

THESE

Pour obtenir le grade de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE TOLIARA
Discipline : **Océanologie Appliquée**

Présentée et soutenue publiquement
Par

BEMIASA John

Le 26 mai 2009

Dynamique des pêcheries traditionnelles d'anchois, de calmars et de poulpes du Sud-Ouest de Madagascar : utilisation d'outils océanographiques pour la gestion des ressources.



Jury : MM RANAIVOSON Eulalie
MAILLARD Catherine
REFENO Germain
RALIJAONA Christian Guy
LASSERRE Gérard
MARA Edouard Remanevy
RABENEVANANA Man Wai
MARSAC Francis

Président
Examineur externe
Examineur interne
Examineur interne
Rapporteur externe
Rapporteur interne
Directeur de thèse
Co-Directeur de thèse

UNIVERSITE DE TOLIARA
INSTITUT HALIEUTIQUE ET DES SCIENCES MARINES

THESE

Pour obtenir le grade de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE TOLIARA
Discipline : **Océanologie Appliquée**

Présentée et soutenue publiquement
Par

BEMIASA John

Le 26 mai 2009

**Dynamique des pêcheries traditionnelles d'anchois,
de calmars et de poulpes du Sud-Ouest de Madagascar :
utilisation d'outils océanographiques pour
la gestion des ressources.**

Jury : MM	RANAIVOSON Eulalie	Président
	MAILLARD Catherine	Examineur externe
	REFENO Germain	Examineur interne
	RALIJAONA Christian Guy	Examineur interne
	LASSERRE Gérard	Rapporteur externe
	MARA Edouard Remanevy	Rapporteur interne
	RABENEVANANA Man Wai	Directeur de thèse
	MARSAC Francis	Co-Directeur de thèse

*Voici la grande et vaste mer
Là se meuvent sans nombre
Des animaux petits et grands.*

....

*Ceux qui étaient descendus sur la mer...,
Ceux-là virent les œuvres de l'Éternel
Et ses merveilles au milieu des abîmes.*

Les Psaumes.

REMERCIEMENTS

Mes premiers remerciements vont à Rabenevanana Man Waï et Francis Marsac qui m'ont permis de réaliser ce travail et ont assuré la direction de ma thèse.

Je remercie vivement le Gouvernement Français, par le biais de son ambassade à Madagascar, qui m'a octroyé une bourse SCACC, laquelle m'a permis de voyager et séjourner en France pour mener la recherche bibliographique et l'analyse des données.

Je suis également redevable de l'aide et de la sympathie que m'ont offertes Catherine Maillard tout au long de ce travail. Je lui suis très reconnaissant de l'accueil chaleureux qu'elle et son équipe m'ont réservé durant mes séjours au SISMER de Brest, ainsi que sa grande expérience en usage de données océanographiques. Je lui remercie aussi d'avoir accepté d'être un des examinateurs.

J'exprime toute ma reconnaissance à l'équipe du CRH de Sète, en particulier, Hervé Demarq qui m'a beaucoup aidé dans les analyses et traitements de données satellitales. Sa gentillesse, sa disponibilité et ses compétences m'ont été précieuses. Merci aussi à Laurence Vicens pour ses précieuses assistances et qui a facilité mes séjours à Sète.

Je voudrais également exprimer mes très vives reconnaissances à l'endroit de Gérard Lasserre et Ranaivoson Eulalie, à Ralijaona Christian, dont leur gentillesse, leur simplicité et leur disponibilité, m'ont extrêmement valeureuses. Merci d'avoir pris le temps de relire mon travail en tant rapporteur, examinateur, président du jury et examinateur.

Je remercie chaleureusement Mara Edouard pour ses précieux conseils et assistances, et d'avoir su se rendre disponible pour faire partie du jury en tant que rapporteur.

Ce travail n'a été rendu possible que grâce à des collaborations étroites avec d'autres organismes nationaux et étrangers. Je tiens particulièrement à exprimer ma gratitude au Service Provinciale de la Pêche et des Ressources Halieutique (SPPRH), de la COPEFRITO et MUREX International, qui ont rendu disponibles les données statistiques de pêche utilisées dans ce travail. Merci à l'équipe de l'IODE-IOC, en particulier à Peter Pissierssens pour ses précieuses aides dans la recherche des laboratoires d'accueil. Merci à Murray Brown pour sa bienveillance, son humour, sa rigueur et ses compétences qui m'ont permis d'aller plus loin

dans le domaine de l'océanographie. *« I'd like to thank Dr Masao Fukasawa of Japan Marine Science and Technology (JAMSTEC) who gave me opportunity to learn physical and operational oceanography onboard the RV MIRAI along the Beagle 2003. The team of RV Pelagia (NIOZ, Texel) receives also my special thanks for the tremendous moments we shared while crossing Mozambic channel during ACSEX 2001 ».*

Je me dois également de remercier tous les chercheurs de l'IH.SM, du personnel, de l'association COUT qui m'ont, à un moment ou à un autre, apporté leur collaboration et leur soutien.

Enfin, je ne pouvais finir sans remercier mes parents, mes frères et sœurs pour leur immense amour, leur confiance et leur soutien permanent dans les moments les plus critiques.

TABLE DES MATIERES

PREMIERE PARTIE

**Les ressources : le poulpe (*Octopus cyanea*)
le calmar (*Loligo sp.*)
l'anchois (*Stolephorus indicus*)**

CHAPITRE I.- ECOLOGIE BIOLOGIE DES ESPECES EXPLOITEES

<i>Octopus cyanea</i> (Gray 1849)	09
1. Répartition géographique et habitat	10
2. La reproduction	11
3. La phase larvaire	14
4. Croissance et longévité	14
5. Le régime alimentaire	20
6. Les prédateurs	21
<i>Loligo sp.</i> (Lamarck 1798)	21
1. Répartition géographique et habitat	22
2. La reproduction	23
3. La phase larvaire	24
4. Croissance et longévité	24
5. Le régime alimentaire	24
6. Les prédateurs	25
<i>Stolephorus indicus</i> (Van Hasseltl 1823)	25
1. Répartition géographique et habitat	26
2. La reproduction	27
3. La phase larvaire	29
4. Croissance et longévité	30
5. Le régime alimentaire	31
6. Les prédateurs	31

CHAPITRE II.- HISTORIQUE DE LA PECHE AUX ANCHOIS ET AUX CEPHALOPODES

2.1. La pêche aux céphalopodes et à l'anchois: historique, modes de pêche, utilisation et données disponibles	32
2.2. L'anchois et la connaissance empirique locale	36
2.3. Méthodes et zones de pêche	37
2.3.1. La pêche aux anchois	37
2.3.1.1. Engins de pêche	37
2.3.1.2. Site et engins de capture	38
2.3.1.3. Zone de pêche	38
2.3.1.4. Site et effort de pêche.....	39
2.3.2. La pêche aux céphalopodes.....	40
2.3.2.1. Les engins et techniques de pêche	42
2.3.2.2. Les zones de pêche.....	43
2.4. Les données statistiques de pêche.....	44
2.5. Commercialisation de l'anchois et des céphalopodes.....	50
2.5.1. La commercialisation de l'anchois	50
2.5.2. La commercialisation des céphalopodes.....	52
2.5.2.1. La consommation locale	52
2.5.2.2. L'expédition intérieure.....	53
2.5.2.3. L'exportation	54
2.5.2.4. Les fluctuations de prix de vente	55
2.6. Gestion des stocks d'anchois et de céphalopodes.....	57
2.6.1. Notion générale sur la gestion de stocks halieutiques	57
2.6.2. Réglementation sur l'anchois	57
2.6.3. Gestion de la pêcherie aux céphalopodes	59
2.6.4. Mesures d'aménagements actuels.....	61

CHAPITRE III.- CONSTAT SUR LA VARIABILITE SPATIALE ET TEMPORELLE DES RESSOURCES

Généralités : ressources halieutiques, stocks précaires	64
---	----

3.1. Variation temporelle des indices d'abondance des populations de poulpes, de calmars et d'anchois	67
3.1.1. La variabilité saisonnière des pêcheries de poulpes, de calmars et d'anchois...	67
3.1.1.1. Des fluctuations saisonnières importantes	67
a. Fluctuations saisonnières de poulpes	67
b. Fluctuations saisonnières de calmars	69
c. Fluctuations saisonnières d'anchois	70
3.1.2. De forte variabilité interannuelles.....	71
3.1.2.1. La variabilité interannuelle de captures de poulpes	71
a. Evolution interannuelle de l'effort de pêche	73
b. Evolution interannuelle des rendements	73
c. Effort de pêche et niveau de production.....	74
3.1.2.2. La variabilité interannuelle des captures de calmars	75
a. Evolution interannuelle de l'effort de pêche	76
b. Evolution interannuelle des rendements	77
c. Effort de pêche et niveau de production.....	78
3.1.2.3. La variabilité interannuelle des débarquements d'anchois	79
a. Evolution interannuelle de l'effort de pêche	80
b. Evolution interannuelle des rendements	81
c. Effort de pêche et niveau de production.....	81
3.2. Les variations spatiales des indice d'abondance des populations de poulpes, de calmars et d'anchois	83
3.2.1. Une forte variabilité inter régionale	83
3.2.1.1. La variation spatiale du niveau de production de poulpes	83
3.2.1.2. La variation spatiale du niveau de production de calmars	84
3.2.1.3. La variation spatiale du niveau de production d'anchois.....	84
3.2.2. La variabilité intra régionale	85
3.2.2.1. Les variations de captures de poulpes.....	85
3.2.2.2. Les variations de captures de calmars.....	88
3.3. Comparaison des tendances dans la production des trois pêcheries	93
3.3.1. Sur l'ensemble de la période 1994-2006.....	93
3.3.2. A l'échelle saisonnière	94

CONCLUSION ET RESUME DE LA PREMIERE PARTIE	96
---	-----------

DEUXIEME PARTIE

Le couplage environnement-ressources ou les fluctuations des indices d'abondance

INTRODUCTION..... 100

CHAPITRE IV.- FLUCTUATION ENVIRONNEMENTALE EN ZONE DE PECHE DU S.O. DE MADAGASCAR

INTRODUCTION..... 104

**4.1. La condition environnementale des pêcheries de poulpes, de calmars et d'anchois
des côtes sud-ouest malgache 107**

4.1.1. Le plateau continental sud malgache 107

4.1.1.1. Le relief du plateau continental..... 107

4.1.1.2. L'extension du plateau continental 108

4.1.1.3. Le début de la retombée sur les grands fonds 108

4.1.1.4. Le relief du plateau continental en face du Cap Ste Marie 109

4.1.1.5. Le relief du plateau continental, Cap Ste Marie - Fort-Dauphin 110

4.1.2. L'hydrographie..... 110

4.1.2.1. La façade sud-ouest..... 110

4.1.2.2. La façade sud et sud-est 111

4.1.3. L'hydroclimat du sud malgache..... 114

4.1.3.1. La température de l'eau de mer..... 114

4.1.3.2. La marée..... 115

4.1.3.3. Les données atmosphériques de surface 115

4.2. La dynamique océanographique des côtes sud et sud-ouest malgaches 119

4.2.1. Les données utilisées..... 119

4.2.1.1. Les données in situ 120

a. Les données de campagnes océanographiques 120

b. Les données de courants de surface (NOAA Navy Shipdrift).... 120

4.2.1.2. Les données satellitales 120

a. Les données TSM de AVHRR Pathfinder	121
b. Les données Chlorophyllienne de SeaWifs	121
c. Les données « vents » de FSU	122
4.2.2. Les méthodes d'analyse descriptives des variations spatio temporelles.....	122
4.2.2.1. Les modèles statistiques linéaires avancés.....	122
a. L'analyse spectrale (de Fourier)	123
b. Le diagramme de Hovmoller	124
4.2.2.2. Technique exploratoire multivariée : l'Analyse en Composante Principale (ACP).....	124
4.2.3. La structure et la dynamique marine du sud malgache	127
4.2.3.1. Les masses d'eau	127
4.2.3.2. Les variations interannuelles et saisonnières de l'intensité de l'upwelling sud malgache	129
a. La variabilité interannuelle en Chlorophylle- <i>a</i>	131
b. Les fluctuations saisonnières en Chlorophylle- <i>a</i>	135
4.2.3.3. Les variations interannuelles et saisonnières de la température de surface de la mer	140
a. La variabilité interannuelle de la température	140
b. Les fluctuations saisonnières de la température de surface de la mer	142
4.2.3.4. Les variations interannuelles et saisonnières de la turbulence.....	144
a. Variabilité interannuelle de la turbulence	144
b. Variabilité saisonnière de la turbulence	146
4.2.4. Analyse descriptive et multivariée des fluctuations environnementales	148
4.2.4.1. Analyse à l'échelle de l'année	149
4.2.4.2. Analyse à l'échelle de mois	155
4.2.5. Résumé de l'évolution et des caractéristiques de l'hydroclimat sud malgache	159
4.3. Analyse du couplage environnement-ressources	161
4.3.1. Les passages massifs d'anchois ou l'hypothèse d'un forçage environnemental	161
4.3.2. Analyse descriptive et comparative de l'impact des fluctuations climatiques annuelles sur les captures, efforts et PUE d'anchois, de calmars et de poulpes.	164

4.3.2.1. Fluctuations environnementales annuelles et niveau de production : quelles relations ?.....	164
4.3.3. Adaptation de la reproduction des anchois et des poulpes du sud-ouest malgache aux contraintes environnementales.....	185
DISCUSSION ET CONCLUSION DU CHAPITRE 4	188
 CHAPITRE V.- APPROCHE MODELISATRICE SIMPLE DE L'IMPACT DE L'ENVIRONNEMENT SUR LES STOCKS EXPLOITES	
<hr/>	
5.1. Introduction.....	191
5.2. Généralités et modélisation sur Climprod.....	191
5.3. Application de modèles Climprod à l'étude de l'impact des fluctuations annuelles environnementales sur la variabilité des indices d'abondance d'anchois, de calmars et de poulpes du sud-ouest malgache.....	192
5.3.1. Hypothèse de travail et analyses	192
5.3.2. Matériel et méthodes.....	194
5.3.2.1. Les séries environnementales.....	194
5.3.2.2. Analyse de captures et efforts	194
5.3.3. Résultats	195
5.3.3.1. Les séries environnementales.....	195
5.3.3.2. Approche de surplus de production	196
DISCUSSION ET CONCLUSION DU CHAPITRE 5	199
CONCLUSION GENERALE	202
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	206
ANNEXES.....	218

INTRODUCTION GENERALE

L'activité de pêche constitue l'une des principales ressources économiques pour la plupart des pays du sud. Cette activité est d'autant plus rémunératrice pour les populations vivant le long des côtes où le phénomène d'upwelling constitue les principales sources d'enrichissement trophique du milieu marin. Presque la moitié des captures mondiales des principales espèces exploitées proviennent de ces zones d'upwelling, alors qu'elles ne représentent que 1% de la surface océanique. Que ce soit pour les petits poissons pélagiques côtiers ou les espèces démersales, ces zones sont les lieux de pêche par excellence, industrielle, artisanale voire traditionnelle. Dans certaines zones, les céphalopodes font partie aussi des espèces colonisant les mêmes endroits, et ainsi exploitées par la pêcherie locale.

Dans le sud-ouest malgache, où la pêche maritime est une activité ancienne vers laquelle se tournent les populations côtières, au détriment des autres secteurs sur le plan économique, en l'occurrence l'agriculture, la pêche aux céphalopodes (poules et calmars) s'est pratiquée depuis longtemps. Mais sous la pression du marché international, la pêche, la collecte et l'exportation de ces ressources a connu un développement rapide depuis ces vingt dernières années, pour atteindre près de 1500 tonnes exportées en 2004 (Copefrito, 2005). Elle occupe la troisième place en volume exporté après le thon et la crevette. Au niveau du marché mondial, la valeur commerciale des céphalopodes devient significativement plus élevée que les autres espèces exploitées dans les pêcheries. Quoique mal connue, il semble que leur biomasse augmente depuis quelques années. Ceci explique le développement de la pêcherie de plus en plus orientée vers ces espèces. Avec l'anchois (petits poissons pélagiques : *Stolephorus indicus*), les céphalopodes constituent dorénavant les principales espèces cibles des pêcheries côtières du sud-ouest malgache. Cependant, les stocks de ces ressources sont mal connus et les exploitants (pêcheurs et opérateurs) sont souvent confrontés à l'instabilité parfois drastique de l'abondance de ces ressources d'une année à l'autre, avec comme corollaire l'effondrement économique dans le secteur pêche. Ceci est d'autant plus préoccupant lorsque le rendement et la production sont en baisse et que l'on craigne la disparition même des ressources en question. Bien souvent, le caractère brutal de l'effondrement d'un stock, mais aussi la non régulation des pêches et les méconnaissances de certains facteurs de la dynamique des stocks sont à l'origine de l'échec en gestion de stock (Faure et Cury, 2000). Quoique l'exploitation des petits pélagiques et des céphalopodes, n'atteigne pas encore le seuil critique, ce que l'on observe sur terrain dans certaines zones

d'exploitation, incite à penser que le stock de cette ressource est instable. Des données de pêche recueillies par Blue Ventures (2006), indiquent une baisse de la taille moyenne des poulpes capturés dans la région de Morombe (Andavadoaka), au nord de Toliara. Un signe de surexploitation du stock, ou s'agit-il plutôt, d'un phénomène localisé ?

Du fait que peu d'études aient été faites sur la biologie, l'écologie et les pêcheries des anchois et céphalopodes du sud-ouest de Madagascar, les connaissances sur ces espèces méritent d'être approfondies. Nombreux doutes et incertitudes planent encore sur les stades clés de leur biologie, de leur cycle de vie en général et la dynamique de leur population dans la zone. Ce qui rend difficile l'application de modèle analytique de gestion (Boyle, 1990). En ce qui concerne les céphalopodes, un atelier national sur l'« aménagement de la pêche de céphalopodes à Madagascar » a eu lieu en juillet 2005, et qui réunissait différents acteurs : chercheurs, opérateurs économiques, mareyeurs et pêcheurs. L'objectif est de faire un bilan de connaissances sur la dynamique des pêcheries traditionnelles d'anchois, de calmars et de poulpes dans un contexte environnemental fluctuant et d'appliquer les modèles simples de surplus de production comme outil permettant la gestion future de ces pêcheries.

La présente étude contribue donc, en quelque sorte, à améliorer les connaissances sur les fluctuations d'abondance des populations sud-ouest malgache d'anchois et des céphalopodes. La variation d'abondance (ou l'instabilité) d'une population est chose courante pour la plupart des ressources marines. Pêcheurs et halieutes la considèrent comme une des préoccupations majeures, d'autant plus qu'elle engendre des incertitudes sur des mesures de gestion de stock (Sissenwine, 1984). May (1976) considère le déterminisme des fluctuations spatio-temporelles comme un des principaux thèmes de l'écologie des populations. En effet, une bonne compréhension des mécanismes en cause permet d'apporter de nombreuses réponses à des questions écologiques et scientifiques fondamentales concernant la régulation de ces populations (Faure, 2000). Les facteurs naturels aussi bien qu'anthropiques (pêche, prédation, environnement, cycle biologique de l'espèce) sont en général à l'origine des fluctuations d'abondance des ressources marines, notamment celles liées au recrutement.

La gestion individuelle des stocks exploités basés sur la simple prise en compte du niveau d'exploitation (effort de pêche, stratégie de pêche) ne suffit pas pour aborder l'étude de la dynamique des ressources vivantes. En effet, il y a des interactions fortes dans les écosystèmes. Et c'est ces interactions qu'il faut gérer maintenant avec l'approche écosystémique de pêche. Néanmoins, le rôle respectif des différents facteurs est difficile à

discerner dans cette nouvelle approche, car ils sont interdépendants. En effet, il est donc inconcevable d'établir une hypothèse générale simple et valable pour toutes les espèces et en toutes circonstances (Wooster et Bailey, 1989). Le défi pour le futur, c'est donc de pouvoir coupler les deux types de modèles, c'est-à-dire, de mieux comprendre, lorsque l'on va changer le physique des océans, par exemple, dans un contexte de changement climatique global, quelle sera être l'incidence sur les ressources marines ? Ceci va donc servir à mieux comprendre l'impact de changements globaux sur les pêcheries locales (Cury, 2005).

Jusqu'à ce jour, rares sont les études (pour ne pas dire inexistantes) réalisées qui abordent la problématique du déterminisme des fluctuations d'abondance des anchois et des céphalopodes de la région sud-ouest de Madagascar. Les connaissances empiriques des pêcheurs tirées à partir des observations des aléas climatiques semblent précaires pour être considérées valables et quantifiables. Des rapports sur les exploitations des stocks de céphalopodes de Madagascar ont été rédigés suite à un atelier régional en juillet 2005. Certains pensent que le niveau d'exploitation actuelle mérite d'attirer déjà l'attention des décideurs du secteur pêche.

Quant aux causes de l'apparition massive des anchois ainsi que les fortes fluctuations interannuelles, celles-ci restent encore imprécises. Une tentative sommaire d'explication de ce sujet a été abordée par Blue Ventures (2006) et qui a mis en relation les fluctuations annuelles des rendements de captures de poulpes et celles des facteurs environnementaux et la pêche excessive.

Du fait de la rareté des littératures scientifiques sur le sujet jusqu'à ce jour, l'évaluation de l'impact environnemental (biotique et abiotique) sur les fluctuations d'abondance des stocks sud-ouest malgaches d'anchois et de céphalopodes reste donc un problème d'actualité. D'autant plus qu'il est désormais reconnu que certaines caractéristiques biologiques de ces espèces à faible longévité (croissance, reproduction) sont particulièrement sensibles aux conditions du milieu (Boyle et Boletzky, 1996).

Ainsi donc, l'objectif principal de ce travail est d'essayer d'élucider les causes des fluctuations d'abondance de stocks des anchois et des céphalopodes (poulpes et calmars) du sud-ouest malgache en utilisant la nouvelle approche écosystemique des pêches. En relation à cette problématique, deux questions sont posées : les facteurs déterminant l'apparition massive des espèces (en particulier l'anchois) et le problème du déterminisme de variation annuelle de leur abondance. Nous anticipons deux éventualités à ces questions :

- i) l'effet de changements de l'environnement physique

ii) l'impact des méthodes adoptées pour l'exploitation des ressources.

Au premier abord, les relations entre les ressources et les variations temporelles des facteurs environnementaux de la région sud-ouest malgache seraient étudiées par une méthode empirique et comparative. La similitude entre les facteurs régissant la survie larvaire de ces espèces nous amène également à introduire la notion du mécanisme de recrutement des individus dans le milieu marin. Conséquemment, nous mettons en faveur deux paramètres qui sont responsables de la variabilité d'abondance des ressources : l'enrichissement du milieu et les facteurs favorisant la dissipation. Les différents chapitres seraient précédés par des introductions rappelant ce cheminement et les procédés adoptés.

Une contrainte inhérente lors de la confrontation des phénomènes physiques et biologiques, consiste à trouver les échelles de temps et d'espace appropriées, étant donné que la variabilité biologique n'est en effet pas forcément observable aux mêmes échelles que celles des processus physiques qui la déclenchent (Faure, 2000).

Par rapport à ces composantes sus-citées, la thèse est structurée en deux grandes parties dont chacun comprend plusieurs chapitres. Nous abordons la première partie par une synthèse sur la biologie et écologie des espèces, leur exploitation ainsi que la précarité de ces ressources. Le choix de mettre dans un premier chapitre les détails sur l'eco biologie des espèces est justifié, du fait que la compréhension de la dynamique des populations et son déterminisme passent obligatoirement par les connaissances sur les propriétés biologiques et écologiques des espèces. Quelques paragraphes seraient consacrés à l'analyse des rapports entre les céphalopodes (poules et calmars) et les petits poissons pélagiques (anchois en l'occurrence). Un deuxième chapitre serait consacré sur l'état de lieu de l'exploitation des céphalopodes et anchois à Madagascar, dans le sud-ouest en particulier. Au terme de la première partie, un troisième chapitre aborde la problématique sur la spécification des fluctuations spatiales et temporelles de ces ressources.

Nous allons consacrer la deuxième partie de cette thèse au discernement des causes des variations d'abondance des populations des ressources sus-citées. Le chapitre 4 serait donc consacré à l'analyse d'éventualités de conséquences des perturbations environnementales sur la variabilité des ressources. Y a-t-il relation entre les changements climatiques et les passages parfois massifs des anchois dans la région ? Auraient-ils des effets sur la variabilité d'abondance des ressources ? Dans le cas affirmatif, quels sont les principaux éléments déterminants, l'intensité des changements climatiques ou leur chronologie en rapport avec les différentes étapes du cycle de vie de ces espèces ? Peut-on discerner le rapport entre la

dynamique des ressources et les paramètres environnementaux ? A quel stade de vie des espèces les aléas environnementaux agissent-ils le plus ? Y a-t-il des éléments déterminants ?

Les éléments de réponses à ces questions seraient détaillés au chapitre 4.3.3. La clarté des explications requiert par contre, l'analyse de ces pêcheries dans le cadre de leur contexte géographique et hydroclimatique, avec comme processus stimulateur, l'upwelling du sud de Madagascar. Le dernier chapitre (chapitre 5) serait consacré à l'approche modélisatrice simple de l'impact de l'environnement sur les stocks exploités.

PREMIERE PARTIE

Les ressources : l'anchois (*Stolephorus indicus*)
le calmar (*Loligo sp.*)
le poulpe (*Octopus cyanea*)

CHAPITRE 1

**Ecologie et biologie
des espèces exploitées**

Figure 1 : Carte de la zone d'étude avec les principales localités du sud et sud-ouest malgache.



Source : Bemiasa (2008)

Trois espèces sont particulièrement exploitées dans la région sud-ouest de Madagascar : l'anchois (*Stolephorus indicus*, Van Hasselt 1823), le poulpe (*Octopus cyanea*, Gray 1849) et le calmar (*Loligo sp.*, Lamarck, 1798). Leurs pêcheries occupent une place importante dans l'économie de la région. Les fluctuations d'abondance interannuelles de leurs populations (et en conséquence la production de la pêche) semblent être liées aux paramètres physiques environnementaux (température de l'eau, salinité) et des processus hydrologiques côtiers d'enrichissement (upwelling, turbulence, rétention) qui assurent l'abondance de nourriture pour les espèces vivant dans le milieu.

***Octopus cyanea* (Gray 1849)**

Mollusque appartenant à la classe des Céphalopodes, *Octopus cyanea* fait partie de ces animaux marins dont le corps est composé de deux parties : le cephalopodium (les bras et la tête) et le complexe palleovisceral, c'est-à-dire le manteau enfermant les viscères. D'origine grecque, le nom donné à cette classe est composé du kephalé (tête) et de podos (pied). Les céphalopodes sont présents dans tous les océans du monde.

Quant à l'Ordre des Octopodes auquel l'espèce appartient, [Grasse et al.](#) (1961) l'ont décrit comme des dibranchiaux à huit bras, à coquille rudimentaire ou absente, avec un entonnoir sans bouton-pression et des ventouses sessiles. Ils ne possèdent ni glandes nidamentaires ni nageoires.

La famille des Octopodidae comprend près de 200 espèces. A lui seul le genre *Octopus* compte près de 100 espèces dont 3 sont rencontrées dans les eaux côtières malgaches. Il s'agit de l'*O. aegina* (Gray, 1849), l'*O. cyanea* (Gray, 1849) et l'*O. macropus* (Risso, 1826). Les espèces de cette famille sont généralement sédentaires. L'espèce ***Octopus cyanea*** est la plus exploitée à Madagascar, notamment dans la région sud-ouest malgache entre Androka et Morondava (COPEFRITO, *comm. pers.*, Toany, 1997). Sa position systématique est la suivante :

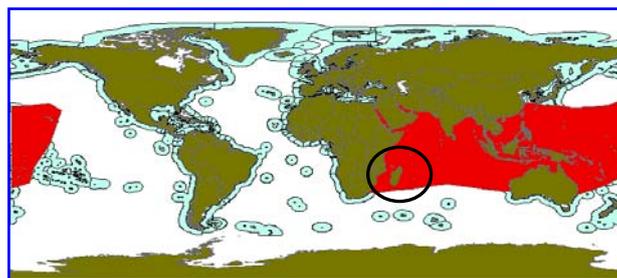
Classe	Cephalopoda	Cuvier, 1797
Sous classe	Coleoidea	Bather, 1888
Ordre	Octopoda	Leach, 1818
Sous ordre	Incirrata	Grimpe, 1916
Famille	Octopodidae	Orbigny, 1845
Sous famille	Octopodinae	Grimpe, 1921
Genre	Octopus	Lamarck, 1798
Espèce	<i>Octopus cyanea</i>	Gray, 1849

1. Répartition géographique et habitat.

Une liste non exhaustive est donnée par [Mangold](#) (1963) sur la distribution de l'espèce *Octopus vulgaris*. En ce qui concerne *O. cyanea*, on le trouve dans la plupart des régions de l'Indo-Pacifique (Figure.1) (Caverriviere, 2005). Elle représente probablement un complexe d'espèces ou sous-espèces (Young *et al.*, 1992).

Octopus cyanea est aussi appelée "gros poulpe bleu" car il possède un ocelle pourpre sombre entre les yeux et la base des bras III et IV. Il est aussi connu sous le nom de "poulpe de jour" par opposition au "poulpe de nuit" *Octopus macropus*- qui est rencontré dans les mêmes régions. Le poulpe bleu est une espèce côtière qui atteint des poids élevés, supérieurs à 3 kg en élevage et en milieu naturel à Hawaii (Van Heukelem, 1983), et 3,3 kg pour les males et femelles en milieu naturel à Madagascar (La roche *et al.*, non publié), quoique des individus de plus de 5 kg soient quelquefois rencontrés (*com. pers.* de Chan Kit Waye, directeur de COPEFRITO). Le long de la côte malgache, les aires de concentrations de poulpes se repartissent dans les zones récifales coralliennes situées surtout dans le sud-ouest où elles sont les plus florissantes. Dans le sud de Madagascar l'espèce est très côtière (0-3 m) avec l'essentiel de son abondance sur les platiers coralliens. Laroche *et al.* (non publié) rapportent des essais de pêche avec des abondances plus faibles sinon nulles au-delà, alors que l'on peut le rencontrer jusqu'au moins 45 mètres de profondeur à Hawaii (Van Heukelem, 1966).

Figure 1a. Carte de la distribution géographique de *Octopus cyanea*. (Source, Cephbase, 2006).



L'espèce utilise des terriers, dont le type est un trou de 30-60 cm de profondeur et 8-15 cm de diamètre à l'ouverture, il s'élargit ensuite (Van Heukelem. 1966).

L'espèce utilise des terriers, dont le type est un trou de 30-60 cm de profondeur et 8-15 cm de diamètre à l'ouverture, il s'élargit ensuite (Van Heukelem. 1966).

