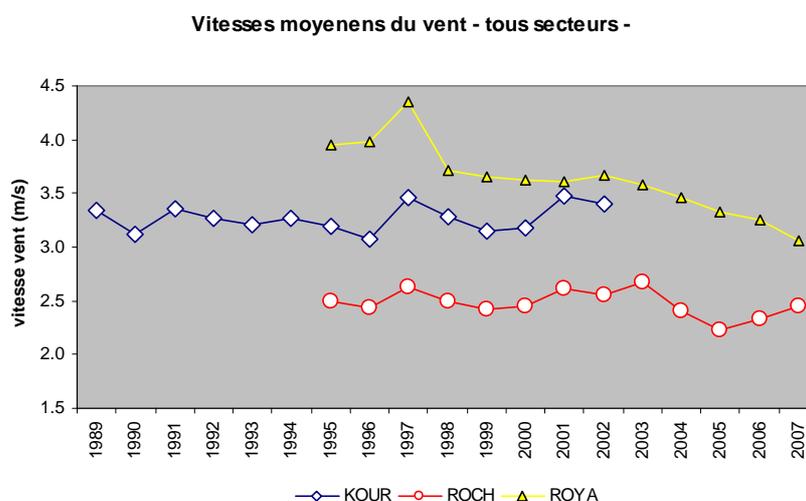


Figure 1.12 : Evolution des vitesses moyennes par an (toutes directions confondues) pour les stations de Rochambeau, Kourou et l'île Royale

Cette distribution est cohérente avec celle observée pour les fréquences dans la figure 1.11. Ainsi, à Rochambeau, nous enregistrons la plus forte quantité de mesures sans vent (figure 1.11), et les plus faibles vitesses moyennes annuelles des vents. La hiérarchisation de ces trois stations montre les plus fortes vitesses à l'île Royale, puis à Kourou et finalement à Rochambeau (figure 1.12).

Nous observons une relative stabilité du nombre de mesures sans vent de la figure 1.11. Pour les vitesses, seules celles de l'île Royale présentent une tendance à la diminution marquée (figure 1.12).

1.7. Existe-t-il des différences dans l'évolution des vents par tranche des vitesses ?

Dans la figure 1.12 nous avons présenté l'évolution annuelle de la moyenne des vitesses tous secteurs confondus, mais n'existe-t-il pas de différences si nous découpons les vitesses des vents en quatre tranches ? Par exemple des vents < 1 m/s, 2-3 m/s, 4-6 m/s, > 7 m/s ?

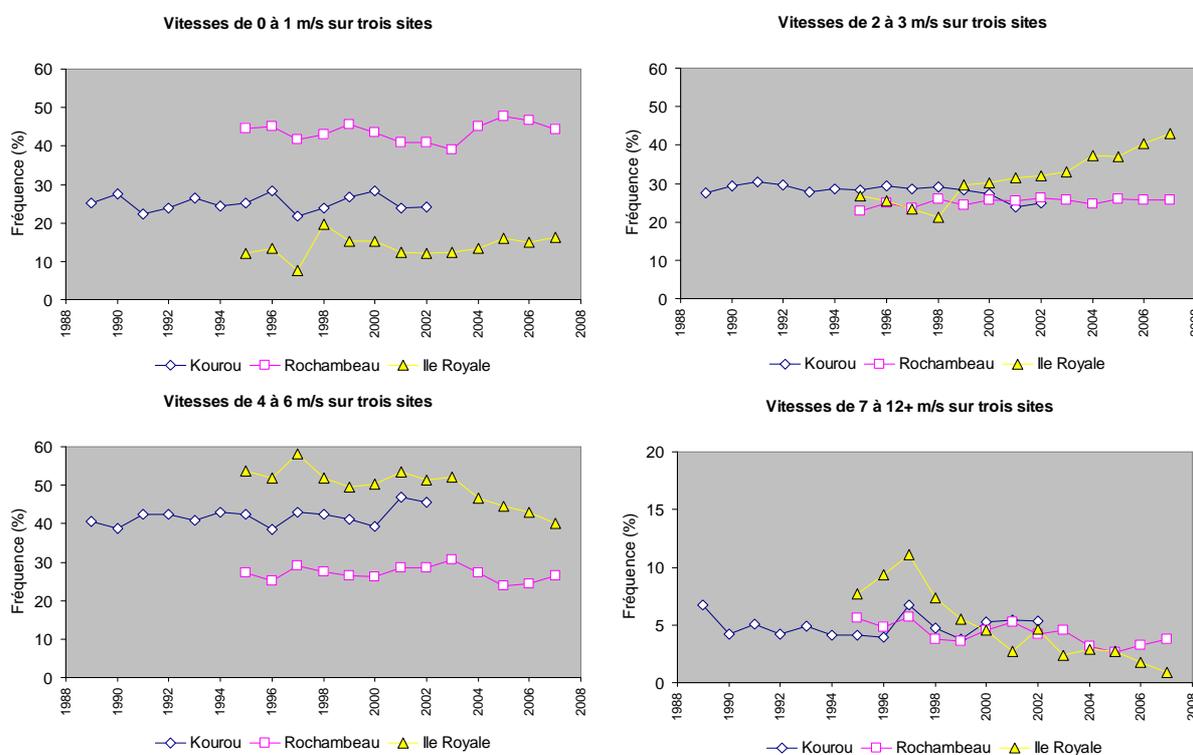


Figure 1.13 : Evolution interannuelle des vitesses moyennes par tranches de vitesse et par site

Encore une fois, la différence est notable dans le site de l'île Royale, où les vents de 2-3 m/s sont en augmentation, pendant que les vents supérieurs à 4 m/s sont en diminution (figure 1.13). Pour les autres sites les tendances ne sont pas marquées. Ce phénomène pourrait être la conséquence du manque des données dans la série de l'île Royale.

1.8. Quel site est plus représentatif des vents en mer ?

Un fort gradient des résultats est observé sur un axe perpendiculaire à la côte. Dans les figures 1.11 à 1.13 nous constatons des différences entre l'île Royale et Kourou, pourtant peu distantes l'une de l'autre. L'arrivée des vents sur la côte modifie sensiblement ce paramètre, et dans notre cas, où nous voulons mettre en relation les

phénomènes océaniques avec les vents, il semblerait plus pertinent d'utiliser les données issues de l'île Royale que celles enregistrées à terre.

1.9. Conclusion sur les vents

Les sites de Rochambeau et de l'île Royale sont distants d'environ 60km. La station de Rochambeau fournit cependant des données de meilleure qualité que celles de l'île Royale et Kourou. De plus, sur la série de l'île Royale nous observons des données manquantes en 1995 (26 jours), 1996 (9 jours), 1998 (120 jours), 1999 (20 jours), 2000 (11 jours) et 2001 (22 jours).

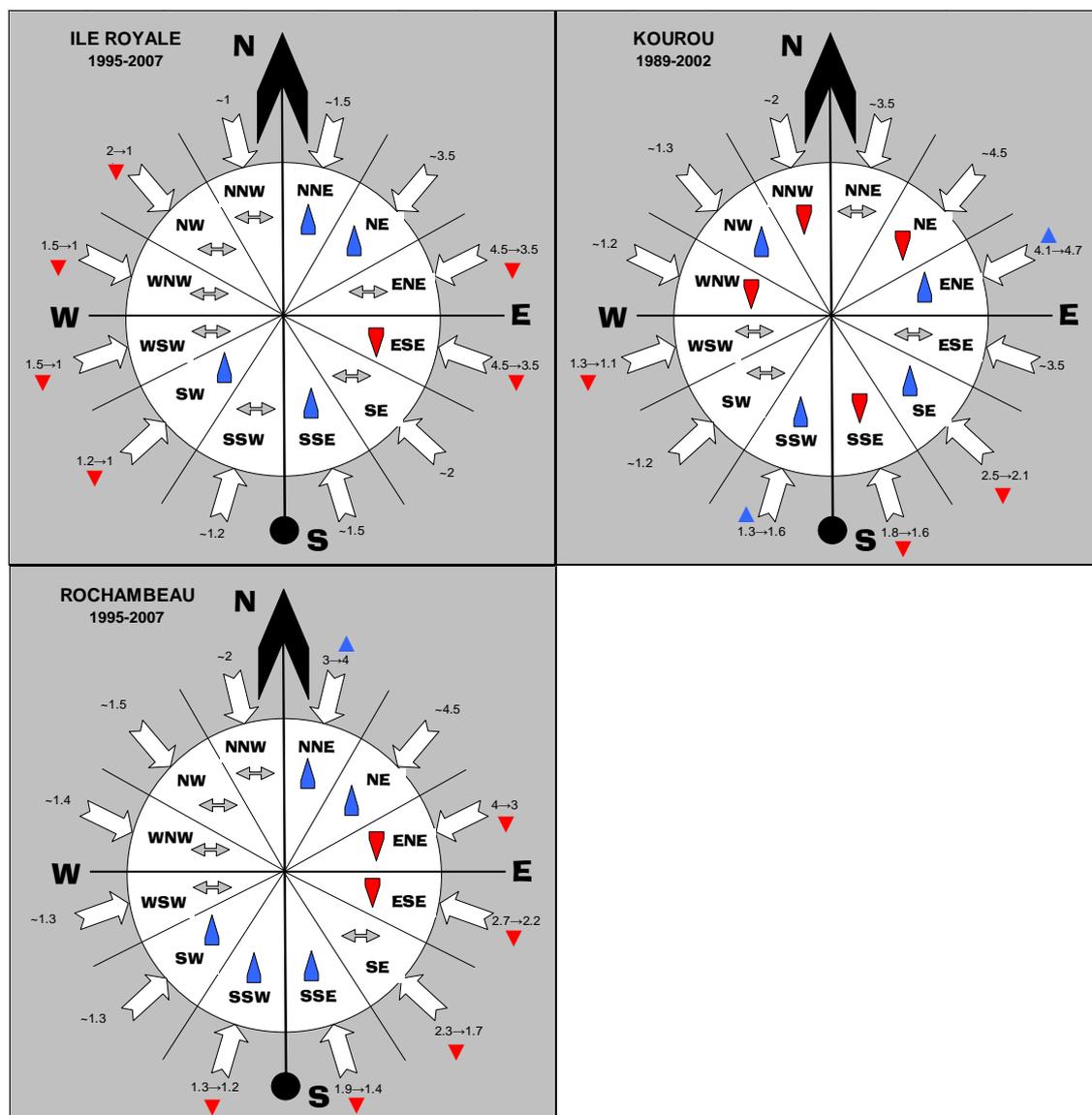


Figure 1.14 : Synthèse de l'évolution des vents dans l'île Royale (1989-2002), Kourou et Rochambeau (1995 et 2007). A l'extérieur de la rose sont indiquées les vitesses moyennes annuelles et leur tendance quand il en existe. A l'intérieur sont indiquées les tendances des fréquences des vents par secteur.

Autant à l'île Royale qu'à Rochambeau, nous observons une diminution de l'intensité des vents provenant de ENE et ESE, ainsi que de leur fréquence. Parallèlement, les vents de NE et NNE présentent une augmentation de leur fréquence et même de leur intensité pour le secteur NNE à Rochambeau (figure 1.14). A Kourou, cette distribution

est étonnement différente de ces deux dernières, et ce, bien qu'elle se trouve plus proche de l'île Royale que Rochambeau.

En regardant la figure 1.15, il pourrait être mis en parallèle les tendances décroissantes des recrutements des crevettes et celle des vents moyens à l'île Royale. Nous allons alors garder les vents à Rochambeau comme référence, à cause de la qualité et la régularité de leurs mesures, sans écarter cependant ceux de l'île Royale malgré leur moindre qualité.

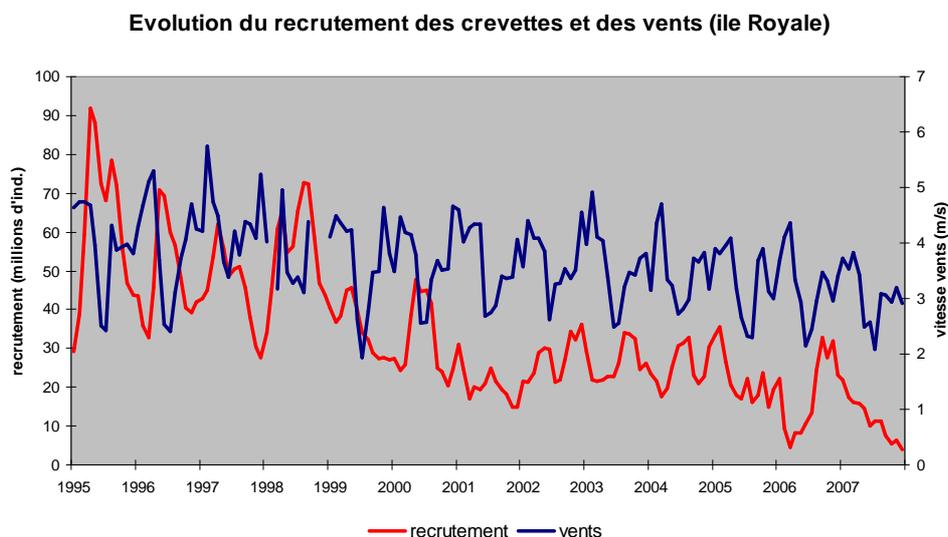


Figure 1.15 : Evolution temporelle du recrutement des crevettes et des vitesses moyennes du vent à l'île Royale

La figure 1.16 synthétise les variations opérées dans les vents sur la période 1989 à 2007 à L'île Royale et Rochambeau.

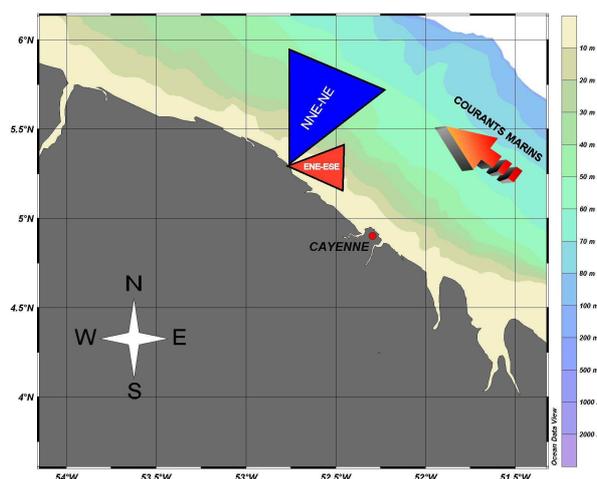


Figure 1.16 : Côtes guyanaises avec la direction des courants marins dominants et les variations des vents entre 1989 et 2007 (île Royale et Rochambeau). Augmentation de la fréquence et pour une moindre mesure des vitesses des vents de NNE-NE, et diminution des deux paramètres des secteurs ENE-ESE.

1.10. Indicateur des vents

Le meilleur indicateur rendant la variabilité et action du vent sur la côte a été la vitesse moyenne des vents à l'île Royale et à Rochambeau.

CHAPITRE 2 : LA HOULE

La houle peut être à l'origine des changements dans la nature des fonds pouvant affecter l'évolution des phases juvéniles de la crevette. Des nombreux bancs de vase se situent dans la zone côtière, pouvant s'étendre jusqu'à quelques dizaines de kilomètres des côtes (Froidefond, Pujos, et Andre 1988). L'énergie de la houle, ainsi que sa direction vont conditionner la remise en suspension des vases et la formation des bancs côtiers. Une zone géographique pourra ainsi passer par des périodes où la nature du fond sera composée de vases compactes, vases molles ou vases liquides. Le stress induit par ces changements et la nature même des fonds seront donc un facteur handicapant pour la stabilité et le développement des peuplements benthiques.

Pour étudier l'évolution de la houle sur la zone côtière de la Guyane, nous avons utilisé la série de données ERA 40 fournie par l'European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), centre géré par 34 pays, dont la France. Les données de fréquence, direction et hauteur de la houle de la série 1960-2009 à 12h UTC sont centrées sur un point situé face à Cayenne (5°N – 52°W).

2.1. Récurrence des directions de la houle

Afin d'évaluer l'évolution des changements dans la direction de la houle nous allons réaliser une étude par secteur de 10° entre le nord et le sud-est. Le secteur D0 fera la synthèse des données observées entre 0° et 10°, puis D10 entre 10° et 20° et ainsi de suite. Nous obtenons ainsi la figure (figure 2.1) qui présente le nombre de fois que la houle est arrivée par cette direction (sa récurrence).