2. La reproduction

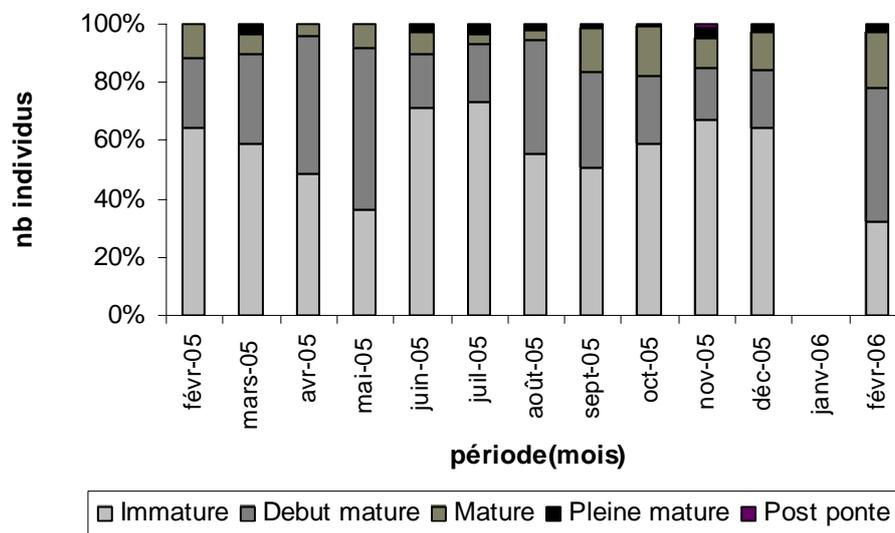
L'activité reproductrice est en général un phénomène cyclique, saisonnier, dont les manifestations touchent les gonades, le tractus génital, les caractères sexuels secondaires et le comportement reproducteur ([Mamoudou](#), 1988).

Comme chez d'autres espèces de poulpe, l'accouplement se fait à « distance » par le bras hectocotyle du mâle qui est le 3^{ème} à droite (Caveriviere, 2005). C'est un bras dont l'extrémité est transformée et qui comporte une gouttière sur sa longueur. Le mâle cherche l'ouverture de la cavité palléale avec ce bras, puis l'orifice de l'oviducte. Le contact avec ce dernier déclenche le transfert des spermatophores, qui sont émis dans la gouttière par le penis. Ils vont cheminer jusque dans l'oviducte où ils éclateront en libérant les spermatozoïdes. L'accouplement d'*Octopus cyanea* peut durer une heure ou plus (Wells et Wells, 1959). Quand la femelle pondra, les spermatozoïdes stockés féconderont les œufs lors de leurs passages dans l'oviducte. Chez la femelle, la fertilisation des œufs est interne. [Mangold](#) et [Boletzky](#) (1973), constatent que l'introduction de l'hectocotyl mâle dans la cavité du manteau de la femelle assure la fertilisation qui a lieu à l'intérieur des glandes de l'oviducte où les spermatozoïdes sont stockés. La fécondation a lieu à l'intérieur des glandes de l'oviducte ([Nesis](#), 1982) qui constituent également un réservoir à spermatozoïdes. La durée de stockage peut être importante et atteindre au moins 100 jours pour l'espèce (Van Heukelem, 1976).

Les périodes de reproduction sont généralement étudiées en regardant l'évolution du pourcentage des femelles ayant un stade avancé de maturation des ovaires, indiquant une ponte proche. C'est ce qu'ont réalisé [La Roche et al.](#) (non publié) pour les poulpes (4844 individus) récoltés entre mai 1993 et avril 1994 devant deux villages (Fiherenamasay et Tsifota) situés dans le sud-ouest de Madagascar, un peu au nord de la ville de Toliara. Les plus petites femelles matures observées pesaient 400 g et le poids moyen à la première maturité (50% des femelles de cette taille sont matures) étaient de 1056 g (leurs résultats sont donnés en longueur et on les a transformé en poids à partir des relations taille-poids calculées par ces auteurs). En ne considérant que les femelles de taille supérieure à celle des plus petites femelles matures, l'évolution mensuelle des pourcentages de femelles matures a été tracée

(Figure.2). Des pontes auraient lieu toute l'année, avec une saison de ponte principale qui se situerait au commencement de la saison chaude (*novembre – janvier*) ; une période de ponte secondaire prendrait place dans le milieu de la saison froide (*juillet-août*). Une étude plus récente réalisée devant la Tanzanie (Guard et Mgaya, 2002) indique un poids minimum de première maturité de 600 g pour les femelles, avec une proportion élevée de femelles matures en juin, notons que les conditions climatiques ne sont pas les mêmes. Les mâles matures montrent un élargissement de certaines ventouses.

Figure.2. Evolution mensuelle des pourcentages des femelles matures d'*Octopus cyanea* du sud-ouest de Madagascar pour la période de 2005-2006. Graphe construit à partir des données de Raberinary, 2007).



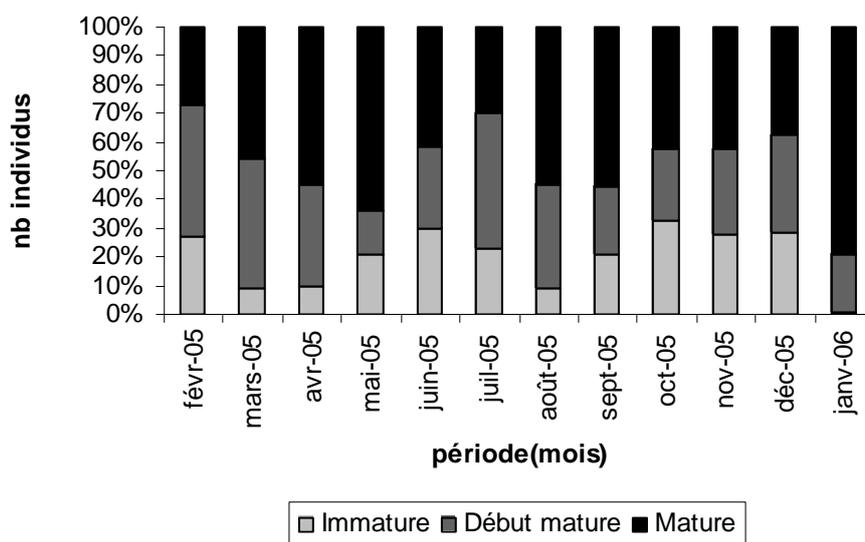
Chez *Octopus cyanea*, la femelle pond des œufs de 3 mm de long réunis en cordons fixés sur le toit des abris, 150 000 à 700 000 œufs suivant la taille des femelles, avec 600 à 1200 œufs par cordon (Van Heukelen, 1983). La femelle dissimule l'entrée de son abri avec des éléments de substrat, comme des petits blocs de corail mort, jusqu'à la rendre invisible. Elle va y rester constamment sans en sortir, et donc sans se nourrir, pour garder les œufs et les aérer par des mouvements d'eau canalisés par son siphon respiratoire. On a pu observer chez les poulpes en général, que si la femelle meurt ou est tuée avant l'éclosion des œufs, ceux-ci meurent rapidement à leur tour après avoir été couverts par une couche de particules (Caverrieviere, 2002). La femelle, qui ne s'est pas alimentée, meurt rapidement après l'éclosion des œufs.

▪ Maturité sexuelle et ponte

L'étude de la maturité sexuelle permet d'avoir au moins un double intérêt ([Fontana, 1979](#)) :

- la détermination des périodes de reproduction par l'étude de l'évolution mensuelle ou saisonnière du pourcentage de stade "ponte" dans les échantillons. Ces données sont indispensables pour fixer l'âge des différentes cohortes et déterminer la croissance;
- la disposition d'informations utiles pour l'étude de la fécondité ([Mamoudou, 1988](#)).

Figure 3. Evolution mensuelle des pourcentages des males matures d'*Octopus cyanea* du sud-ouest de Madagascar pour la période de 2005-2006. Graphe construit à partir des données de Raberinary, 2007).



Selon [Ezzeddine-Najai \(1992\)](#); [Zguidi \(2002\)](#), dans le Golf de Gabes, les poids moyens à l'âge de la maturité sexuelle est estimé entre 1200-1450 g. Des résultats similaires ont été obtenus dans d'autres zones géographiques ([Mangold-Wirz 1963](#); [Guerra 1979](#); [Hatanaka 1979](#); [Caverivière 1990](#)).

3. La phase larvaire

Chez *Octopus cyanea*, dans des conditions normales, les oeufs éclosent en 20-30 jours pour une gamme de température de 20-27°C (Van Heukelem, 1983) et donnent des larves qui se développent en pleine eau pendant 1,5 à 2 mois. Les larves pélagiques ressemblent à l'adulte, quoique avec des bras proportionnellement moins longs (Caveriviere, 2005).

La larve vit pendant un certain temps la phase planctonique avant de se poser au fond. Pendant cette phase, elles sont transportées par les courants qui assurent leur large distribution dans toutes les mers. Cependant, les juvéniles sont très vulnérables aux éventuels risques environnementaux et le taux de mortalité est significatif pendant cette phase ([Ezzedine et al](#), 1998).

Itami *et al.* (1963) affirment qu'en condition expérimentale, le taux de survie entre éclosion et sédentarisation est de l'ordre de 9% ; mais pourrait probablement dépasser les 90% dans les conditions naturelles ([Mangold](#), 1983). A l'arrivée sur le fond, les larves font environ 1 cm avec des bras de 2-3 cm (Wells et Wells, 1970). Après une semaine sur le fond, les individus pèsent 0,38 à 0,59 grammes.

Contrairement aux calmars, le poulpe est plutôt sédentaire. D'après les calculs d'indices d'agrégations de la distribution spatiale des espèces, [Guerra](#) (1981) affirme pour l'espèce *Octopus vulgaris* qu'elle est normalement solitaire et territorial, notamment pendant la saison de ponte. Mais cela n'exclut pas des déplacements à l'intérieur de l'aire de répartition qui sont à l'origine des variations spatio-temporelles de la répartition et de l'abondance observées au cours de l'année dans une zone considérée.

4. Croissance et longévité

D'après les différentes études déjà réalisées sur *O. cyanea*, Young et Harman (1988) rapportent que les femelles grandissent rapidement jusqu'au commencement de la maturité sexuelle, puis la croissance ralentit et s'arrête avant la ponte (Caveriviere, 2005). C'est un phénomène commun chez les espèces de poulpe. On peut aller plus loin en considérant qu'il y a une perte de poids chez les femelles qui peut commencer deux semaines avant la ponte. A la mort post-reproductive des femelles (juste après l'éclosion des oeufs) cette perte de poids peut atteindre 50% du poids maximum atteint par ces femelles (Caveriviere *et al.*, 1999). Les mâles perdent également du poids et meurent à peu près en même temps que les femelles qu'ils ont

fécondées, ce qui était moins connu mais en accord avec les travaux de Tait (1986) qui tendent à montrer que la reproduction est sous le contrôle de la glande optique qui détermine aussi la sénescence. La croissance en poids serait de l'ordre de 3,0 à 6,3% par jour pour les jeunes poulpes récemment arrivés sur le fond, dont l'ocelle caractéristique de l'espèce ne serait visible que plusieurs jours après cette arrivée (Wells et Wells, 1972; Young et Harman, 1988).

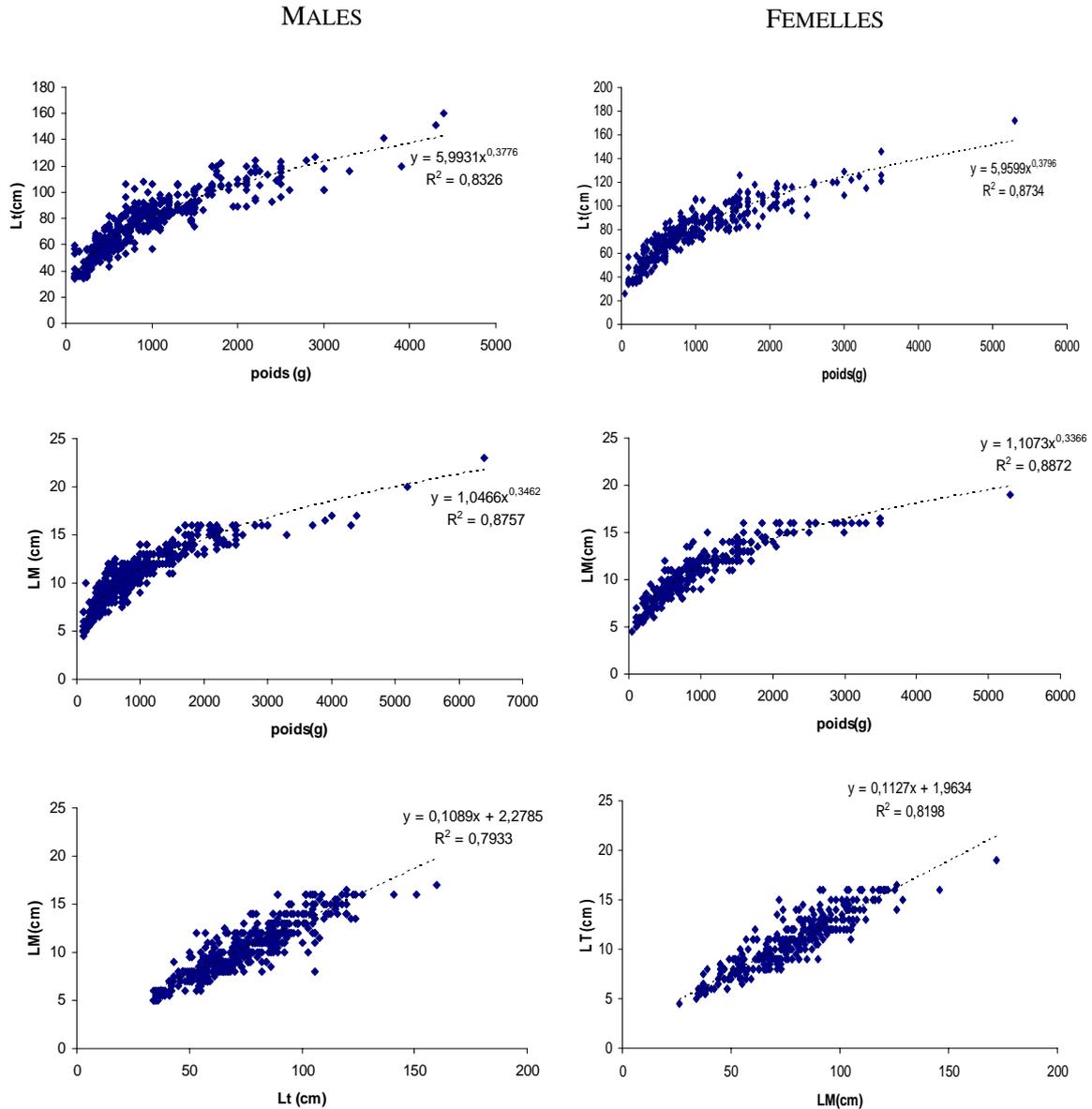
Des *Octopus cyanea* en captivité ont été nourris avec des crabes vivants à Hawaii (Van Heukelen, 1973, 1976), le plus petits animal pesant 67 g lors de sa capture. Le taux de croissance individuel à deux semaines d'intervalle a été compris entre 3,8 et 4,1% par jour pour des animaux dont le poids initial allait de 109 à 235 g.

Une courbe de croissance a été tracée à partir de 152 mesures de poids effectuées sur 25 poulpes, les données concernant les vieux individus et les femelles matures ayant été supprimées. La courbe de croissance estimée, est une fonction puissance de la forme: $W = ax^b$; W étant le poids du corps en gramme, x étant l'âge en jours après l'arrivée sur le fond, a et b sont des constantes valant respectivement $1,28 \cdot 10^{-6}$ et 3,92. Van Heukelem (1983) indique que cette courbe est valable pour des individus qui vivent sur le fond depuis une centaine de jours ou plus, une courbe exponentielle étant mieux adaptée pour des individus plus jeunes. La première courbe commençant pour des individus de 100 grammes environ. C'est celle qui nous intéresse le plus. D'après ce qu'il a été précédemment indiqué sur la durée de la vie larvaire (1,5 à 2 mois), nous avons ajouté 53 jours à l'âge pour obtenir, à partir de l'équation ci-dessus, une courbe de croissance qui donne le poids moyen en fonction du nombre de jours après la naissance (éclosion de l'oeuf). Elle est présentée sur la figure 4. La durée de vie serait de l'ordre de l'année.

Van Heukelem (1973) note une très grande diversité de croissance entre individus. 40% de la nourriture ingérée est transformée en poids corporel (Van Heukelem, 1983); Mangold (1997) indique un taux comparable de 50% pour *O. vulgaris*, ce qui est considérable.

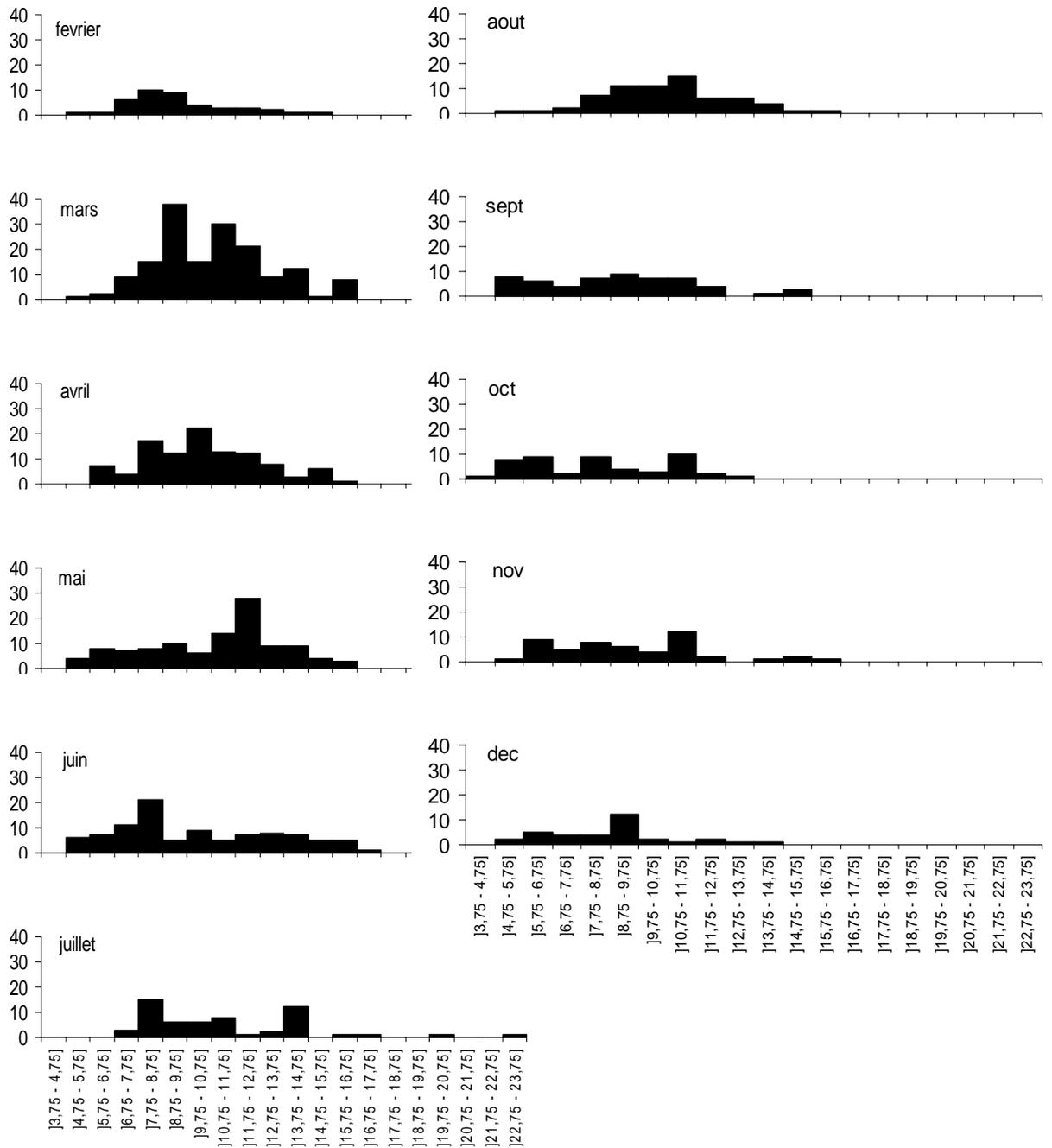
Des données de collecte à pied de *O. cyanea* dans la zone nord de Toliara (Raberinary, 2007) permettent d'établir les relations biométrique de l'espèce (Figure.4).

Figure 4: Relations biométriques reliant la longueur totale Lt (cm) et le poids total (g) à la longueur ventrale du manteau LM(cm) chez les mâles et femelles de *O. cyanea* du sud-ouest de Madagascar pour la période de 2005-2006. Graphes construits à partir des données de Raberinary (2007). Notez les fortes valeurs de R² observées entre poids et Lt ; poids et LM ; LM et Lt. (n = 730).



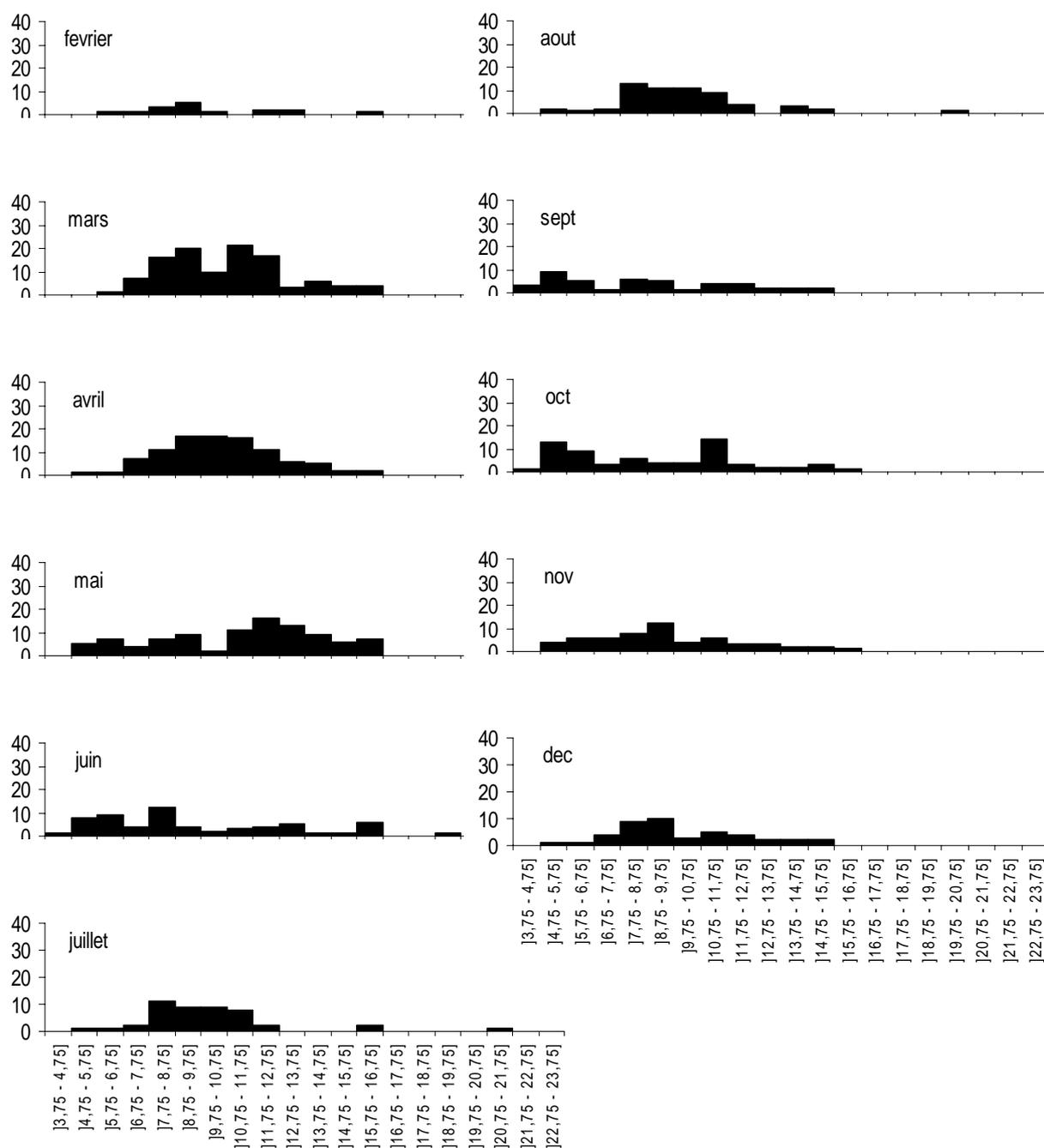
A partir des données de collectes recueillies dans la zone nord de Toliara, une étude biométrique a été faite pour apprécier les fluctuations saisonnières de la taille des individus males et femelles chez *O. cyanea* (Figure 5).

Figure 5 : Répartition saisonnière de la taille des individus (a) : males et (b) femelles chez *O. cyanea* du sud ouest de Madagascar (n = 743 pour les femelles et 872 pour les males). En abscisse, intervalle de classe de taille, en ordonnée, nombre d'individus.



a

Figure 5 (suite) : Répartition saisonnière de la taille des individus (a) : males et (b) femelles chez *O. cyanea* du sud ouest de Madagascar (n = 743 pour les femelles et 872 pour les males). En abscisse, intervalle de classe de taille, en ordonnée, nombre d'individus.



Il faut remarquer avec Laroche *et al.* (non publié) que les poids atteints par les poulpes les plus gros a Hawaii sont plus importants que ceux observés au sud de Madagascar. Cela peut provenir d'effets de la pêche qui éliminerait à Madagascar tous les individus avant qu'ils puissent arriver

à leur taille optimale. Mais il est sans doute probable que cela indique aussi que la croissance des *O. cyanea* de Madagascar n'est pas totalement similaire à celle de ceux d'Hawaii (Caveriviere, 2005). Laroche *et al.* écrivent aussi qu'il est probable que des courbes de croissance estimées à partir d'animaux nourris à satiété soient plus rapides que ce qu'il serait observé en milieu naturel.

Laroche *et al.* (non publié) ont aussi étudié la croissance d'*O. cyanea* à Fiherenamasay (au nord de Toliara) à partir des distributions mensuelles de fréquence de taille de 4 844 poulpes récoltés entre mai 1993 et avril 1994. Ils ont suivi sur l'année, par la méthode des progressions modales, 7 et 8 cohortes respectivement pour les mâles et les femelles. Comme la méthode des progressions modales ne semble le plus souvent pas adaptée pour suivre la croissance de populations de poulpe (Mangold, 1983 ; Domain *et al.*, 2000; Jouffre *et al.*, 2002), on considère la courbe de croissance qu'ils ont obtenue avec un grande prudence, d'autant plus que le nombre de cohortes suivies dans l'année nous paraît anormalement élevé. Certains de leurs résultats sont cependant très intéressants à noter, comme les relations biométriques par sexe reliant la longueur totale TL (mm) et le poids total W (g) à la longueur ventrale du manteau ML (mm) :

Males

$$TL = 7,65 + 8,69 ML \quad (n = 410; r = 0,86)$$

$$W = 7,12 \times ML^{2,33} \quad (n=410 r = 0,92)$$

Femelles

$$TL = 7,19 + 9,01 ML \quad (n=370; r = 0,89)$$

$$W = 9,37 \times ML^{2,22} \quad (n=370; r = 0,94)$$

Il y a peu de différences entre les sexes et la croissance suit une loi allométrique : les puissances (2,33 et 2,22) appliquées à la longueur du manteau ML pour obtenir le poids du corps W étant nettement différentes de 3.

Comme à Hawaii, ils n'ont pas trouvé de différence de croissance entre les mâles et les femelles. La croissance serait un peu plus rapide en saison chaude qu'en saison froide. L'équation de croissance calculée par ces auteurs, que nous donnons avec les précautions indiquées ci-dessus, est de forme linéaire : $ML (cm) = 1,11 t - 0,82$ où t est le nombre de mois après l'éclosion. La durée de vie a été estimée à un maximum de 13 mois après l'éclosion des oeufs.

5. Le régime alimentaire

En général, les céphalopodes sont pratiquement tous des prédateurs actifs (Mammoudou, 1988). Leurs proies dominantes sont d'autres mollusques, des crustacés et des poissons. Au stade larvaire, *O. cyanea* se nourrit activement sur le zooplancton, en particulier avec des larves de crustacés (Caveriviere, 2005). Les larves attaquent les proies après s'en être rapprochées rapidement à 1-3 cm (Van Heukelem, 1983). Elles peuvent déjà jeter de l'encre et changer de couleur.

Par la suite deux comportements alimentaires ont été décrits. Le poulpe se précipite sur des proies repérées, comme des crabes, et les emporte à son terrier pour les manger (Van Heukelem, 1966 ; Yarnall, 1969). La deuxième méthode est dite de "chasse spéculative" ou "attaque parachute" : le poulpe enveloppe une tête de corail ou un bouquet d'algue de sa membrane inter-tentaculaire, déployée comme un parachute, et explore l'intérieur de l'objet enveloppé avec le bout de ses tentacules (Yamall, 1969). Un individu peut occuper le même abri de quelques jours à au moins 35 jours (Van Heukelen, 1966) ; Yamall (1969) présume d'un certain nomadisme puisque le poulpe peut éliminer les proies proches de son abri en une relative courte période. Cependant, la nourriture ne serait pas un facteur limitant pour la plupart des *O. cyanea* pesant plus de 400 g (Van Heukelem, 1976).

Un examen des contenus stomacaux de 49 *Octopus cyanea* d'un récif côtier a montré que 89% avaient des restes de crabes, 41% avaient mangé des stomatopodes, 27% des crevettes alpheidés, 10% avaient des arrêtes de poissons et un individu avait mangé une petite murène (Van Heukelem, 1976). La plupart de ces proies sont de petits habitants des têtes de coraux et elles ont probablement été prises par la méthode de la chasse spéculative (Caveriviere, 2005).

Les jeunes *O. cyanea*, environ 3 semaines après la colonisation du fond, auraient principalement une activité nocturne (Wells et Wells, 1972). Pour les adultes, les pics d'activité ont lieu de jour, juste après l'aube et en fin de journée (Yarnall, 1969 ; Houk, 1982). Le premier auteur indique que le poulpe bloquerait souvent l'entrée de son terrier avec des pierres la nuit.

6. Les prédateurs

Les jeunes *O. cyanea* peuvent être la proie de poissons, spécialement de murènes et de carangidés (Caveriviere, 2005), mais les adultes, du fait de leur taille, seraient vraisemblablement libres de prédation par les murènes (Van Heukelem, 1966). Il semble que les poulpes survivent souvent aux attaques des prédateurs, d'où un nombre important de poulpes vus avec des bras coupés. Certains pêcheurs rapportent avoir observé l'attaque d'un poulpe de 1 kg environ, qui se trouvait en dehors de son abri, par une grande murène. La murène a attaqué le poulpe à deux reprises, le poulpe s'étant mis en "boule" avec les bras protégeant sa tête, à la deuxième attaque la murène a arraché un morceau de tentacule et est partie.