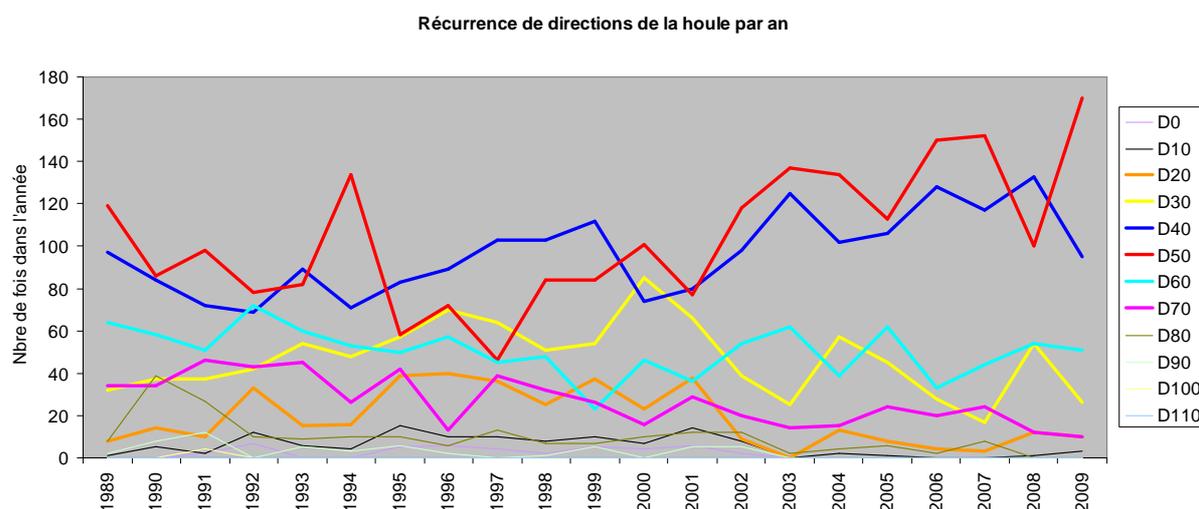


Figure 2.1 : Evolution de la récurrence moyenne annuelle dans la direction de la houle de 1989 à 2009 par tranche de 10°

A partir de 2000 nous observons une nette augmentation dans la récurrence des houles venant des secteurs D40 et D50, donc entre 40° et 60°. De façon concomitante, nous constatons une diminution des récurrences des secteurs les encadrant.

La variabilité de la récurrence par secteur est mise en évidence dans la figure 2.2. Elle met en évidence les secteurs dominant sur la période 1989-2009.

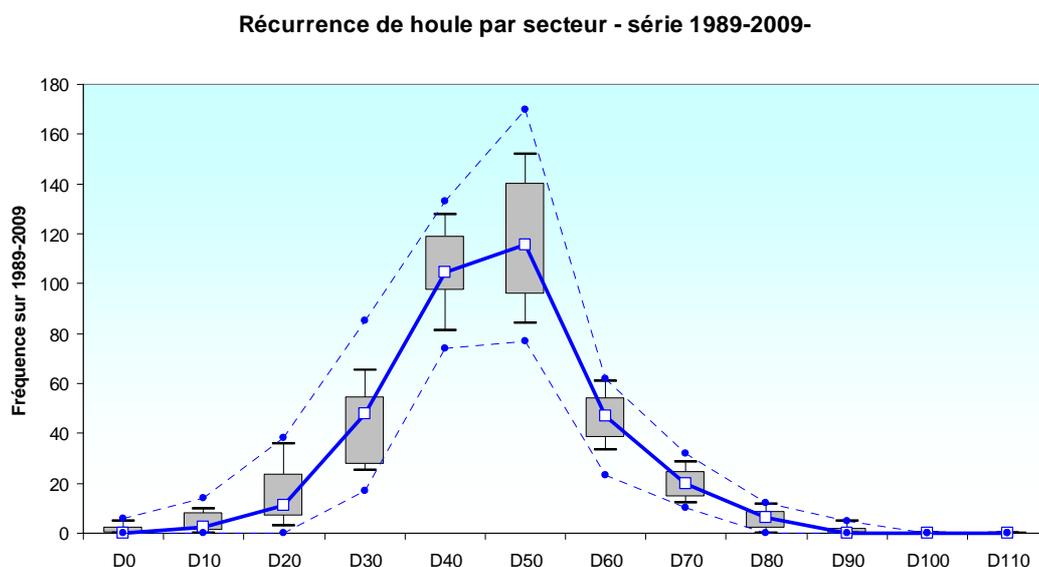


Figure 2.2 : Evolution des récurrences de houle par secteur sur l'ensemble de la période 1989-2009

Ces dernières données concernant la récurrence de la houle sont cependant moyennées sur l'année. Il existe une saisonnalité pour chaque direction de houle. Ainsi les houles de secteur D40 présentent un maximum en février-mars et un minimum en juillet-août (figure 2.3). La houle de secteur D50, bien que proche en direction de celle de D40, présente déjà un décalage de retard de 2 à 3 mois.

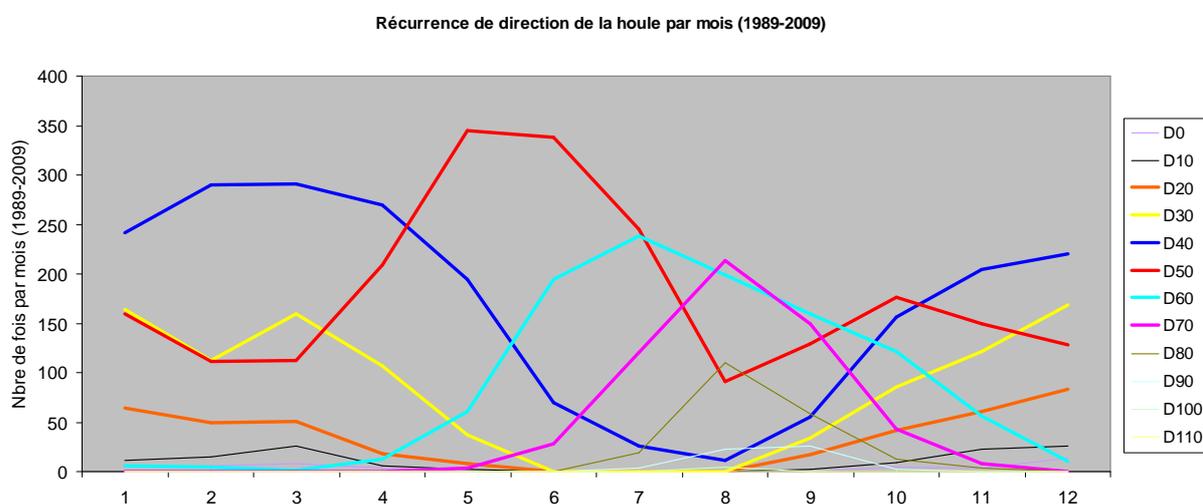


Figure 2.3 : Evolution des récurrences de houle par secteur et par mois sur l'ensemble de la période 1989-2009

De l'étude statistique menée sur les séries de récurrence par secteur, certaines tendances sont confirmées, avec une évolution significative au seuil de 5%. Nous avons synthétisé toutes les informations au sujet des récurrences de la houle dans la figure 2.4, où l'on peut apprécier les secteurs où elles augmentent ou diminuent significativement, ou au contraire, ne présentent pas une évolution significative.

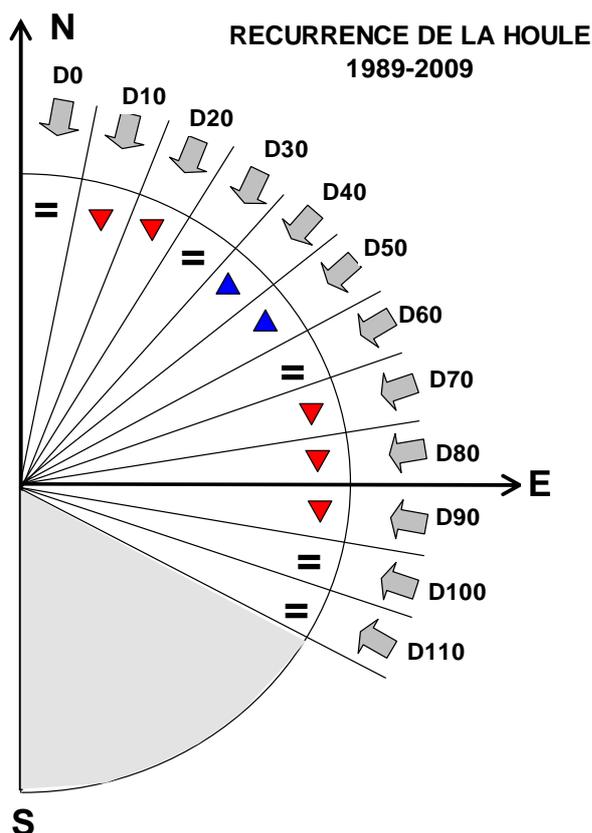


Figure 2.4 : Evolution de la récurrence de la houle selon le secteur sur la période 1989-2009

2.2. Hauteur de la houle

La série 1960-2009 montre une forte régularité dans la hauteur de la houle jusqu'en 1990. En 1991 et 1992, la moyenne mobile présente une augmentation atypique de la hauteur de houle. Puis, sur une période de 10 années (1993 à 2002) la hauteur de la houle redescend quelque peu, mais reste toujours au-dessus des valeurs antérieures à 1990 (figures 2.5 et 2.6).

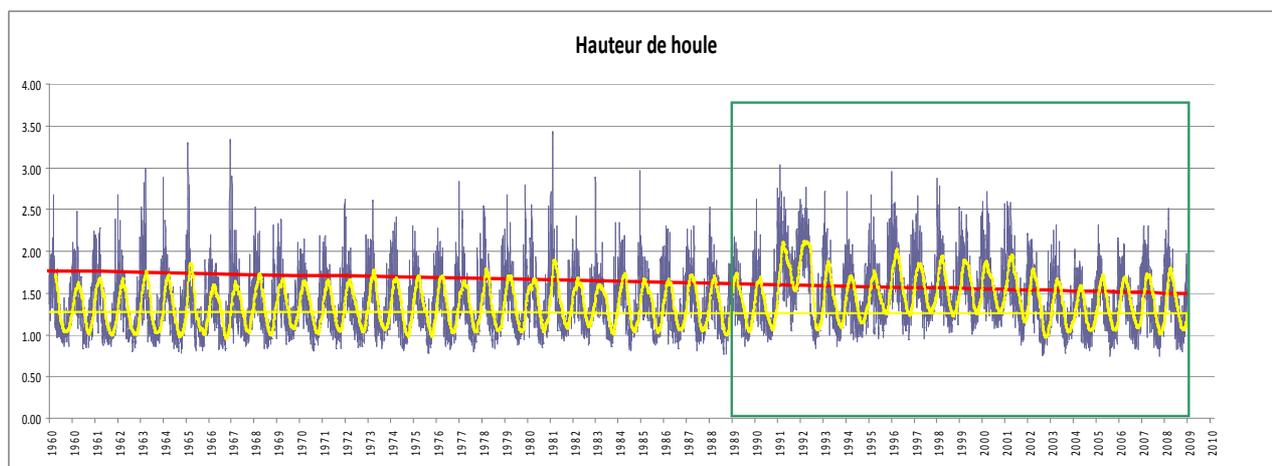


Figure 2.5 : Evolution de la hauteur de la houle pour la série ERA 40 1960-2009

Hauteur houle

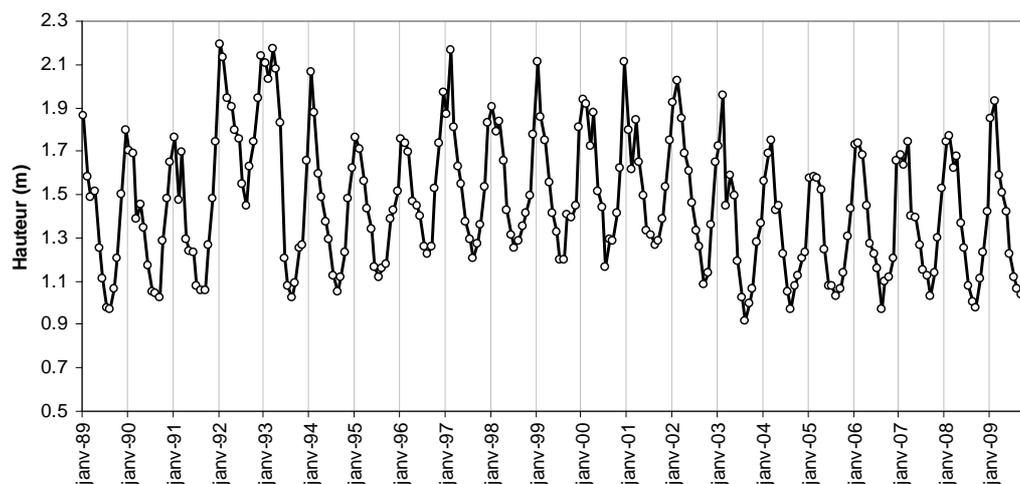


Figure 2.6 : Evolution de la hauteur moyenne de la houle pour la série 1989-2009 tous secteurs

L'étude des récurrences nous montre que c'est sur les houles des secteurs D40 et D50 que les changements ont eu lieu. Si nous isolons alors l'évolution de la hauteur de la houle pour ces deux secteurs (figure 2.7), nous observons une diminution très hautement significative ($p\text{-val} < 0.001$, $\alpha=0.05$).

Hauteur moyenne annuelle de houle pour secteurs D40 et D50

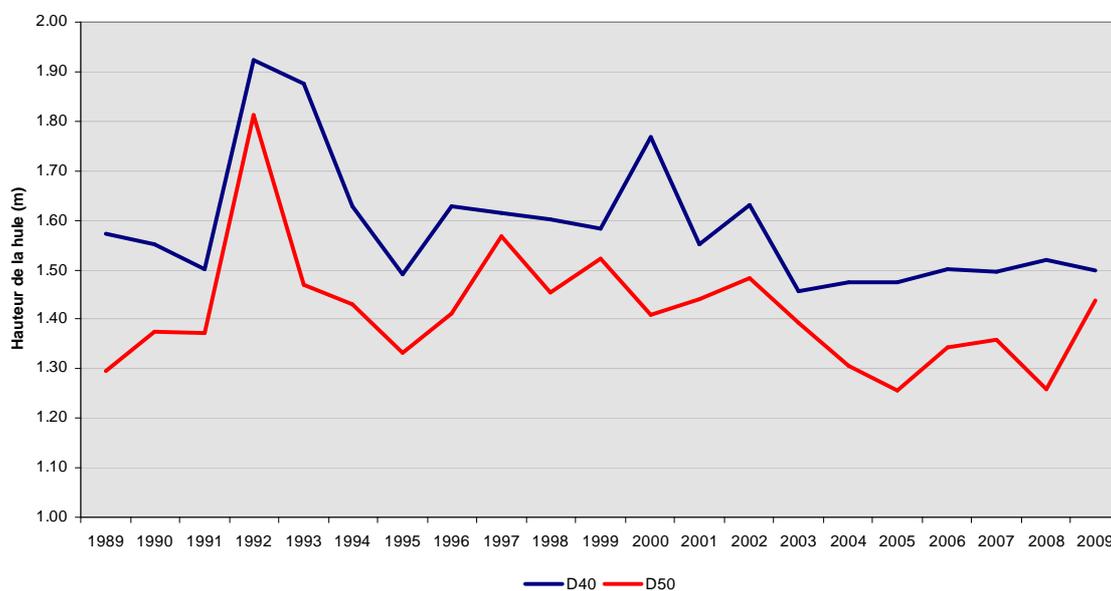


Figure 2.7 : Evolution de la hauteur moyenne de la houle pour la série 1989-2009 des secteurs D40 et D50

En conclusion, entre 1989 et 2009, la récurrence des houles des secteurs D40 et D50 a augmenté d'environ 50%, mais leur hauteur diminue d'environ 20 cm, tout en restant supérieure aux valeurs observées entre 1960 et 1990.

2.3. Période de la houle

La période de la houle va déterminer son énergie disponible. Nous utiliserons la série ERA-40 pour réaliser une nouvelle série avec les périodes moyennes par mois de 1989 à 2009 (figure 2.8).

L'évolution temporelle de la période de la houle présente une augmentation (environ 1 seconde) entre 1989 et 2002. Puis, à partir de 2003, nous observons une forte diminution des maxima annuels et une réduction de l'amplitude de l'oscillation. La moyenne dans cette période 2003-2009 est stable aux alentours de 8 secondes.

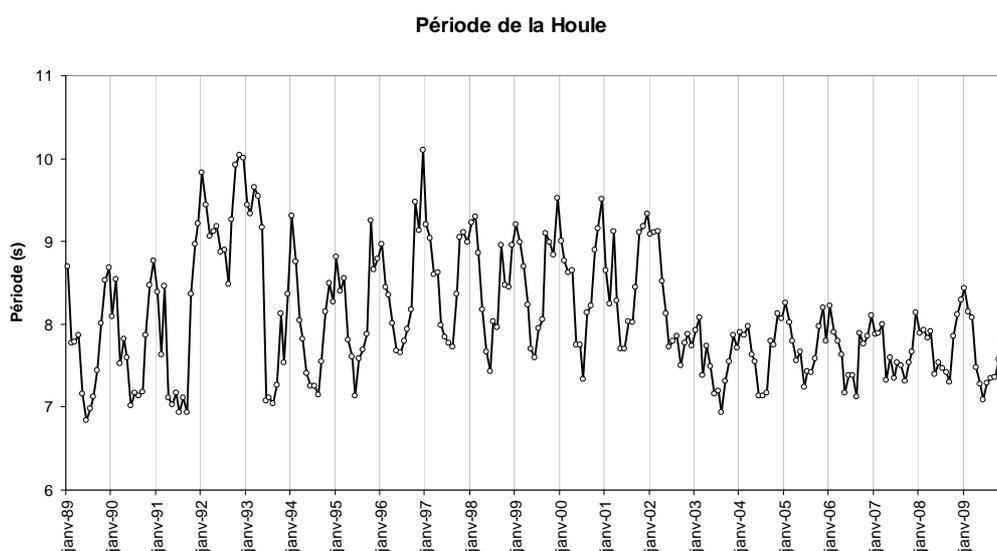


Figure 2.8 : Evolution de la période moyenne de la houle pour la série 1989-2009

2.4. Indicateur de houle

Les indicateurs que nous retenons pour cette étude sont : hauteur moyenne mensuelle de houle (HHOULE) et période moyenne mensuelle de houle (PHOULE).