Loligo sp., (Lamarck, 1798)

Loligo sp. est un céphalopode. Le mot « céphalopode » vient du grec *Kephalé* : tête et *podos* : pied. La tête est donc fusionnée avec le pied. Ce dernier est constitué d'une couronne de 8 bras armés de deux rangées de ventouses d'inégale grandeur et de deux tentacules extensibles (visibles uniquement lors de la capture de proies), plus longs, qui se terminent par une massue formée de 4 rangs de ventouses. La tête, quant à elle, porte de grands yeux perfectionnés, recouverts d'une cornée protectrice et une bouche en bec de perroquet, munie de mandibules particulièrement puissantes et résistantes. Le corps long et musculeux, en forme de torpille, est flanqué, à l'arrière, de deux nageoires triangulaires réunies en un losange dont la surface représente les 2/3 du manteau de l'animal. Ce céphalopode ne porte pas, à l'instar de son cousin le nautilus, de coquille protectrice mais une lame cartilagineuse très fine, en forme de glaive ou de " plume ", comme son nom l'indique. Le corps du calmar est blanchâtre, teinté de rose, et moucheté de brun pourpre plus ou moins rougeâtre. Mais cette couleur varie en fonction de sa nourriture et de son habitat (Catherine, 2006). Le calmar peut atteindre une longueur de 50 cm.

Dans le règne animal, sa position systématique est la suivante :

Règne :	Animalia	
Phylum :	Mollusca	
Classe :	Cephalopoda	Cuvier, 1797

Sous-classe :	Coleoidea	Bather, 1888
Cohorte :	Neocoleoidea	Haas, 1997
Super-ordre :	Decapodiformes	Young <i>et al.</i> , 1998
Ordre :	Teuthida	Naef, 1916
Sous-ordre :	Myopsina	Orbigny, 1841
Famille :	Loliginidae	Lesueur, 1821
Genre :	<i>Loligo</i>	Lamarck, 1798
Sous-genre :	<i>Loligo</i>	Lamarck, 1798
Espèce :	<i>Loligo sp.</i>	

1. Répartition géographique et habitat

Comme son cousin *Loligo vulgaris*, *Loligo sp.* est présent dans toutes les mers avec une densité, certes différente. En effet, si ce mollusque marin est fréquent en Méditerranée, il est rare en Mer du Nord où il apparaît plutôt épisodiquement. Il est absent en Mer Noire et en Mer Baltique (Domergue, 2007). De la Méditerranée à l'ouest de la Baltique en passant par l'Atlantique, la Manche, la mer du Nord et le bassin de l'Océan Indien.

Le calmar *Loligo sp.* vit en pleine eau ou à proximité du fond, entre 20 et 250 m suivant la saison. Il ne s'approche du rivage que lors de la période de reproduction. Les documentations sur le calmar du sud-ouest malgache sont rares. Le calmar est un animal pélagique qui effectue des migrations saisonnières. Capable de vivre jusqu'à une centaine de mètres de profondeur, ce mollusque marin invertébré est une espèce grégaire qui se déplace en bancs très importants, surtout en période de reproduction. Plaqué sur le fond le jour, mais sans jamais se recouvrir de sable comme les poissons plats, il est actif la nuit. Poursuivi par un prédateur, il peut disparaître derrière un nuage d'encre qu'il projette devant son ennemi. Il se propulse alors en arrière à une vitesse impressionnante (ce qui a valu aux calmars, en général, le surnom de " flèches de mer ") en vidant brutalement l'eau de sa cavité branchiale et en la faisant passer par un tube en forme d'entonnoir. Par ailleurs, doué de mimétisme, il peut se fondre rapidement avec le milieu dans lequel il évolue.

2. La reproduction

Chez les calmars, l'âge et la taille à la maturité dépendent de plusieurs facteurs environnementaux, notamment la température de l'eau et l'abondance de nourriture. En étudiant les influences environnementales sur l'âge et la taille à la maturité sexuelle de *Loligo vulgaris*, Moreno *et al.* (1994), ont constaté de différences notables entre mâles et femelles de 2 groupes d'individus éclos pendant la période chaude et froide. Leurs études montrent que les mâles arrivent à leur maturité plus jeune que les femelles. Du point de vue taille, les femelles sont matures à une taille de 17,6 cm (ML50% – longueur du manteau de 50 % d'entre elles) alors que les mâles sont matures à des tailles inférieures. Les mêmes auteurs affirment que pour les deux sexes, la maturité sexuelle semble davantage dépendre de la taille que de l'âge. Par ailleurs, la période d'éclosion a une influence sur l'âge ou la taille à la maturité des individus éclos dans des conditions de température distinctes, durant leurs trois premiers mois de vie.

Chez *Loligo sp.*, les sexes sont séparés et la fécondation est interne. Il y a accouplement et, comme pour la seiche, les spermatozoïdes sont introduits à l'aide du bras ventral gauche du mâle (appelé bras hectocotyle). La fécondation proprement dite n'aura lieu qu'au moment de la ponte qui peut être observée à toute saison. Les pontes de calmar commun, digitiformes et gélatineuses, sont généralement accrochées par touffes sur la face inférieure des rochers surplombants mais elles peuvent aussi être fixées sur toutes structures rigides balayées par un faible courant. Chaque "doigt", renferme de 50 à 100 œufs qui donneront naissance à des petits calmars parfaitement formés.

La saison de ponte a aussi des effets sur l'âge et la taille à la maturité. Ainsi, en comparant deux groupes éclos à des périodes distinctes d'une même année, on note que pour la cohorte de la saison froide, l'âge minimum à la maturité est (pour les deux sexes) supérieur par rapport à la moyenne de l'ensemble de la population. Ce qui laisse prétendre que la température joue un rôle important sur l'âge à la maturité : les individus mûrent plus vite lorsqu'ils sont éclos pendant la saison chaude (7,3 mois pour les femelles contre 5,5 mois pour les mâles). Cependant, la température ne constitue pas le seul paramètre agissant sur l'âge à la maturité. D'autres auteurs ont constaté différente taille à la maturité chez *L. vulgaris* et *L. forbesi* (Guerra et Rocha 1994;

Moreno *et al.* 1994; Pierce *et al.* (1994) due à la stratégie de reproduction “garde-nichoir” comme observée chez *L. vulgaris reynaudii* (Sauer *et al.* 1992) ou *L. pealei* (Hanlon 1989).

3. La phase larvaire

Les cycles de vie des céphalopodes sont généralement courts, souvent annuels, caractérisés par des périodes larvaire et juvénile longues, suivies d’une période de croissance très rapide, avec un ralentissement voir un arrêt de croissance pendant la période de reproduction (Jackson, 1994 ; Boyle et von Boletzky, 1996 ; Lipinski, 1998). Chez les calmars, chaque oeuf donne naissance, après une période de développement embryonnaire de 3 à 10 semaines, à une paralarve, donnant rapidement un juvénile. Espèce à vie courte, le recrutement est très dépendant des conditions environnementales (Battaglia et Forest, 2001).

4. Croissance et longévité

La température semble être le facteur déterminant pour la croissance somatique, au moins durant la première phase de la vie de l’animal (Grist et Desclers 1999; Forsythe 2004). Cependant, des cohortes écloses dans divers régimes de températures présentent des taux de croissance somatiques différents et atteignent différentes tailles au début de la maturation. Cependant et du fait qu’il y a toujours couplage entre les facteurs environnementaux, la température n’explique pas nécessairement à elle seule la variabilité de la croissance et par conséquent l’âge et la taille à la maturité. La maturation, comme la croissance, pourrait être favorisée par la température moyenne relativement élevée, par un régime d’alimentation favorable (Richard 1966; Rodhouse et Hatfield 1990), ou la combinaison des deux ou d’autres facteurs.

Les adultes ne se reproduisent qu’une seule fois au cours de leur existence et meurent peu après.

5. Le régime alimentaire

Il se nourrit surtout de poissons, de crustacés et de mollusques, utilisant leur bec pour dilacérer les proies. Prédateur de crustacés et de poissons benthiques ou pélagiques, le calmar capture ses proies comme la seiche en utilisant les deux tentacules. Le calmar juvénile se nourrit de zooplanctons. Devenu rapidement adulte, il mange des petits poissons comme les sprats, par

exemple et des crustacés qu'il capture à l'aide de ses deux longs tentacules et qu'il anesthésie ou tue grâce à son venin. Il dévore ses proies en les maintenant solidement entre ses bras.

6. Les prédateurs

Les cétacés figurent parmi les prédateurs potentiels des calmars¹. En analysant les contenus stomacaux de 47 cétacés de la Manche, De Pierrepont *et al.*, (2005) ont trouvé que *Loligo sp.* représente respectivement 66,7%, 8,7% de proies des espèces *Tursiops truncatus* et *Delphinus delphis*. Pour la « baleine-pilote » *Globicephala melas*, la nourriture est composée exclusivement de *Loligo sp.* Chez d'autres espèces de cétacés étudiées (*Tursiops truncatus*, *Phocoena phocoena*, *Halichoerus grypus*, *Lagenorhynchus albirostris* et *Stenella coeruleoalba*), *Loligo sp.* est toujours présent mais en faible quantité. Certaines espèces de poissons demersaux sont aussi friandes de calmars, en l'occurrence *Saurida undosquamis* et *Sphyræna forsteri* (Ibrahim *et al.*, 2003).

Stolephorus indicus (Van Hasseltl, 1823)

Petit poisson à corps brun, charnu, transparent et léger, de couleur argentée en bas flanc, *Stolephorus indicus* ne possède aucune ligne de pigment sombre sur le dos, entre la tête et la nageoire dorsale. Elle est dépourvue d'épines mais comporte 15-17 rayons dorsaux mous ; pas d'épines anales, munie de 18-21 rayons anaux mous. Au niveau ventral, on peut distinguer 2 à 6 petits scutes pré-pelviens semblables à l'aiguille. Le bout du maxillaire s'étendant juste au-delà du pré-operculum.

Faisant partie des petits poissons pélagiques, l'espèce *Stolephorus indicus* appartient à l'ordre des Clupéiformes avec les harengs et les sardines. Elle fait partie des espèces exploitées dans la pêche du sud-ouest de Madagascar, alors qu'au niveau mondial, son intérêt commercial est mineur pour les pêcheries (Fishbase, 2006). Au Pacifique Sud, on l'utilise occasionnellement comme appât pour la pêche aux thons malgré la fragilité de la chair. Par rapport aux autres petits

¹ Site web : http://www.dinosoria.com/calmar_cachalot.htm, visité le 12.02.2009.

pélagiques, elle est de grande taille et atteint souvent 14 cm (FAO, 2005), la taille maximale ne dépassant pas les 15,5cm.

Embranchement : Chordés
Classe : Actinopterygiens (à nageoires rayonnées)
Ordre : Clupeiformes (anchois, harengs, sardines)
Famille : Engraulides
Genre : *Stolephorus*
Espèce : *Stolephorus indicus* (Van Hasselt, 1823)
Synonymes : *Stolephorus indicus* (Van Hasselt, 1823)
Anchoviella indica (Fowler, 1941)
Noms vernaculaires: tove (mg), anchois blanc (fr), indian anchovy

(an)

1. Répartition géographique et habitat

Parmi les autres espèces d'anchois rencontrées dans les eaux malgaches, l'espèce commune (*Stolephorus indicus*) est la plus connue dans la pêche de la région du sud ouest. On peut la retrouver dans diverses zones et mers du globe, particulièrement dans les régions intertropicales où la température de la mer permet la survie de l'espèce (voir figure 4 ci-après).

On peut retrouver *Stolephorus indicus* dans les mers tropicales entre les latitudes 30°N-37°S et les longitudes 23°E-144°W de l'Indo-Pacifique (Mer Rouge et Afrique du Sud, le Golf Persique, Madagascar et Maurice vers l'Est jusqu'à Hong-Kong ainsi que dans la Mer d'Arafura). On la retrouve aussi sur les côtes Nord et Est de l'Australie et plus à l'Est jusqu'aux îles Samoa et Tahiti.

Figure 6. Carte de répartition géographique de *Stolephorus indicus*. (Source : Fishbase, 2006)



Faisant partie des espèces dites pélagiques, l'anchois est un poisson grégaire (IFREMER, 2004), c'est à dire qu'il vit et se déplace en bancs. Son mode de vie est plus lié à la qualité des masses d'eaux qu'à des profondeurs ou latitudes particulières. Son affinité pour les eaux légèrement dessalées fait qu'il apparaît régulièrement dans les panaches de fleuves ou les embouchures d'eaux saumâtres. Les migrations de l'anchois du sud ouest malgache sont très peu connues. Seuls leurs apparitions périodiques et parfois massives dans la zone de pêche ainsi que les déplacements de la pêcherie pourraient être des indicateurs des mouvements des poissons adultes. En effet, la fragilité de l'anchois fait qu'aucune opération de marquage n'est possible et aucun suivi du déplacement du poisson ne permet d'établir de schéma migratoire clair (IFREMER, 2004). Néanmoins, des recherches menées depuis quelques années permettent d'établir des hypothèses de répartition en fonction de leurs stades biologiques. *Stolephorus indicus* est une espèce océanodrome (c'est-à-dire, qui effectue des migrations au sein même des eaux de mer) et vit dans des profondeurs allant de 20 à 50m.

Dans le sud-ouest de Madagascar (région de Toliara), l'analyse des relations entre l'espèce et le milieu a montré qu'il y a une liaison entre l'espèce et la profondeur de l'eau (Rakotoarinivo, 1998). Ainsi, *Stolephorus indicus* s'observe souvent et périodiquement pêchée dans le lagon, le platier et la pente externe des récifs. Si la plupart du temps, l'espèce reste dans les zones côtières peu profondes, elle migre vers les eaux plus profondes et plus salées pour pondre, et retourne près de la côte immédiatement après (Fishbase, 2006).

2. La reproduction

La détermination du sexe et des stades de maturité sexuelle des gonades sont les éléments de base, dont l'acquisition est indispensable lorsqu'on aborde la biologie de la reproduction et la dynamique des populations (Rakotoarinivo, 1998). Ces informations permettent à la fois la détermination d'indices de maturité sexuelle, les estimations de l'âge et de la taille de première maturité sexuelle, la détermination de la période de reproduction et la durée du cycle sexuel de l'espèce étudiée ainsi que l'étude de la fécondité. En utilisant l'échelle de Conand (1988) pour l'étude de l'indice de la maturité sexuelle, on a pu établir pour l'anchois du sud-ouest de Madagascar que la taille à la première maturité sexuelle est comprise entre 12,06 et 13,25 cm contre 11,5 et 12,5 cm en Indonésie (Hardenberg, 1934, *cited in* Rakotoarinivo, 1998).

▪ Maturité sexuelle et ponte

La connaissance de la période de reproduction est un élément indispensable à une bonne gestion du stock (Rakotoarinivo, 1998). La période de reproduction est caractérisée par la détermination de la période de ponte et le suivi de l'évolution du stade sexuel. Elle est mise en évidence en suivant l'évolution mensuelle du rapport gonado-somatique, des mâles, femelles et des individus immatures.

En général, la période de reproduction des petits poissons pélagiques du sud-ouest malgache se situe entre le mois de *juillet* et d'*octobre*, c'est-à-dire pendant la saison froide. *Stolephorus indicus* a un cycle de vie annuel et la ponte a eu lieu au début de la période froide (*septembre* à *novembre*). En effet, selon Rakotorinivo (1998), chez *Stolephorus indicus*, les individus de stade I et II (immatures et à gonades au repos) de l'échelle de Conand (1988) sont présents pendant toute l'année. Les individus des stades IV (pré-ponte ou pré-émission) et V (ponte ou émission) sont observés de *mai* à *octobre*. Les individus du stade VI (post-ponte ou émission) sont observés uniquement au mois de *juillet*.

Pour l'espèce *Stolephorus indicus* du sud-ouest malgache, la taille à la première maturité est de 111 mm et la période de reproduction s'étale entre *mai* et *novembre*. Cette espèce présente un cycle de vie très net. De *novembre* à *février* les individus sont immatures et à partir du mois de *mars*, la maturation est progressive et devient maximale entre *août* et *octobre*. Chez *Stolephorus indicus*, les organes mâles et femelles sont séparés.

Il semble qu'en période de ponte, l'anchois soit attiré par les zones de mélange d'eaux de salinité ou de températures différentes qui constituent des milieux très productifs (IFREMER, 2004). C'est le cas des panaches d'eaux dessalées induits par les fleuves et de certains endroits du plateau continental où se produisent des phénomènes hydrologiques particuliers (upwellings, c'est-à-dire remontées d'eaux profondes).

L'anchois présente une ponte séquentielle, c'est à dire qu'une femelle ne pond pas tous ses oeufs en une seule fois mais étale sa ponte sur plusieurs semaines (environ 30 pontes dans la saison à

raison d'une ponte tous les 3 à 4 jours) (IFREMER, 2004). La ponte s'effectue entre minuit et 4h du matin et très près de la surface. La fécondation est externe (Whitehead *et al.*, 1988). Ainsi, au moment de la ponte, les œufs et les spermatozoïdes sont émis dans l'eau par les deux sexes. Aussitôt après leur émission, les œufs (de forme ovoïde) restent pélagiques et sont délaissés par leurs géniteurs.

Dans le sud-ouest malgache, l'anchois atteint sa maturité sexuelle à la fin du mois de son premier été (austral) et sa ponte s'étale de *septembre* à *novembre*. Les poissons les plus âgés commençant probablement dès *août*, suivis des plus jeunes en *septembre*. L'étalement de la saison de ponte est un atout pour la survie de la population car cela augmente la probabilité de trouver des conditions environnementales favorables à la survie des larves produites par le stock adulte.

3. La phase larvaire

A partir des zones de pontes, les oeufs et larves dérivent au gré des courants. En générale, les larves qui restent sur le plateau continental bénéficient d'une meilleure croissance et d'un taux de survie plus important. La circulation des masses d'eau variant d'une année sur l'autre en fonction des conditions météorologiques, l'abondance du recrutement (les poissons d'un an) dépendra fortement des conditions climatiques pendant cette période.

Des études menées sur l'abondance de stock, la biologie et l'océanographie des larves d'anchois montrent des relations étroites entre l'espèce et les facteurs environnementaux (Murphy, 1974; Lasker, 1978; Chen, 1980; Koslow, 1981; Lasker, 1981; Parrish *et al.*, 1981; Chen and Jean, 1982; Methot, 1983; Fiedler *et al.*, 1986; Bando, 1987; Lasker, 1988; Mitani, 1988; Cheng *et al.*, 1989; Tzeng and Wang, 1992; Young *et al.*, 1992; Lee *et al.*, 1993; Lee *et al.*, 1994).

Lee *et al.* (1990) indique que dans les eaux côtières du sud-ouest de Taiwan, les larves d'anchois se trouvent rassemblées le long des côtes où la salinité est intermédiaire (entre 33,85‰ et 34,5‰). Ces zones se trouvent souvent entre les axes des flux de décharge des rivières (salinité faible) et à l'abri des courants du large à forte concentration de salinité. Au Japon, les zones de pêche aux larves d'anchois sont caractérisées par la salinité de l'eau de surface (Mitani et Hasegawa, 1988).

La salinité n'est pas le seul facteur agissant sur la phase larvaire. D'autres facteurs physiques et chimiques déterminent également le succès de la vie larvaire, comme la température de surface de la mer (Lee et Lee, 1996), les courants de surface (Bando, 1987), les sels nutritifs (Cheng *et al.*, 1989), la précipitation en liaison avec la pression atmosphérique (Tzeng et Wang, 1992), etc. Le détail de certains de ces facteurs (température et chlorophylle-a) sera abordé dans la deuxième partie de ce travail.

4. Croissance et longévité

Généralement, la ponte est suivie d'une période de forte croissance (75% de la croissance annuelle). Les anchois occupent alors le plateau depuis la côte jusqu'aux profondeurs allant de 100 à 120 m (IFREMER, 2004). La croissance est un phénomène biologique fondamental qui consiste en une augmentation de masse des organismes. Chez les anchois, la croissance, comme celle de tous les poissons, se poursuit pendant toute la durée de sa vie. Elle est très rapide la première année pour ralentir ensuite.

La croissance des petits pélagiques du sud-ouest malgache a été modélisée par une courbe de Von Bertalanfy. Sur les 4 espèces de petits pélagiques les plus représentatives de l'échantillonnage (*Herklotsichthys quadrimaculatus*, *Sardinella gibbosa*, *Dussumieria acuta*, *Stolephorus indicus*), on observe un ralentissement de la croissance lorsque l'espèce atteint l'âge de 9 mois environ. Cette période correspond au moment de la forte maturation sexuelle (*septembre, octobre*).

La longévité atteint 5 ans mais la grosse majorité des individus ne dépasse pas 3 ans (IFREMER, 2004). Un anchois né au printemps mesure entre 8 et 13 cm dès son premier hiver. La température agit sur la croissance. Ainsi, en 2003, dans le Golf de Gascogne, année très chaude au cours de laquelle la croissance a été exceptionnelle, des observations ont montré que des individus d'âge 0 (nés au printemps 2003) avaient atteint une taille de 15 cm dès le mois d'octobre.

5. Le régime alimentaire

Stolephorus indicus est une espèce planctophage, c'est-à-dire se nourrit de micro-organismes marins. Au fur et à mesure de son développement, l'alimentation est composée de zooplanctons, de zoobenthos, des invertébrés, de poissons et même de détritus (Thollot, 1996). Ce qui suggère que la zone où les larves naissent doit impérativement être riche en nourriture. Lasker (1988) dans sa théorie « *match-mismatch* » avance que, pour survivre, les larves doivent impérativement trouver une nourriture adaptée et en abondance dès la fin de la période critique (résorption du sac vitellin).

6. Les prédateurs

Appelé aussi communément poisson fourrage, l'anchois constitue l'une des proies de prédilection des grands poissons pélagiques tels que les thonidés, les gros mammifères marins comme les dauphins, les baleines, les phoques, les otaries et les oiseaux marins. Il constitue aussi une ressource halieutique importante consommée par certaines communautés mais également transformée en farine de poissons dans les pays où ces ressources sont exploitées de manière industrielle.

CHAPITRE 2

Historique de la pêche à l'anchois et aux céphalopodes

2.1. La pêche aux céphalopodes et à l'anchois: historique, modes de pêche, utilisation et données disponibles.

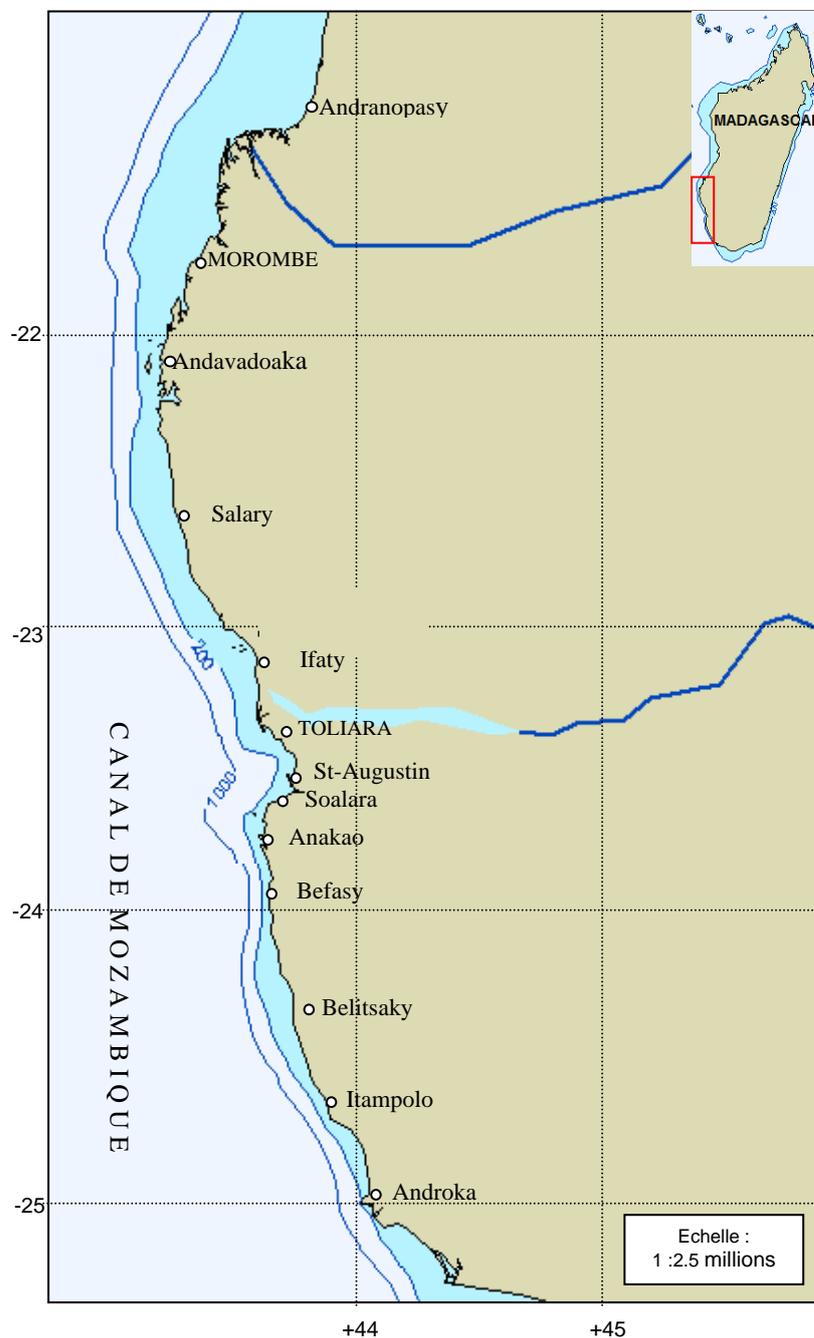
La pêche est l'une des activités fondamentales des populations côtières du sud-ouest de Madagascar. Le développement de cette activité a été entrepris depuis de nombreuses années. En 1993, le sud ouest compte environ 50 000 habitants dont 4948 pêcheurs répartis sur une longueur de côte de 350 kilomètres. A l'heure actuelle, on compte plus de 25 000 pêcheurs parmi une population de plus de 70 000 habitants, qui traduit un accroissement de l'activité halieutique supérieure à celui de la population

La pêche aux céphalopodes : héritage du passé

La pêche aux céphalopodes remonte à des temps très anciens (Rejela, 1993), avec la même méthode et pratique ancestrale de pêche, moyennant des équipements dérisoires (harpons) et d'autres types d'engins de pêche. Les céphalopodes, notamment le poulpe et le calmar, entrent dans l'alimentation des pêcheurs. Leur attachement à cette ressource est tel qu'on associe la couleur rouille de l'email de leurs dents à la consommation immodérée de la poche du noir du céphalopode. Depuis donc, les pêcheurs du sud-ouest s'acharnaient aux poulpes et leur exploitation est devenue l'objet d'un commerce très florissant vers les îles voisines. A partir de 1985, l'exploitation est devenue telle que le poulpe a presque disparu des endroits habituels où il était pêché. En même temps, et en accord avec la loi de l'offre et de la demande, le prix du marché a flambé (augmentation de 1 à 20, qui est l'équivalent de 200 à 4000 Fmg à l'époque ; Rejela (1993)). Et la population locale à faible pouvoir d'achat n'arrive plus à acheter le poulpe pour sa nourriture. Comme ailleurs, l'arrivée en force du céphalopode dans le commerce d'exportation incite les pêcheurs à orienter leurs activités vers cette ressource. Ainsi, les hommes qui, auparavant n'accordaient pas trop d'importance à cette espèce, ont augmenté leurs efforts pour la pêche au poulpe et au calmar. Quoique leur exploitation devienne de plus en plus l'objet d'un commerce florissant, cela n'incite pas les pêcheurs à changer leur méthode de pêche, qui reste toujours traditionnelle. Le faible revenu des pêcheurs ne permet pas le renouvellement de leur engin de pêche : embarcations trop petites, non motorisées et souvent mal équipées. Par conséquent, la zone de pêche n'est pas étendue, c'est-à-dire, les pêcheurs restent sur les zones habituelles de pêche.

Les années 80 marquent un tournant décisif dans l'histoire de cette pêcherie. Trois sociétés de pêche s'implantent dans la zone pour assurer la collecte et l'exportation des produits de pêche, notamment poissons, poulpes et calmars parmi tant d'autres : le TAVEX (TAVaratra Export), la PROPECHE et le MARTIN PECHEUR. Ces trois sociétés se partagent le littoral sud-ouest en deux zones d'influences bien distinctes : les deux premières sont implantées à Toliara et assuraient la collecte des produits du sud de l'Onilahy jusqu'à Salary au nord de Toliara. Par contre, la zone nord demeure le domaine exclusif de MARTIN PECHEUR, allant de Salary jusqu'au nord de Morombe (Figure 7).

Figure 7. Carte de localisation des différents sites de production le long de la côte sud-ouest.



Actuellement, on compte plus d'une dizaine de sociétés de pêche implantées le long du littoral et un nombre croissant de particuliers qui partagent les produits halieutiques de la région. Les annales statistiques du Service Provincial des Ressources Halieutiques (SPRH) notaient depuis les années 90 une augmentation considérable du tonnage de captures en céphalopodes, en particuliers le poulpe et le calmar : 59 tonnes en 1990, alors que l'exportation nationale est estimée à 90 tonnes (FAO, 2006). La production totale de la région est de 1 905 tonnes en 2000, ce qui correspond à une augmentation de production de 187 tonnes/an. En 2004, l'exportation avoisine les 1500 tonnes dont 40% vers le marché européen. De ce fait, la pêcherie de céphalopodes devient la première ressource des pêcheries traditionnelles à contribuer à atteindre des objectifs globaux du gouvernement définis dans le plan directeur de la pêche et de l'aquaculture 2004-2007 (Jaco, *comm. pers.*) qui se résume en : i) l'amélioration des recettes en devises de l'Etat ; ii) l'amélioration des recettes des pêcheurs traditionnelles ; iii) et surtout la création d'emplois stables et des débouchés sûrs pour la production des pêcheurs en question.

Face à une telle situation, on se demande qu'est-ce qui a initié la mise en place d'un tel développement ? Plusieurs facteurs seraient à l'origine de l'intérêt croissant pour les céphalopodes dans la zone du sud-ouest de Madagascar :

i) l'engouement du marché extérieur

Les relevés statistiques du SPRH indiquent la polarisation d'exportation des produits halieutiques en provenance du sud-ouest. En ce qui concerne les céphalopodes, les sociétés de pêches exportent principalement vers les pays suivants : La Réunion, l'Ile Maurice, les Pays-Bas, la France, la Belgique et le Japon.

Au niveau mondial, la situation a changé depuis les années soixante, suite à la diminution des stocks domestiques japonais en céphalopodes. Vers les années 1950, la demande interne du Japon est importante et 500 000 tonnes y étaient pêchées (Faure, 2000). Amaratunga (1983), Caddy et Gulland (1983) notent qu'au début des années 1970, 60% de captures mondiales en céphalopodes proviennent de l'Océan Pacifique nord-ouest, notamment dans les mers autour du Japon. L'effondrement du stock japonais en céphalopodes des années 1970 serait donc à l'origine de l'extension de ses activités de pêche à travers le monde, ce qui rendent par exemple les pays ouest africains conscients de l'existence de cette ressource dans leurs eaux territoriales (Caddy et Gulland, 1983).

Dans l’Océan Indien, la pêche aux céphalopodes accuse une croissance notable à partir des années 1970, ce qui correspond exactement à la période de diminution du stock domestique japonais et le début de l’extension de ses activités de pêche à travers le monde. Il semble que l’implantation d’une société de pêche japonaise (COFRITO, la future COPEFRITO) à Toliara durant les années 1980 soit liée à cette extension. Les figures ci-après (Fig. 8 et 9) récapitulent les situations, au niveau mondial et national, de production et d’exportation des céphalopodes sur la période 1950 à 2005.

Figure 8 : Production annuelle de céphalopodes dans les 3 océans (a) et dans l’Océan Indien (b) de 1950 et 2004 (Source : FishStat, 2006).

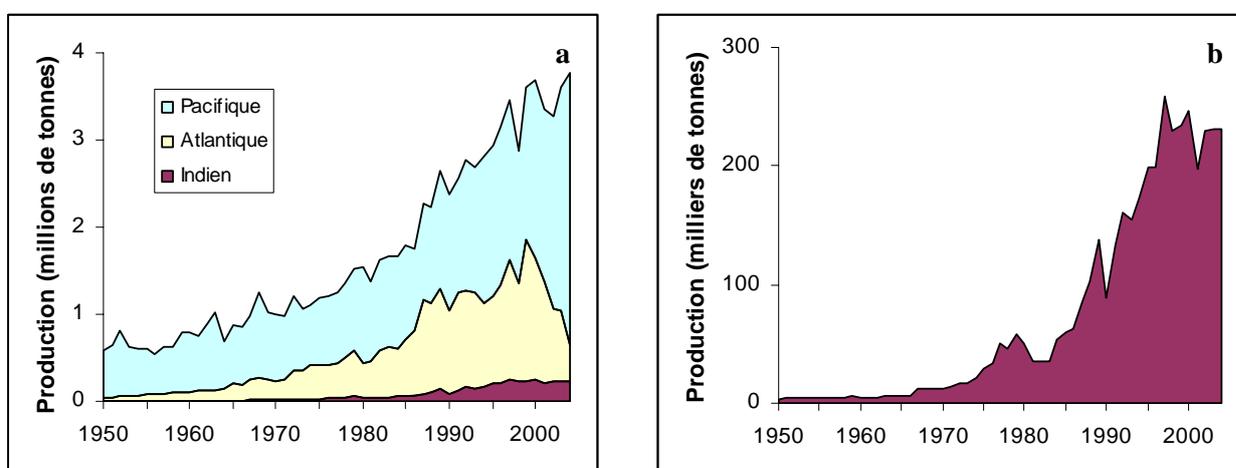
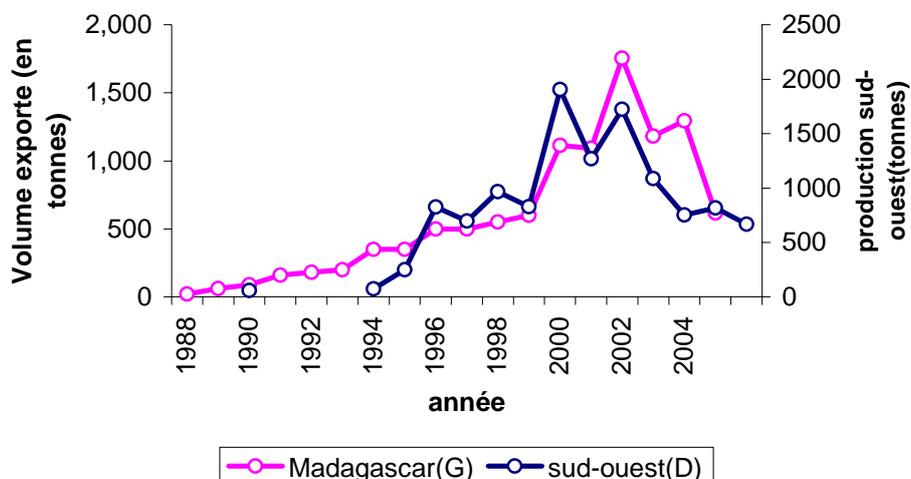


Figure 9 : Volume annuelle exporté par Madagascar et captures des céphalopodes (poulpe et calmars) du sud-ouest entre la période 1988 et 2006. (source : FAOSTAT, 2006 et INSTAT 2003)



Avant les années 1990, les poissons formaient l'essentiel des déclarations figurant dans les statistiques de pêches. Les captures de céphalopodes étaient rarement reportées et se trouvaient, au mieux, rangées dans la catégorie « divers » de ces statistiques. Ce n'est que vers la fin des années 90 qu'elles sont apparues de manière significative dans les statistiques officielles.

ii) **Outre ce premier facteur**, d'autres événements semblent concourir au développement de la pêche des céphalopodes : la disponibilité d'une structure qui assure l'écoulement des produits et la motivation des pêcheurs par le prix de vente des produits.

2.2. L'anchois et la connaissance empirique locale

Tous les pêcheurs traditionnels du Sud s'accordent à dire qu'il y a plus de poissons en saison chaude qu'en saison froide (Rejela, 1993). En effet, la capture massive de certaines espèces de Scombridés et de Carangidés dans la région entre les mois de juillet et février permet de penser à de probable variabilité saisonnière de l'abondance de certaines ressources durant l'année. On pensait même que la présence des thonidés le long de la côte sud-ouest pourrait être en étroite relation avec le passage saisonnière des petits poissons pélagiques, tels que les Clupéidés et les anchois. Le même auteur affirme que, la présence de ces derniers est elle-même liée à l'existence de courant marin froid de surface provenant du sud. Certains disent aussi que l'apparition de l'anchois est un signe précurseur d'une saison sèche marquée. C'est ce qui arrivait après le passage massif de cette espèce en 1987-1988 et 1988-1989, suivi par de longue période de sécheresse en 2000 et 2001. En effet, un courant froid entraîne une stabilisation des basses couches de l'atmosphère et freine l'évaporation et la convection qui alimentent les précipitations.

A Tolagnaro, le paysan fait la même remarque : les variations d'abondance du maquereau (*Rastrelliger kanagurta*, Cuivier, 1816), appelée localement « Sihely » serait également un signe précurseur de sécheresse.

Les statistiques de captures des anchois ne sont répertoriées de manière distincte par le SPPRH que depuis 1990. Auparavant, elles étaient regroupées avec d'autres espèces dans une rubrique « Poissons ». Cette distinction est due au fait que, depuis 1990, l'émergence un peu partout dans l'île des fermes d'élevage aviaire (poules pondeuses), nécessite une production de plus en plus importante de provende à base de farine de poissons. Les petits poissons

pélagiques en général deviennent donc l'objet d'une exploitation plus intense à la fois pour l'alimentation animale et pour la consommation humaine. La production de la pêche traditionnelle de petits poissons pélagiques n'a jamais été l'objet d'un commerce d'exportation.

Au niveau national, la pêche à l'anchois n'est mentionnée dans les annales statistiques que pour la région du sud-ouest. Cette exclusivité peut s'expliquer par deux raisons : premièrement, le non report dans les annales statistiques pour les anchois sont peu abondantes ; deuxièmement, l'absence de cette espèce dans la capture pour les autres zones. Ce qui rend difficile l'estimation de la production nationale concernant cette espèce. En terme de capture, le tonnage ne cesse de fluctuer d'une année à l'autre (cf. chap. 3.2.1.3.).

2.3. Méthodes et zones de pêche

2.3.1. La pêche aux anchois

La pêche aux petits poissons pélagiques est pratiquée depuis plus de trois siècles dans le sud-ouest de Madagascar. L'anchois occupe une grande part dans la capture de poissons dans cette zone. Leur passage parfois massif le long des côtes sud-ouest malgaches fait augmenter considérablement la production en poissons de consommation et d'expédition intérieure de la région. Les épisodes des années 1987-88 (*comm. pers.*), 1998-99 et 2001-02 illustrent ce constat. La pêche à l'anchois est exclusivement pratiquée par des méthodes traditionnelles.

2.3.1.1. Engins de pêche

Embarcations. Dans la province de Toliara, la quasi totalité des embarcations sont des pirogues monoxyles équipées de voiles ou non. Ce sont des pirogues faites à partir de bois tendre dit « Farafatse » (*Givotia madagascariensis*) que les pêcheurs ont parfois du mal à se procurer car il faut aller à des centaines de kilomètres de Toliara pour en trouver. Ce type d'embarcations a une faible autonomie et les pêcheurs sont obligés de pagayer quand il n'y a pas de vent ; ils ne disposent pas de glacière à bord pour protéger leurs captures. Ils utilisent des engins de pêche et accessoires traditionnels (filets maillants, sennes de plage) pour la pêche aux petits pélagiques. Une pirogue peut être individuelle (2-3 brasses) ou collective (> 4 brasses) et peut embarquer 2 à 4 personnes. La pirogue à balancier peut avoir une longévité

de 3 ans. Outre ces pirogues, il existe également des embarcations motorisées, équipées de moteurs hors bord < 50 CV mais qui, malheureusement n'est pas à la portée de tous les pêcheurs.

Engin de capture. La pêche aux petits pélagiques en général, utilise les filets. Sur le littoral sud-ouest, on a 4 types de filets : les sennes de plage, les filets maillants encerclants, les filets maillants droits et les filets en tulle moustiquaire (Rejela, 1993).

On remarque depuis, une certaine évolution dans la qualité des engins de capture, en l'occurrence les filets. Ils sont tous aujourd'hui faits en matière synthétique (nylon), alors qu'avant, on utilisait des lianes, puis des fibres végétales et des fils mono filaments en nylon pour leur confection.

Pour la capture des anchois ainsi que d'autres petits pélagiques migrateurs, les filets en tulle moustiquaire et les sennes de plage sont les plus utilisés, tandis que les filets maillants encerclants ou droits sont plutôt consacrés à la capture des sardines.

2.3.1.2. Sites et engins de capture

Rakotoarinivo (1998), rapporte que dans la baie de Toliara, le filet maillant et le filet encerclant sont les plus utilisés pour exploiter les sardines et les sardinelles. Par contre la senne de plage est destinée à la capture d'anchois et d'autres poissons, surtout les petits poissons démersaux. Les pêcheurs d'Ankiembe utilisent beaucoup plus le filet maillant et le filet encerclant pour viser les sardines et sardinelles qui sont abondantes pendant la période froide. En période chaude, les gens d'Ankiembe et Anakao pratiquent la pêche à la senne de plage pour cibler, sur les zones découvertes à marée basse, les espèces de petits pélagiques qui ne se déplacent pas beaucoup telles que les Gérridés et les Leiognathidés.

2.3.1.3. Zone de pêche

La pêche aux petits pélagiques s'exerce principalement dans la région de Toliara¹, puis plus au nord vers Morombe² et jusqu'à Morondava. Aucune pêche aux pélagiques n'est signalée dans la partie sud de l'île, ni à Tolagnaro (où la pêche concerne presque exclusivement les

¹ Villages de pêcheurs dans la région de Tuléar : s'étend d'Androka jusqu'à Andravona. Anakao, Ifaty, Mangily où se pratique la senne de plage pour, entre autres la capture de petits pélagiques, et Manombo : pas de senne de plage, mais pêche à pied pour la capture de poulpes et de langoustes.

² Village de pêcheurs dans la région de Morombe : d'Ambatomilo jusqu'à Ambohibe.

langoustes). Le filet maillant est utilisé dans les zones profondes du lagon (> 10 m) ou sur la pente externe du récif. Les espèces capturées sont plutôt de grande taille (Hémiramphidés, Chirocentridés). La senne de plage³ est déployée dans des zones peu profondes (1 à 6 m) et capture des sardines et des anchois (Rakotoarinivo, 1996). La faible autonomie en mer des embarcations, l'absence de matériel de navigation et la non utilisation du froid font que la zone de pêche est très réduite. Cette situation ne permet pas des sorties en mer de plus de 10 heures. De ce fait, les pêcheurs à l'anchois restent cantonnés plus particulièrement dans le lagon, les embouchures des fleuves et les baies, alors que *Stolephorus indicus* se rencontre souvent sur le platier et la pente externe du récif.

Ces endroits constituent d'ailleurs, des lieux sûrs pour se protéger contre l'assaut de la grande houle par la présence des cordons barrières ou frangeants de récifs coralliens. Etant donné que l'extension vers le large de l'aire de pêche est pratiquement impossible, les pêcheurs traditionnels migrent le long de la côte soit temporairement soit définitivement (Rejela, 1993). A l'intérieur même des zones de pêche habituelles, on remarque une certaine variabilité spatiale et temporelle de la pêche aux petits pélagiques et en particulier lors du passage de l'anchois.

2.3.1.4. Site et effort de pêche

A Ankiembe par exemple, l'effort de pêche aux petits pélagiques varie de 160 à 450 jours-pirogues par mois. Une légère diminution et une fluctuation de l'effort de pêche sont observées au début de la période chaude (septembre à janvier). Pendant cette période, comme les petits poissons pélagiques sont encore de petite taille, les pêcheurs orientent leurs efforts vers d'autres types de pêche, tels que la pêche aux grands pélagiques à la traîne et la collecte de gonades d'oursin.

Un peu plus au sud, à Ankilibe, l'effort de pêche varie de 40 à 150 jours-pirogues par mois. Durant le début de la saison chaude, l'effort de pêche est très important. L'abondance des Gerridés, des Hémiramphidés et des Chirocentridés encourage les pêcheurs à sortir fréquemment. Cependant, l'effort de pêche sur le site d'Ankilibe est toujours inférieur à celui d'Anakao. En effet, à Anakao, l'effort varie de 60 à 360 jours-pirogues par mois. Une diminution de l'effort de pêche est observée durant la saison fraîche. Ceci s'explique par la faiblesse des captures de la pêche aux petits pélagiques pendant cette saison.

³ On a trouvé dans une étude sur l'écotourisme de la région sud-ouest Madagascar (Gourdon, 2002) que la pratique de la senne de plage était officiellement interdite en raison de son caractère destructeur sur le biotope.

Les secteurs situés autour des îles de Nosy Ve et Nosy Satrana sont des lieux très fréquentés par les pêcheurs d'Anakao (Gourdon, 2002). Les espèces de petits pélagiques les plus fréquemment capturées sont :

- parmi les Engraulidés (anchois) : *Stolephorus heterolobus* (anchois bleu, Matsiroke), *Stolephorus indicus* (anchois blanc, Tove)
- parmi les Clupéidés (sardines) : *Herklosichthys quadrimaculatus* (sardine, Geba) ;
- parmi les Carangidés : *Scomberoides tol* (sauteur leurre, Lanora) ;
- parmi les Scombridés : *Rastrelliger kanagurta* (maquereau, Logy ou Mahalogy)
- parmi les Athérinidés : *Atherinomorus lacunosus* (prêtre, Ambasisy)
- parmi les Hémirhamphidés : *Hemirhamphus far* (demi-bec bagnard, Antseraka), *Hyporhamphus dussumieri* (demi-bec de Dussumier, Antseraka), *Ablennes hians* (orphie plate, Antseraka) ;
- parmi les Chirocentridés : *Chirocentrus dorab* (chiricentre dorab, Vatsitsa)

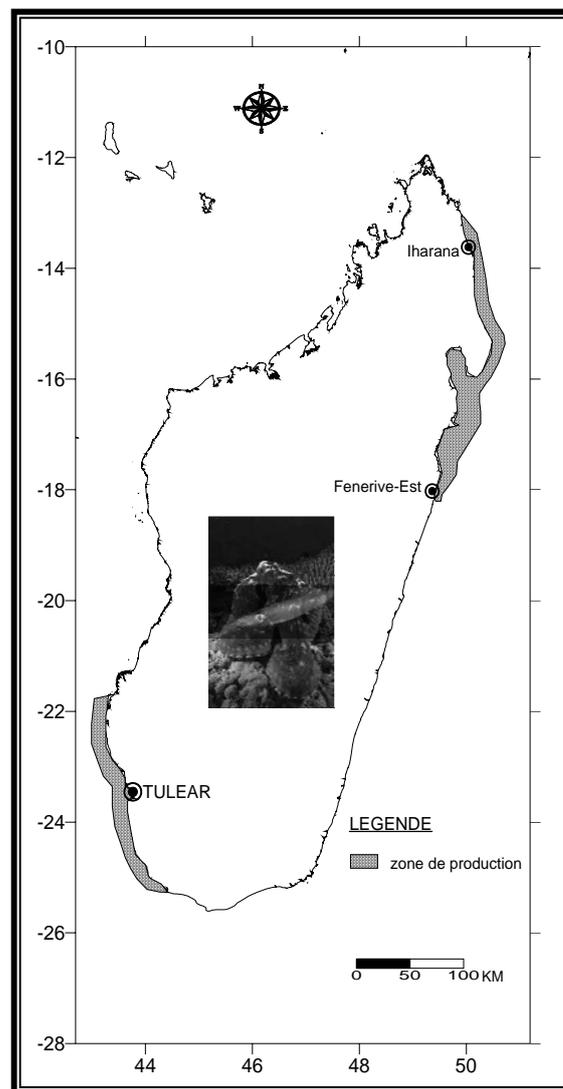
Les pêcheurs traditionnels utilisent des engins de capture selon les circonstances (Rejela, 1993). Ils pratiquent l'activité mixte dans la mesure où chaque pêcheur peut changer comme bon lui semble et selon la demande et la disponibilité des ressources. Ainsi, lors des passages saisonniers des espèces migratrices, ils pratiquent tous la pêche à l'anchois ou aux sardines. La quantité importante de la prise fait de ces espèces leur valeur commerciale.

2.3.2. La pêche aux céphalopodes

Les deux principales zones d'exploitation des céphalopodes (poulpes et calmars) à Madagascar se localisent dans la partie nord-est et celle du sud-ouest (Figure.10). Aucune étude des stocks de ces ressources n'a été faite, alors que leur exploitation devient de plus en plus importante. Parmi les trois espèces de poulpes rencontrées à Madagascar (*Octopus cyanea*, *O. macropus* et *O. aegina*), *O. cyanea* est la plus exploitée par la pêcherie. Que ce soit dans le sud-ouest ou le nord-est, la capture des poulpes se fait de manière toujours traditionnelle par le moyen de collecte à pied ou à bord de pirogues monoxyles. La pêche aux poulpes est une activité que les hommes, les femmes et les enfants peuvent pratiquer, car elle n'exige pas de gros moyens. Des prises sporadiques par des bateaux sont enregistrées dans la zone du sud-ouest au cours de l'année 2003, dont la prise annuelle est de l'ordre de 172 tonnes. Néanmoins, l'analyse des activités de pêche céphalopodière du sud-ouest et du nord-

est permet de discerner une nuance entre les deux zones. Dans le sud-ouest, pêcher fait partie intégrante des habitudes quotidiennes des villageois côtiers. En effet, l'enfant vezo⁴ est en contact avec la mer alors même qu'il se trouve encore dans le ventre de sa mère (Rejela, 1993). Par contre, au nord-est la pêche est une activité alternative de subsistance. Les pêcheurs sont plutôt des agriculteurs qui n'exploitent les ressources marines qu'occasionnellement (Raveloarisoa, 2006).

Figure. 10. Carte des zones de production des céphalopodes. L'extension en largeur des zones ne suit pas la grandeur de l'échelle.



⁴ Tribu qui vit le long du littoral sud-ouest et en majorité pêcheurs.

2.3.2.1. Les engins et techniques de pêche

Au sud-ouest comme au nord-est, la pêche a lieu à chaque période de vives eaux (appelées respectivement « Tehake » ou « ranovao »). Trois techniques de pêche peuvent être pratiquées dans cette zone : i) la pêche à pied, à marée basse pendant la période des vives eaux ; ii) la pêche à bord d'une pirogue qui consiste à se tenir debout en circulant sur tous les biotopes du récif pour repérer l'animal ; ou bien iii) la pêche en plongée. Cette dernière est typiquement pratiquée au niveau des biotopes récifaux plus profonds, en utilisant des masques et tuba pour chercher les poulpes.

Dans le sud-ouest, la pêche au poulpe se fait à l'aide des moyens de production traditionnels. Une ou deux pirogues monoxyles à balancier non motorisées par famille suffisent pour accéder aux lieux de pêche. L'engin de capture est rudimentaire, parfois confectionné avec le matériel de bord par les pêcheurs eux-mêmes. Il s'agit du « harpon » localement appelé « voloso » ou « kijaomanta » avec lequel les pêcheurs à pied attrapent la pieuvre, les anguilles de mer et des poissons sur le platier récifal. Chaque pêcheur (femmes et enfants compris) peut se procurer en moyenne 2- 4 harpons. De fabrication locale, le harpon est fait à partir des morceaux de ferrailles récupérés un peu partout. Un harpon ne coûte que 2000 Ar aux pêcheurs. Il semble que le pêcheur à pied ne se sert de son harpon pour tuer l'animal dans son trou qu'en cas de force majeure. En effet, pour faire sortir l'animal de son trou, on le chatouille à l'aide de l'extrémité du harpon, ou par le bout du doigt. L'animal ainsi excité essaye de déployer ses tentacules pour s'agripper au harpon ou au bras du pêcheur. Sa sortie du trou se fait par un retrait lent ou par un léger accrochage de la pointe du harpon sur le manteau. Par contre, l'usage du harpon pour tuer l'animal est fréquent en saison froide (juin à septembre) pendant laquelle le poulpe adulte sort de son trou le jour et passe beaucoup plus de temps à rester immobile (Raberinary, *comm. pers.*). Les calmars sont capturés à l'aide de deux types d'engin : le filet maillant et la turlute.

Dans le nord-est, les agriculteurs-pêcheurs utilisent des pirogues monoxyles traditionnelles sans balancier faites à partir de tronc d'arbres, localement appelée « lankajily ». Une pirogue peut embarquer 1 à 3 personnes selon la taille. Elle est propulsée à la pagaie ou à la voile en fonction du régime du vent. L'engin de capture du poulpe est un harpon formé par un long manche en bois terminé par une pointe métallique fixe de 10 à 15 cm. Ce qui fait que l'engin peut mesurer de 2 à 3 m. Il existe trois types d'harpon : le harpon à simple pointe, le harpon à

double pointes et le harpon à triple pointes. On rajoute un morceau de bois au harpon pour frapper à mort l'animal trop agité après sa capture.

Récemment, une technique expérimentale de pêche aux poulpes est introduite pour évaluer son efficacité dans les deux parcelles marines du Parc National de la presqu'île de Masoala. Il s'agit d'un poulpier composé par des pots construits en ciment bétonné et reliés entre eux par une corde. Les pots sont mouillés et servent donc à piéger l'animal. Un poulpier est formé par un groupement de 15 à 30 pots, pesant chacun en moyenne 7,5 kg. La visite du poulpier se fait régulièrement en remontant les pots dans la pirogue. Les résultats obtenus montrent que l'efficacité des pots à capturer le poulpe est inférieure à celle de la pêche habituelle. Même au niveau de la taille moyenne de capture, la pêche traditionnelle l'emporte et donne en moyenne un animal de poids éviscéré autour de 1000 g contre 300 g par la pêche aux pots (Raveloarisoa, 2006).

2.3.2.2. Les zones de pêche

La pêche aux poulpes s'effectue tout près de la côte dans les zones récifales. De Bevoalavo (au sud de Toliara) jusqu'à Morombe (au nord), la quasi-totalité des captures vient de ces aires se trouvant à quelques minutes de marche ou de pirogue à partir de la côte.

Au niveau du platier récifal, les individus se répartissent en fonction des biotopes. A Andavadoaka (au nord de Toliara), Raberinary (2007) a remarqué une distribution horizontale et verticale des individus sur la zone de pêche. Les plus jeunes individus de poulpes préfèrent la zone interne du platier récifal tandis que les adultes fréquentent en majorité le platier externe. De préférence, *Octopus cyanea* se concentrent dans des zones où les récifs sont en bonne santé leur permettant d'aménager les anfractuosités pour construire de gros trous. Les poulpes occupent donc tous les biotopes récifaux (microatoll, platier interne construit, levée détritique, socle grésocalcaire des petits îlots).

2. 4. Les données statistiques de pêche

Avant d'entamer le chapitre sur l'analyse de la variabilité des ressources, il convient de parler de la particularité des pêches traditionnelles du sud-ouest malgache, notamment de la méthode de l'échantillonnage ainsi que les biais qui pourraient affecter les données statistiques de captures qui en découlent.

Beverthon et Holt (1957), Ricker (1975), Guland (1969) ont constaté que l'information la plus accessible et les plus utiles pour arriver à un indice d'abondance constituaient les données sur la prise et l'effort (Chadwick et O'Boyle, 1990). Dans la situation la plus simple, où l'effort demeure le même d'année en année, la prise permettra de mesurer l'abondance d'un stock. Par contre, dans la situation la plus vraisemblable où l'effort évolue au fil des ans, mais où l'effort relatif c'est-à-dire, l'effort requis pour capturer la même quantité de ressources demeure constant, le taux de prise ou la prise par unité d'effort pourrait servir à mesurer l'abondance d'un stock. Il serait donc fort raisonnable de fonder un modèle d'évaluation sur le taux de prise ou de capture uniquement. Ainsi, lorsque ce taux diminue sous un niveau fixé arbitrairement, la pêche doit être réduite. Par contre, lorsque la prise par unité d'effort dépasse un niveau donné, l'effort de pêche peut être augmenté. Donc, d'une manière générale, la prise par unité d'effort (PUE) de pêche ou le taux de capture est l'un des paramètres fondamentaux de l'évaluation du stock halieutique.

En d'autre terme, toute étude de la variabilité de l'abondance des espèces marines commercialisées nécessite la statistique de pêche qui constitue une source de données unique. A priori, un système d'enquêtes assurant le suivi régulier des sites de débarquement dans le temps et dans l'espace permet la collecte de ces informations. La disponibilité d'un tel amas de données de capture des espèces commercialisées couvrant une période assez longue et obtenue de façon globalement similaire, permettrait l'analyse de la dynamique d'une telle pêcherie. L'utilisation scientifique des statistiques de capture pour l'étude de la dynamique ou la biologie quantitative des populations marines est donc chose courante. Cependant, des incertitudes planent souvent sur ces types de données, dues notamment à des imperfections lors des collectes d'informations sur la pêcherie en question.

Dans le cas d'une pêcherie artisanale et/ou traditionnelle, les principales sources du « biais » lors de l'échantillonnage de l'effort de pêche résident au niveau de la méthode adoptée et de l'enquêteur engagé lui-même.

La principale source d'erreur dans une telle démarche réside au niveau de l'enquêteur, qui peut avoir un moment d'inattention et rater ou compter deux fois une pirogue lors du comptage des sorties en mer et retour des pêcheurs dans un site par exemple. Pour y remédier, des analyses démographiques et de simulations ont révélé des similitudes entre fluctuations des captures de certaines espèces marines (exemple, certains stocks pélagiques de Californie) et des indices d'abondance, suggérant que les données de capture peuvent dans certains cas être un indice suffisamment représentatif de l'abondance d'un stock (Lich-Belda *et al*, 1989 ; Kawasaki, 1992), ou tout au moins de la tendance générale de son évolution. Il convient, malgré tout, de garder à l'esprit lors de l'utilisation des captures comme estimation de l'abondance d'un stock, que les variations des débarquements sont davantage à considérer comme des indicateurs de l'importance de la ressource (Faure, 2000).

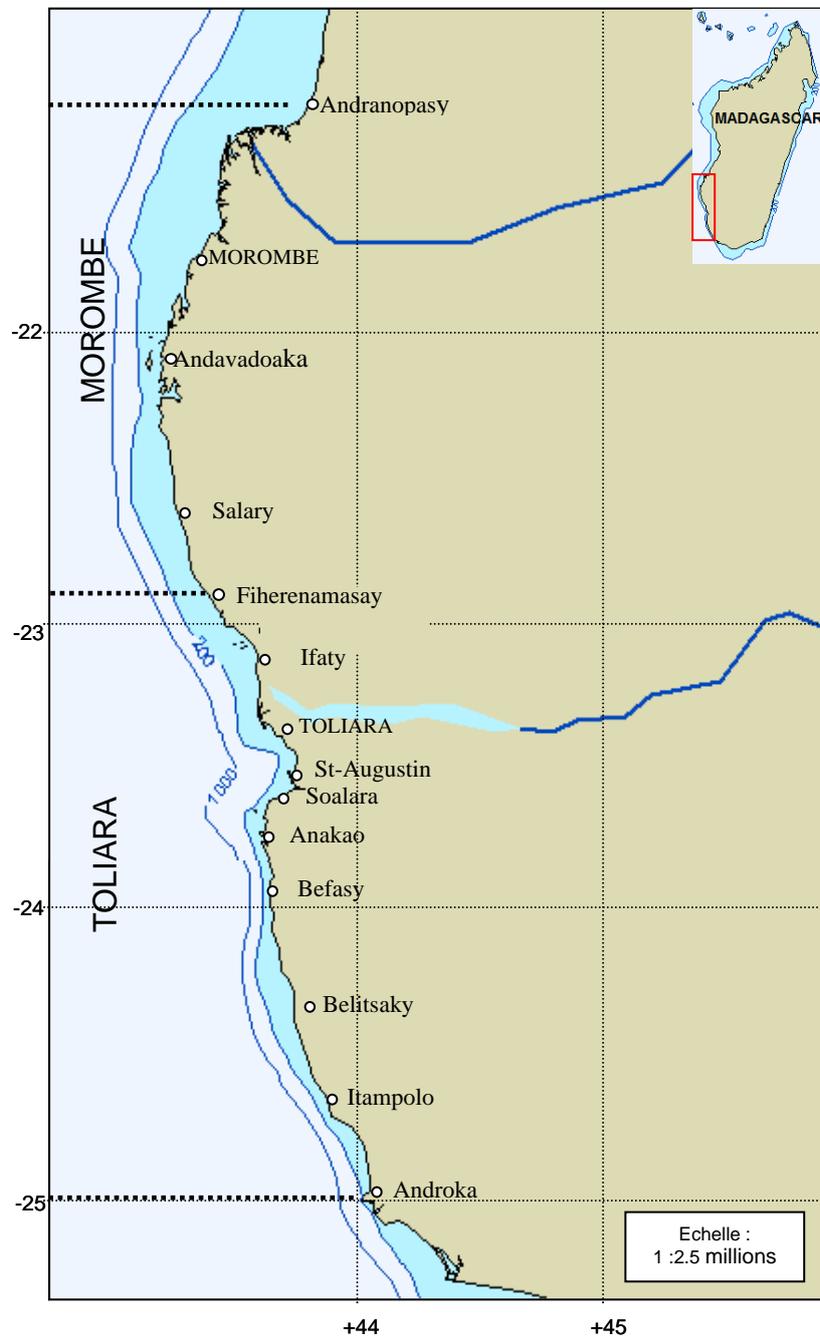
Gascuel (1993) et Sandon (1998) stipulent que dans le cas où l'effort de pêche peut être estimé, les PUE (Prise par Unité d'Effort ou rendements) et les indices d'abondance estimés par modélisation linéaire des PUE intègrent la notion de capturabilité des espèces cibles à la pêche (par l'intermédiaire de l'effort de pêche) fournissant un indice d'abondance plus fiable. Barry-Gérard (1990) décrit en détail les différentes approches pour estimer l'effort de pêche et les PUE, ainsi que les diverses sources de biais lors de l'échantillonnage d'une pêcherie commerciale.