CHAPITRE 3 : PRECIPITATIONS

Les précipitations auront une influence directe sur les débits des fleuves et sur la salinité de l'eau de mer et des estuaires. Les phases larvaires et juvéniles des crevettes sont sensibles aux changements de la salinité et peuvent être affectées par ces variations (Serge Garcia et Le Reste 1981; Saoud et Davis 2003). Les pluies montrent un cycle saisonnier équatorial classique en Guyane, avec une saison sèche, de juillet à novembre, une petite saison humide, de décembre à janvier, une petite saison sèche en février-mars et la saison de pluies d'avril à juin. Des cycles de deux à quatre années se succèdent faisant varier la pluviométrie annuelle de 2000 mm/an à 4000 mm/an (figure 3.1). La forte sécheresse dans l'ouest amazonien de 2005 (Marengo et al. 2008) n'a pas eu d'influence sur les précipitations en Guyane. Sur les médianes saisonnières de Rochambeau, St Georges et St Laurent, nous observons le même patron, avec des pluies plus soutenues à Rochambeau (figure 3.2). L'évolution pluriannuelle de ces deux sites montre une évolution très similaire année sur année (figures 3.3, 3.4 et 3.5).

Nous n'observons pas de tendance évolutive dans les données de pluies qui pourraient être mises en relation avec les phénomènes de faibles recrutements de la crevette de 1999 à 2007. Bien qu'en 1999 et 2000 nous observons une forte augmentation des précipitations, les oscillations interannuelles des pluies ne suivent pas le même patron que le recrutement de crevettes, qui lui, reste à des bas niveaux à partir de 1999.

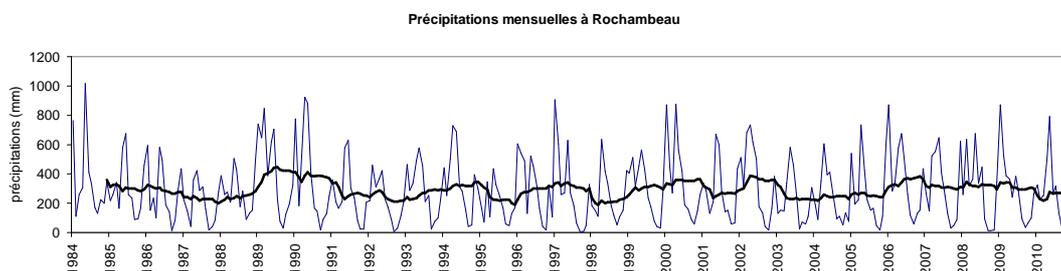


Figure 3.1: Evolution de la pluviométrie mensuelle à Rochambeau entre 1984 et 2010 et la moyenne mobile sur 12 mois

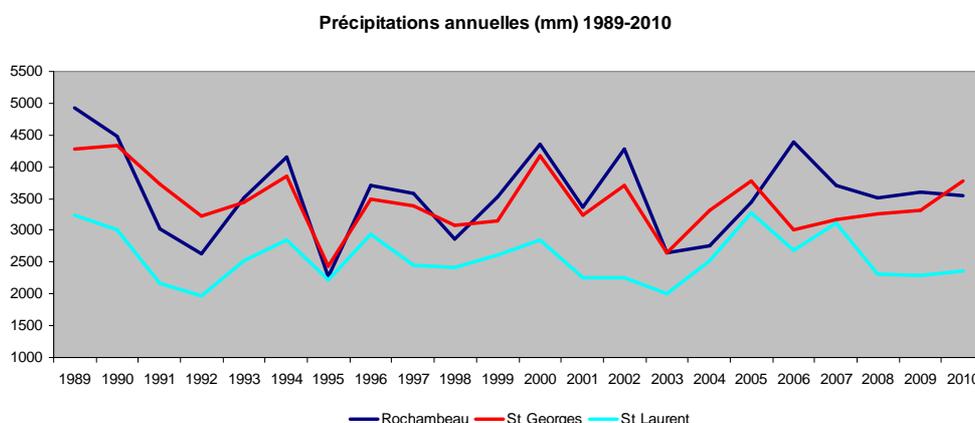


Figure 3.2 : Comparaison de la pluviométrie entre les stations Météo-France de Rochambeau, St Georges et St Laurent sur la période 1989 et 2010

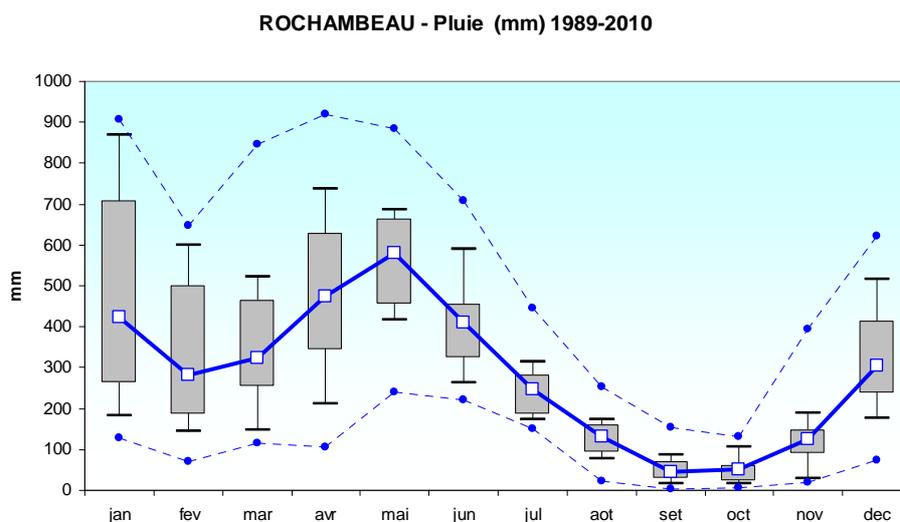


Figure 3.3: Evolution saisonnière de la pluviométrie à Rochambeau entre 1989 et 2010

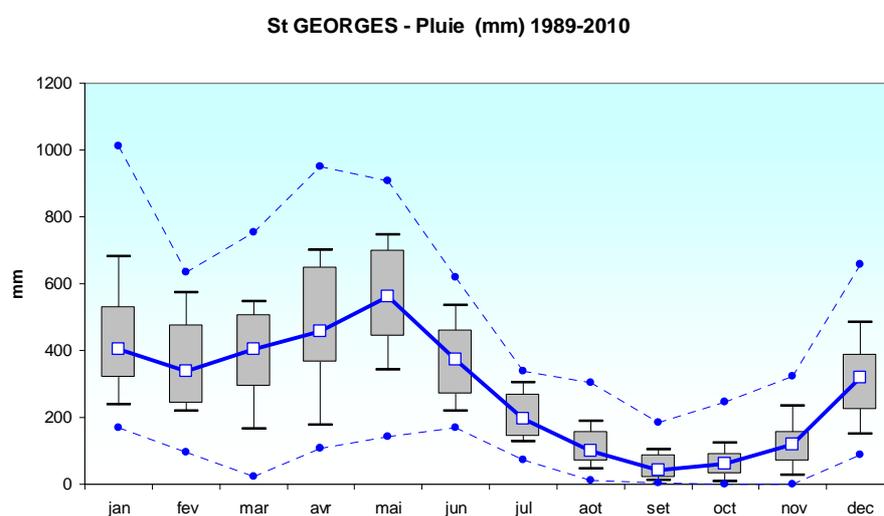


Figure 3.4: Evolution saisonnière de la pluviométrie à St Georges entre 1989 et 2010

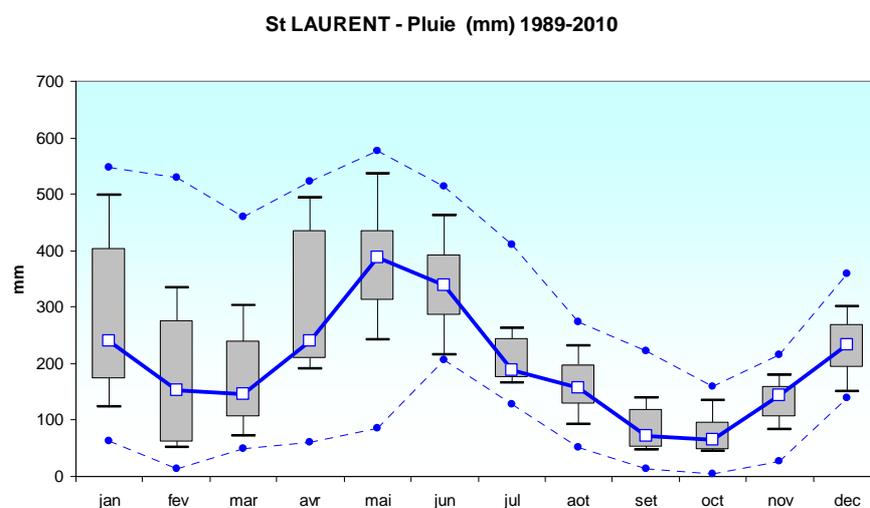


Figure 3.5: Evolution saisonnière de la pluviométrie à St Laurent entre 1989 et 2010

3.1. Indicateur de pluviométrie

Afin de couvrir l'ensemble du territoire guyanais, l'indicateur de pluviométrie choisi est la pluviométrie mensuelle enregistrée pour les stations de Rochambeau (PROCH), St Georges (PGEOR) et St Laurent (PLAUR).

CHAPITRE 4 : DEBIT DES FLEUVES

L'action des fleuves dans le développement larvaire des crevettes peut se faire sentir par les variations de la salinité, mais également par les apports en matières en suspension et dissoutes selon la saison. Le débit des fleuves côtiers présente un cycle annuel qui suit celui des précipitations, avec des débits plus forts en saison de pluies.

Si l'influence des eaux fluviales a un impact spatial restreint sur les eaux marines, il n'en va pas de même pour celui du fleuve Amazone, qui à lui seul représente presque 20 % des apports d'eau douce aux océans de la planète.

4.1. Fleuves côtiers

Afin de tester l'influence possible des fleuves côtiers dans le développement de la crevette, nous avons cherché à obtenir les débits disponibles pour les principaux fleuves guyanais, à savoir, Le Maroni, L'Oyapock, l'Approuague, Le Mahury, la rivière de Cayenne, le Kourou, le Sinnamary et le Mana. L'ensemble de ces fleuves se jettent dans la mer dans des larges estuaires vaseux ou des plages de sable.

Les données mensuelles pour les fleuves Maroni et Oyapock ont été fournies par ORE HYBAM *via* leur site internet (tableau 4.1 et figure 4.1). L'ORE HYBAM (Environmental Research Observatory (ORE) HYBAM) opère depuis 2003. En 2011 il est devenu une composante du GET (Geosciences de l'Environnement de Toulouse – UMR 5563/IRD UR 234 / UPS/CNES) et de l'Observatoire du Midi-Pyrénées (OMP).

Les débits des fleuves Approuague et Mahury/Comte ont été fournis par la Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DEAL), anciennement DDE.

Les données des autres fleuves côtiers, n'étant pas suffisamment complètes, ont été écartées de cette étude.

FLEUVE	OPERATEUR	POINT DE COLLECTE	SERIE
Oyapock	Ore Hybam	Saut Maripa	1980-2007
Approuague	DEAL	Saut Athanase	1992-2008
Mahury/Comte	DEAL	Saut Bief	1986-2008
Maroni	Ore Hybam	Langa Tibiki	1980-2007
Amazone	Ore Hybam	Obidos	1989-2009

Tableau 4.1 : Origine des séries de données des débits des fleuves utilisés dans cette étude

4.2. Fleuve composite « Guyane »

Les séries de données ne sont pas malheureusement complètes du fait de l'irrégularité dans les prises des mesures et la difficulté d'entretien du matériel sur place. Elles sont cependant, suffisamment longues pour permettre de réaliser des corrélations entre tous les fleuves et combler ainsi les données manquantes, puis d'additionner tous les débits

mensuels des fleuves Oyapock, Approuague, Comté et Maroni en un seul indicateur des fleuves de Guyane (figure 4.2).

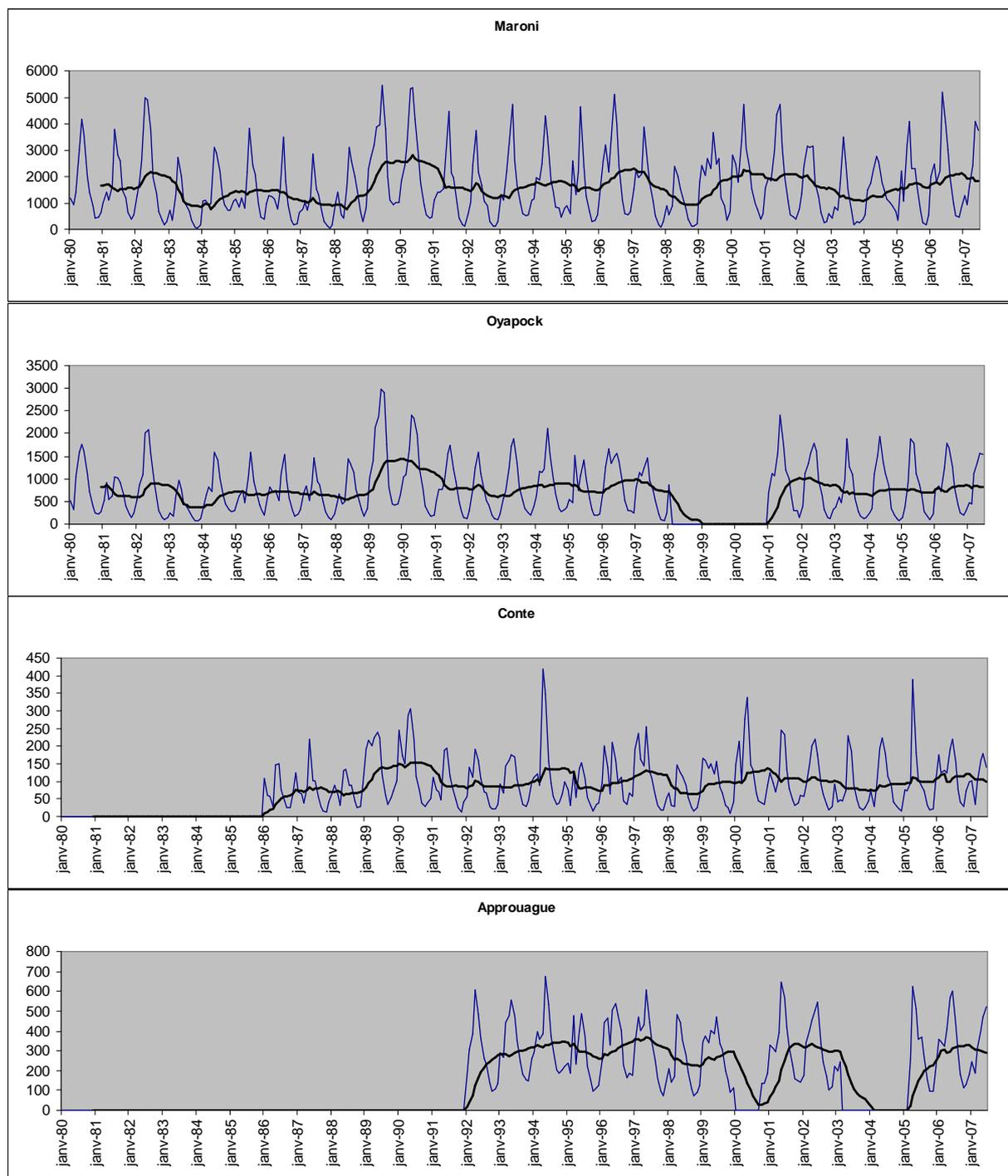


Figure 4.1 : Evolution des débits mensuels (m^3/s) des principaux fleuves guyanais et leur moyenne mobile sur 12 mois sur la période 1980 à 2007

Nous avons d'abord constaté une forte corrélation entre tous les débits des fleuves ($r > 0.69$), ce qui nous permet de réaliser des estimations des débits pour les périodes manquantes à partir des débits des autres fleuves par régressions multiples. Nous

nettoyons le fichier brut des lignes avec des données contenant des valeurs vides, puis avec ce fichier nous réalisons des régressions multiples, qui nous fourniront une équation du débit du fleuve manquant en fonction des autres. Nous l'appliquons aux périodes manquants, en procédant ainsi pour chaque fleuve.