Echantillonnage de l'effort de pêche

Dans la région du sud-ouest de Madagascar, où l'exploitation des espèces étudiées se fait d'une manière traditionnelle, la situation est beaucoup plus complexe, d'autant plus que la mixité des activités des pêcheurs est chose courante, i.e les pêcheurs orientent leur activité en fonction des variations d'abondance des ressources et du contexte socio économique. On est donc en présence d'une mixité de méthodes de pêche. Dans une telle situation, l'estimation de l'effort de pêche pour chaque espèce repose en partie sur le dénombrement de tous les pêcheurs traditionnels et le parc piroguier opérant dans la zone, sur la détermination de la durée pendant laquelle la pêche est pratiquée. Ceci permettrait ensuite d'en déduire le calcul de la prise par unité d'effort pour chaque espèce cible. Une telle entreprise est difficile à

réaliser dans la mesure où les villages des pêcheurs s'éparpillent le long d'une côte d'environ 400 km (Figure 11).

Figure 11. Régions géographiques du littoral sud-ouest malgache et principaux centres de débarquement de pêche traditionnelle.



Le plan d'échantillonnage adoptée dans le sud-ouest malgache pour la pêche traditionnelle consiste à diviser la côte en régions géographiques (figure 11) relativement homogènes (aussi bien du point de vue hydroclimatique qu'au niveau des types de pêches pratiqués, ainsi que

des principales espèces capturées) et à effectuer pour chacune d'elles des enquêtes dans les centres de collectes (ou villages) les plus importants. Les résultats obtenus dans les villages seront ensuite extrapolés à l'ensemble de la région par l'intermédiaire des résultats de recensements du parc piroguier ou de nombre de pêcheurs-collecteurs. Ces extrapolations supposent que la pêche se pratique de la même manière et sur les mêmes stocks dans l'ensemble de la région. La quasi-totalité des données statistiques disponibles auprès du SPPRH proviennent des sociétés de pêches. Une partie est fournie par des particuliers.

Pour les sociétés de pêche, la première étape consiste à mettre en place, dans les villages, des collecteurs qui assurent, à la fois la collecte des produits de pêche, le recensement des pêcheurs-collecteurs et le dénombrement du parc piroguier. Ce système consiste à dénombrer après les départs en pêche, les pirogues restées sur la plage. Ce comptage se fait le matin. Le même comptage est effectué le soir après le retour de pêche de toutes les pirogues. Le nombre de sortie de la journée est obtenu en faisant la différence entre les deux chiffres obtenus. L'estimation de l'effort chez l'anchois est décrite plus haut (Ch. 2.3.1.4). L'inconvénient majeur de cette méthode réside dans le fait que les pirogues qui sortent après le comptage du matin ou qui reviennent après celui du soir ne sont pas prises en compte dans l'effort de la journée. Elle ne permet non plus de cerner les doubles sorties.

La statistique de pêche constitue donc la seule et principale source de données. Pour l'anchois (*Engraulis indicus*) et céphalopodes (*Octopus cyanea* et *Loligo sp.*), ces données sont disponibles pour la région sud-ouest de Madagascar depuis 1994. Et c'est à partir de ces fluctuations de prises et de PUE estimée à partir des efforts de pêche que l'étude des variations d'abondance de ces ressources sera entreprise. Aucune tentative d'évaluation de stock n'est envisagée dans ce travail à l'aide des PUE estimées, elles sont plutôt considérées comme des variables nécessaires pour l'étude des variations des indices d'abondance. La non spécificité des pêcheries traditionnelles rend difficile les calculs des indices d'abondance de chaque espèce. Néanmoins, des études ponctuelles sur la bio écologie et l'exploitation de *O. cyanea* de la zone (Toany, 1995 ; Raberinary 2007) et de *S. indicus* (Rakotoarinivo, 1998) permettent d'avoir une idée sur cet indice, au moins pour ces espèces.

Si l'on considère comme référence les études réalisées par ces auteurs, en cas de défaillance sur la détermination des PUE, les captures fournissent une idée sur l'importance des ressources.

Pour l'anchois, les données sur les captures annuelles de la région sont disponibles au sein du SPPRH ainsi que l'effort estimé (nombre de pirogues). Les données sur les captures mensuelles (et par marée de vives eaux) des poulpes et calmars par zone de collecte (par village) ont été extraites à partir des fiches de collecte et de déclaration d'exportation des sociétés de pêche et de l'annuaire du SPPRH. Les tonnages collectés par village ont été fournis par les Sociétés de collecte de produits marins, en l'occurrence Copefrito et Murex International. Si l'on considère comme référence, les études menées par les auteurs sus-cités, un rendement annuel de référence peut être calculé à partir des captures et efforts de ces zones pendant les saisons les plus favorables à la capture de ces espèces.

$$PUE_{ref} = Capture_{ref} / Effort_{ref}$$

avec Capture en kg et Effort en nombre de pêcheurs-collecteurs, nombre de pirogues

Afin de pouvoir analyser les dynamiques saisonnières des ces pêcheries, les données sur les prises mensuelles de poulpes et calmars sont utilisées. On ne dispose pas de statistiques sur les prises mensuelles d'anchois, seules les données sur les efforts mensuels d'une année sont disponibles pour l'analyse des fluctuations saisonnières. Les données sur les captures, efforts et PUE sont présentées dans les tableaux 2, 3, 4 et 5 ci-après.

Tableau 2. Captures, efforts de pêche et rendements d'anchois dans la zone de pêche du sud-ouest de Madagascar. (SPPRH, 2006).

Anchois	Captures (Kg)	Effort (nbpirogues)	PUE (Kg/pirogue)
1994	36 974	642	57,59
1995	82 979	684	121,31
1996	150 205	-	-
1997	255 508	455	561,55
1998	510 194	815	626,00
1999	202 122	654	309,06
2000	38 749	881	43,98
2001	79 200	910	87,03
2002	2 571 324	1 234	2 083,73
2003	39 525	815	48,50
2004	432 860	1 104	392,08
2005	9 060	1 009	8,98
2006	148 720	-	-
2007	-	-	-

Tableau 3. Effort mensuel moyen de pêche aux petits pélagiques (1) et aux anchois (2) dans la zone de pêche d'Ankiembe, Ankilibe et Anakao du sud-ouest de Madagascar. (1. *Rakotoarinivo, 1998* ; 2. *SPPRH, 1999*).

mois	mars-96	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.	janv-97	fév	mars
Nb pirogues TOT	220	250	150	130	120	130	138	250	260	320	315	340	280 (1)
Nb pirogues anchois	-	94	102	125	118	112	89	105	97	60	78	82	102 (2)

Tableau 4. Captures, effort de pêche et rendements de calmars dans la zone de pêche du sud-ouest de Madagascar. (SPPRH, 2006).

Calmar	Captures (Kg)	Effort (pirogues)	PUE (Kg/pirogue)
1994	25 274	231	109,41
1995	87 773	248	353,92
1996	174 314	258	675,64
1997	167 116	296	564,58
1998	121 754	145	839,68
1999	174 425	273	638,92
2000	309 080	320	965,88
2001	124 915	347	359,98
2002	196 217	201	976,20
2003	158 148	398	397,36
2004	232 430	386	602,15
2005	172 731	350	493,52
2006	80 790	390	207,15
2007	-	-	-

Tableau 5. Captures, efforts de pêche et rendements de poulpes dans la zone de pêche du sud-ouest de Madagascar. (SPPRH, 2006).

Poulpe	Captures (Kg)	Effort	PUE
		Nb pêcheurs/collecteurs.	(Kg/pêcheur)
1994	49 000	792	61,87
1995	160 000	898	178,17
1996	651 879	700	931,26
1997	530 233	852	622,34
1998	845 869	1034	818,06
1999	653 369	1068	611,77
2000	1 595 787	1106	1 442,85
2001	1 143 297	1340	853,21
2002	1 526 999	848	1 800,71
2003	929 490	850	1 093,52
2004	519 174	963	539,12
2005	646 588	1338	483,25
2006	586 875	1437	408,40
2007	-	-	-

2.5. Commercialisation de l'anchois et des céphalopodes

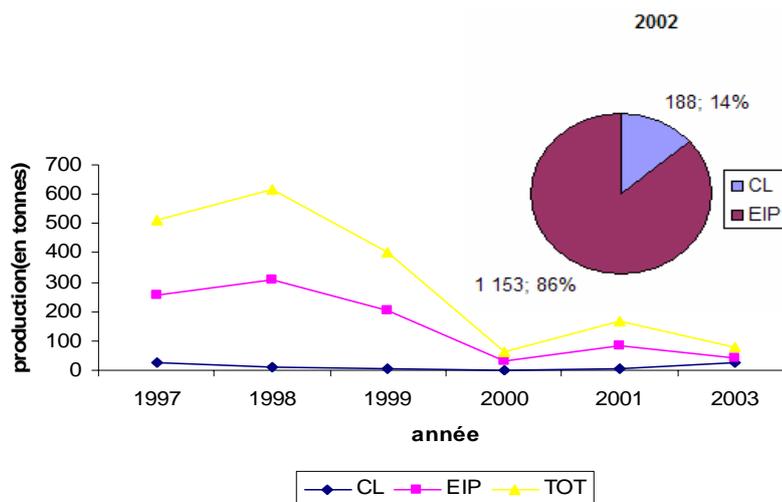
L'anchois et les céphalopodes (poulpes et calmars) font partie des produits de pêche traditionnelle du sud-ouest. Si la totalité des anchois pêchés dans la région est destinée aux marchés locaux, la grande partie des produits de pêche en céphalopodes fait l'objet d'un commerce extérieur. Les statistiques fournies par le SPPRH montrent les caractéristiques de cette commercialisation ainsi que les fluctuations de prix de ces produits.

2.5.1. La commercialisation de l'anchois

Les anchois pêchés le long de la côte sud-ouest malgache sont en totalité destinés à la consommation locale et à l'expédition intérieure (régionale et nationale), étant donné que l'exportation est inexistante. A part la consommation locale qui n'absorbe que le 11 % (260 tonnes) de la production totale régionale entre 1997-2003 (2 261 tonnes), les principaux marchés de la pêcherie à l'anchois du sud-ouest sont les villes suivantes : Antananarivo, Antsirabe, Ambatolampy, Fianarantsoa, Ambositra, Ambalavao, Manakara, Mananjary,

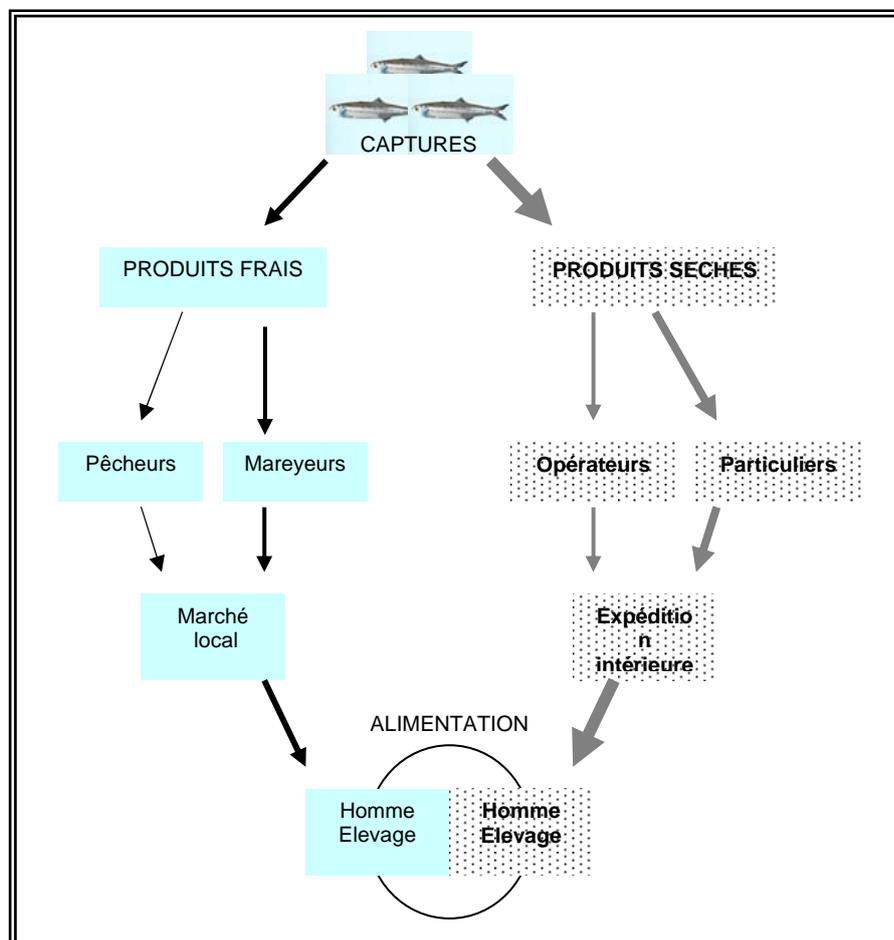
Toamasina. Antananarivo est la principale ville importatrice d’anchois séchés en provenance du sud-ouest, le produit frais ne faisant pas l’objet d’expédition intérieure. Dans la même période, les expéditions intérieures atteignent 2 001 tonnes, soit 89 % de la production de la région. Une tendance à la baisse fut remarquée entre 1997 et 2000 pour la consommation locale, soit 24 tonnes et 2 tonnes respectivement. Une légère augmentation de la capture en 2001 (79 tonnes) renforce le tonnage à l’expédition, alors que la consommation locale reste relativement faible (5 tonnes) (Figure.11). L’année 2002 est marquée par une nette augmentation de la vente intérieure et de la consommation locale, soit respectivement 86% (1 153 tonnes) et 14% (188 tonnes) de la production totale qui avoisine les 2 600 tonnes. La tendance est inversée en 2003. Une nette augmentation de la consommation locale est enregistrée en 2003 : 65% (26 tonnes) contre 35% (14 tonnes) pour l’expédition intérieure.

Figure 11: Consommation locale et expédition intérieure d’anchois entre 1997–2003. *CL* : consommation locale ; *EIP* : expédition intérieure par des particuliers ; *TOT* : production totale. Due à l’importance de la prise en 2002, et par souci de visibilité par rapport à l’échelle graphique, *CL* et *EIP* sont présentées en camembert pour l’année 2002.



Les circuits de commercialisation de l’anchois du sud-ouest sont résumés par le schéma ci-après (Schéma 1).

Schéma 1. Circuits de commercialisation de l'anchois du S.O. de Madagascar. L'épaisseur des traits donne l'idée sur l'importance de la part prise par chaque entité.



2.5.2. La commercialisation des céphalopodes

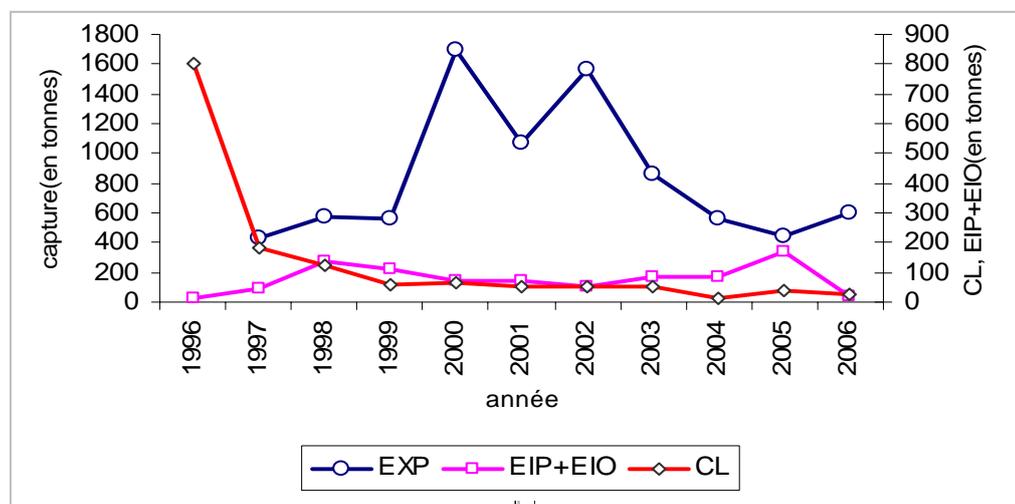
Les poulpes et calmars collectés dans le sud-ouest malgache font l'objet d'un commerce de plus en plus développé ces vingt dernières années. Les produits sont destinés aux marchés locaux pour la consommation locale, ou expédiés en dehors de la région à l'intérieur du pays.

2.5.2.1. La consommation locale

Entre la période 1996-2006, la consommation locale en céphalopodes est de l'ordre de 1 500 tonnes (13% de la production), ce qui donne en moyenne 132 tonnes par an. La tendance en quantité décroît rapidement en 1997. Elle passe de 805 tonnes en 1996 pour atteindre 185

tonnes en 1997. Cette tendance à la baisse peut s'expliquer par le fait de l'augmentation du prix des céphalopodes liée au développement de l'exportation et de l'expédition intérieure. Cette tendance continue jusqu'en 2004 où la quantité minimale est atteinte (Figure. 12): 12 tonnes (2% de la production de l'année), alors que le marché extérieur et intérieur ensemble représentent 740 tonnes. Les céphalopodes de consommation locale concernent les produits frais, congelés, ou séchés.

Figure 12: Variation de la tendance interannuelle de la consommation locale et expédition intérieure des céphalopodes entre 1996–2006. *EXP* : exportation par des opérateurs ; *CL* : consommation locale ; *EIO* : expédition interne des opérateurs ; *EIP* : expédition intérieure par des particuliers.



2.5.2.2. L'expédition intérieure

Les expéditions intérieures rassemblent la part des céphalopodes (poulpes et calmars) vendue par les particuliers et les opérateurs aux marchés régionaux et nationaux. Elle concerne les produits congelés (filets de calmar congelés) et surtout séchés (poulpes éviscérés et séchés). Les principales villes importatrices des céphalopodes du sud-ouest sont les suivantes : Antananarivo, Antsirabe, Toamasina, Fianarantsoa, Manakara, Ambositra. Le marché intérieur consomme 15% de la production de la pêche céphalopodière du sud-ouest, soit un total de 1707 tonnes entre 1996-2006. La légère augmentation enregistrée dès 1996 (atteignant 275 tonnes en 1998, soit 28,40% de la production de l'année (968 tonnes) est liée à la fois à l'implantation, dans la zone, des deux sociétés de collectes de produits marins (TAVEX et COPEFRITO) incitant ainsi la pêche aux céphalopodes. L'embargo de l'Union Européenne sur la viande et les produits halieutiques de Madagascar des le 1^{er} août 1997 a

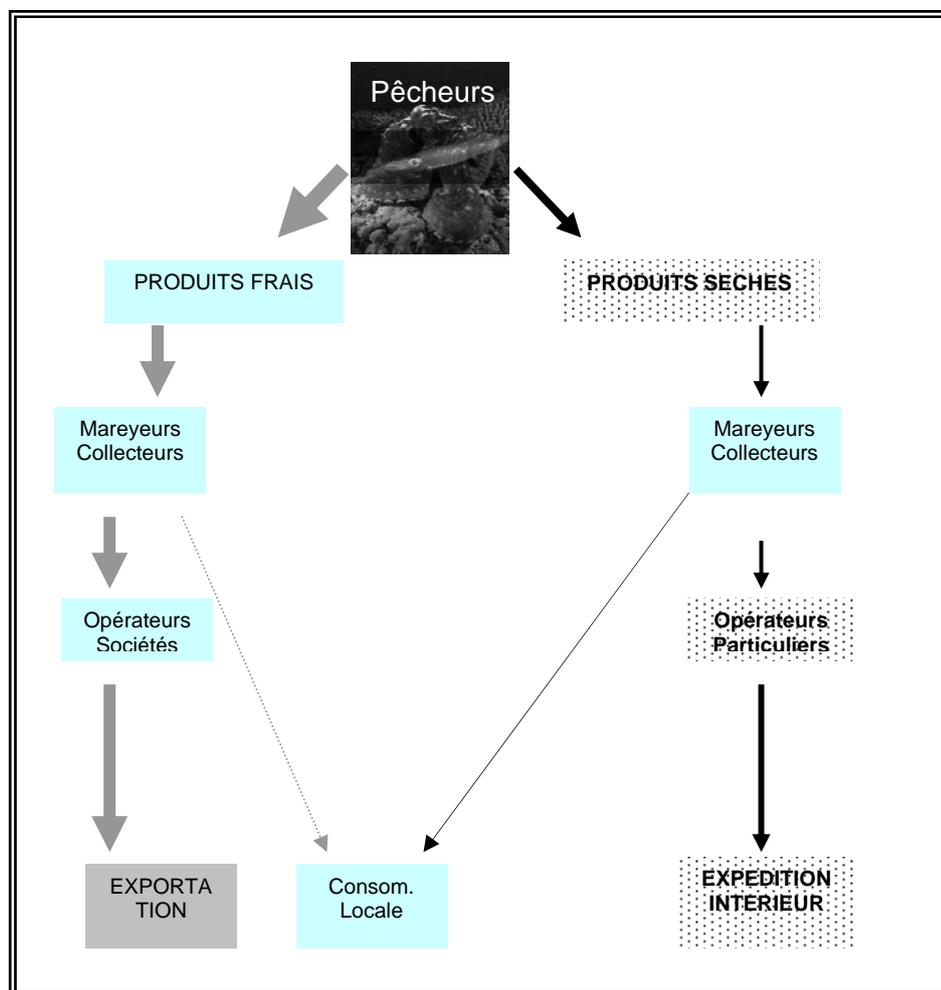
favorisé le marché intérieur. La reprise en 2005 (334 tonnes, soit 41% de la production de l'année) est suivie par une baisse l'année suivante, en faveur de l'exportation.

2.5.2.3. L'exportation

Les principaux marchés à l'exportation des pêcheries aux céphalopodes du sud-ouest de Madagascar sont les pays suivants : l'île Maurice, La Réunion, la France. L'Italie, les Pays-bas et le Hong-Kong sont également des pays importateurs. L'évolution de l'exportation est marquée de façon substantielle depuis 1996. Sur la période 1997 et 2006, les volumes exportés ont atteint 8 379 tonnes, soit 73 % de la production totale de la pêche en céphalopodes du sud-ouest. Ce qui donne, une quantité moyenne exportée de l'ordre de 762 tonnes par an. Cette augmentation est due en partie par l'entrée en lice de deux sociétés (COPEFRITO SA et MUREX INTERNATIONAL SA), basées à Toliara, dans la collecte des produits halieutiques de la région. L'impact de leur activité est visible dès 1995 avec 114,3 t de poulpes congelés en 1995 contre 8,5 t en 1994 (L'Haridon, 2006). L'Ile Maurice importe la quasi totalité des céphalopodes exportés par le sud-ouest malgache. Les années 2000 et 2002 ont été marquées par deux pics d'exportation maximale avec, respectivement 1702 et 1571 tonnes. La chute du tonnage d'exportation continue jusqu'en 2005 (449 tonnes), soit une diminution de 25 % par rapport au tonnage de l'année 2000.

Beaucoup de facteurs peuvent expliquer la diminution du tonnage à l'exportation. Le facteur climatique qui a une répercussion sur la collecte des céphalopodes. En effet, les passages de deux cyclones (Ernest et Felapi) en janvier 2005, la stagnation des zones de collecte, la hausse des volumes pêchés les années précédentes en sont des exemples. De la même façon, les premiers résultats de 2006 peuvent être liés à de nombreux facteurs, et notamment aux mesures de gestion des ressources prises en 2005 (fermeture de la collecte des poulpes du 15/12/05 au 31/01/06 ; interdiction de collecter des poulpes de moins de 350 g) (L'Haridon, 2006). Un chapitre est consacré plus loin à cette problématique. Une augmentation progressive du commerce extérieur de céphalopodes est attendu dans les années qui viennent, compte tenu de la forte valeur nutritionnelle qu'ils apportent (fort taux de protéine, peu de graisse) (Faure, 2000).

Schéma 2. Circuits de commercialisation des poulpes et calmars du S.O. de Madagascar. L'épaisseur des traits donne l'idée sur l'importance de la part prise par chaque entité.



2.5.2.4. Les fluctuations du prix de vente

Le prix au pêcheur est un facteur important qui peut inciter les pêcheurs à rechercher ou non une ressource quelle que soit son abondance. Dans le cas d'une pêcherie traditionnelle (tel le cas des céphalopodes du sud-ouest de Madagascar), où les collecteurs (sociétés et particuliers) mettent de gros moyens pour atteindre les pêcheurs, les prix sont en quelque sorte, imposés par les sociétés collecteurs en fonction de certains critères. Le prix payé aux pêcheurs dépend :

- i) de la concurrence entre les opérateurs ;
- ii) de la distance séparant le village de la ville de Toliara (plus le village est proche de Toliara, plus les prix sont élevés) ;

- iii) des commissions prises par les sous collecteurs (fixées en général par les entreprises de collecte et variant approximativement de 100 à 200 Ar/kg) ;
- iv) de la qualité et de la taille des individus ;
- v) de la composition spécifique de produits (1Kg de calmar coûte plus cher que 1Kg de poulpe) ; et
- vi) de l'évolution de la demande (consommation locale, marchés intérieurs et extérieurs).

L'Haridon (2006) a étudié les fluctuations des prix d'achat de poulpe et du calmar entre 1996 et 2005 pour la société Copefrito. Les prix calculés ici sont les prix moyens annuels de COPEFRITO (montant total des achats par produit pour l'année considérée / nombre de kilo collecté). La hausse des prix d'achat des poulpes et des calmars est bien supérieure à l'inflation calculée par l'INSTAT (Institut National de la Statistique Malgache). Cette hausse des prix des produits de la mer est par contre proche des hausses des prix des produits de première nécessité en 2004 et 2005 (et notamment du riz qui a connu une inflation de +85% entre mars 2004 et août 2005). Le prix des poulpes augmente plus régulièrement que celui des autres produits, qui ont essentiellement suivi l'inflation de 2004 à 2005⁽⁵⁾.

D'après les données de la FAO, un kilo de poulpe était vendu entre 1000 et 2000 FMG/kg en 1996 (valeur moyenne 1500 FMG/kg soit 300 Ar/kg). Les données de l'INSTAT (Annexe 4) permettent de calculer l'évolution du prix du poulpe s'il avait suivi l'inflation et la croissance malgache et de les comparer aux prix réels, calculés à partir des achats de COPEFRITO. D'après ces calculs, les prix réels du poulpe ont augmenté plus vite que la croissance en FMG courant depuis 1996. Ce qui explique pourquoi la pêche au poulpe se développe, d'autant plus que les prix des poissons ou des calmars ne suivent pas la même évolution. Pour l'analyse de l'évolution des prix des poissons et des calmars, nous avons retenu la moyenne des prix indiqués par la FAO en 1996 (respectivement 380 et 1 000 Ar/kg). En fait, les prix du poulpe augmentent de façon suffisamment rapide pour que la diminution des prises par pêcheur (due à la hausse du nombre de pêcheurs et/ou à une baisse des ressources) ne modifient pas le pouvoir d'achat des ménages de pêcheurs. Le tableau ci-après (Tableau 1) montre l'évolution des prix des céphalopodes et des poissons depuis 2003.

⁵ Observatoire du Riz, CIRAD (Centre de Coopération en Recherche Agronomique pour le Développement), prix du riz local ; de 543 Ar/kg en mai 04 à 1005 Ar/kg en août 05.

Tableau 1: Evolution des prix depuis 2003. Les Prix indiqués sont les prix moyens d'achat au pêcheur (la commission du sous collecteur est déduite). Les hausses des prix sont calculées d'année en année. (Source : L'Haridon, (2006) ; INSTAT et COPEFRITO).

	Inflation à	Prix du Poulpe	Evolution des	Prix du calmar	Evolution des	Prix du Poisson	Evolution des
	Madagascar	(MGA/Kg)	prix du poulpe	(MGA/Kg)	prix du calmar	(MGA/Kg)	prix du poisson
2003	3%	725		815		586	
2004	14%	881	22%	1 202	47%	571	- 3%
2005	18%	1 451	65%	2 503	108%	926	62%
2006		1 789	23%	2 533	1%	1 011	9%

2.6. Gestion des stocks de l'anchois et des céphalopodes

2.6.1. Notion générale sur la gestion des stocks halieutiques

Une population marine évolue dans un milieu auquel elle s'est peu à peu adaptée. Certaines espèces comme les petits pélagiques côtiers occupent des habitats marqués par une forte variabilité environnementale qui pourra causer des fluctuations naturelles d'abondance perceptibles au travers des activités halieutiques. Lorsqu'on cherche à aménager une pêcherie, le premier objectif est d'assurer *la pérennité de la ressource* tout en essayant d'en tirer le maximum de profit. La gestion de stock est la phase décisionnelle du mécanisme d'aménagement. On y recherche la définition d'une stratégie d'exploitation, qui se traduit souvent par la mise en place d'une réglementation.

2.6.2. Réglementation sur l'anchois.

L'anchois fait partie des petits poissons pélagiques dont la réglementation de la pêche est définie par l'arrêté provincial 254 du 10 décembre 1965 (*J.O. du 24 décembre 1965*) qui interdit la consommation des Sardines et Sardinelles durant la période chaude, car ces espèces risquent de provoquer des intoxications amnésiantes du type gastro-intestinal (vomissements, diarrhées, nausées, ...). Par contre, il n'existe aucune législation liée au cycle biologique de l'exploitation de ces ressources. Généralement les petits poissons pélagiques meurent après la période de reproduction, et la possibilité d'approvisionner de nouvelles recrues est liée au succès de cette reproduction.

Durant l'étude menée sur la pêcherie des petits pélagiques, Rakotoarinivo (1998) affirme que l'activité de pêche à Toliara évolue sans cesse et cette évolution demande un suivi permanent pour connaître l'état du stock. Pour les espèces des petits pélagiques les plus capturées (y compris l'anchois), le taux d'exploitation maximal équilibré n'est pas encore atteint actuellement. Par exemple pour les espèces dont la croissance est étudiée, sur le site d'Ankiembe : *Engraulis indicus*, *Herklotsieuthys quadrimaeculatus*, *Sardinella gibbosa* et *Dussumieria acuta*, l'effort ne représente que 55 à 82 % de l'effort maximum équilibré (fmsy).

Le système d'exploitation de cette ressource est encore traditionnel. Les techniques de pêche utilisées ont peu évolué durant ces deux dernières décennies et une légère diminution (9 %) du nombre des engins de pêche a été constatée de 1990 à 1997. Dans la Baie de Toliara, l'effort de pêche sur les petits pélagiques est assez stable durant l'année (Rakotoarinivo, 1998) avec un effort moyen mensuel de l'ordre de 63 à 306 jours-pirogues. Par contre dans une zone hors de la Baie, une forte diminution de l'effort est observée pendant la période froide et l'effort de pêche moyen mensuel est de 189 jours-pirogues. L'effort de pêche durant la période froide est généralement supérieure à celui de la période chaude. Les captures par unité d'effort varient de 44 à 84 kg/jour-pirogue suivant le site d'investigation. On note que les CPUE observées durant la période froide sont toujours supérieures à celles de la période chaude.

Aménager cette pêcherie consiste donc à augmenter la production au niveau des pêcheurs, tout en évitant les risques de surpêche pour la conservation de la ressource. Cette augmentation doit avoir un impact positif sur leur revenu, tout en diversifiant l'effort de pêche et satisfaire les besoins des consommateurs. Pour le sud ouest de Madagascar, des suggestions sont faites sur les engins de pêche à privilégier. L'utilisation du filet encerclant limite le risque de surpêche, en permettant de bons rendements sans toutefois capturer les individus de petites tailles (les mailles du filet étant réglementées). La vulgarisation de cet engin permet aussi de limiter l'action destructive d'autres techniques de pêche telles que la senne de plage. Une autre technique consiste à la pratique de la pêche de nuit en nouvelle lune et en dernier quartier. Cette méthode est plus couramment employée pour capturer des appâts dans d'autres pays (Rakotoarinivo, 1998). Elle fait appel au comportement des petits poissons pélagiques qui se concentrent autour d'une source lumineuse. Cette technique est utilisée dans de nombreuses pêcheries en particulier pour les Clupéidés, Engraulidés, les Maquereaux, Chinchards et même les Céphalopodes. Conand (1987) explique l'utilisation pour les petits pélagiques en milieu récifal de cette technique de pêche. L'introduction de cette méthode

permettrait d'augmenter le nombre de sorties en mer, en pratiquant de la pêche de nuit en nouvelle lune et en dernier quartier. Elle permettrait aussi d'augmenter la taille minimale des espèces capturées en augmentant la maille du filet.

2.6.3. Gestion de la pêcherie aux céphalopodes

L'évaluation et l'aménagement des stocks des espèces à courte durée de vie posent des problèmes différents à ceux rencontrés sur les stocks halieutiques habituels conventionnels. Pour les poulpes en particulier, la détermination des courbes de croissance est difficile, du fait de leur taux de croissance rapide et variable d'un individu à un autre. La détermination de l'âge est impossible car ils sont dépourvus de pièces dures interprétables, alors que pour les stocks conventionnels, l'exploitation d'un groupe d'individus sur plusieurs années est possible grâce à l'existence d'une structure en âge multiple et la durée de vie longue. Ces caractéristiques permettent, également, une surveillance des processus sur plusieurs années consécutives et de corriger ainsi les erreurs éventuelles d'exploitation (Caddy, 1981 ; Amaratunga 1987).

Pour les poulpes en particulier, les gestionnaires des stocks sont confrontés à de véritables difficultés. Ils ont du mal à trouver une certaine continuité qui assure la marge de sécurité, laquelle devrait être envisagée à court terme (annuelle ou semi annuelle), afin de pouvoir adapter un modèle aux caractéristiques biologiques de l'espèce. Amaratunga (1987) stipule que chez les poulpes, la notion de la vie d'une cohorte est très courte de telle sorte qu'une génération est généralement totalement remplacée par la suivante. Boyle (1990) affirme que chez les espèces à durée de vie courte, il est difficile de mener une étude sur la pression de stock étant donné la forte dépendance entre les captures et le recrutement, ce dernier lui-même difficilement prévisible. Ce caractère imprédictible de l'abondance massive des poulpes dans les zones côtières de pêche a été signalé aussi par Forest et Waterson (1934).

Malgré les progrès réalisés sur l'étude de la dynamique des espèces à vie éphémère, notamment sur les calmars (Amaratunga, 1987), beaucoup d'informations restent encore à compléter pour conduire à mieux l'étude des populations de céphalopodes. Pierce et Guerra (1994) ont noté l'insuffisance d'informations sur le rapport stock-recrutement ; Boyle (1990) souligne le manque d'observations sur la fécondité et sur le recrutement ; Sato et Hatanaka (1983) ont réitéré le problème lié aux fluctuations interannuelles d'abondance. Tout ceci

rendait difficile l'application de modèles analytiques pour l'évaluation des stocks. Les méthodes classiques basées sur la notion d'équilibre d'une population ne semblent pas pertinentes pour la gestion de ces stocks aux caractéristiques si particulières et imprévisibles (Mesnil, 1980), et en particulier en présence d'espèces à faible longévité (Caddy, 1996). .

Néanmoins, Caddy (1996) a proposé une méthode alternative, permettant de modéliser la mortalité naturelle en fonction de l'âge. Cette méthode est basée sur l'hypothèse d'une décroissance rapide de la mortalité naturelle avec l'âge depuis le premier stade de vie jusqu'à la maturité sexuelle (Faure, 2000). Les vecteurs de mortalité sont ensuite utilisés dans un modèle de production par recrue de type Thompson-Bell.

Il faut souligner que dans le cas d'une pêcherie traditionnelle mixte, l'effort de pêche n'est pas ciblé sur une espèce en particulier ce qui complique l'estimation de la mortalité par pêche s'exerçant sur un groupe comme par exemple les céphalopodes. Quoique des informations manquent encore sur les interactions entre les céphalopodes et les autres composantes de l'écosystème, il est généralement recommandé d'entreprendre des approches plus intégrées (Caddy, 1981)]⁶.

A Madagascar, suite au développement de la pêcherie traditionnelle aux céphalopodes ces 20 dernières années, la tentative d'aménagement de cette pêcherie a été initiée par le Ministère de la Pêche et de Ressources halieutiques. Ce plan d'aménagement vise surtout à contrôler *l'activité de capture* (c'est-à-dire l'effort de pêche), la limitation de la taille individuelle de capture, l'utilisation des engins de captures. Selon Caddy (1981), la meilleure solution pour gérer ces stocks avec deux recrutements annuels, c'est de maintenir des niveaux de biomasse minimum. Par ailleurs, les poulpes et calmars sont des animaux à très forte potentialité de reproduction, du fait de leur fécondité élevée et de leur croissance rapide (Mesnil, 1980 ; Adams, 1980). Il en résulte donc une succession rapide des générations et une probabilité de restauration rapide de stock.

⁶ Mettre en conclusion générale de la thèse

2.6.4. Mesures d'aménagements actuels

Aucun texte officiel sur le plan de gestion de stock de céphalopodes n'a été établi jusqu'ici à Madagascar. La première ébauche d'un plan d'aménagement de cette pêcherie a été rédigée à l'issue du premier atelier national tenu au mois de juillet 2005. Les résolutions et recommandations prises concernent les points suivants : i) la saison et les zones de fermeture de la pêche ; ii) la taille réglementaire de captures ; iii) les engins de pêche et ; iv) les licences ou permis de pêche, de mareyage.

- **La saison de fermeture** concerne les deux zones de production. Pour le sud-ouest, la pêche et la collecte des poulpes est temporairement fermée pendant 1,5 mois (15 décembre au 30 janvier de l'année suivante). La même durée de fermeture sera appliquée pour le nord-est et Sainte Marie, mais plutôt à partir du 1^{er} juin au 15 juillet de chaque année. Les calmars et les seiches ne sont pas concernés par cette mesure.

En terme de mesure d'accompagnement, il est recommandé d'introduire de nouvelles techniques de pêche adaptées à une meilleure valorisation des produits ; de diversifier les activités de pêche telles que les DCPs⁷. La mise en place des caisses de stabilisation sociale et l'introduction de la notion d'épargne au niveau des pêcheurs sont prioritaires. Ces actions seraient initiées par les exportateurs, mais en tenant compte également des outils OTIV⁸, GELOSE⁹, CECAM¹⁰, etc. Pour mieux responsabiliser et structurer les pêcheurs traditionnels, leur regroupement au sein des associations ou groupements devrait être priorisé.

En matière de recherche, les travaux menés dans le sud-ouest devraient être soutenus, au moins deux années supplémentaires. Par ailleurs, il faut étendre les zones de recherche vers le sud de Toliara ainsi que sur la côte est en tenant compte des résultats obtenus pour mieux préciser la période adéquate de fermeture de pêche. Les institutions de recherche ou d'autres organismes pourraient jouer un rôle prépondérant dans le renforcement des connaissances de base sur chaque zone.

⁷ Dispositifs de Concentration des Poissons

⁸ Ombona Tahiry Ifampisamborana Vola

⁹ Gestion Locale Sécurisée

¹⁰ Caisses d'Epargne et de Crédit Agricole Mutuels

▪ **La taille réglementaire de capture** est fixée à 350 grammes. Des campagnes de sensibilisation des pêcheurs sur l'intérêt de capture des poulpes de grande taille seront nécessaires.

Pour atteindre ces objectifs, il faut sensibiliser les pêcheurs sur la taille minimale à la capture et leur expliquer les avantages de pêcher des poulpes de grande taille. L'utilisation des balances avec une précision de 100 grammes serait obligatoire pour les collecteurs et à mettre comme une condition sine qua non la délivrance du permis de collecte. Par ailleurs, il faut diversifier les activités de pêche (autres que la pêche au poulpe) tout en utilisant des matériels de pêche sélectifs. La création des activités génératrices de revenus pour les femmes des pêcheurs (couture, artisanat, etc.) et la scolarisation des enfants par l'intermédiaire du PSDR¹¹, le FID¹² devraient être renforcées.

Dans le domaine scientifique, les recherches en éco-biologie devraient être approfondies. L'évaluation du stock de poulpe existant à Madagascar devrait être menée pour chaque zone (sud-ouest, côte est, nord-est) ainsi que les recherches sur les calmars.

▪ **L'engin de pêche aux céphalopodes** concerne les deux espèces. Pour la pêche aux **calmars**, la promotion de l'utilisation des turlutes (engin sélectif) de fabrication locale serait renforcées. En parallèle, il faut augmenter la taille des mailles des filets (actuellement 2 doigts) et envisager plus tard à ne plus utiliser cet engin destructif.

Concernant les **poulpes**, les actions devraient être focalisées sur les trois points suivants : la vulgarisation de l'utilisation des pots, l'optimisation ou diminution de l'effort de pêche et l'interdiction de la pratique éventuelle de chalutage pour la capture des poulpes.

Les mesures d'accompagnement appropriées sont les suivantes : l'approvisionnement des pêcheurs en matériel de pêche, le renforcement de capacité des pêcheurs et la formation des pêcheurs sur les nouvelles techniques de pêche.

▪ **Pour les permis de pêche, de mareyage, de collecte**, les actions suivantes sont à entreprendre : étudier la possibilité d'augmenter le nombre de duplicata des permis de collecte. Pour la rubrique « Poisson », une seule et unique redevance doit être accordée (ex. Tove et varilava). Pour les mareyeurs, il est souhaitable d'étudier la possibilité d'étendre la zone actuelle en région. La délivrance des permis de collecte reste toujours sous l'autorisation de la direction centrale. Par ailleurs, la délivrance des autorisations de collecte est uniquement autorisée à des sociétés ou personnes physiques présentant des dossiers fiables et ayant des

¹¹ Projet du Sud-ouest pour le Développement Rural

¹² Fond d'Intervention pour le Développement

caractères de type professionnel et limiter si nécessaire le nombre de permis de collecte. Pour toutes autorisations délivrées, les autorités décentralisées seraient informées.

L'efficacité de ces actions réside dans le renforcement de l'Information, l'Education et la Communication sur tous les textes réglementaires en vigueur.

Autres aspects

Un effort considérable est à faire dans le domaine de formation de tous les intervenants de la filière (pêcheurs, mareyeurs, collecteurs, exportateurs) en matière de "normes sanitaires" des produits. En outre, les travaux de recherches menés actuellement doivent être soutenus en faisant appel à des experts nationaux et/ou internationaux. Tous les intervenants (opérateurs économiques, ...) sont à consulter avant la sortie des textes réglementaires. Alléger les lourdeurs administratives sur les traitements des dossiers, en particulier les problèmes ponctuels des opérateurs.

La progression au renforcement organisationnel des pêcheurs traditionnels est encouragée dans l'optique de cogestion de la ressource entre les Gestionnaires, les Opérateurs et la Communauté locale. La responsabilisation de tous les acteurs de la filière (pêcheurs, collecteurs, mareyeurs, exportateurs) serait renforcée. Une campagne de sensibilisation devrait être menée au niveau de chaque village sur les résultats de tout atelier à réaliser par les pêcheurs, les mareyeurs, les collecteurs, les sociétés d'exportation. Enfin, le tenu régulier d'un atelier d'évaluation des recommandations prises lors de chaque atelier est envisagé. Il est opportun de mener des études de prospections de nouvelles zones de pêche sur ces ressources.

CHAPITRE 3

**Constat sur la variabilité spatiale
et temporelle des ressources**

Généralités : ressources halieutiques, stocks précaires

La variabilité et l'instabilité des stocks de ressources marines constituent un des problèmes cruciaux en halieutique. Elles soulèvent le problème de l'interaction entre les dynamiques de l'environnement, des ressources renouvelables et des sociétés de pêcheurs (Ferraris *et al*, 2000). Par nature, les stocks de ressources halieutiques sont instables, du fait de leur sensibilité aux fluctuations climatiques et aux pressions de pêches. En fonction de la longévité de vie des espèces, la variabilité peut être à court terme (de l'ordre de la semaine), à moyen terme (de l'ordre de l'année) ou à long terme (de l'ordre de la décennie, voire le siècle). Les nombreux échecs observés dans l'analyse de l'évolution des stocks pélagiques côtiers par exemple, sont dus au fait que les facteurs environnementaux ne sont pas pris en considération lorsque l'on applique les modèles de dynamique (modèles globaux, modèles analytiques) (Cury, 1990). Ce phénomène d'instabilité est particulièrement marquant dans les pêcheries des zones d'upwellings côtiers. On peut citer, à travers le monde, l'exemple de l'effondrement des stocks d'anchois au Pérou en 1972-73, de la sardine en Californie dans les années cinquante et au Japon en 1941-1943 (Cury, 1988).

Pour ces exemples, il est aujourd'hui reconnu que si l'action de la pêche est prépondérante sur la dynamique de ces espèces, l'action des phénomènes océanographiques (par exemple, le courant de Kuroshio pour le Japon ou d'El Nino pour le Pérou et le Chili) jouent cependant un rôle important sur les fluctuations quantitatives de ces stocks (Cury, 1990). Ainsi, les fluctuations les plus drastiques sont généralement observées chez les espèces pélagiques (Soutar et Isaacs, 1974 ; Cushing, 1982 ; Steel et Henderson, 1984). L'analyse de la dynamique des pêcheries en zones d'upwelling permet de constater et de se persuader de l'importance de l'action de ces phénomènes sur l'abondance des stocks pélagiques. En effet, à des saisons d'upwelling marquées ou à des années de fort upwelling correspondent des niveaux trophiques plus importants et ceci se traduit par des accroissements significatifs du poids des individus. Cushing (1982), Cury et Roy (1989) rapportent que la survie des larves (qui assurent le recrutement) semble très liée à la nature et à la dynamique des écosystèmes côtiers, en l'occurrence des upwellings (la théorie de « match-mismatch » et fenêtres environnementales optimales).

Si les cas des espèces pélagiques sont décrits à travers l'exemple du Japon, du Pérou et de la Californie, nombreux sont les auteurs qui mentionnent l'instabilité des espèces démersales : Mesnil (1980), Boyle et Boletzky (1996) sur l'instabilité des populations de céphalopodes ;

Rees et Lumby (1954) signalent l'augmentation spectaculaire de l'abondance des stocks d'*Octopus vulgaris* dans La Manche dans les années cinquante. Le cas des stocks de balistes le long de la cote ouest africaine (Sénégal, Cote d'Ivoire, Sierra Leone, Guinée) montre un cas particulier de similarité de l'instabilité entre les espèces pélagiques et démersales (Guland et Garcia, 1984 ; Caveriviere, 1994). En générale, les espèces démersales sont supposées être plus stables, tout au moins en l'absence d'une pêche intensive se traduisant par l'effondrement des stocks (Cury et Roy, 1999).

Les passages occasionnels et massifs de l'anchois dans la pêcherie du sud-ouest de Madagascar témoignent de cette instabilité de stocks pélagiques vraisemblablement due à de fortes fluctuations du recrutement. Backun et Csirke (1998) évoquent le cas des calmars en étudiant les processus environnementaux et la variabilité de leur recrutement. Ils affirment la similarité entre les calmars et les petits poissons pélagiques côtiers, qui sont des espèces nectoniques et organismes grégaires ayant des capacités rapides de réponse au changement des communautés planctoniques au cours de leurs stades paralarvaires et juvéniles. Il semble que, au moins dans le cas des poissons pélagiques côtiers, l'habitat de reproduction favorable tend à être associée avec la combinaison de trois facteurs environnementaux : i) enrichissement de la chaîne trophique par les processus physiques (upwelling, mélange, etc.), ii) présence de structure en patch des particules alimentaires et, iii) mécanisme de flux favorable (rétention).

En écologie des populations, les caractéristiques des fluctuations spatiales et temporelles et la recherche de leurs causes constituent un maillon important en vue de l'étude de leur cyclicité et la connaissance des mécanismes de leurs régulations (Royama, 1992 ; May, 1976). L'analyse préliminaire de l'intensité de l'upwelling du sud-est malgache montre des signaux saisonniers ou permanents avec des intensités variables. Ce qui suggère que l'enrichissement des milieux dans lesquels évoluent les stocks d'anchois et des céphalopodes du sud et sud-ouest de Madagascar est donc soumis à une variabilité climatique à moyen terme (de l'ordre de l'année), qui se manifeste surtout, au cœur de la saison de reproduction. Certaines espèces pélagiques répondent également à cette cyclicité des processus côtiers et connaissent par conséquent, des changements d'abondance d'une périodicité de l'ordre de 50 à 100 ans (Steel, 1984). Faure (2000) cite le cas des anchois de Scandinavie, de la sardine du Pacifique et du hareng de l'Atlantique qui présentent des apparitions et disparitions périodiques tous les 50 et 70 ans. Les plus longues périodes sont enregistrées pour les anchois et merlus du Pacifique

(Devold, 1963). La surpêche engendre plus fréquemment, également les fluctuations plus importantes des populations.

A travers les lignes qui suivent, nous allons en premier abord, décrire par une approche descriptive et comparative, la dynamique des principales pêcheries du sud-ouest malgache d'anchois, de poulpes et de calmars. La deuxième partie du chapitre serait consacrée à l'analyse des causes des fluctuations de ces ressources. L'objectif consiste donc, à répondre à certaines questions telles que :

- Y a-t-il une tendance ou des régularités à court terme, moyen terme dans les captures d'anchois et de céphalopodes ?
- Quelle répartition spatiale et temporelle des ressources peut-on discerner ?
- Peut-on distinguer des variations spatiales dans les indices d'abondance des ressources ?
- Les captures évoluent-elles de manières synchrones le long de la côte sud-ouest ?

3.1. Variation temporelle des indices d'abondance des populations de poulpes, de calmars et d'anchois

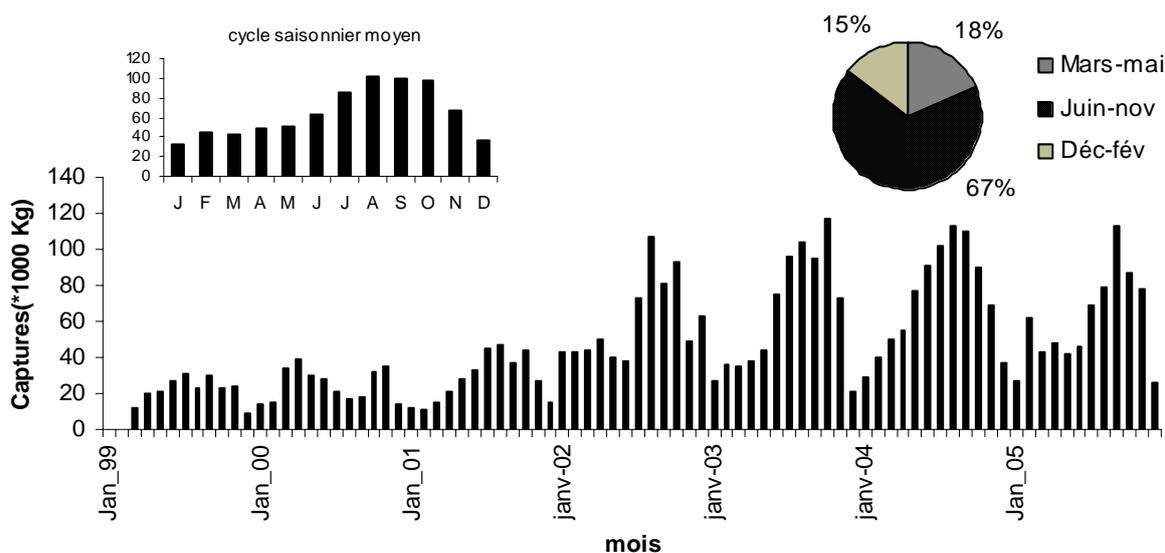
3.1.1. La variabilité saisonnière des pêcheries de poulpes, de calmars et d'anchois

3.1.1.1. Des fluctuations saisonnières importantes

a. Fluctuations saisonnières de poulpes

L'aspect saisonnier de la dynamique des pêcheries traditionnelles sud-ouest malgaches de poulpes est significativement marqué (Figure 13). La série de captures mensuelles (seule disponible pour l'année 2000-2005 !) obtenue auprès de la société COPEFRITO a permis l'analyse saisonnière de la pêche aux poulpes. Dans le sud-ouest de Madagascar, la collecte de poulpes dure toute l'année, mais les captures commencent à augmenter à partir du mois de juin pour atteindre un pic de production en août-septembre ou octobre selon les années. Le pic de production se situe donc juste à la fin de la saison froide ou le début de la saison chaude. Ce sont donc les individus issus de la ponte principale (nov-janvier) qui sont capturés pendant la saison froide de l'année suivante.

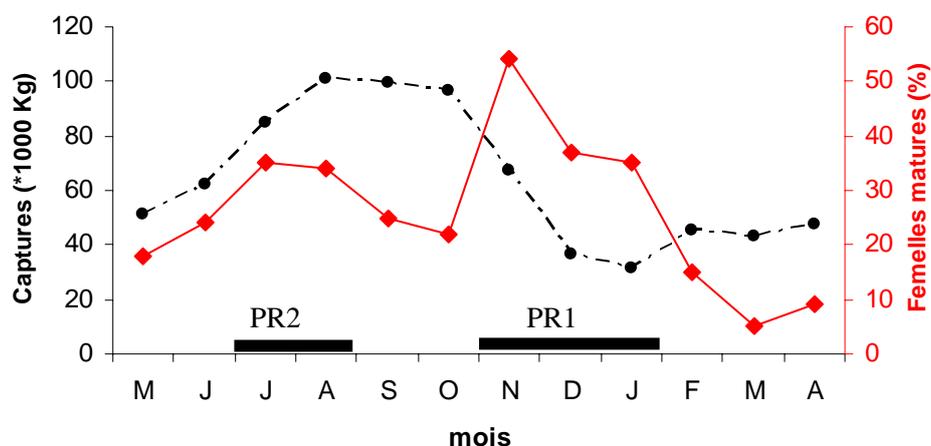
Figure 13. Fluctuations saisonnières des captures de poulpes du sud-ouest de Madagascar sur la période 1999-2005.



67 % des captures sont en moyenne réalisés entre juin et novembre sur la période 1999-2005 (Figure 13). La capture diminue pendant l'été (novembre) et atteint le niveau minimal pendant la saison chaude de décembre à janvier (15 % des captures sont réalisés entre décembre et février et 18 % entre mars et mai). Il faut cependant noter que les faibles captures en décembre et en janvier peuvent ne pas coïncider exactement avec la fluctuation de l'abondance de la ressource en poulpe à ce moment de l'année, puisque les routes sont alors très difficilement utilisables et que les entreprises de collecte ferment souvent plusieurs semaines en fin d'année. Vient s'ajouter à ceci la fermeture de la pêche aux poulpes, chaque année (depuis 2005), à partir du 15 décembre au 31 janvier de l'année suivante.

Le cycle biologique peut contribuer aussi à l'explication en liaison avec la chronologie du cycle reproducteur. La figure 14 ci-après montre l'effet du cycle de la reproduction sur l'abondance des captures pour les poulpes du sud-ouest malgache. Il est indéniable que l'effort de pêche varie en fonction de la saison notamment dans le cas de la pêche traditionnelle plurispécifique où les pêcheurs adaptent généralement leur effort en fonction de l'abondance de la ressource. Par conséquent, les périodes de fortes captures sont exactement en accord aux périodes des plus fortes abondances de l'espèce.

Figure 14. Cycles saisonniers moyens des captures (trait discontinu) et principales périodes de reproduction (trait plein) (PR1 : période de reproduction principale ; PR2 : période de reproduction secondaire) du poulpe *O. cyanea* du sud ouest de Madagascar. La moyenne des pourcent est calculée à partir de 3 années de suivis. (Source : période de maturité des femelles : Laroche et al., non publié).



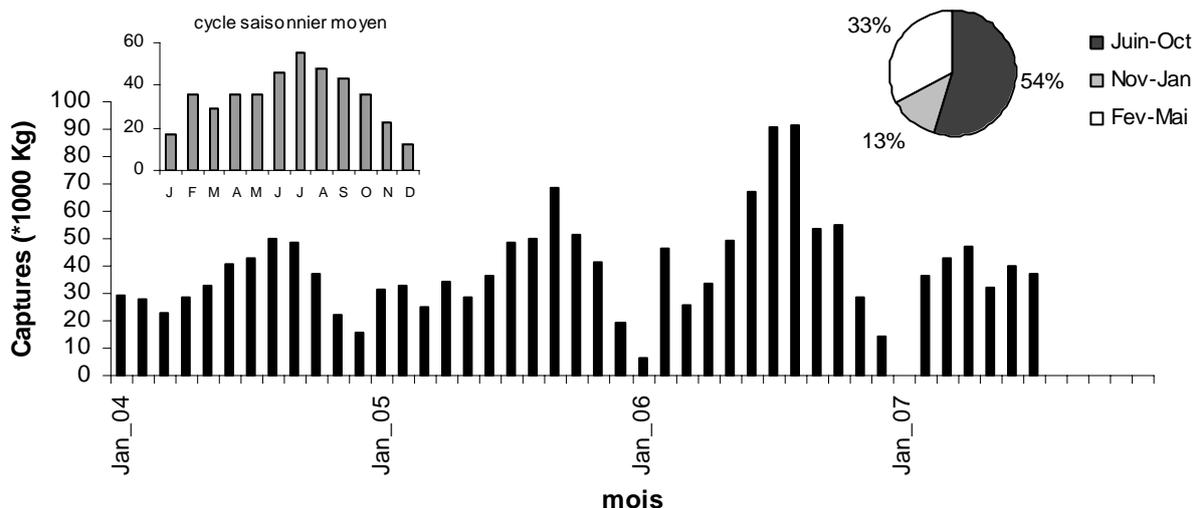
La forte abondance de poulpes de juin à octobre pourrait ainsi s'expliquer par deux périodes de reproduction (cf. Figure 14): la première en novembre-décembre et la deuxième en juillet-

août. La période de reproduction la plus importante étant en novembre-janvier puisque le nombre de poulpes est maximum huit mois après, en août-octobre. Pour mieux appréhender la relation « reproduction-capture », il faudrait des données de poids individuels des captures aux différentes périodes de l'année afin de mieux préciser la contribution des deux périodes de ponte dans le cycle annuel des captures.

b. Fluctuations saisonnières de calmars

Comme pour les poulpes, la pêche aux calmars est pratiquée durant toute l'année le long de la côte sud-ouest malgache. Certains pics d'abondance non négligeable de captures (33 %) peuvent être localisés pendant l'été (Février-mai), mais globalement, la production importante commence à augmenter à partir du mois de juin. Les pics de captures maximales se situent donc en juillet-septembre (pendant l'hiver), parfois jusqu'au début de la saison chaude selon les années. 54 % des captures sont en moyenne réalisées entre juin et octobre sur la période 2004-2007 (Figure 15).

Figure 15. Fluctuations saisonnières des captures de calmars du sud-ouest de Madagascar sur la période 2004-2007.



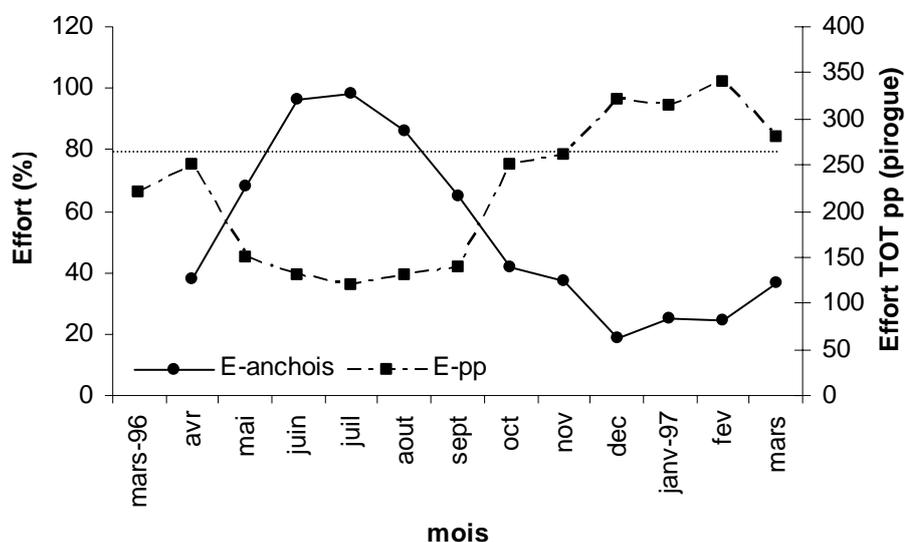
La capture moyenne diminue pendant la saison chaude (novembre-janvier) avec seulement en moyenne 13% des captures réalisés sur la même période 2004-2007. Par ailleurs, l'analyse des captures mensuelles et du cycle saisonnier moyen permet d'identifier un pic secondaire en

février (ne serait-ce que pour les années 2004, 2005 et 2006). Est-ce que cette légère augmentation de prise est due à l'augmentation de l'effort de pêche ou à la variabilité du cycle biologique de l'espèce, i.e une ponte secondaire dans l'année donnant naissance à une cohorte secondaire ? On peut avancer une hypothèse de l'existence de deux saisons de ponte chez les calmars du sud-ouest malgache : une en hiver (moins importante) donnant naissance à des nouveaux recrues en été de l'année suivante ; et l'autre (ponte principale) en été donnant naissance à des individus exploités par la pêche pendant la saison froide de la même année. L'analyse du cycle biologique de l'espèce ainsi que les variations saisonnières de l'effort de pêche peuvent apporter des réponses à cette question. Les données et informations disponibles actuellement ne permettent pas une telle investigation.

c. Fluctuations saisonnières de l'anchois

Hormis celles décrites par Rakotoarinivo (1998) sur l'ensemble de petits pélagiques, nous ne disposons d'aucune information sur les captures saisonnières et les efforts correspondants sur l'ensemble de la zone étudiée. La seule information exploitable disponible concerne les fluctuations saisonnières de l'effort de pêche exercée sur l'anchois sur la période mars 1996 à mars 1997 pour les trois localités de la baie de Toliara (Ankilibe, Ankiembe et Anakao) (Figure 16).

Figure 16 Fluctuations saisonnières de l'effort de pêche de petits poissons pélagiques (E-pp) et d'anchois (E-anchois) dans la baie de Toliara sur la période 1996-1997.