Les manques de données ont été complétés avec les formules suivantes :

Débit Approuague (DAPPRO) janvier 1989 à décembre 1999 :

$$\text{DAPPRO} = 93.7421 + 0.041883 \cdot \text{DMARO} + 0.139147 \cdot \text{DOYAP} + 0.352429 \cdot \text{DCOMP} \quad [\text{R}^2=94\%]$$

Débit Oyapock (DOYAP) février 1998 à décembre 2000 :

$$\text{DOYAP} = -131.875 + 2.23728 \cdot \text{DAPPRO} + 0.140116 \cdot \text{DMARO} \quad [\text{R}^2=92\%]$$

Débit Oyapock (DOYAP) janvier 2000 à septembre 2000 :

$$\text{DOYAP} = -40.0382 + 0.332002 \cdot \text{DMARO} + 0.00166663 \cdot \text{DAMAZ} \quad [\text{R}^2=88\%]$$

Débit Approuague (DAPPRO) janvier 2000 à septembre 2000 :

$$\text{DAPPRO} = 124.713 + 0.11159 \cdot \text{DMARO} \quad [\text{R}^2=88\%]$$

Débit Oyapock (DOYAP) octobre 2000 à décembre 2000 :

$$\text{DOYAP} = -40.0382 + 0.332002 \cdot \text{DMARO} + 0.00166663 \cdot \text{DAMAZ} \quad [\text{R}^2=88\%]$$

Débit Approuague (DAPPRO) mars 2003 à février 2005 :

$$\text{DAPPRO} = 98.8046 + 0.176076 \cdot \text{DOYAP} + 0.04296 \cdot \text{DMARO} \quad [\text{R}^2=93\%]$$

Débit Maroni (DMARO) juillet 2007 à décembre 2008 :

$$\text{DMARO} = -775.336 + 8.0797 \cdot \text{DAPPRO} \quad [\text{R}^2=89\%]$$

Débit Oyapock (DOYAP) janvier 2008 à décembre 2008 :

$$\text{DOYAP} = -261.895 + 3.51895 \cdot \text{DAPPRO} \quad [\text{R}^2=92\%]$$

Donc : **DGUY = DOYAP + DAPPRO + DCOMP + DMARO**

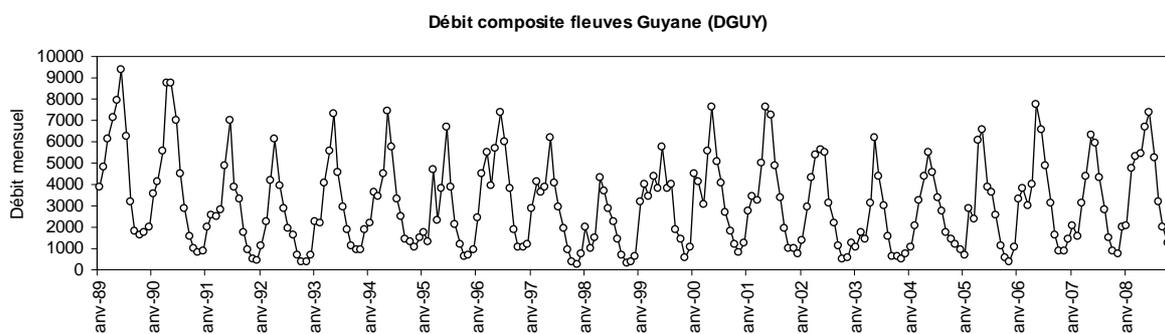


Figure 4.2 : Evolution du débit mensuel (m^3/s) du fleuve composite 'Guyane' (DGUY)

L'étude des séries mensuelles des fleuves côtiers guyanais par sa valeur composite DGUY ne montre pas une tendance marquée dans le temps (figure 4.2).

4.3. Fleuve Amazone

L'influence de l'Amazone sur le plateau continental guyanais s'étend jusqu'à une centaine de kilomètres des côtes et sur une profondeur variable de 5 à 10m. Ceci donne la mesure de l'importance des apports de ce fleuve et de son impact local. Les débits mensuels du fleuve Amazone ont été obtenus via l'ORE HYBAM également. Le tableau 4.1 présente les principales caractéristiques des données collectées.

Les oscillations de débits observées rendent compte des variations saisonnières, avec des pics plus ou moins forts selon les années (figure 4.3). Une augmentation du débit moyen est observée les dernières années d'enregistrement, avec un plateau sans oscillations sensibles depuis le début des années 2000.

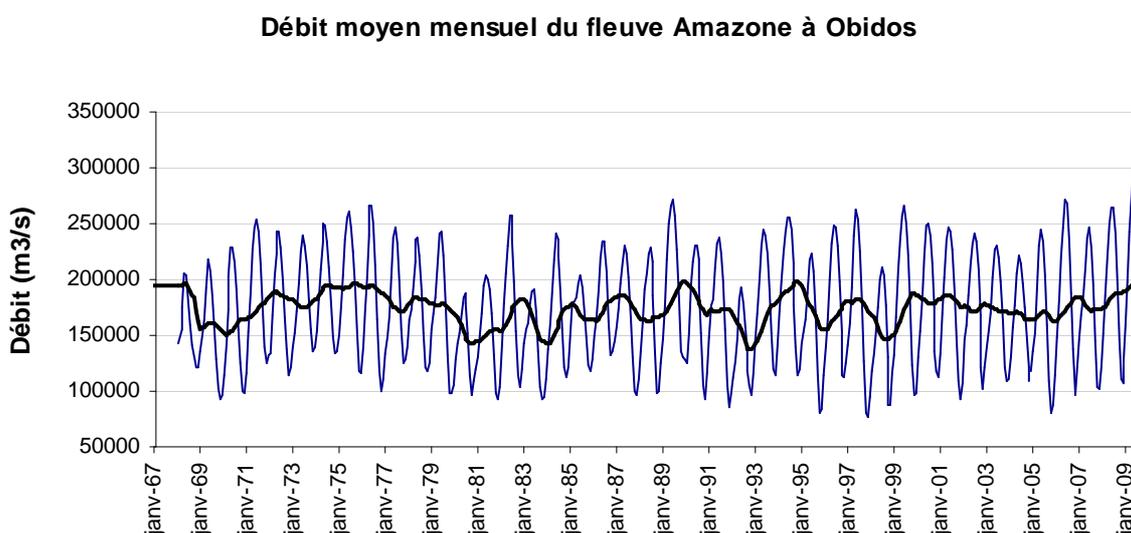


Figure 4.3 : Evolution du débit mensuel de l'Amazone à Obidos et sa moyenne mobile sur 12 mois sur la période 1967 à 2009

4.4. Indicateur des fleuves

Deux indicateurs sont retenus. Un pour l'indicateur des fleuves guyanais, qui est la série des débits mensuels pour le fleuve composite 'Guyane' (DGUY) et un autre pour le fleuve Amazone (DAMAZ).

CHAPITRE 5 : PHENOMENES CLIMATIQUES DE GRANDE ECHELLE

5.1. Indice SOI

La Southern Oscillation Index (SOI), donne une indication du développement et intensité du phénomène El Niño ou La Niña dans l'océan Pacifique. Cet indice est calculé avec la pression atmosphérique différentielle entre deux points du Pacifique.

Il existe quelques méthodes différentes pour calculer la SOI. La méthode ici utilisée est celle du Bureau australien de la météorologie, ou « SOI Troup », qui est l'anomalie normalisée de la différence de pression au niveau moyen de la mer entre Tahiti et Darwin. Il est calculé comme suit :

$$\text{SOI} = 10 * (\text{Pdiff} - \text{Pdiffav}) / \text{SD}(\text{Pdiff})$$

Où,

$\text{Pdiff} = (\text{MSLP moyenne à Tahiti par mois}) - (\text{MSLP moyenne à Darwin par mois})$

$\text{Pdiffav} = \text{moyenne à long terme de Pdiff pour le mois étudié, et}$

$\text{SD}(\text{Pdiff}) = \text{écart type à long terme de Pdiff pour le mois étudié}$

$\text{MSLP} = \text{Pression moyenne au niveau de la mer}$

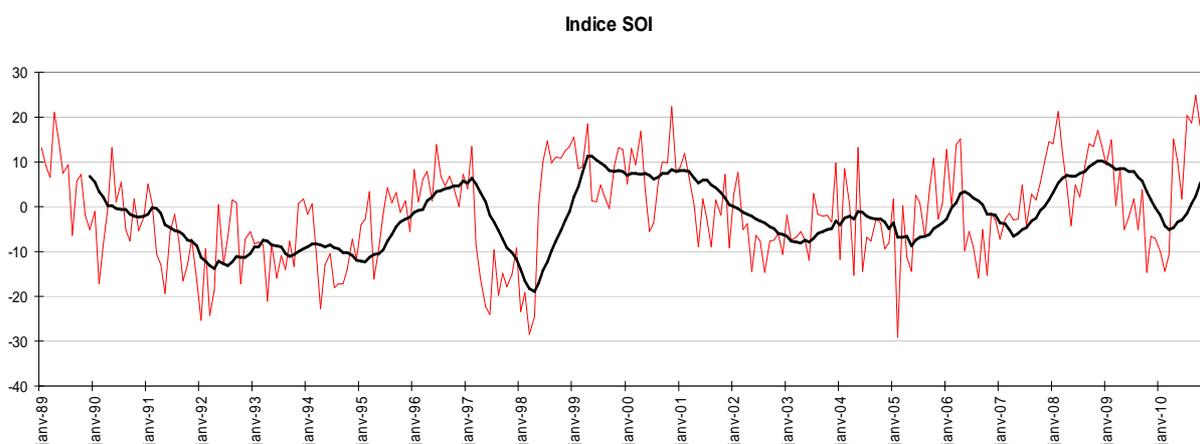


Figure 5.1 : Evolution du SOI de 1989 à 2010 par mois et sa moyenne mobile sur 12 mois

En superposant les moyennes mobiles de la SOI aux recrutements calculés mensuellement sur la même période (figure 5.2) nous observons de bonnes corrélations dans des fenêtres de temps de deux à quatre années. Dans la deuxième partie de cette étude nous aborderons les décalages temporels qui pourraient mieux corrélérer ces séries.

Nous observons des meilleures corrélations dans la deuxième partie de la période 1989-2009. En coupant la série en deux, avec une première partie 1990-2001, et une deuxième 2002-2009, nous constatons dans la figure 5.3 une très bonne corrélation inverse pour la dernière série ($R^2=0.81$) et une absence de corrélation pour la première série ($R^2=0.0016$).

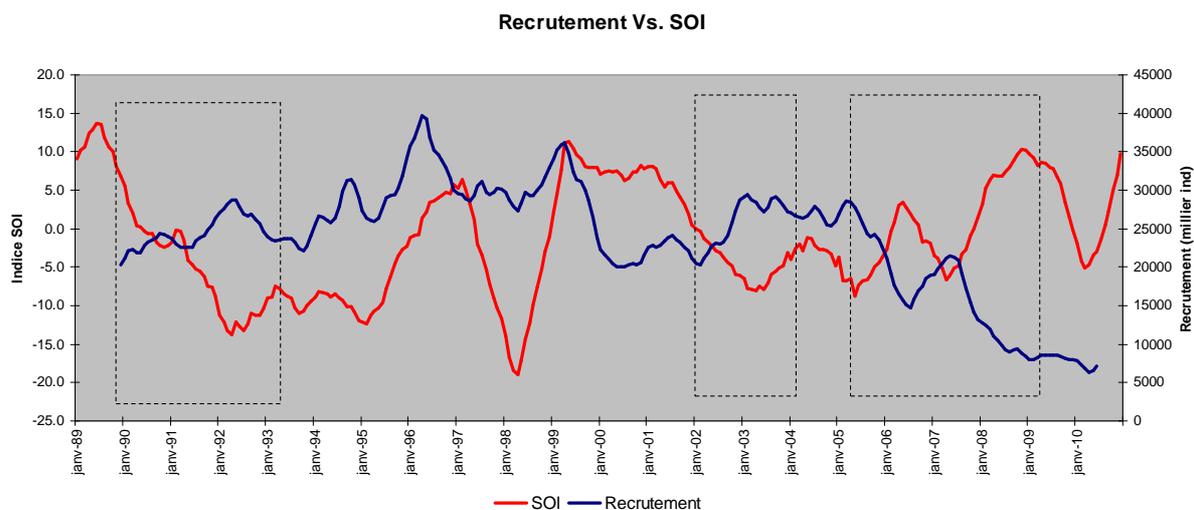


Figure 5.2 : Evolution du SOI et des recrutements de la crevette en Guyane pour la période 1989-2010

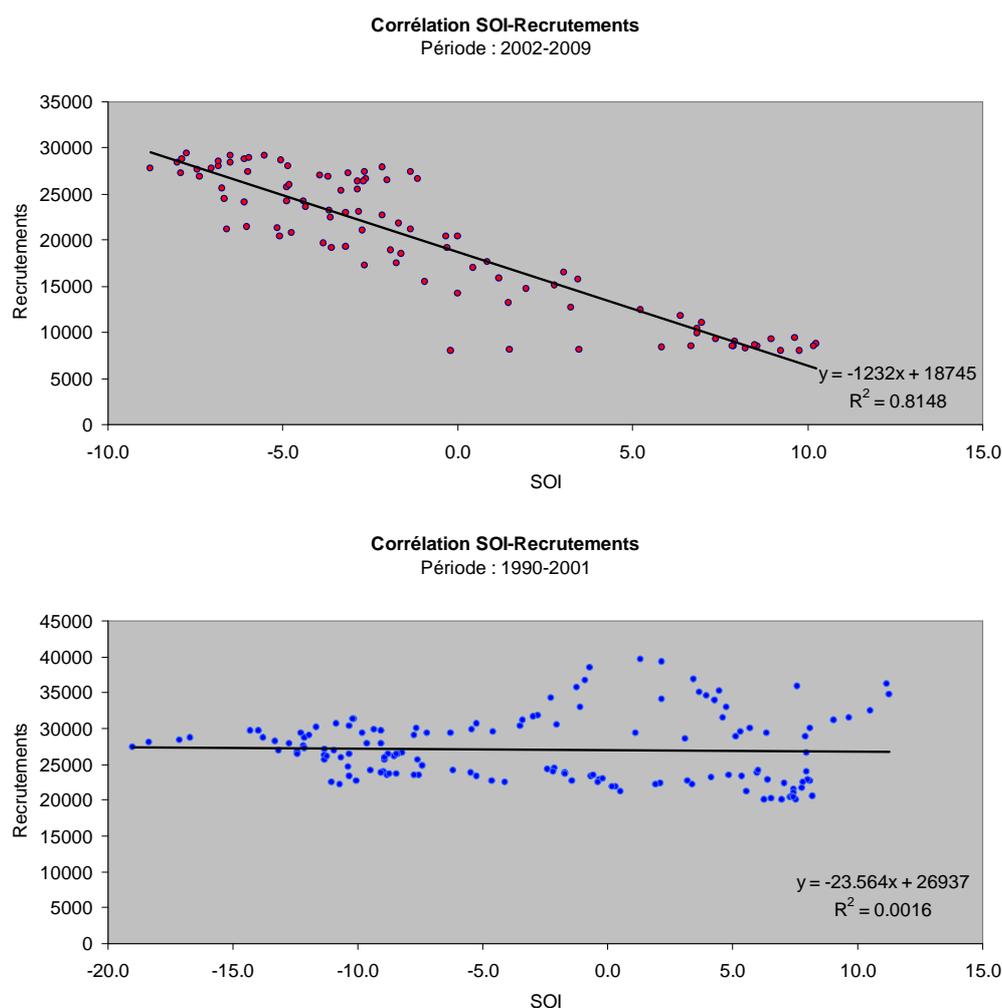


Figure 5.3 : Corrélation entre SOI et recrutements de crevette pour la période 2002-2009 et la période 1990-2001

5.2 Indice NAO

Tout comme la SOI dans le Pacifique, la NAO est calculée à partir des pressions atmosphériques, mais dans l'Atlantique nord, entre l'anticyclone des Açores et la dépression d'Islande plus précisément. Plus la différence de ces anomalies est forte et plus cet index sera fort et positif, avec des vents d'ouest renforcés et apportant de la douceur océanique sur l'Europe méridionale et centrale et des pluies sur l'Europe du nord. En même temps le Québec et le Groenland auront un hiver sec et froid, et le sud-est des USA un hiver doux et humide.