En général, dans le sud-ouest malgache, les efforts alloués à la pêche aux petits poissons pélagiques prennent une ampleur particulière pendant la saison chaude, entre Octobre et avril. L'effort diminue dès le début de la saison froide (en mai) jusqu'au début de l'été. 80 % de l'effort total se situent entre décembre et mars (Figure 16).

La pêche aux anchois montre un pattern saisonnier opposé à celui des petits pélagiques. L'effort de pêche commence à augmenter dès le début de la saison froide (en mai) pour atteindre les pics entre juin-août. 80 % de l'effort ciblant l'anchois sont déployés entre juin et août, sauf pendant les années d'abondance exceptionnelle où la pêche peut s'étendre jusqu'en octobre. Habituellement, l'effort est en baisse pendant la saison chaude et atteint sa valeur minimale entre décembre et février selon les années.

Globalement, la forte saisonnalité des pêcheries traditionnelles sud-ouest malgache semble principalement conditionnée par la chronologie du cycle reproducteur des espèces concernées (le cas de poulpes l'illustre), qui assure le renouvellement de recrues disponibles pour la pêche locale. L'accessibilité aux ressources par les pêcheurs et par les collecteurs ainsi que les réglementations en vigueur (pour le cas des poulpes) affectent partiellement et directement la saisonnalité de la production.

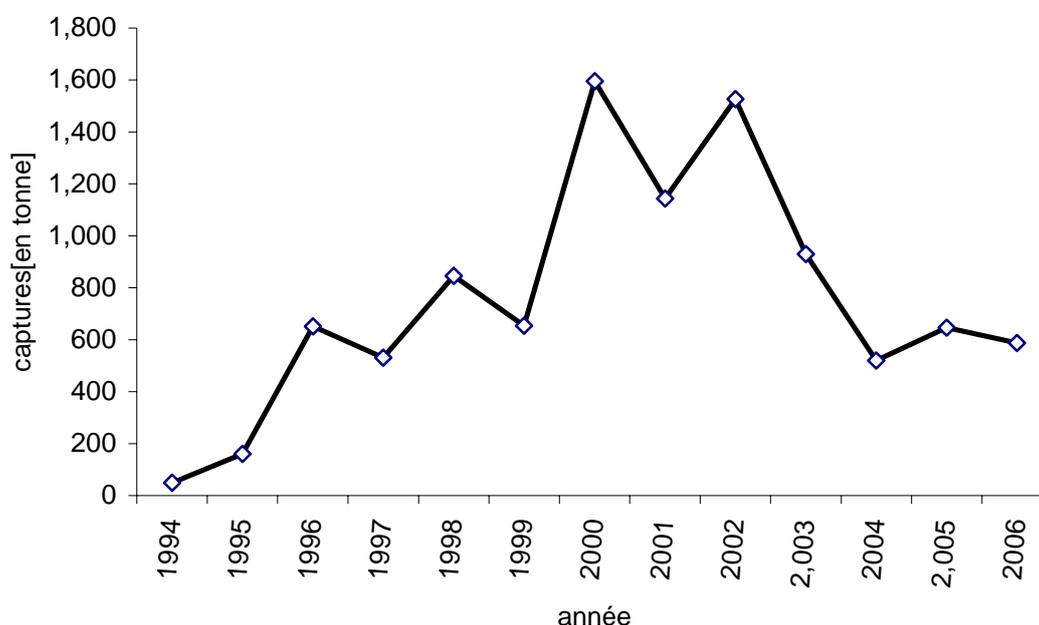
3.1.2. De fortes variabilités interannuelles

Les évolutions annuelles des captures totales de poissons, de poulpes, de calmars et d'anchois du stock du sud-ouest malgache sont illustrées dans les figures ci-après. Globalement, les variations interannuelles des captures sont importantes.

3.1.2.1. La variabilité interannuelle de captures de poulpes

L'évolution annuelle des débarquements de poulpes du stock du sud-ouest malgache est illustrée sur la figure 17 ci-après.

Figure 17 : Evolution annuelle des débarquements de poulpes du stock du sud-ouest malgache sur la période 1994-2006.



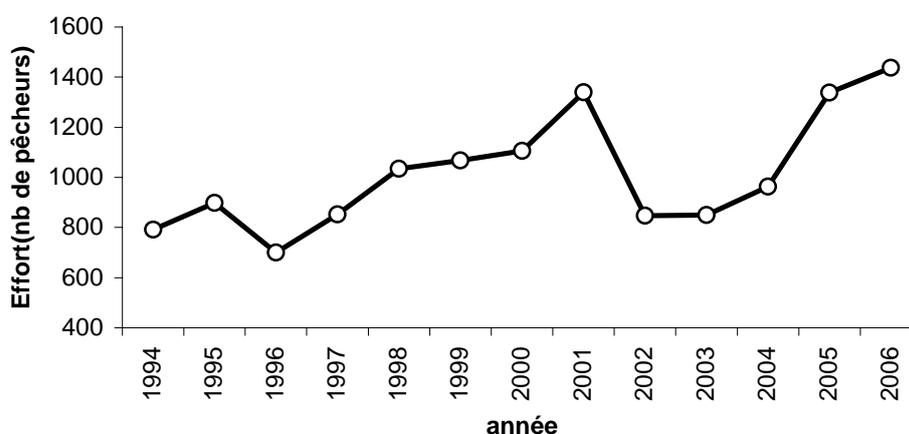
Les captures de poulpes accusent une forte variabilité annuelle avec une tendance globale à la hausse entre 1994 et 2006. Les fluctuations de la variabilité interannuelle oscillent entre les valeurs annuelles minimales de 49-519 tonnes et maximales de 160-1596 tonnes. L'augmentation des prises depuis 1998 est, en partie, le résultat de l'extension des zones de collecte par les sociétés qui incitent ainsi les pêcheurs-collecteurs à pêcher de plus en plus. Beaucoup de facteurs peuvent expliquer ces résultats de la collecte de poulpes en chute depuis 2003 : (i) en 2005 par exemple, les passages de deux cyclones Ernest et Felapi en janvier obligent l'arrêt de toutes activités de collecte ; (ii) la stagnation des zones de collecte; (iii) la hausse des volumes pêchés les années précédentes.

De la même façon, les premiers résultats de 2006 peuvent être liés à de nombreux facteurs, et notamment aux mesures de gestion des ressources prises en 2005 (fermeture de la collecte des poulpes du 15/12/05 au 31/01/06 ; interdiction de collecter des poulpes de moins de 350 g). Dans tous les cas, les volumes collectés à partir de 2005 par les deux principales sociétés de collecte du Sud Ouest ne suivent plus la courbe ascendante connue jusqu'alors.

a. Evolution interannuelle de l'effort de pêche

Une constante augmentation de l'effort de pêche est constatée depuis 1994 jusqu'à la fin de l'année 2001 (Figure 18). Cette période est marquée par l'implantation locale des sociétés de pêches collectrices et exportatrices des produits marins (COPEFRITO SA et MUREX INTERNATIONAL) qui ont commencé à collecter en 1995 dans la région de Toliara. L'impact de leur activité est visible dès 1995 (160 t de poulpes en 1995 contre 49 t en 1994) (Tableau 5), incitant les pêcheurs traditionnels à orienter leurs activités à la collecte des poulpes. En revanche, l'année 2002 a connu une baisse de l'effort de pêche. Il a atteint 1340 pêcheurs-collecteurs/marée en 2001 et chute jusqu'à 848 pêcheurs-collecteurs en 2002. Entre 2003-2006, on note tout de même une reprise légère d'augmentation de l'effort passant de 850 à 1437 pêcheurs-collecteurs/marée en 2006.

Figure 18 : Variation interannuelle de l'effort de pêche aux poulpes du sud-ouest de Madagascar sur la période 1994-2006.



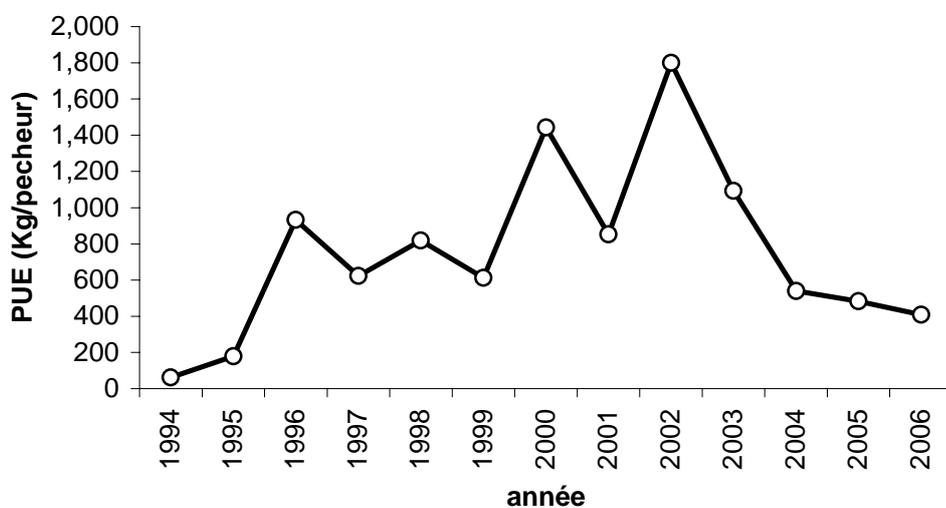
b. Evolution interannuelle des rendements

Les rendements obtenus pendant les deux premières années (62 et 178 Kg/pêcheur) sont faibles (Figure 19). On assiste ensuite, depuis 1996 à une augmentation de ces rendements. Ceux-ci restent relativement stables jusqu'en 1999, puis une hausse de 2000 à 2002 (avec deux pics particulièrement élevés en 2000 et 2002). Plusieurs raisons peuvent l'expliquer: (i) l'extension des zones de collecte du poulpe depuis 10 ans; (ii) le nombre d'opérateurs s'est

réduit mais ces derniers se sont professionnalisés; (iii) les pêcheurs ont développé la pêche au poulpe (qui est devenue une source de revenu très intéressante).

Entre ces deux pics, les rendements chutent et relativement faible en 2001. A partir de 2003, les rendements redeviennent continuellement faibles pour atteindre un niveau plus bas en 2006.

Figure 19 : Variation interannuelle des rendements de la pêche aux poulpes du sud-ouest de Madagascar sur la période 1994-2006.

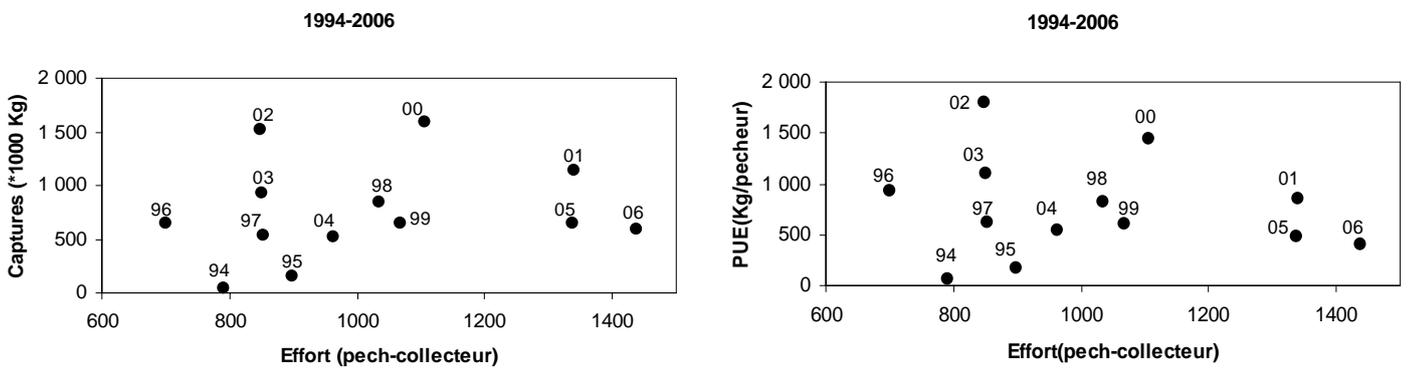


Les deux niveaux de rendements élevés observés en 2000 et 2002 correspondent probablement aux périodes de l'abondance de la ressource.

c. Effort de pêche et niveau de production

Jusqu'à la fin de l'année 1996, alors qu'on note une légère diminution de l'effort de pêche, la production connut une augmentation en accord avec celle de la prise par unité d'effort (PUE) (Figure 20). Sur la période 1997-2001, les variations des captures suivent globalement celles de l'effort de pêche, avec une nette démarcation des prises et des PUE en 2000. En 2001, la hausse de l'effort s'est soldée par une baisse de production et celle de PUE ; la ressource n'est pas très abondante à l'époque. La hausse de production et surtout des PUE en 2000 et 2002 alors que l'effort a tendance à diminuer, atteste une réelle augmentation d'abondance de la ressource. Par contre, les rendements s'opposent significativement à l'intensification de l'effort de pêche entre 2003 et 2006.

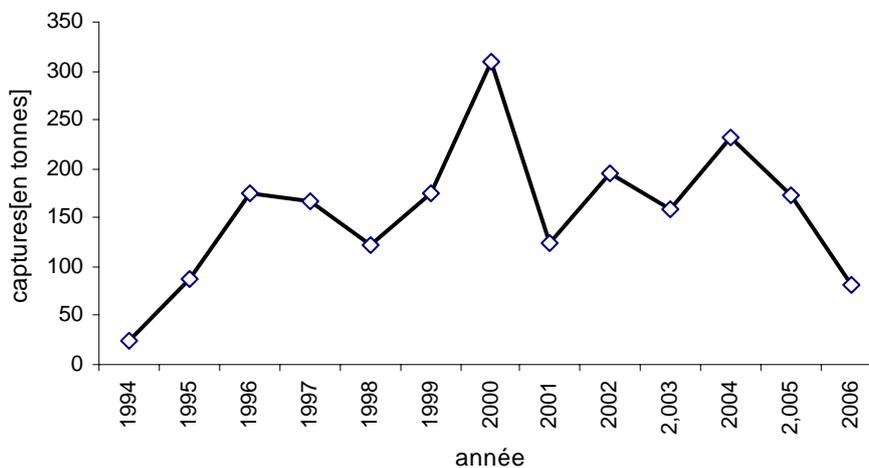
Figure 20 Captures et rendements annuels de poulpes en fonction de l'effort de pêche sur la période 1994-2006.



3.1.2.2. La variabilité interannuelle des captures de calmars

L'évolution annuelle des captures de calmars réalisées dans le stock du sud-ouest malgache est représentée sur la Figure 21 ci-dessous.

Figure 21 : Evolution annuelle des captures de calmars réalisées dans le stock du sud-ouest malgache sur la période 1994-2006.



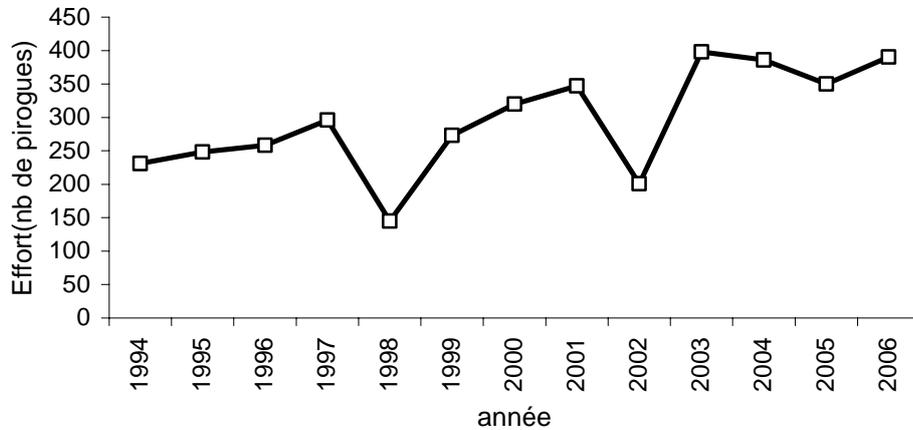
Comme les captures de poulpes, les variations quantitatives des captures d'une année à l'autre sont relativement importantes sur le long terme, avec une tendance générale très modeste. Dès 1994, les captures augmentent rapidement jusqu'en 1996 avec néanmoins des tonnages relativement faibles oscillant autour de 25-174 tonnes de calmars débarqués. Une stabilité relative avec une tendance à la baisse à été marquée entre les années 1996 et 1998 avec des valeurs fluctuant entre 122 tonnes et 174 tonnes de calmars débarqués. Les années quatre-

vingt-dix accusent une augmentation nette de production avec un pic maximal de captures pour l'année 2000 (309 tonnes contre 174 tonnes pour l'année précédente). Une chute de captures a été notée dès l'année 2001. La production passe de 309 tonnes en 2000 à 125 tonnes, qui ne représentent que 40 % des captures de l'année précédente). Une légère augmentation a été marquée en 2002 avec 196 tonnes de calmars débarqués, puis diminue à 158 tonnes pour l'année suivante pour atteindre 232 tonnes en 2004. Les années 2005 et 2006 connaissent une tendance nette à la baisse de captures avec respectivement 173 tonnes et 81 tonnes de production en calmars.

a. Evolution interannuelle de l'effort de pêche

L'effort de pêche total est en constante tendance entre la période considérée (1994-2006) (Figure 22), avec toutefois deux années de baisse forte (1998 et 2002). Entre la période 94-97, l'effort reste modérément élevé atteignant 296 pirogues en 1997. Ensuite, l'effort s'intensifie entre 1999-2001 et atteint 347 pirogues en 2001. L'effort maximal est enregistré en 2003 où le nombre de pirogues atteint 398. Une tendance à la baisse de l'effort marque les deux années qui suivent (2004 et 2005) suivie d'une légère reprise dès l'année 2006. Les deux années de faible effort de pêche (1998 : 145 pirogues ; 2002 : 201 pirogues) témoignent vraisemblablement de la rareté de cette ressource à la pêcherie locale ou bien la disponibilité d'autres ressources vers lesquelles les efforts sont orientés. En effet, une légère augmentation de l'effort de pêche est marquée sur l'anchois en 98, suivie d'un maximal en 2002 lors du passage spectaculaire de cette espèce dans la région.

Figure 22 : Variation interannuelle de l'effort de pêche aux calmars du sud-ouest de Madagascar sur la période 1994-2006.

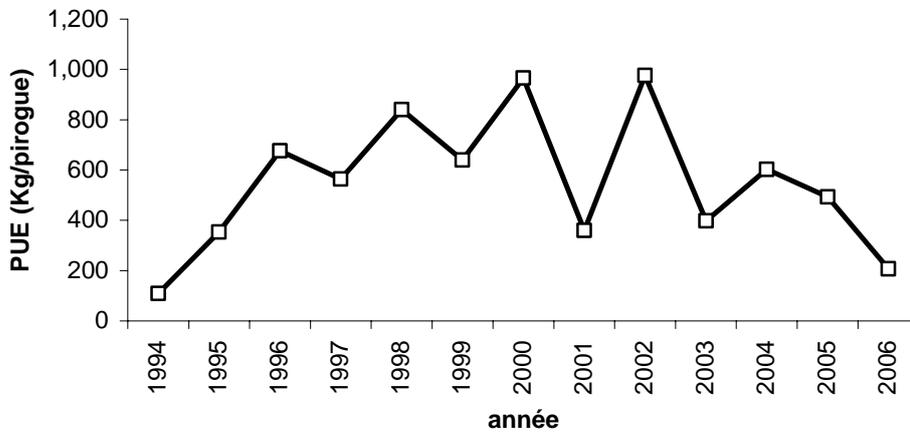


b. Evolution interannuelle des rendements

Les PUE sont en constante augmentation pendant les trois premières années d'exploitation quoique les rendements restent faibles (Figure 23). Les valeurs observées en 94 et 95 (respectivement 109 et 354 Kg/pirogue) passent à 676 Kg/pirogue en 1996, avoisinant ainsi le double des rendements de l'année précédente. Les quatre années qui suivent (97, 98, 99 et 2000) sont marquées par des PUE relativement stables pour atteindre un pic en 2000 avec 966 Kg/pirogue de calmars débarqués.

De fortes baisses marquées des PUE sont notées en 2001 et 2003 précédées respectivement par de forts rendements en 2000 et 2002. Les rendements chutent encore en 2005 et 2006 après avoir connu une légère reprise en 2004.

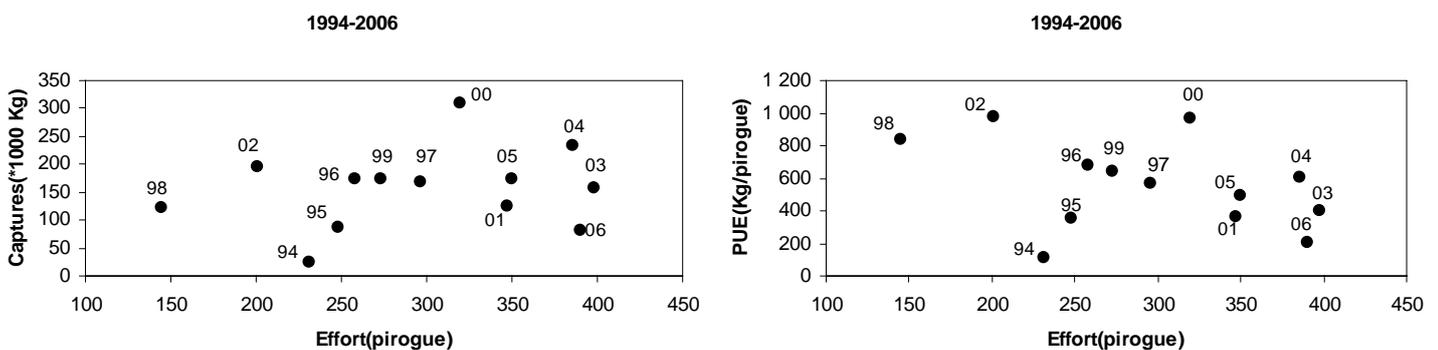
Figure 23 : Variation interannuelle des rendements de la pêche aux calmars du sud-ouest de Madagascar sur la période 1994-2006.



c. Effort de pêche et niveau de production

Alors que l’effort de pêche reste quasi stable jusqu’à la fin de l’année 96, la production augmente et la PUE croît (Figure 24). Durant l’année 97, une légère augmentation de l’effort engendre une baisse de la PUE et de la production totale. L’année suivante (1998) est marquée par la baisse de l’effort et de la production, mais on note une amélioration de la PUE. Ceci pourrait être expliquée par le fait qu’une partie de l’effort cible d’autres espèces alors que la ressource est disponible pour la pêche locale. Pendant les années 1999 et 2000, les variations de l’effort suivent globalement celles de la capture mais avec une légère baisse de la PUE.

Figure 24. Captures et rendements annuels de calmars en fonction de l’effort de pêche sur la période 1994-2006.

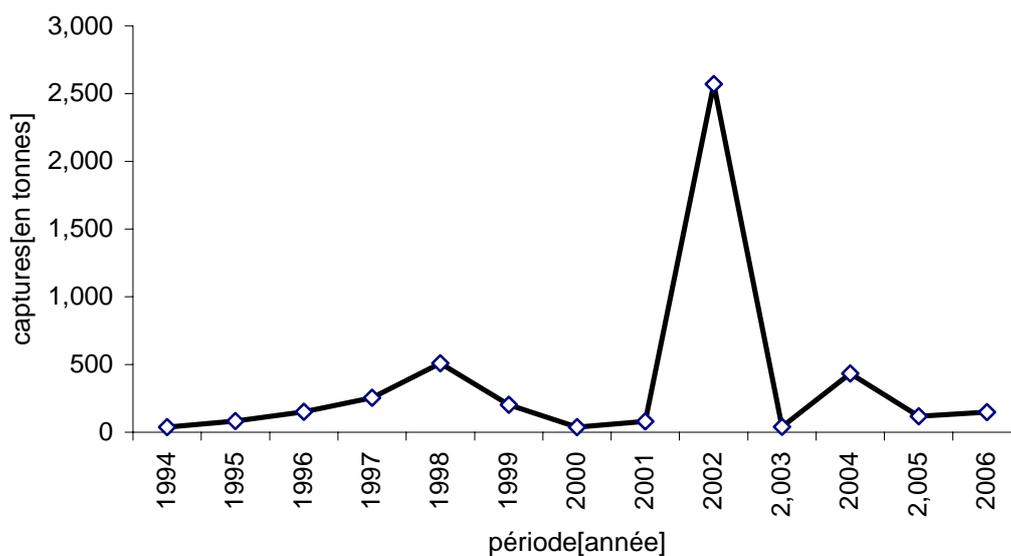


Les années 2001 et 2003 sont marquées par une intensification de l'effort de pêche mais soldée par l'effondrement de la production et des rendements. Une telle situation pourrait attester l'absence ou la non disponibilité de l'espèce pour la pêche locale. Cette situation se poursuit en 2004-2006, avec des efforts relativement intenses mais entraînant des chutes de productions et des PUE.

3.1.2.3. La variabilité interannuelle des débarquements d'anchois

L'évolution annuelle des captures par la pêche aux anchois du sud-ouest de Madagascar est illustrée par la figure 25 ci-après.

Figure 25 : Evolution annuelle des captures par la pêche aux anchois du sud-ouest de Madagascar sur la période 1994-2006.



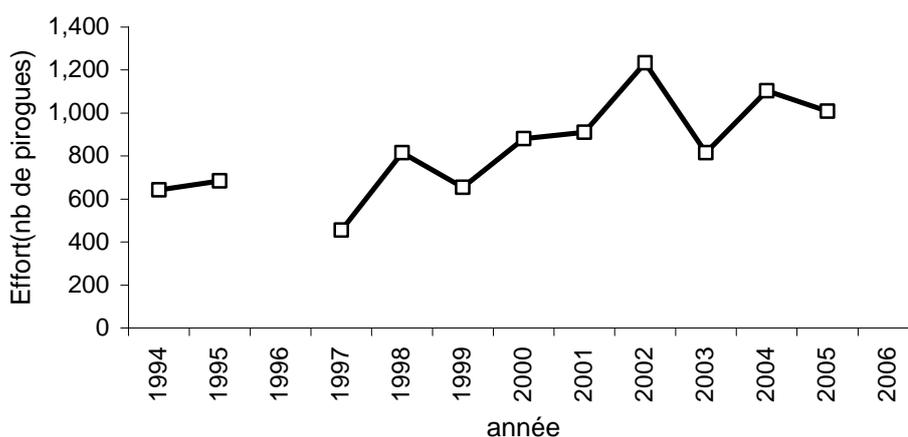
Aucune tendance globale sur le long terme n'a été notée entre la période considérée. Mais, de 1994 à 1998, une production globalement croissante est réalisée avec respectivement 37 tonnes et 510 tonnes d'anchois débarqués. Pour la période considérée, trois années se distinguent par une production globale particulièrement forte : 1998, 2002 et 2004 avec respectivement 510 tonnes, 2571 tonnes et 433 tonnes d'anchois débarqués (soit, en 2002, cinq fois plus qu'en 1998). On assiste à une nette augmentation des captures en 2002 et l'on parle de véritable passage massif de l'espèce en cette année, puisque la statistique n'a jamais

enregistrée un tonnage aussi élevé depuis la prise en compte de l'anchois comme rubrique à part dans les annuaires du SPPRH. Ce passage spectaculaire ne dure pas longtemps, puisque l'année suivante (2003), la production s'effondre avec 40 tonnes d'anchois capturés pour l'ensemble de la région, soit seulement le 1,5 % du débarquement de l'année précédente.

a. Evolution interannuelle de l'effort de pêche

L'effort exercé sur l'anchois est relativement stable d'une année sur l'autre. Il est en constante augmentation dès l'année 1997 (Figure 26). Quatre années peuvent être distinguées. (i) En 1998, l'augmentation de l'effort est notable. Il passe de 455 (en 1997) à 815 (en 1998), correspondant à un niveau de débarquement de 510 tonnes et un rendement de 626 Kg/pirogue pour la dernière année. Les trois années suivantes (99, 2000 et 2001) sont marquées par des efforts relativement modérés, variant de 654 pirogues (en 1999) à 910 pirogues (en 2001). (ii) Une nouvelle année d'intensification particulièrement forte de l'effort de pêche est ensuite observée en 2002. L'effort atteint 1234 pirogues. Les captures augmentent de façon nette en passant par 79,2 tonnes (en 2001) à 2 571, 32 tonnes, en accord avec l'augmentation des rendements (2, 08 tonnes/pirogue).

Figure 26 : Variation interannuelle de l'effort de pêche aux anchois du sud-ouest de Madagascar sur la période 1994-2006.



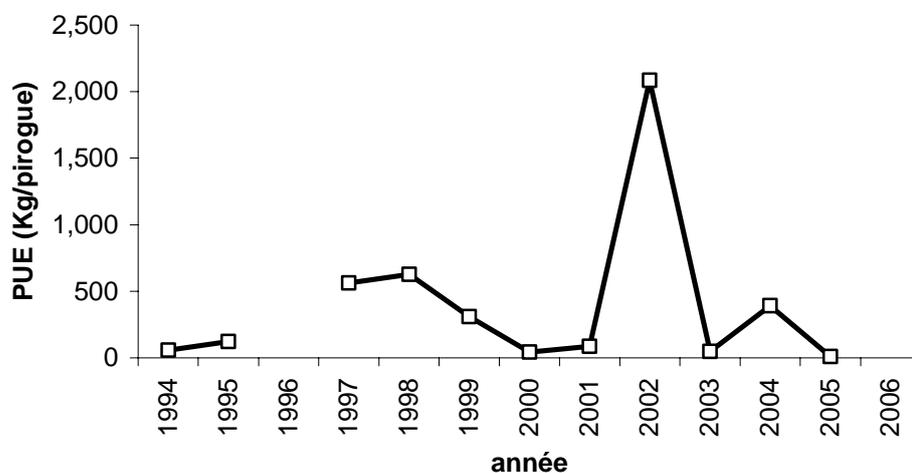
Cette augmentation synchrone de production, de l'effort de pêche et des rendements atteste l'abondance de la ressource exploitable par la pêcherie locale.

(iii) Une année de relaxation de l'effort de pêche est observée en 2003. Seulement 815 pirogues sont recensées. Cette réduction à 9% de l'effort témoigne la rareté de l'espèce dans la pêcherie pour cette année. (iv) L'effort de pêche est à nouveau en légère hausse en 2004 suivie de celle de la production et des rendements.

b. Evolution interannuelle des rendements

L'évolution des rendements est représentée sur la figure 27 ci-après. Aucune tendance générale n'est observée entre 1994-2006. Néanmoins, une légère augmentation des rendements est marquée en 1998 (626 Kg/pirogue), suivie d'un pic maximal en 2002 (2084 Kg/pirogue) et un autre moins important en 2004 (392 Kg/pirogue). Il faut noter qu'en 2002, la hausse des captures est en accord avec celle de l'effort de pêche, ce qui laisserait présumer d'une augmentation réelle d'abondance d'anchois en cette année.

Figure 27 : Variation interannuelle des rendements de la pêche aux anchois du sud-ouest de Madagascar sur la période 1994-2006.