Les détails du calcul de cet index ainsi que les données peuvent être téléchargés au site de la NOAA : http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/

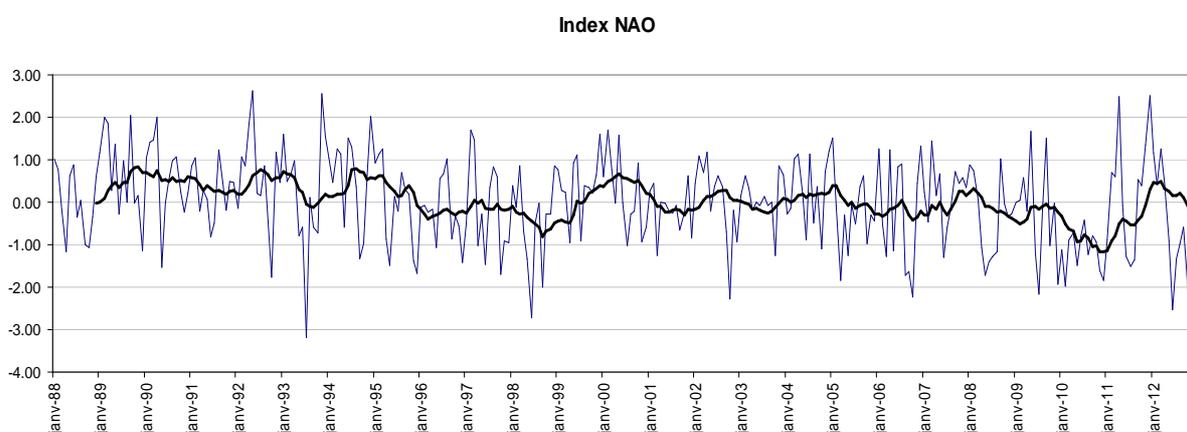


Figure 5.4 : Evolution de la NAO de 1989 à 2012 par mois et sa moyenne mobile sur 12 mois

Si l'évolution de la NAO dans le temps ne montre que peu de variations décelables (figure 5.4), nous observons une tendance générale décroissante sur le long terme

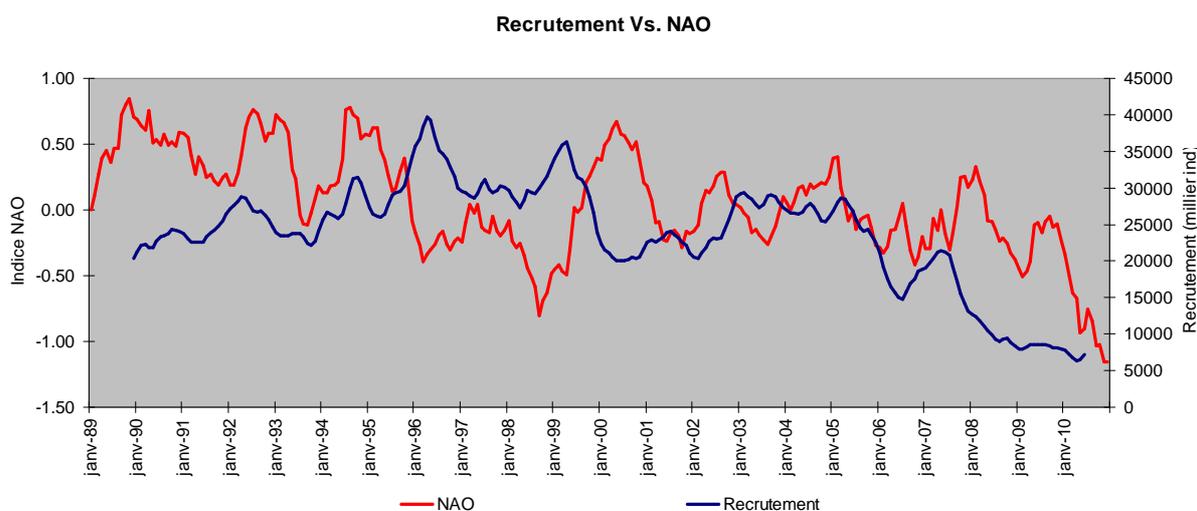


Figure 5.5 : Evolution de la NAO et des recrutements de la crevette en Guyane pour la période 1989-2010

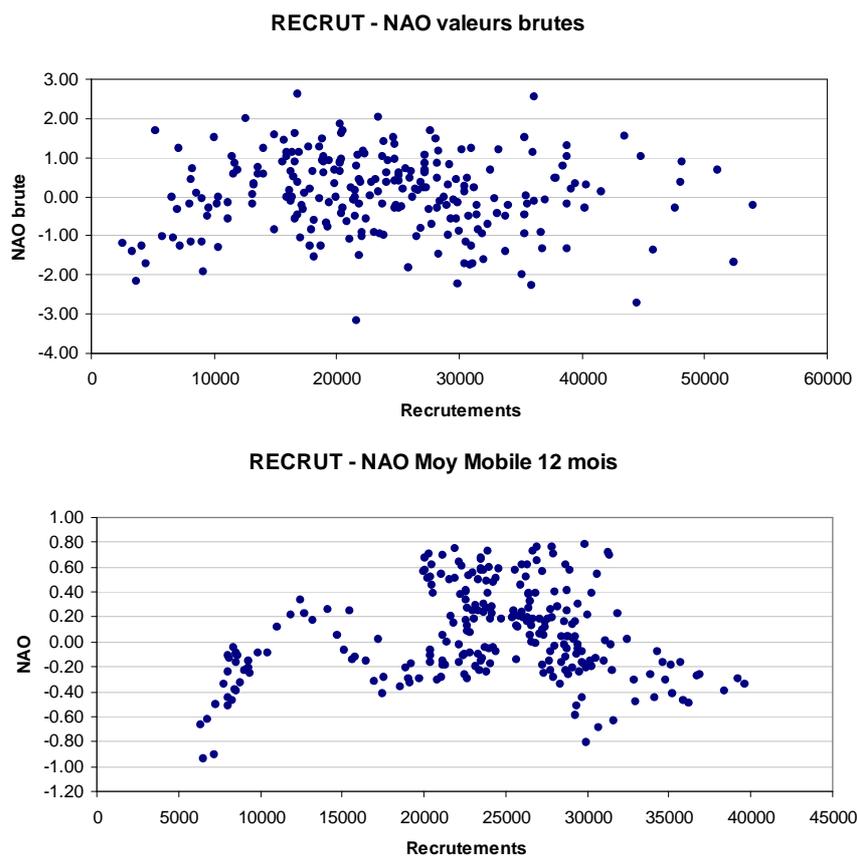


Figure 5.6 : Corrélation entre NAO et recrutements de crevette pour la période 1989-2010 avec les données brutes et leurs moyennes mobiles

Cependant, une étude de corrélations des deux séries ne montre pas de corrélations significatives. Ni avec les moyennes mobiles, ni avec les données brutes (figures 5.5 et 5.6).

5.3. Température de surface de l'eau de mer (SST)

La température de surface de la mer est un bon indicateur des changements globaux et plus particulièrement du réchauffement dû aux gaz à effet de serre (Allison et al. 2009). Son influence dans les processus physiologiques fait qu'elle soit actuellement prise en compte dans toutes les études écologiques. Un changement dans la température moyenne de l'eau peut avoir comme conséquence des déplacements de populations, ce qui a été déjà observé par exemple en Méditerranée (Lejeusne et al. 2010) et en Atlantique (Blanchard et Vandermeirsch 2005 ; G. Beaugrand 2002 ; Grégory Beaugrand et al. 2003).

La température mensuelle moyenne de surface (SST) a été fournie par le National Climatic Data Center (NCDC). Cette climatologie mensuelle d'une couverture de $1^\circ \times 1^\circ$ a été obtenue en utilisant les analyses du Climate Prediction Center (CPC/NOAA). La zone couverte est $2^\circ\text{-}9^\circ\text{N}$ et $47^\circ\text{-}59^\circ\text{W}$ et l'analyse de la grille par un degré est issue du Optimum Interpolation mensuel (OIv2 – Richard W. Reynolds et al. 2002). Cette

analyse utilise les données des bouées, bateaux et du satellite SST, ainsi que les SST simulés par couverture des glaces.

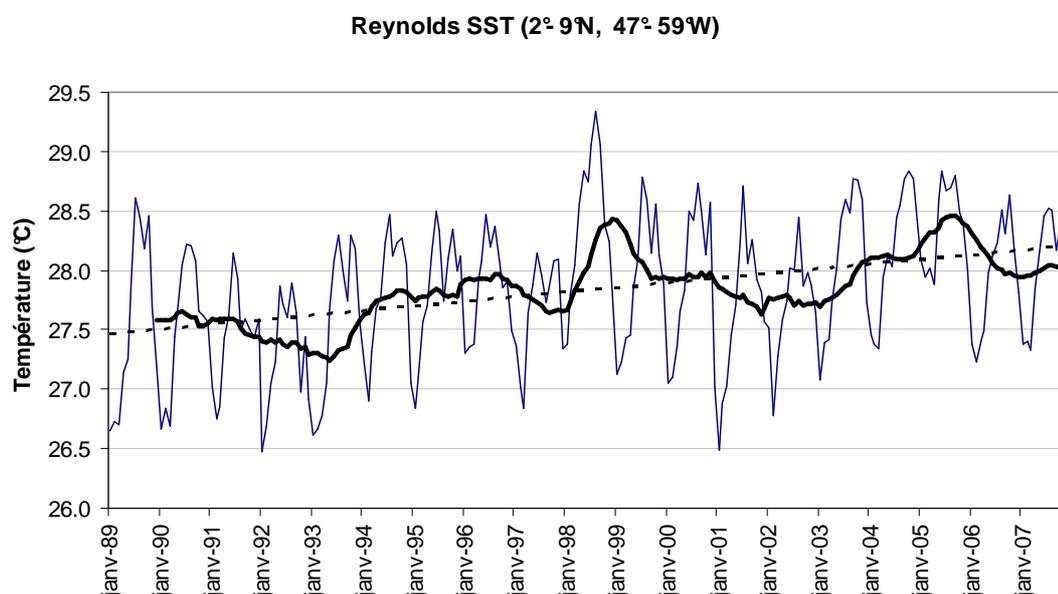


Figure 5.7 : Température de surface de la mer (SST) sur la zone 2°- 9°N, 47°- 59°W, sa moyenne mobile sur 12 mois (gras) et sa tendance linéaire sur la période (pointillé)

Dans presque 20 années, la température moyenne de surface près de Cayenne a augmenté d'environ 0.7°C (figure 5.7). Ce phénomène, qui a une influence mondiale est de nature à influencer tous les stades de développement des êtres vivants, de la phase larvaire à l'adulte.

5.4. Indicateurs des changements climatiques

Nous utiliserons comme indicateur de la température de surface (SST) les valeurs moyennes mensuelles fournies directement par la climatologie de Reynolds.

L'indicateur SOI utilisé est sa valeur moyenne mensuelle. L'indicateur NAO utilisé est également sa valeur moyenne mensuelle.

PARTIE 2

TRAITEMENT DES DONNEES

CHAPITRE 6 : SERIE TEMPORELLE DES RECRUTEMENTS

Une première analyse à réaliser est celle des données de recrutement elles mêmes. Y a-t-il une périodicité, saisonnalité, sont-elles homogènes ou y a-t-il des discontinuités ? Nous essayerons de répondre à ces questions par le traitement de la série de données de recrutement de crevettes avec le package « PASTECS » écrit sous « R » (Grosjean et Ibañes 2002).

6.1. Analyse de la série complète

Dans la figure 6.1, nous observons des variations en fréquence et amplitude régulières du recrutement jusqu'à 1998. Des 1999, ces variations deviennent plus irrégulières. L'analyse de cette série temporelle commence alors par l'étude de ces fréquences observées.

Les résultats de l'auto-corrélation ou l'auto-covariance (figure 6.2) montrent que la fréquence dominante est celle d'un an.

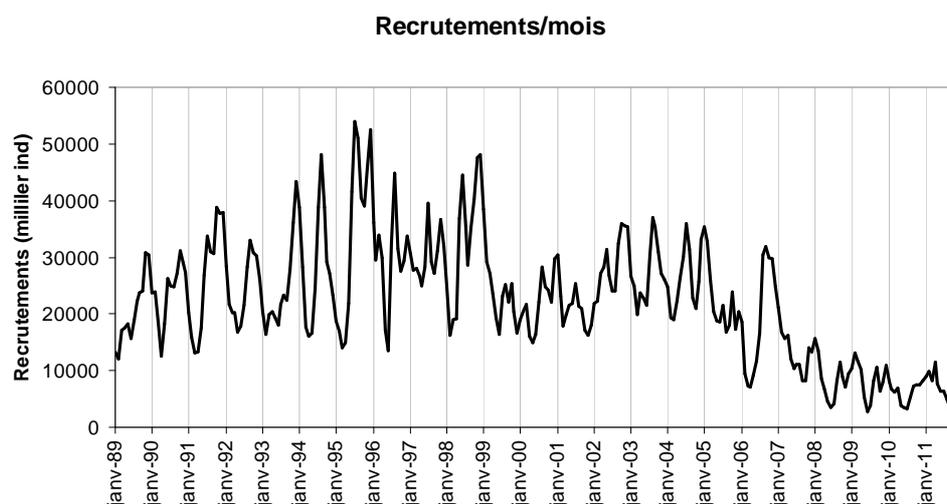


Figure 6.1 : Evolution des recrutements mensuels de crevette entre 1989 et 2011

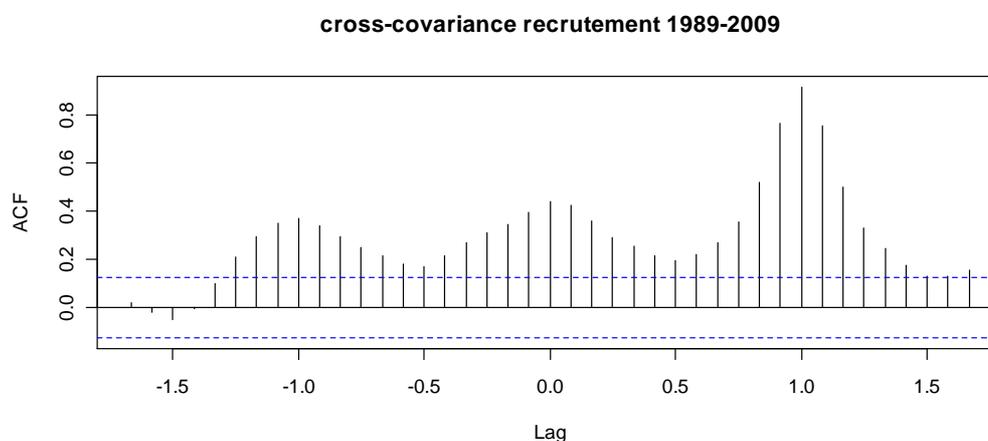


Figure 6.2 : Auto-covariance de la série de données de recrutement entre 1989 et 2009. C'est sur le décalage d'un an que la plus forte valeur est observée

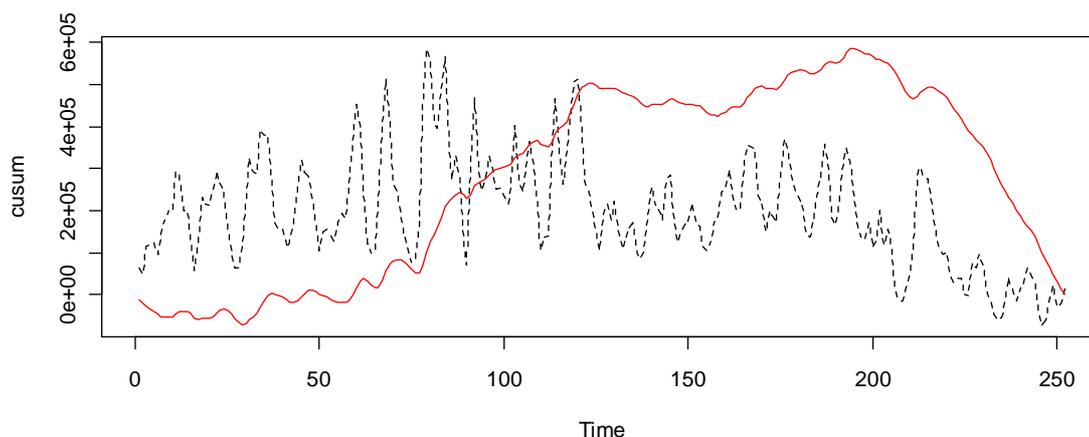


Figure 6.2 : Evolution de la tendance locale par sommes cumulées des données de recrutement entre 1989 et 2009 (en rouge). La série brute du recrutement est en pointillé

Les séries ne sont cependant pas similaires. L'étude des tendances locales du recrutement par la méthode des sommes cumulées permet de reconnaître les changements des tendances d'une série. Dans le cas présent nous observons une différence entre les périodes 1989-1994, 1995-1999, 2000-2004 et puis 2005-2009 (figure 6.2).

Le résultat de l'analyse de cette série en auto-décalage (figure 6.3) se montre régulier jusqu'en 1998, bien que ceci soit plus marqué jusqu'en 1994. A partir de 1999 les cycles semblent aléatoires et irréguliers.

auto-décalage d'un an série 1989-2009

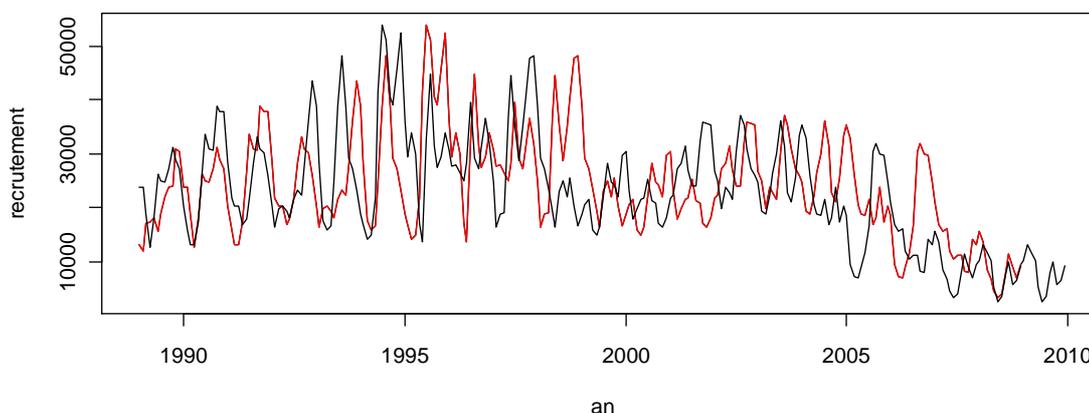


Figure 6.3 : Auto-décalage d'un an des recrutements de crevettes de la série 1989-2009

6.2. Découpage en deux séries

Il apparaît donc nécessaire de découper cette série en deux (une qui s'étend de 1989 à 1998 et une deuxième de 1999 à 2009) et les étudier séparément avec les mêmes outils. L'auto-covariance de la série 1989-1998 montre une remarquable régularité et un maximum pour un décalage d'un an (figure 6.4), tandis que pour la série 1999-2009, l'évolution de l'auto-covariance est moins régulière, bien qu'elle présente un maximum pour un décalage d'un an également.

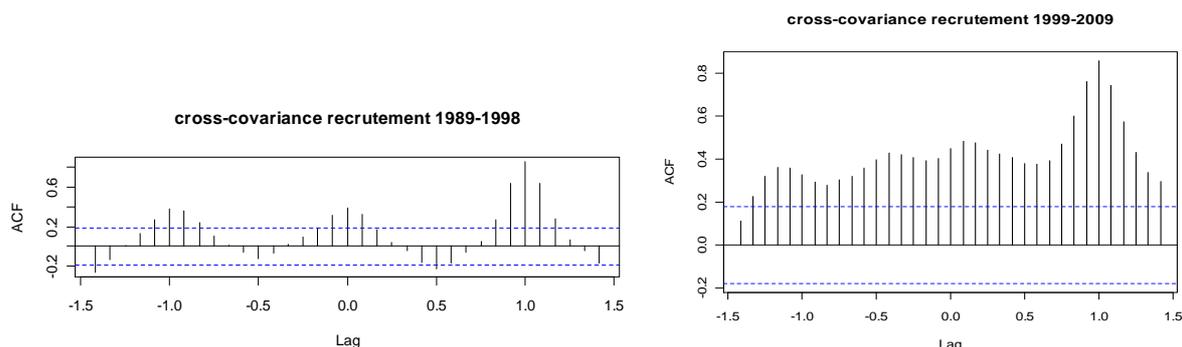


Figure 6.4 : Cross-covariance des séries 1989-1998 et 1999-2009

En analysant les deux séries avec un auto-décalage d'un an (figure 6.5) nous observons la régularité de la série 1989-1998, où les recrutements semblent en phase d'une année à l'autre, tandis que pour la série 1999-2009 elle n'est pas remarquable malgré le décalage d'un an obtenu par auto-covariance.

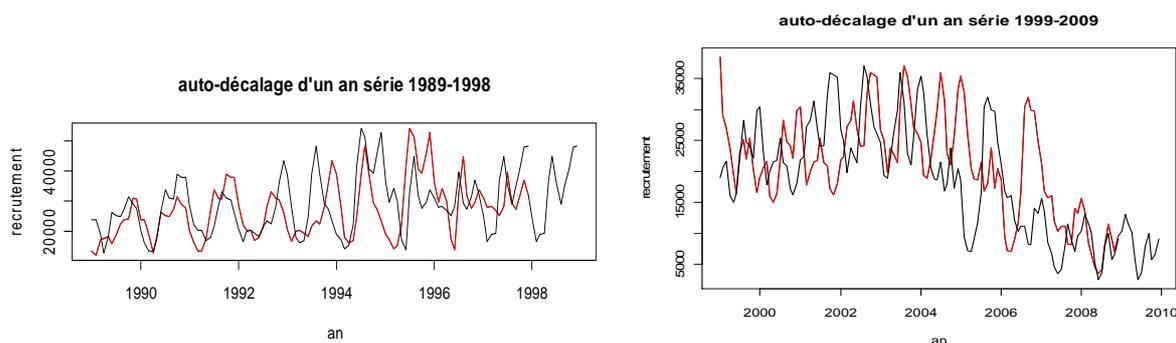


Figure 6.5 : Auto-décalage d'un an pour les séries 1989-1998 et 1999-2009

L'analyse des tendances locales des deux séries par les sommes cumulées, montre un changement entre 1992 et 1994, puis pour la série 1999-2009, des changements majeurs dès 2005 (figure 6.6).

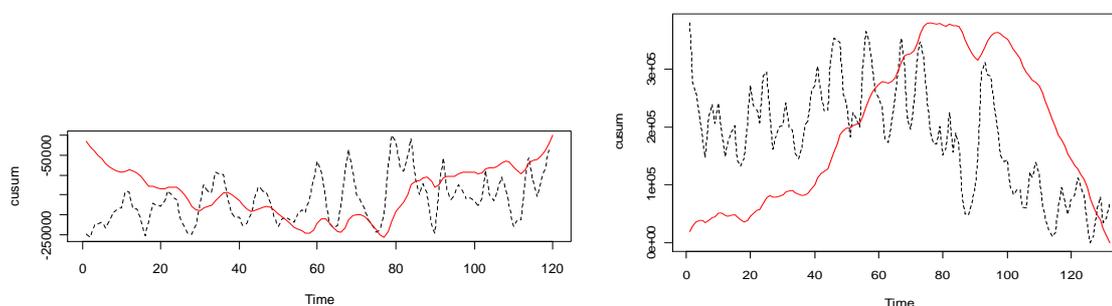


Figure 6.6 : Evolution des tendances locales par sommes cumulées (en rouge) des données de recrutement pour les séries 1989-1998 et 1999-2009. Les séries brutes du recrutement sont en pointillé

Les deux séries présentent des tendances significatives au seuil de 95% (figure 6.7). L'une croît, tandis que la deuxième décroît.

Nous avons donc, en conclusion, deux séries des valeurs de recrutement de la crevette avec des évolutions temporelles différentes, entre 1989 et 1998, puis entre 1999 et 2009. A l'intérieur de chacun de ces intervalles nous pouvons encore observer deux nouvelles séries.

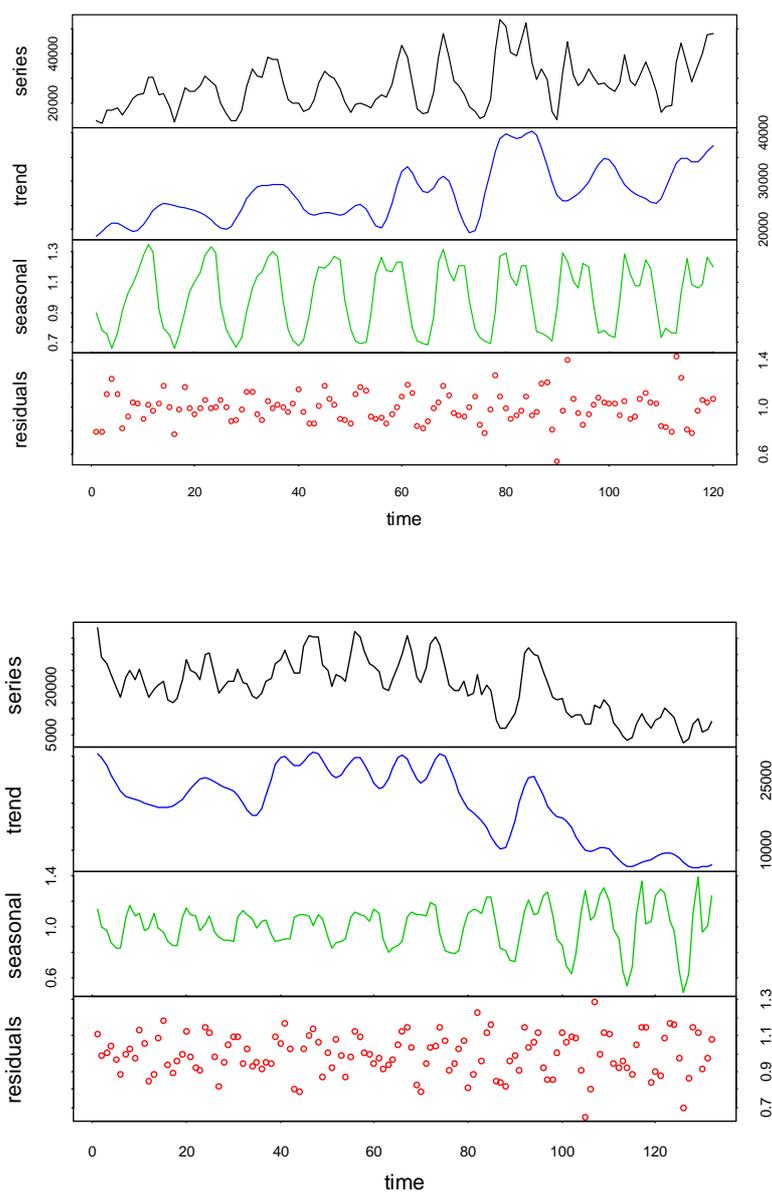


Figure 6.7 : Décomposition des séries par la méthode de CENSUS II. Série 1989-1998 en haut et série 1999-2009 en bas

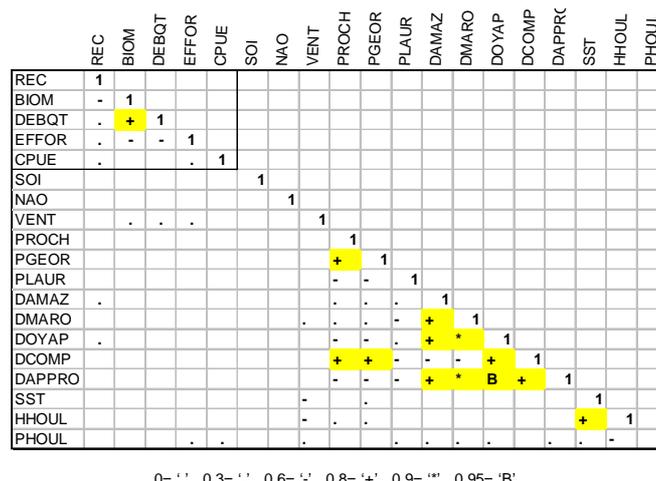
CHAPITRE 7 : DONNÉES ENVIRONNEMENTALES

Ce chapitre analyse les relations linéaires qui peuvent exister entre la variable dépendante (recrutements des crevettes) et la matrice des variables indépendantes composée des séries de données environnementales –voir partie 1 de cette étude–. Nous étudierons par la suite la pertinence des relations significatives, s'il y en a, avec des hypothèses cause-effet possibles.

Le choix du recrutement de la crevette comme variable dépendante tient au fait que c'est le recrutement qui est à l'origine de la diminution du stock (volume 1, Lampert 2011). Les autres paramètres liés à la production, tels que la biomasse du stock, les débarquements et l'effort ne sont que la conséquence de faibles niveaux des recrutements. De plus, nous constatons des corrélations marquées entre ces derniers paramètres (figures 7.1 et 7.2).

	REC	BIOM	DEBQT	EFFOR	CPUE	SOI	NAO	VENT	PROCH	PGEOR	PLAUR	DAMAZ	DMARO	DOYAP	DCOMP	DAPPRO	SST	HHOUL	PHOUL
janv-89	13247	NA	1878	166.8	13.2	1.02	NA	743.1	656.8	498.5	146300	2281	1016	191.3	NA	26.65234	1.86	8.69	
févr-89	12056	NA	342.9	1745	196.5	9.1	0.76	NA	648.8	577.4	420	175600	2700	1392	218.3	NA	26.72454	1.58	7.77
mars-89	17234	NA	336.9	2245	150	6.7	-0.17	NA	845.9	547.2	450.6	217400	3175	2130	200.4	NA	26.70074	1.49	7.79
avr-89	17409	NA	433.4	1919	225.8	21	-1.17	NA	389.8	253.1	231.3	249600	3878	2373	223.2	NA	27.13749	1.51	7.87
mai-89	18134	NA	322.8	1992	162.1	14.7	0.63	NA	617.6	665	346.4	266400	3957	2969	240.9	NA	27.25483	1.25	7.16
juin-89	15647	NA	347.6	1868	186.1	7.4	0.88	NA	708	551.6	205.3	271200	5438	2910	222	NA	27.84845	1.11	6.84
juil-89	18944	582851	305.7	1961	155.9	9.4	-0.35	NA	226.6	223.1	172.1	257500	3803	1768	118.4	NA	28.61534	0.98	6.98
août-89	22168	594095	257.5	1855	138.8	-6.3	0.04	NA	76.9	81.3	157.4	227100	1966	823	60.8	NA	28.45248	0.97	7.12
sept-89	23681	673412	260.4	1782	146.1	5.7	-0.99	NA	30.6	32.3	144.3	182400	1105	438	36	NA	28.18256	1.06	7.45
oct-89	24011	712835	246.5	1771	139.2	7.3	-1.08	NA	125.2	136.9	151.7	136300	942	422	55.2	NA	28.45761	1.21	8.01
nov-89	30811	807405	248.8	1755	141.7	-2	-0.34	NA	191.2	237.4	158.1	129500	1021	445	72	NA	27.69614	1.5	8.53
déc-89	30521	972172	288.7	1905	151.5	-5	0.61	NA	321.4	321.7	299.2	129300	1001	634	102	NA	27.18768	1.8	8.69
janv-90	23725	1066847	278.2	1827	152.3	-1.1	1.17	NA	775.7	1010.6	460.6	125100	1847	1053	246.6	NA	26.66945	1.7	8.09
févr-90	23829	1148081	380.8	1624	234.5	-17.3	2	NA	183.6	328.7	105.7	151200	2428	1100	171	NA	26.83722	1.69	8.54
mars-90	18802	1120345	503	1782	282.3	-8.5	1.85	NA	506.3	379.8	245	194200	3236	1685	149	NA	26.69036	1.39	7.52
avr-90	12652	902545	411.6	1706	241.3	-0.5	0.28	NA	920.8	692.8	486.9	215700	5300	2408	288.4	NA	27.44137	1.46	7.83
mai-90	18141	768518	431.6	1842	234.3	13.1	1.38	NA	884.4	748.4	469.3	230100	5372	2345	305.5	NA	27.67008	1.34	7.59
juin-90	26200	634837	332.1	1723	192.8	1	-0.27	NA	406.8	461.4	432.9	229900	4181	1981	220.2	NA	28.0427	1.17	7.02
juil-90	25043	643469	245.8	1795	136.9	5.5	0.97	NA	163.6	135.1	174.6	217600	2750	1228	115.8	NA	28.21621	1.05	7.17
août-90	24744	734994	339.8	1678	202.5	-5	0.01	NA	146.7	95.2	197.7	192300	1753	773	72.9	NA	28.20537	1.04	7.13
sept-90	27246	712672	322.3	1490	216.3	-7.6	2.05	NA	18.1	26.4	72.9	152600	932	397	37	NA	28.08796	1.03	7.18
oct-90	31204	747913	192.8	1249	154.4	1.8	-0.03	NA	85.5	116.7	60.8	105600	533	258	29.8	NA	27.65412	1.28	7.87
nov-90	28964	888696	318.2	1189	267.6	-5.3	0.16	NA	128.5	116.2	144.5	92080	419	184	39.1	NA	27.61397	1.48	8.47
déc-90	27286	918292	170.7	1052	162.2	-2.4	-1.15	NA	252.7	218.8	149.3	116600	479	206	52.4	NA	27.57395	1.65	8.77
janv-91	20275	1044676	244.6	1275	191.9	5.1	1.04	NA	361.1	463.4	186.1	148800	1087	523	111.2	NA	27.02061	1.76	8.39
févr-91	15936	1078537	318.6	1133	281.2	0.6	1.41	NA	208.3	238.9	150.1	175900	1418	762	76.2	NA	26.75404	1.47	7.63
mars-91	13178	972727	335.7	1291	260	-10.6	1.46	NA	162.2	332.4	118.9	182200	1393	758	68.6	NA	26.85527	1.69	8.46
avr-91	13289	809779	308.5	1266	243.6	-12.9	2	NA	212.9	453.2	218.7	210300	1539	946	48.1	NA	27.42777	1.29	7.11
mai-91	17443	647420	237	1318	173.8	-19.3	-1.53	NA	579.3	906.7	237.6	232500	2646	1568	187.8	NA	27.61831	1.24	7.03
juin-91	26837	625205	186.8	1236	151.1	-5.5	-0.02	NA	628.9	524.8	392.5	238100	4451	1733	196	NA	28.14652	1.23	7.17
juil-91	33752	731659	172.5	1315	131.2	-1.7	0.53	NA	300.4	300.7	226.3	222900	2110	1225	116	NA	27.93205	1.08	6.94
août-91	31028	952113	287.1	1314	218.5	-7.6	0.97	NA	235	169.9	139.4	198700	1957	952	82.1	NA	27.49303	1.06	7.11

Figure 7.1 : Début du tableau des données brutes servant aux corrélations (1989-2009)



REC=recrutement crevettes ; BIOM=biomasse du stock ; DEBQT=débarquements mensuels ; EFFOR=effort de pêche (jours.mer) ; CPUE=rendements de pêche ; SOI=Southern Oscillation Index ; NOI=Northern Oscillation Index ; VENT=vent (vitesse moyenne Ile Royale) ; PROCH=pluie à Rochambeau ; PGEOR=pluie à St Georges ; PLAUR=pluie à Saint Laurent ; DAMAZ=débit de l'Amazone ; DMARO=débit du Maroni ; DOYAP=débit de l'Oyapock ; DCOMP=débit de la Conté ; DAPPRO=débit de l'Approuague ; SST=température de surface de la mer ; HHOUL=hauteur de la houle ; PHOUL=période de la houle

Figure 7.2 : Corrélations linéaires entre les paramètres retenus pour cette étude

7.1. Régressions sur données mensuelles

Afin de trouver le meilleur modèle linéaire entre les recrutements et les paramètres environnementaux, nous allons réaliser des régressions multiples. Nous devons donc éviter les colinéarités supérieures à 0.8 afin de diminuer les fortes fluctuations dans les tests de signification.

La figure 7.2 présente des fortes corrélations entre les débits des fleuves. Ceci justifie l'utilisation de l'index synthétique DGUY développé dans le chapitre 4. Nous gardons cependant le débit de l'Amazone car son fonctionnement dans l'écosystème n'est pas du même ordre que celui des fleuves guyanais. La température de surface (SST) et la hauteur de la houle (HHOUL) sont également fortement corrélées. Ceci nous incite à garder la période de la houle (PHOUL) comme paramètre indicateur. La figure 7.3 montre le début du tableau réduit utilisé pour les régressions multiples. Des nouvelles corrélations sont alors calculées pour ce tableau réduit (figure 7.4). La plus forte corrélation ($r=0.71$) est observée entre les débits de l'Amazone et des fleuves locaux.

	REC	SOI	NAO	PGUY	DGUY	DAMAZ	SST	PHOUL
juil-89	18944	9.4	-0.35	621.8	3886.4	257500	28.61534	6.98
août-89	22168	-6.3	0.04	315.6	4787.8	227100	28.45248	7.12
sept-89	23681	5.7	-0.99	207.2	6099.1	182400	28.18266	7.45
oct-89	24011	7.3	-1.08	413.8	7139.2	136300	28.45751	8.01
nov-89	30811	-2	-0.34	586.7	7924.4	129500	27.69614	8.53
déc-89	30521	-5	0.61	942.3	9374.7	129300	27.18768	8.69
janv-90	23725	-1.1	1.17	2246.9	6230.2	125100	26.66945	8.09
févr-90	23829	-17.3	2	618	3161.8	151200	26.83722	8.54
mars-90	18802	-8.5	1.85	1131.1	1792.7	194200	26.69036	7.52
avr-90	12652	-0.5	0.28	2100.5	1630.6	215700	27.44137	7.83
mai-90	18141	13.1	1.38	2102.1	1761.8	230100	27.67008	7.59
juin-90	26200	1	-0.27	1301.1	1996.8	229900	28.0427	7.02
juil-90	25043	5.5	0.97	473.3	3551.1	217600	28.21621	7.17
août-90	24744	-5	0.01	439.6	4107.8	192300	28.20537	7.13
sept-90	27246	-7.6	2.05	117.4	5563.5	152600	28.08796	7.18
oct-90	31204	1.8	-0.03	263	8748.8	105600	27.65412	7.87
nov-90	28964	-5.3	0.16	389.2	8775.2	92080	27.61397	8.47
déc-90	27286	-2.4	-1.15	620.8	7004.3	116600	27.57395	8.77
janv-91	20275	5.1	1.04	1010.6	4514.4	148800	27.02061	8.39
févr-91	15936	0.6	1.41	597.3	2899.3	175900	26.75404	7.63
mars-91	13178	-10.6	1.46	613.5	1567.1	182200	26.85527	8.46
avr-91	13289	-12.9	2	884.8	983.3	210300	27.42777	7.11
mai-91	17443	-19.3	-1.53	1723.6	792.8	232500	27.61831	7.03
juin-91	26837	-5.5	-0.02	1547.2	898.3	238100	28.14652	7.17
juil-91	33752	-1.7	0.53	827.4	1972.4	222900	27.93205	6.94
août-91	31028	-7.6	0.97	544.3	2542.2	198700	27.49303	7.11
sept-91	30659	-16.6	1.06	253.4	2501.3	156100	27.58945	6.94
oct-91	38831	-12.9	0.23	127.9	2839.9	106100	27.50299	8.36
nov-91	37801	-7.3	-0.24	144.8	4890.7	86600	27.4326	8.97
déc-91	37882	-16.7	0.22	628.6	6970.4	98770	27.59042	9.22

Figure 7.3 : Début du tableau des données réduit (1989-2009)

	REC	SOI	NAO	PGUY	DGUY	DAMAZ	SST	PHOUL
REC	1	-0.28	0.1	-0.39	-0.3	-0.27	0.03	0.24
SOI		1	-0.28	0.17	0.12	0.2	0.41	0.04
NAO			1	0.03	0.28	-0.21	-0.41	-0.08
PGUY				1	0.73	0.57	-0.05	-0.19
DGUY					1	0.35	-0.44	-0.06
DAMAZ						1	-0.05	-0.3
SST							1	-0.4
PHOUL								1

Figure 7.4 : Corrélations linéaires entre les paramètres retenus pour le tableau réduit

Les résultats de cette régression sont présentés ci-dessous, avec la commande « R » utilisée.

```
> reg2=lm(REC~SOI+NAO+PGUY+DGUY+DAMAZ+SST+PHOUL, data=data0)
> summary(reg2)
```

Call:

```
lm(formula = REC ~ SOI + NAO + PGUY + DGUY + DAMAZ + SST + PHOUL, data = data0)
```

Residuals:

```
  Min    1Q  Median    3Q   Max
-84226 -40988  7668  41988 74061
```

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-5.32E+06	3.36E+06	-1.585	0.14
SOI	-5.67E+03	3.42E+03	-1.657	0.13
NAO	5.52E+04	5.53E+04	0.997	0.34
PGUY	-3.31E+01	2.29E+01	-1.444	0.18
DGUY	4.90E+01	5.53E+01	0.887	0.40
DAMAZ	1.76E+00	1.68E+00	1.047	0.32
SST	1.72E+05	1.05E+05	1.646	0.13
PHOUL	8.31E+04	4.74E+04	1.752	0.11

Residual standard error: 61710 on 10 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.4081, **Adjusted R-squared: -0.006306**

F-statistic: 0.9848 on 7 and 10 DF, p-value: 0.4919

Aucune des variables indépendantes n'a été significative. Bien que le R^2 calculé soit de 0.408, le R^2 ajusté est inférieur à 0.01. Aucune des variables environnementales ne semble donc expliquer les variations des recrutements dans ce modèle réduit. L'utilisation d'un modèle de régressions multiples pas à pas (forward selection) n'a pas non plus donné plus de résultats que les régressions multiples.

Cas particulier du vent :

La série des vents n'est complète qu'entre 1995 et 2007. Pour tenir compte de ce paramètre, nous allons réaliser des régressions multiples avec toutes les variables, mais réduites aux années 1995-2007. De plus quelques données manquantes en 1998 ont été complétées avec les moyennes des mêmes mois des années l'encadrant.

```
> reg2=lm(REC~SOI+NAO+VENT+PGUY+DGUY+DAMAZ+SST+PHOUL, data=data0)
> summary(reg2)
```

Call:

```
lm(formula = REC ~ SOI + NAO + VENT + PGUY + DGUY + DAMAZ + SST + PHOUL, data = data0)
```

Residuals:

```
  Min    1Q  Median    3Q   Max
-16791 -6097  -451  5172 30859
```

Coefficients:				
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-134100	58820	-2.28	0.024 *
SOI	-17	73	-0.24	0.814
NAO	1032	780	1.32	0.188
VENT	3434	1472	2.33	0.021 *
PGUY	0	2	-0.20	0.839
DGUY	0	1	0.13	0.898
DAMAZ	0	0	-1.22	0.224
SST	5360	1834	2.92	0.004 **
PHOUL	259	1587	0.16	0.871

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 8947 on 147 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.1376, **Adjusted R-squared: 0.09068**

F-statistic: 2.932 on 8 and 147 DF, p-value: 0.004559

Avec cette série réduite nous obtenons des pentes significatives pour SST, VENT et l'ordonnée à l'origine. Le R^2 ajusté du modèle ne permet d'expliquer que 9 % des recrutements. Ceci suggère une possible influence des vents et des SST sur le processus de recrutement, mais il faudrait disposer de valeurs couvrant toute la période 1989-2009 pour une meilleure couverture temporelle. Cette procédure met également en évidence la possibilité d'obtenir des meilleurs modèles en découpant les séries.

7.2 Décalages temporels des effets environnementaux

Nous pouvons envisager que certains des phénomènes environnementaux aient une influence dans les recrutements des crevettes, mais pas au même moment 't0'. L'effet du débit du fleuve Amazone sur les recrutements peut être décalé de quelques mois car les débits sont enregistrés à Obidos (Brésil). Il va de même avec les autres paramètres environnementaux, et c'est pour cette raison que nous regarderons le décalage optimal pour chaque paramètre par rapport aux recrutements *via* son coefficient de détermination dans une régression avec le recrutement (tableau 7.1). Nous constituerons ainsi un nouveau jeu de données à tester avec des régressions multiples.

	R^2	Décalage
SOI	< 5%	---
NOI	< 5%	---
PGUY	< 10%	---
DGUY	17%	5 mois
DAMAZ	10%	5 mois
SST	14%	2-3 mois
PHOUL	11%	9 mois
VENT	< 10%	---

Tableau 7.1 : Coefficient de détermination obtenu lors d'une régression du recrutement avec chaque paramètre environnemental, ainsi que le décalage optimisant ce R^2

Les R^2 calculés ne présentent pas de très fortes valeurs. Nous retiendrons seulement celles de $R^2 > 10\%$. Seuls les paramètres des débits des fleuves locaux et de l'Amazone, la SST et la période de la houle sont alors retenus.

Une nouvelle régression multiple (ci-dessous) nous montre que seules DGUY et PHOUL sont significatifs et méritent de figurer dans le modèle.

```
> reg2=lm(REC~DGUY+DAMAZ+SST+PHOUL, data=data0)
> summary(reg2)
```

Call:

```
lm(formula = REC ~ DGUY + DAMAZ + SST + PHOUL, data = data0)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-20806.9	-5266.7	-807.2	5312.3	26968.7

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t Value	Pr(> t)
(Intercept)	-5.50E+04	4.07E+04	-1.353	0.18
DGUY	-1.14E+00	4.56E-01	-2.495	0.01 *
DAMAZ	-9.47E-03	1.70E-02	-0.556	0.58
SST	2.48E+03	1.42E+03	1.745	0.08 .
PHOUL	2.02E+03	9.07E+02	2.221	0.03 *

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 8160 on 208 degrees of freedom
 Multiple R-squared: 0.2033, Adjusted R-squared: 0.188
 F-statistic: 13.27 on 4 and 208 DF, p-value: 1.205e-09

En refaisant une nouvelle régression avec ces deux variables retenues, nous obtenons :

```
> reg2=lm(REC~DGUY+PHOUL, data=data0)
> summary(reg2)
```

Call:

```
lm(formula = REC ~ DGUY + PHOUL, data = data0)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-20191.2	-5248.2	-880.4	5282.9	27735.4

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	14575.54	7849.45	1.86	0.065 .
DGUY	-1.47	0.33	-4.53	0.000 ***
PHOUL	1875.12	889.55	2.11	0.036 *

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 8181 on 210 degrees of freedom
 Multiple R-squared: 0.1916, Adjusted R-squared: 0.1839
 F-statistic: 24.89 on 2 and 210 DF, p-value: 1.993e-10

Une nouvelle procédure 'pas à pas' nous permet de confirmer que 17% de la variance des recrutements est expliqué par DGUY avec le décalage de 5 mois. La variance expliquée par la houle reste inférieure à 1%.

7.3. Régressions sur données annuelles

La plupart des données environnementales présentent une évolution sinusoïdale dans le temps. Afin de vérifier si ceci ne masque pas l'effet des corrélations, nous avons réalisé un tableau de données avec un pas de temps annuel et non mensuel comme auparavant (tableau 7.2 et figure 7.5).

	somme	moyenne	moyenne	somme	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne
	REC	SOI	NAO	PGUY	DGUY	DAMAZ	SST	PHOUL
1990	287836	-2.19	0.70	11803	4527	168582	27.56	7.77
1991	316911	-8.78	0.59	8903	2781	171414	27.45	7.78
1992	295327	-10.38	0.27	7809	2600	139094	27.29	9.34
1993	289482	-9.47	0.58	9457	2630	180933	27.58	8.31
1994	347507	-11.93	0.18	10857	3050	196483	27.78	7.95
1995	411046	-2.27	0.58	6918	2641	154871	27.88	8.18
1996	359763	5.69	-0.08	10010	3236	180167	27.87	8.48
1997	361979	-11.67	-0.21	9410	3314	169687	27.66	8.53
1998	395684	-1.08	-0.16	8370	1881	149533	28.44	8.46
1999	286729	7.95	-0.48	9280	2514	185917	27.94	8.58
2000	259737	7.80	0.39	11363	3563	181942	27.91	8.48
2001	253893	0.53	0.21	8865	3433	175306	27.68	8.49
2002	345385	-6.10	-0.18	10237	3165	177875	27.73	8.19
2003	326767	-3.14	0.04	7288	2230	170383	28.08	7.53
2004	311884	-4.82	0.10	8587	2329	164325	28.17	7.67
2005	270037	-3.63	0.24	10483	2822	161673	28.37	7.74
2006	226715	-1.93	-0.27	10091	3142	184518	27.94	7.69
2007	158162	1.45	-0.21	9996	3017	173933	28.02	7.64

Tableau 7.2 : Tableau des données annualisées. En haut des entêtes est indiqué s'il s'agit d'une somme de valeurs ou sa moyenne

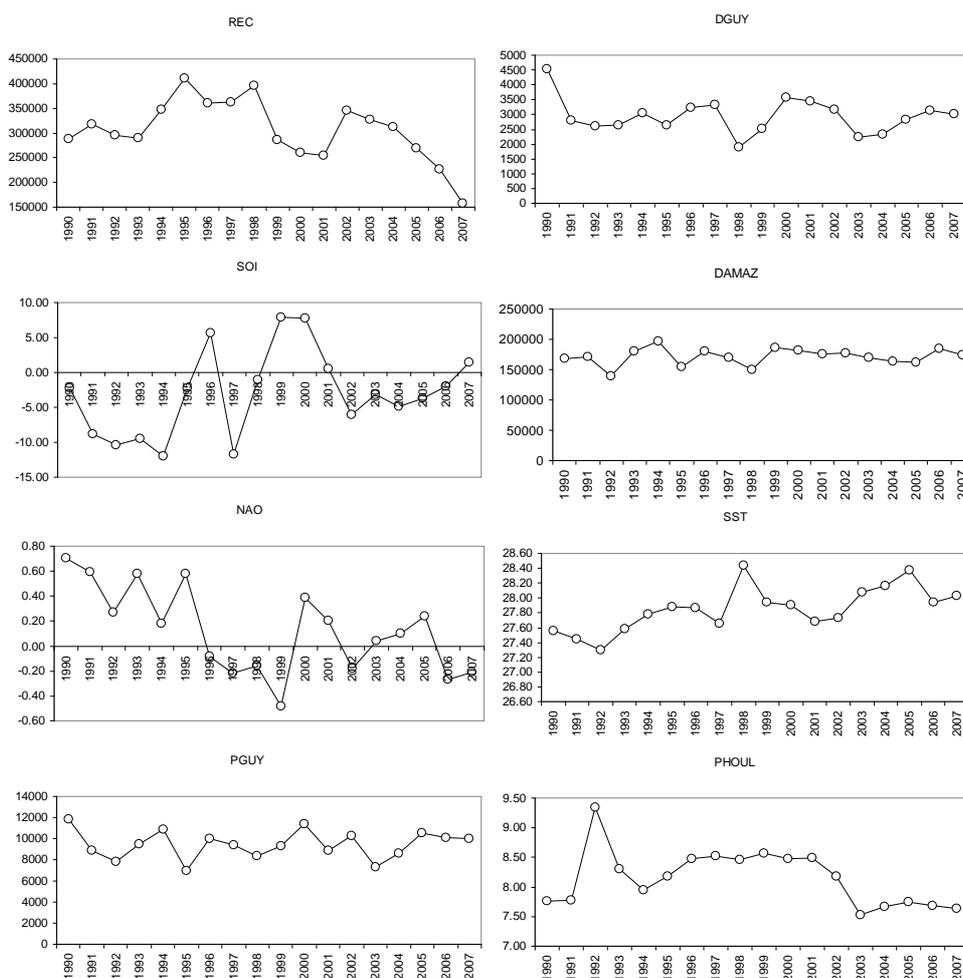


Figure 7.5 : Allure et évolution qualitative de données représentées par année

A la suite des calculs, nous constatons que cette approche n'a pas donné des meilleurs résultats que ceux déjà observés dans le point 7.1.

7.4. Analyse en composantes principales (ACP)

Une autre approche envisageable est celle des ACP, où il est possible de projeter des objets et des variables dans un espace multi-dimensions en maximisant leur variance. Dans notre cas les objets et les variables sont ceux du tableau 7.2.

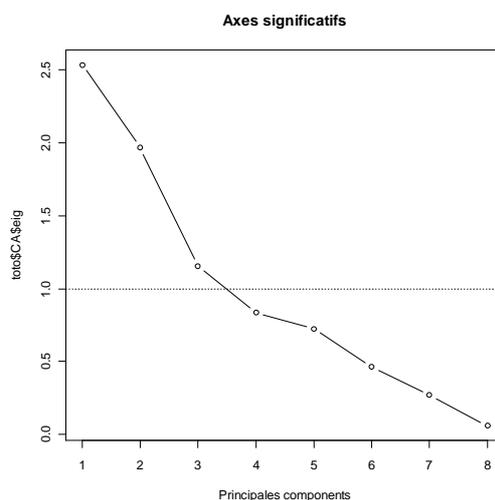


Figure 7.6 : Evolution des valeurs propres et choix des axes retenus

AXES PRINCIPAUX								
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
Valeur propre	2.537	1.967	1.153	0.833	0.723	0.462	0.268	0.058
% expliqué	31.7	24.6	14.4	10.4	9.0	5.8	3.4	0.7
% cumul	31.7	56.3	70.7	81.1	90.2	95.9	99.3	100

Tableau 7.3 : Valeurs propres par axe et leur cumul en pourcentage de variabilité expliquée

En utilisant la valeur moyenne des valeurs propres comme seuil de choix des axes explicatifs, nous obtenons les trois premiers axes (figure 7.6). Ils n'expliquent qu'environ 71 % de la variabilité des données (tableau 7.3), et les deux premiers axes principaux seulement 56 %.

La figure 7.7 privilégie la représentation des objets (points=années). Une représentation privilégiant les variables (non présenté) montre qu'il n'y a pas de distorsion significative pour l'interprétation des variables et ses corrélations par rapport aux axes principaux.

Nous observons une forte dispersion des objets sur le plan, sans une véritable organisation. Ceci est en partie expliqué par la faible part de variabilité explicative des deux premiers axes. L'axe 1 présente les recrutements à droite, en s'opposant aux débits des fleuves et les précipitations associées. Les recrutements sont cependant moyennement représentés, car à l'intérieur du cercle d'équilibre.

Les années 1995, 1998, 2003 présentent les plus fortes valeurs de recrutement en même temps que les débits de l'Amazonie et des pluies guyanaises sont au plus bas. Les années

2000, 2006 et 2007 sont à l'opposé, avec les plus faibles recrutements et plus forts débits des fleuves.

Sur le deuxième axe s'opposent les variables SST et SOI à la NAO. Ceci est également vrai pour une représentation dans les axes 2 et 3. On aurait alors des années chaudes (2003 à 2007) corrélées avec les plus fortes valeurs de la SOI et en opposition avec la NAO. Ces trois variables n'ont finalement que très peu d'influence sur les recrutements et les débits et précipitations.

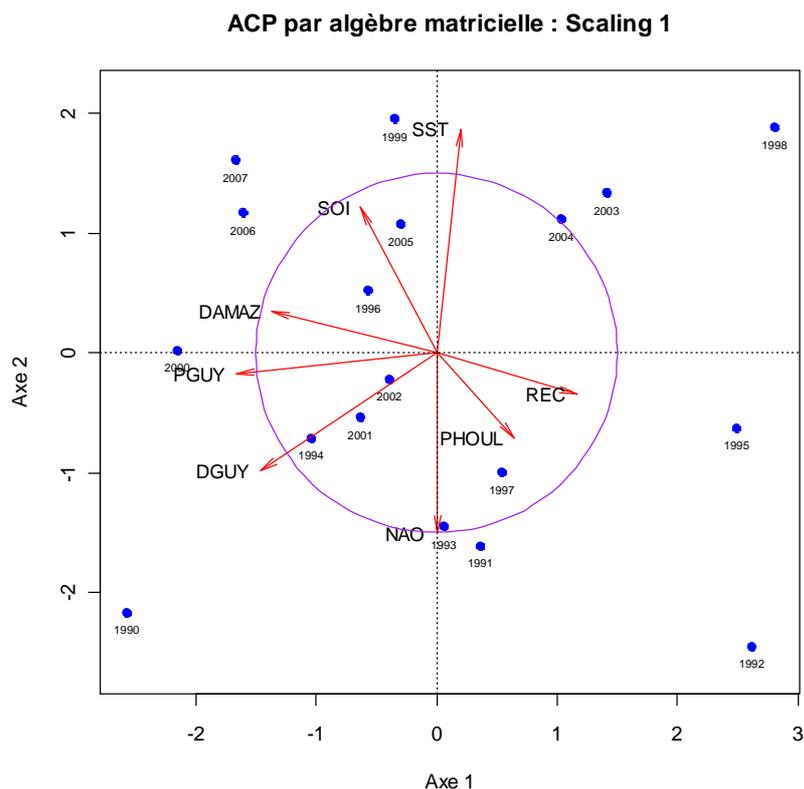


Figure 7.7 : Projection des objets et des variables dans les axes 1 et 2 (56% variance expliqué)

CHAPITRE 8 : DISCUSSION - CONCLUSION

Le but de ce document est de présenter les données environnementales dont on dispose actuellement et les mettre en relation avec les données mensuelles des recrutements de crevettes dans l'espoir de trouver des facteurs du milieu qui pourraient expliquer totalement ou en partie l'évolution des recrutements.

De l'étude de séries temporelles abordées dans le chapitre 6, nous observons un basculement dans les recrutements aux alentours de 1999. La série entre 1989 et 1998 montre des oscillations amples et stables, puis les recrutements deviennent plus aléatoires et imprévisibles entre 1999 et 2009.

Le modèle linéaire réalisé avec la matrice mensuelle de données environnementales n'explique pas convenablement les variations dans les recrutements de crevettes. Aucune variable significative n'a pu être mise en évidence. En effectuant un décalage de 5 mois nous observons cependant une relation qui explique 17 % de la variabilité des recrutements par le débit des fleuves guyanais. Ce pourcentage montre le faible pouvoir explicatif du modèle dans l'évolution des paramètres considérés. Il reste toutefois à expliquer les relations cause-effet de ce décalage, qui pourrait être le temps d'arrivée des eaux dans les zones de nourricerie, additionné au temps nécessaire pour passer de la larve à la jeune recrue (environ 3 mois).

Le lien entre les recrutements et les débits des fleuves+pluies est également observé lors de la réalisation d'une ACP sur des données annualisées. Les deux premiers axes n'arrivent pas à expliquer d'une façon forte les liens existants entre objets et variables (56 %). Cependant, il faut relever le fait que nous observons une opposition entre recrutements et débits des fleuves+pluies. De toute évidence, même si le pouvoir explicatif des fleuves et pluies reste faible dans l'évolution des recrutements, il s'agit des paramètres dont nous devons tenir compte car ils sont significatifs. L'effet sur les développements larvaires lié aux débits des fleuves et précipitations pourrait être la salinité. L'obtention d'une série statistique de moyenne échelle pourrait confirmer cette hypothèse. Les oppositions entre SST+SOI par rapport à la NAO sont également à regarder de plus près. Un indicateur synthétique pourrait mieux convenir pour les prochains travaux.

L'inclusion des vents moyens sur une période réduite (1995-2007) a permis d'obtenir des résultats significatifs pour le modèle linéaire. Une nouvelle régression multiple pourra être effectuée une fois que la série des vents sera complétée avec les années manquantes. Elle sera l'occasion de découper l'ensemble de données en deux séries selon les résultats obtenus dans le chapitre 6. Nous pourrions alors traiter séparément les séries 1989-1998 et 1999-2009.

Ce n'est pas parce que nous n'observons pas des bonnes corrélations ou ajustements entre les données du modèle qu'une relation 'cause-effet' n'existe pas. Plusieurs facteurs peuvent expliquer les résultats obtenus dans les régressions. Premièrement il se peut que le lien existant entre les variables ne soit pas linéaire, mais qu'il suive une toute autre loi. Les données environnementales ne sont peut être pas sous la bonne

forme non plus. C'est-à-dire, qu'il faudra trouver des indicateurs composites ou mieux adaptés que ceux que nous avons utilisés. Par exemple, pour les vents et la houle il serait préférable de trouver un indicateur qui rende compte du changement de direction.

Il se peut également que ces paramètres aient une influence indirecte sur les recrutements. Les vents peuvent affecter les courants, qui vont finalement réduire les chances d'un arrivage des larves sur les côtes. Nous trouverons donc, des décalages temporels qu'il faudra tester un par un. Pour le paramètre de température de la mer il en est de même, avec une influence dans la dynamique du métabolisme, non seulement des larves des crevettes mais également de toute la flore et faune associées au réseau trophique (proies et prédateurs).

Il se peut également que la réponse des recrutements des crevettes soit liée aux paramètres trophiques plus qu'aux paramètres environnementaux. Ces paramètres trophiques pouvant être liés également aux changements environnementaux, mais plus probablement aux changements induits par la pression de pêche sur les stocks présents dans le plateau guyanais. C'est l'hypothèse que nous avons privilégiée sur les relations trophiques entre vivaneaux et crevettes.

Le rapport final devra donc tenir compte des résultats partiels obtenus dans ce document, ainsi que des difficultés rencontrées, tout en ajoutant des nouveaux indicateurs et en développant les hypothèses trophiques.

Bibliographie

- Allison, I., N.L. Bindoff, R.A. Bindoff, R.A. Bindenschadler, P.M. Cox, N. de Noblet, M.H. England, et al. 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.
- Anderson, Paul J. 2000. « Pandalid Shrimp as Indicators of Ecosystem Regime Shift ». *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science* 27: 1-10.
- Aragon-Noriega, E.A., et E. Alcántara-Razo. 2005. « Influence of sea surface temperature on reproductive period and size at maturity of brown shrimp (*Farfantepenaeus californiensis*) in the Gulf of California ». *Marine Biology* (146): 373-379.
- Augustinus, Pieter G. E. F. 2004. « The influence of the trade winds on the coastal development of the Guianas at various scale levels: a synthesis ». *Marine Geology* 208 (2-4) (août 15): 145-151. doi:10.1016/j.margeo.2004.04.007.
- Beaugrand, G. 2002. « Reorganization of North Atlantic Marine Copepod Biodiversity and Climate ». *Science* 296 (5573) (mai 31): 1692-1694. doi:10.1126/science.1071329.
- Beaugrand, Grégory, Keith M. Brander, J. Alistair Lindley, Sami Souissi, et Philip C. Reid. 2003. « Plankton Effect on Cod Recruitment in the North Sea ». *Nature* 426 (6967) (décembre 11): 661-664. doi:10.1038/nature02164.
- Blanchard, Fabian, et Frédéric Vandermeirsch. 2005. « Warming and exponential abundance increase of the subtropical fish *Capros aper* in the Bay of Biscay (1973–2002) ». *Comptes Rendus Biologies* 328 (5) (mai): 505-509. doi:10.1016/j.crv.2004.12.006.
- Eisma, D., P.G.E.F. Augustinus, et C. Alexander. 1991. « Recent and subrecent changes in the dispersal of amazon mud ». *Netherlands Journal of Sea Research* 28 (3) (décembre): 181-192. doi:0.1016/0077-7579(91)90016-T.
- Froidefond, J.M, M Pujos, et X Andre. 1988. « Migration of mud banks and changing coastline in French Guiana ». *Marine Geology* 84 (1-2) (octobre): 19-30. doi:10.1016/0025-3227(88)90122-3.
- Fuentes-Yaco, C., P. A. Koeller, S. Sathyendranath, et T. Platt. 2007. « Shrimp (*Pandalus borealis*) Growth and Timing of the Spring Phytoplankton Bloom on the Newfoundland–Labrador Shelf ». *Fisheries Oceanography* 16 (2): 116–129. doi:10.1111/j.1365-2419.2006.00402.x.
- Garcia, S. 1988. « Chapitre 9 □: Tropical peneid prawn ». In *Fish population Dynamics (second edition)*, Guillaud J.A., 219-249. Wiley and Sons ltd.
- Garcia, Serge, et L. Le Reste. 1981. *Cycles vitaux, dynamique, exploitation et aménagement des stocks de crevettes pénaeïdes côtières*. FAO. FAO Doc. Tech. Pêches 203. <http://www.fao.org/DOCREP/005/AD015F/AD015F00.htm#TOC>.

- Grosjean, Philippe, et Frédéric Ibañes. 2002. « PASTECS - Package for Analysis of Space-Time Ecological Series - Manuel de l'utilisateur de la librairie de fonctions pour R et pour S+ ». Scientifique et technique Version 1.1-1 pour R rel 3 le 12/11/2002. Packages R. <http://www.sciviews.org/pastecs/>.
- Lampert, Luis. 2011. « Etude de la crise de la pêche de la crevette en Guyane - Volume 1 □: Effets de la pêche - hypothèses des causes ». RST RBE/BIODIVHAL 2011-5. Cayenne: Ifremer.
- Leal-Gaxiola, Alfredo, Juana López-Martínez, Ernesto A. Chávez, Sergio Hernández-Vázquez, et Francisco Méndez-Tenorio. 2001. « Interannual Variability of the Reproductive Period of the Brown Shrimp, *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes, 1900) (Decapoda, Natantia) ». *Crustaceana* 74 (9) (octobre): 839-851.
- Lee, S. Y. 2004. « Relationship between mangrove abundance and tropical prawn production: a re-evaluation ». *Marine Biology* 145 (5) (octobre 1): 943-949. doi:10.1007/s00227-004-1385-8.
- Lejeusne, Christophe, Pierre Chevaldonné, Christine Pergent-Martini, Charles F. Boudouresque, et Thierry Pérez. 2010. « Climate change effects on a miniature ocean: the highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea ». *Trends in Ecology & Evolution* 25 (4) (avril): 250-260. doi:10.1016/j.tree.2009.10.009.
- Li, Jianke, et Allan J. Clarke. 2005. « Sea surface temperature and the brown shrimp (*Farfantepenaeus aztecus*) population on the Alabama, Mississippi, Louisiana and Texas continental shelves ». *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 64 (2-3) (août): 261-266. doi:10.1016/j.ecss.2005.02.019.
- Marengo, José A., Carlos A. Nobre, Javier Tomasella, Marcos D. Oyama, Gilvan Sampaio de Oliveira, Rafael de Oliveira, Helio Camargo, Lincoln M. Alves, et I. Foster Brown. 2008. « The Drought of Amazonia in 2005 ». *Journal of Climate* 21 (3) (février 1): 495-516.
- Ouellet, P., L. Savard, et P. Larouche. 2007. « Spring oceanographic conditions and northern shrimp *Pandalus borealis* recruitment success in the north-western Gulf of St. Lawrence ». *Marine Ecology Progress Series* 339: 229-241.
- Parsons, D.G., et E.B. Colburne. 2000. « Forecasting Fishery Performance for Northern Shrimp (*Pandalus borealis*) on the Labrador Shelf (NAFO Divisions 2HJ) ». *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science* 27: 11-20.
- Parsons, L.S, et W.H Lear. 2001. « Climate variability and marine ecosystem impacts: a North Atlantic perspective ». *Progress in Oceanography* 49 (1-4): 167-188. doi:10.1016/S0079-6611(01)00021-0.
- Richard W. Reynolds, Nick A. Rayner, Thomas M. Smith, Diane C. Stokes, et Wanqiu Wang. 2002. « An Improved In Situ and Satellite SST Analysis for Climate ». *Journal of Climate* 15 (13): 1609-1625.
- Rivierre, Antoine. 2007. « Impacts des changements climatiques et de la pêche sur les peuplements benthopélagiques du plateau continental guyanais ». Master professionnel Rapport M2, UAG. Cayenne: IFREMER.
- Santamaría-del-Ángel, Eduardo, Roberto Millán-Núñez, Adriana González-Silvera, Mariana Callejas-Jiménez, Ramón Cajal-Medrano, et Manuel S. Galindo-Bect. 2011. « The Response of Shrimp Fisheries to Climate Variability Off Baja California, México ». *ICES Journal of Marine Science: Journal Du Conseil* 68 (4) (janvier 3): 766-772. doi:10.1093/icesjms/fsq186.

- Santamaría-Miranda, Apolinar, M. Saucedo-Lozano, M N Herrera-Moreno, et J P Apún-Molina. 2005. « Hábitos alimenticios del pargo amarillo *Lutjanus argentiventris* y del pargo rojo *Lutjanus colorado* (Pisces: Lutjanidae) en el norte de Sinaloa, México ». *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 40 (1): 33-44. doi:10.4067/S0718-19572005000100004.
- Saoud, I., et D. Davis. 2003. « Salinity tolerance of brown shrimp *Farfantepenaeus aztecus* as it relates to postlarval and juvenile survival, distribution, and growth in estuaries ». *Estuaries and Coasts* 26 (4): 970-974. doi:10.1007/BF02803355.