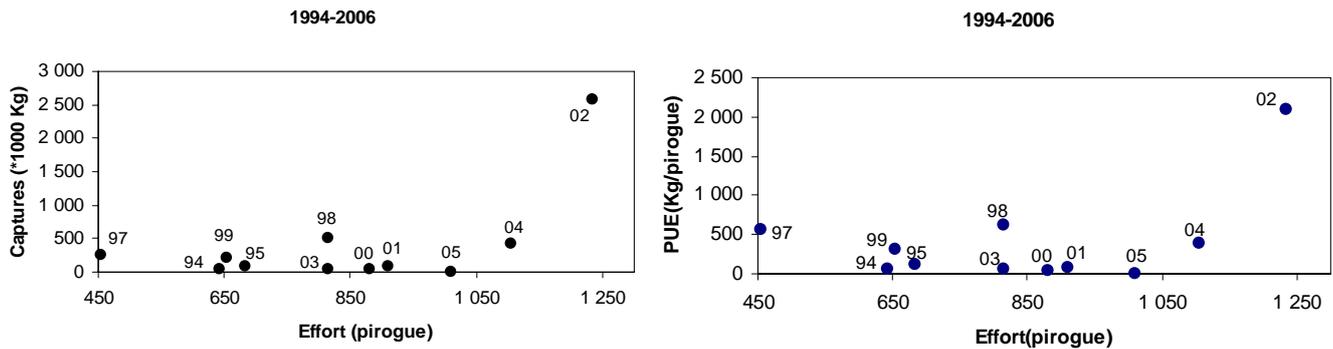


c. Effort de pêche et niveau de production

Pour le cas de l'anchois, les rendements apparaissent proportionnels à l'intensité de l'effort de pêche (Figure 28). Le calcul d'un coefficient de corrélation donne une valeur de r positive entre les deux séries. C'est-à-dire qu'une intensification de l'effort en cas d'abondance d'anchois permettrait d'augmenter encore ou tout au moins maintenir la production d'anchois.

Une certaine considération doit être prise en compte lorsqu'on analyse les rendements et l'effort exercé sur cette ressource, étant donné que le calcul de ce dernier est basé sur l'effectif annuel du parc piroguier ciblant l'espèce dans la zone.

Figure 28. Captures et rendements annuels de la pêche aux anchois en fonction de l'effort de pêche sur la période 1994-2006.



L'analyse de la variation interannuelle de la production, des rendements et de l'effort de pêche exercé sur chacune des ressources a permis de distinguer les années ou les périodes, où la bonne production semble due à une forte abondance réelle d'anchois, de calmars et de poulpes de celles où l'augmentation de l'effort de pêche est davantage à l'origine des fortes quantités débarquées.

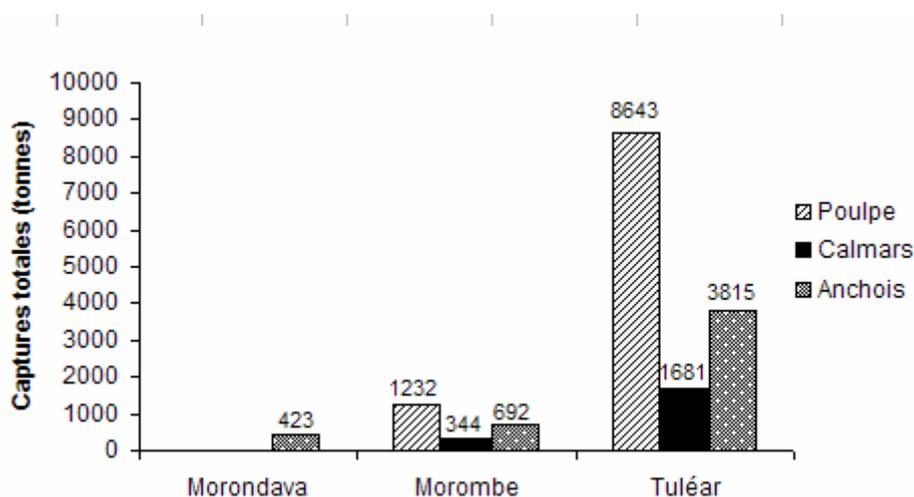
La synchronie entre les fluctuations des captures et des rendements, suggère que globalement, dans le cas de la pêche traditionnelle sud-ouest malgache d'anchois, de calmars et de poulpes, les variations des quantités pêchées reflètent bien les variations réelles d'abondance de la ressource en question. Sachant que les pêcheries traditionnelles sud-ouest malgaches d'anchois, de calmars et de poulpes sont de type mixte, où les efforts de pêche exercés sur les ressources sont en fonction de leur abondance dans la pêcherie, de tels résultats semblent cohérents.

3.2. Variation spatiale des indices d'abondance des populations de poulpes, de calmars et d'anchois

3.2.1. Une forte variabilité inter régionale

Les captures totales de poulpes, de calmars et d'anchois obtenues dans les trois circonscriptions de pêche sont comparées sur la figure 29 ci-après.

Figure 29. Comparaison des captures totales de poulpes, de calmars et d'anchois pour les trois régions sur la période 1994-2006.



La statistique sur les captures de poulpes et calmars de la région de Morondava ne figure pas dans les annuaires du SPPRH, leurs tonnages n'apparaissent pas sur la figure.

3.2.1.1. Variation spatiale du niveau de production de poulpes

En terme de statistique de production, Morombe paraît moins productif avec 1232 tonnes enregistrés sur la période de 1994-2006 contre 8643 tonnes à Toliara sur la même période (Figure 29). Ce qui donne en moyenne 49,77 tonnes par an de poulpes débarqués à Morombe contre 664,88 tonnes par an pour Toliara. La différence est significative au seuil $p < 0,05$. Il faut cependant noter que cette comparaison en terme de quantités absolues des productions de poulpes des deux régions considérées est susceptible d'un biais dans la mesure où les zones de collecte des sociétés de pêche se chevauchent et que les déclarations des produits se font en majorité à Toliara où siège le bureau du SPPRH et le principal port d'exportation des produits halieutiques de la région.

3.2.1.2. Variation spatiale du niveau de production de calmars

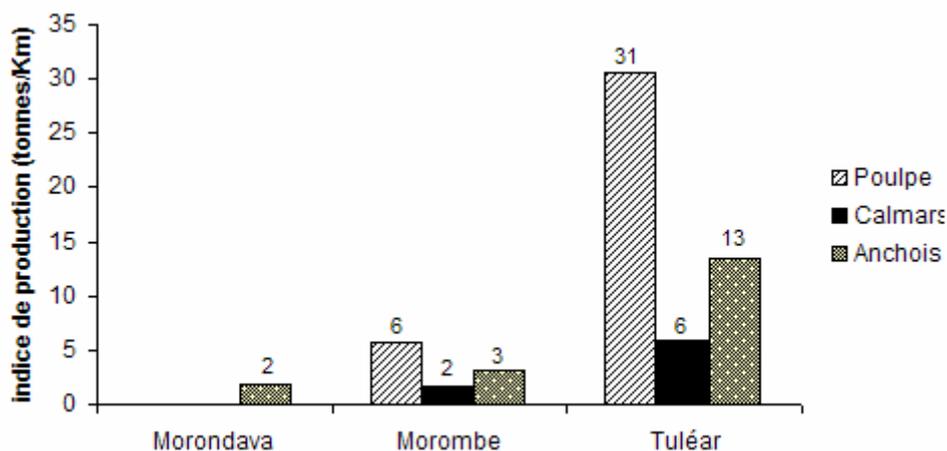
La production de calmars suit la même tendance que chez les poulpes pour les deux régions sur la période considérée. Toliara enregistre beaucoup plus de calmars avec 1681 tonnes débarquées contre 344 tonnes pour Morombe sur la période de 1994-2006 (Figure 29). En terme de production moyenne, 26,43 tonnes de calmars sont capturées pour Morombe et 129,32 tonnes pour Toliara sur la période de 1994-2006.

3.2.1.3. Variation spatiale du niveau de production d'anchois

En ce qui concerne l'anchois, les statistiques de production du SPPRH couvrent les trois régions. Par rapport aux deux autres régions, Morondava paraît toujours une zone de faible production avec seulement 423 tonnes d'anchois débarqués entre 1994-2006, suivi par Morombe avec 692 tonnes et de Toliara où la production totale s'élève à 3815 tonnes sur la même période considérée (Figure 30).

Comme le biais dû à la considération des zones d'abondance des ressources et des statistiques de captures est fortement probable, les comparaisons et les calculs des indices de productions pourraient le pallier. L'indice de production pour chaque espèce peut être obtenue en divisant les captures maximales par la longueur de côte approximative de chacune des principales régions considérées comme zone de leur abondance (Figure 30). En divisant la côte sud-ouest en 3 régions géographiques, les subdivisions suivantes ont été retenues : Morondava (19°31'S : Andramasay – 21°19'S : Andranopasy, 235 km) ; Morombe (21°19' S : Andranopasy – 23°02'S : Manombo, 218 km) et Toliara (23°02' : Manombo – 25°14'S : Bevoalavo, 283 km).

Figure 30. Comparaison des captures totales de poulpes, de calmars et d’anchois divisées par la longueur de cote des principales régions de production sur la période 1994-2006.



La tendance n’est pas renversée, la zone de Toliara reste toujours la zone considérée comme la plus productive, pour les trois espèces confondues, suivie par Morombe.

3.2.2. La variabilité intra régionale

Au sein d’une même région, la variabilité d’abondance de poulpes, des calmars et d’anchois est importante. Pour pouvoir aborder cette étude, des données de collecte par village sont analysées. Compte tenu du fait que les données de captures d’anchois ne montrent pas de structures adéquates, seules les données de poulpes et calmars sont utilisées pour cette investigation.

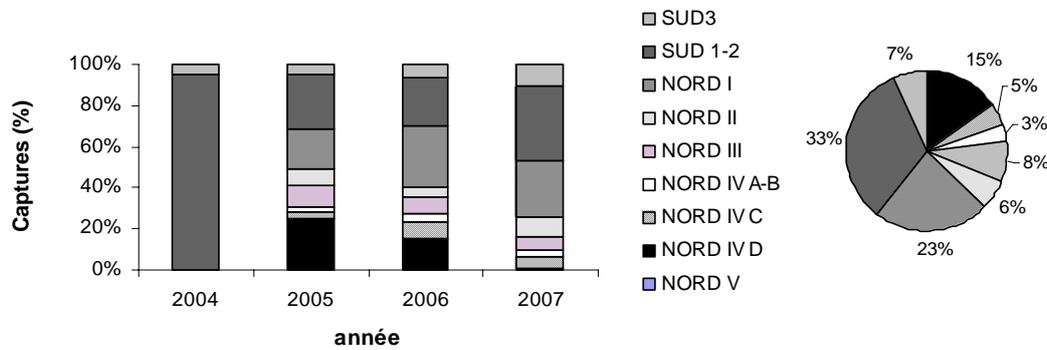
Les captures annuelles en poulpes et calmars respectivement obtenues dans les deux principales régions (chaque région subdivisée en plusieurs petites zones) de production du littoral sud-ouest malgache sont représentées sur les figures 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36 et 37 ci-après.

3.2.2.1. Variations de captures de poulpes

La production de poulpes dans le sud-ouest malgache est essentiellement alimentée par la pêche-collecte des zones situées au sud de Toliara (Figure 30). Sur la période 2004-2007,

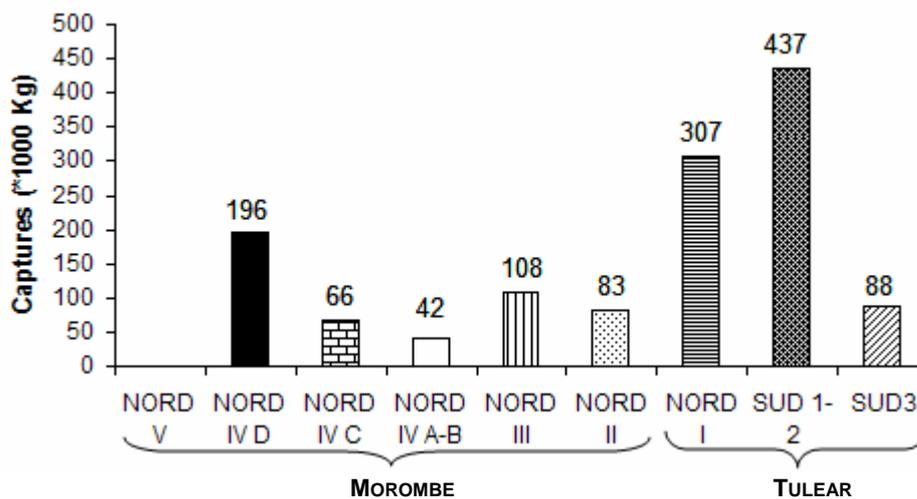
63% des captures totales proviennent de la région de Toliara dont la majorité en provenance des zones de collecte SUD 1-2 (33%), NORD I (23%).

Figure 30. Répartition spatiale des captures totales annuelles de poulpes entre les principales zones de collecte du littoral sud-ouest malgache sur la période 2004-2007.



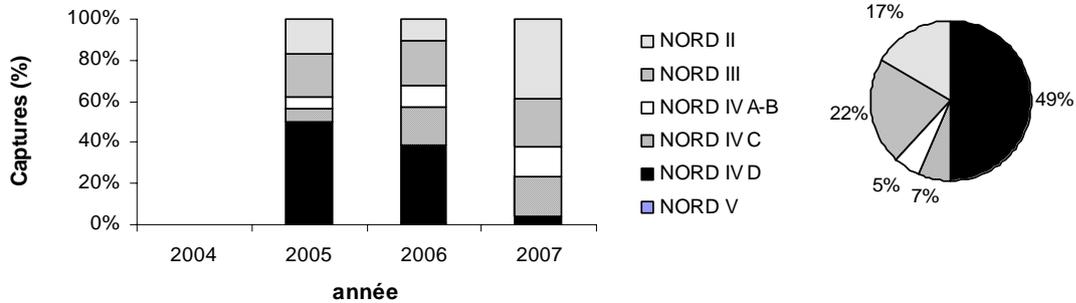
En 2004, la quasi-totalité des poulpes proviennent de la zone SUD 1-2 (Figure 31). Ceci ne reflète guère la réalité, puisque à cette époque, la grande partie de collecte s’est effectuée dans cette zone. L’extension de la zone de collecte vers le nord débute effectivement en 2005.

Figure 31. Captures maximales de poulpes dans les deux régions du sud-ouest sur la période 2004-2007



- Dans la région de Morombe, la zone NORD IV D semble la plus productive sur la période 2004-2007 avec 196 tonnes de poulpes débarqués (49% des captures totales), contre 108 tonnes pour NORD III (22% de captures) (Figure 32).

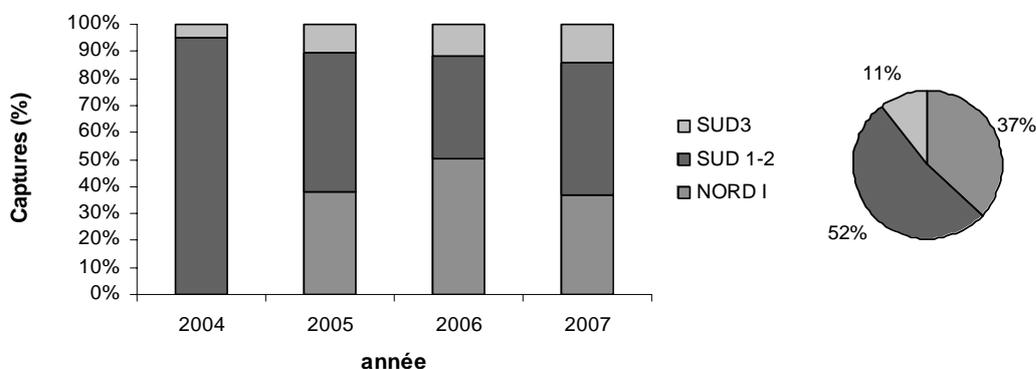
Figure 32. Répartition spatiale des captures totales annuelles de poulpes dans la région de Morombe entre les principales zones de collectes sur la période 2004-2007.



La zone NORD II ne représente que 17% de captures (83 tonnes) suivie par NORD IV C 7% (66 tonnes) et NORD IV A-B 5% (42 tonnes).

- La production globale de la pêche traditionnelle de poulpes de la région de Toliara provient en majorité de la zone de collecte SUD 1-2 (Figure 33). A elle seule, cette zone couvre 52% des captures totales, soit 437 tonnes de poulpes débarqués sur la période 2004-2007. La production obtenue en NORD I est à peine inférieure à celle observée en SUD I, avec 37% des captures totales, soient 307 tonnes de poulpes débarqués sur la même période. Les captures réalisées en zone SUD3 ne représentent que 11% du total, soit 88 tonnes.

Figure 33. Répartition spatiale des captures totales annuelles de poulpes dans la région de Toliara entre les principales zones de collectes sur la période 2004-2007.



3.2.2.2. Variations de captures de calmars

La production de la pêche traditionnelle en calmars provient en majorité de la zone SUD 1-2 et NORD I puisque 55% des captures sont réalisées dans ces zones sur la période 2004-2007 (Figure 34 et 35). Cette proportion de production semble maintenue sur les trois années consécutives (2005, 2006 et 2007) Cependant, en 2006, les captures provenant de la zone NORD I avoisinant celles de SUD I.

Figure 34. Répartition spatiale des captures totales annuelles de calmars entre les principales zones de collectes du littoral sud-ouest malgache sur la période 2004-2007.

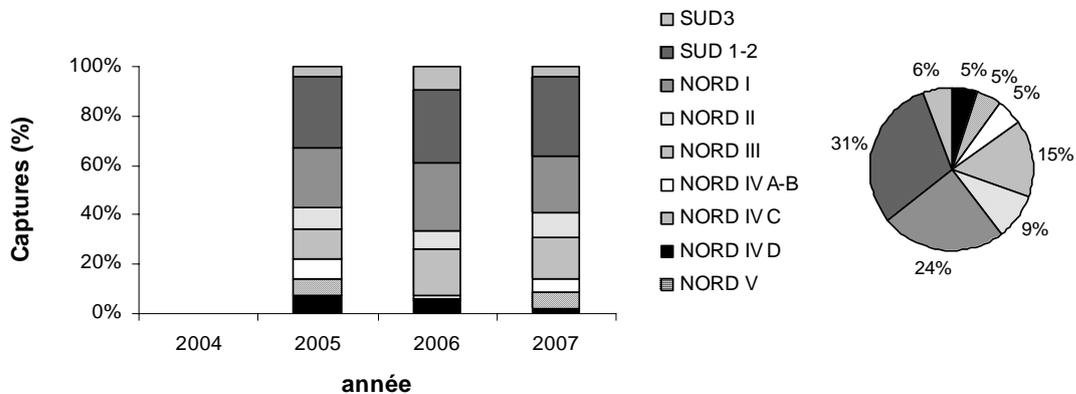
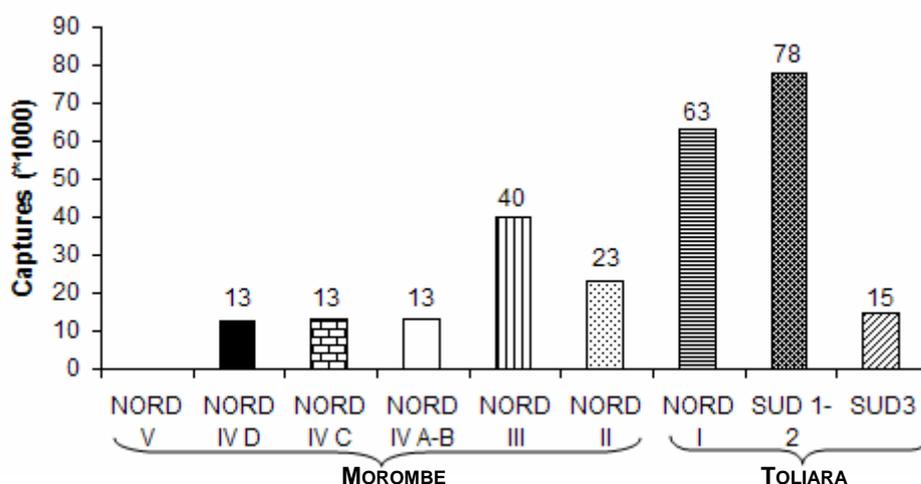


Figure 35. Captures totales de calmars dans les deux régions du sud-ouest sur la période 2004-2007

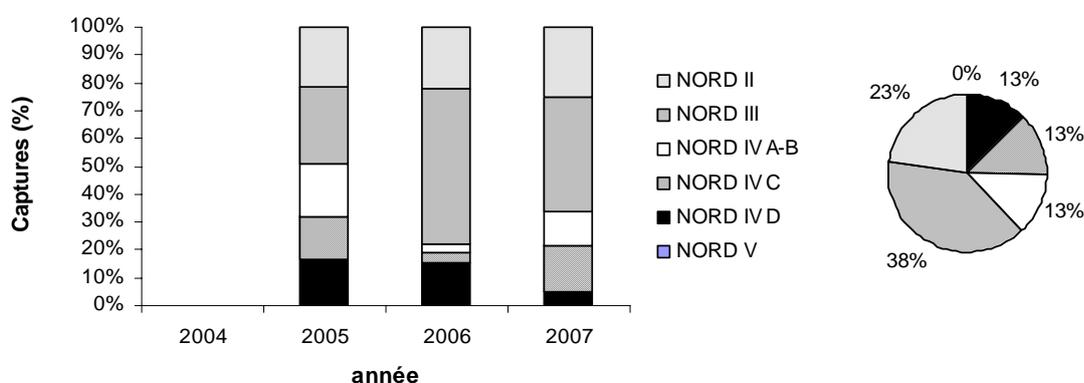


A elles seules, les deux zones de pêches (SUD 1-2 et NORD I) produisent 141 tonnes de calmars, soit 55% des débarquements réalisés sur la période 2004-2007 (Figure 35). Les

autres zones occupent une partie non moins importante avec au total 49% des captures réparties en six zones de pêche.

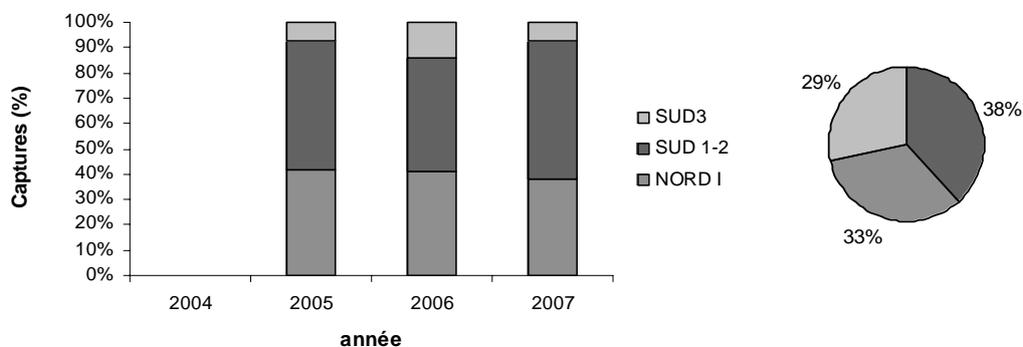
- Au sein de la région de Morombe, NORD III fournit une quantité importante de calmars avec 38% des débarquements réalisés entre 2004-2007, soit 40 tonnes (Figure 36). Elle est suivie de près par la zone NORD II avec 23% des captures totales de la région, ce qui représentent 23 tonnes de calmars débarqués.

Figure 36. Répartition spatiale des captures totales annuelles de calmars dans la région de Morombe entre les principales zones de collecte sur la période 2004-2007.



- Dans la région de Toliara, la production globale de la pêche traditionnelle en calmars provient en proportions égales de la zone SUD 1-2 et NORD I (respectivement 38 et 33%) (Figure 37).

Figure 37. Répartition spatiale des captures totales annuelles de calmars dans la région de Toliara entre les principales zones de collecte sur la période 2004-2007.



La production en provenance de la zone SUD3 n'est pas moindre, puisqu'elle occupe 29% des captures totales de la région sur la période considérée.

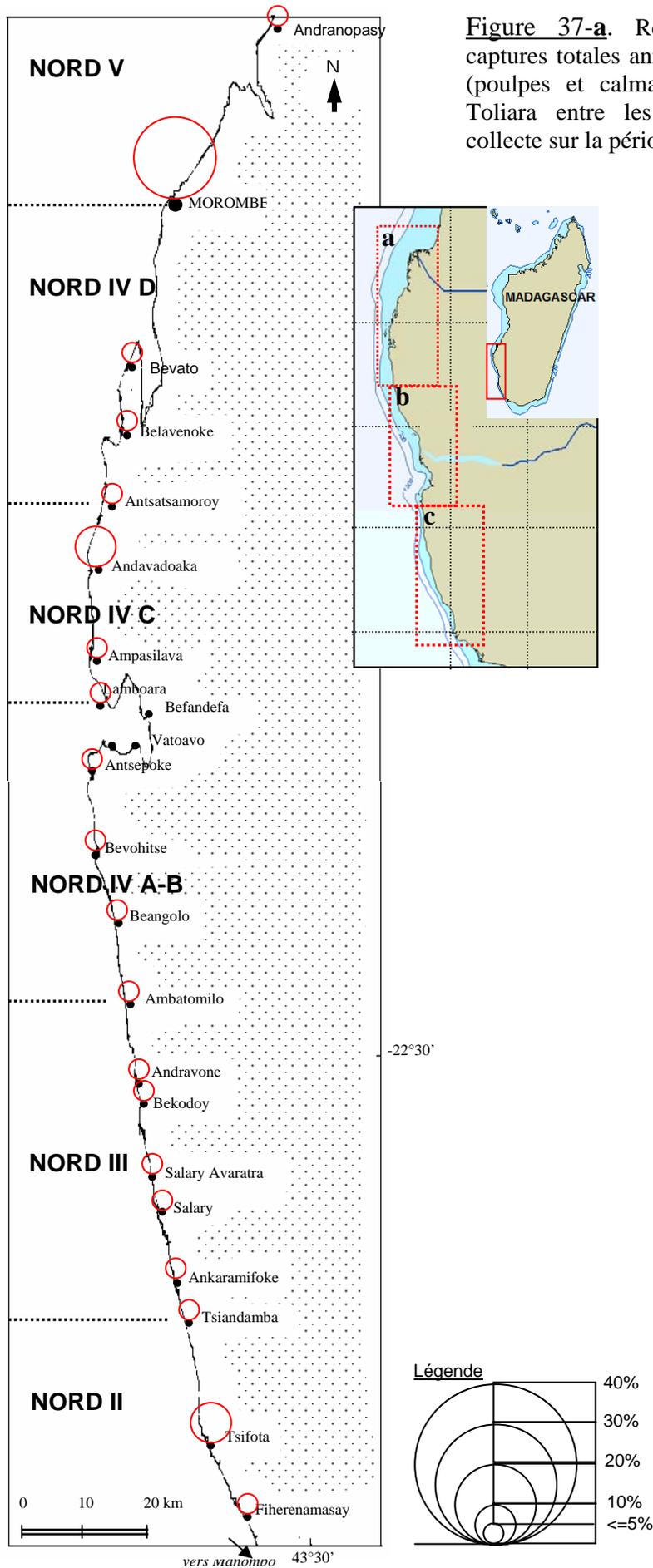


Figure 37-a. Répartition spatiale des captures totales annuelles de céphalopodes (poules et calmars) dans la région de Toliara entre les principales zones de collecte sur la période 2004-2007.

Figure 37-b. Répartition spatiale des captures totales annuelles de céphalopodes (poulpes et calmars) dans la région de Toliara entre les principales zones de collecte sur la période 2004-2007.

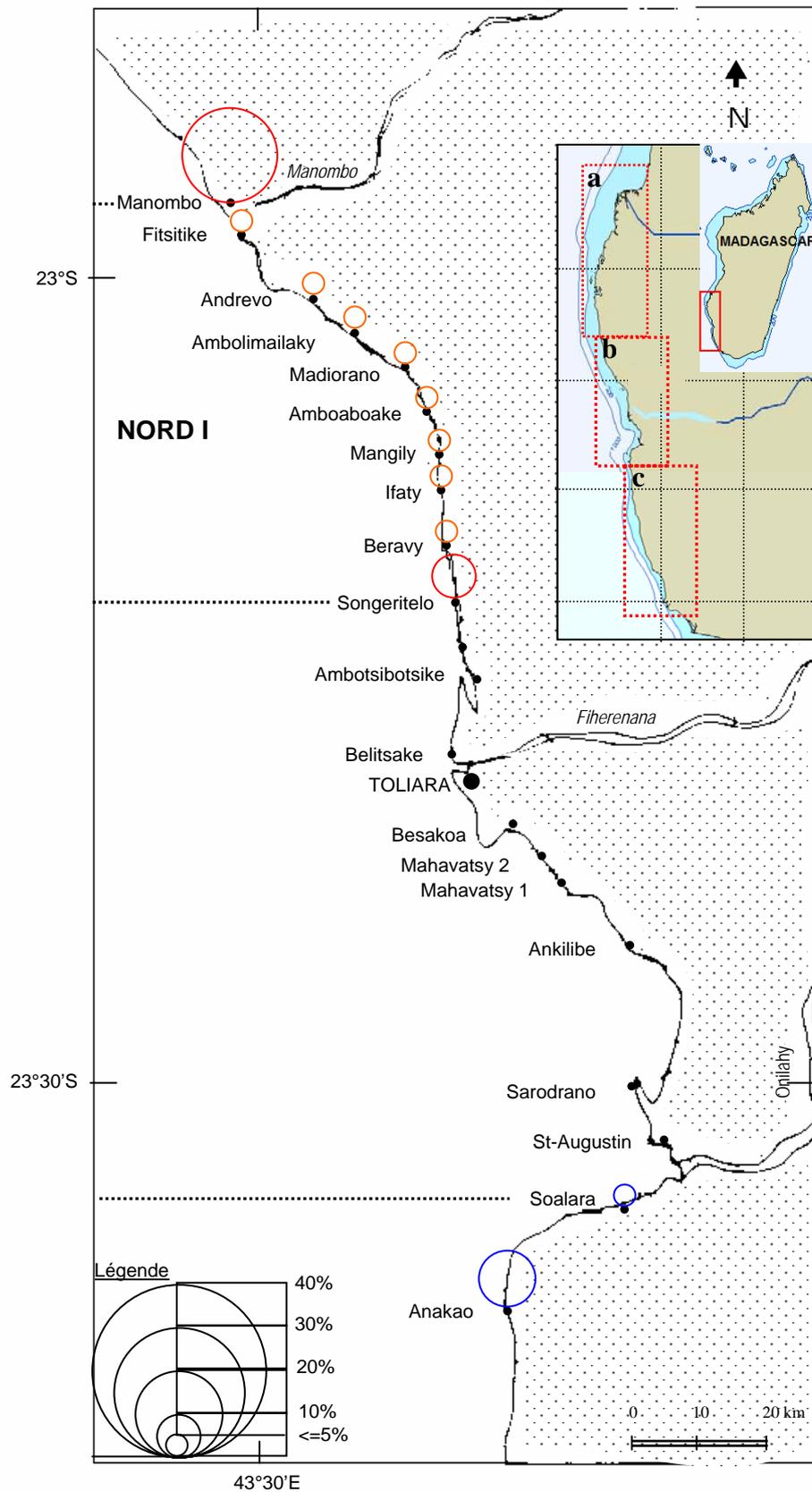
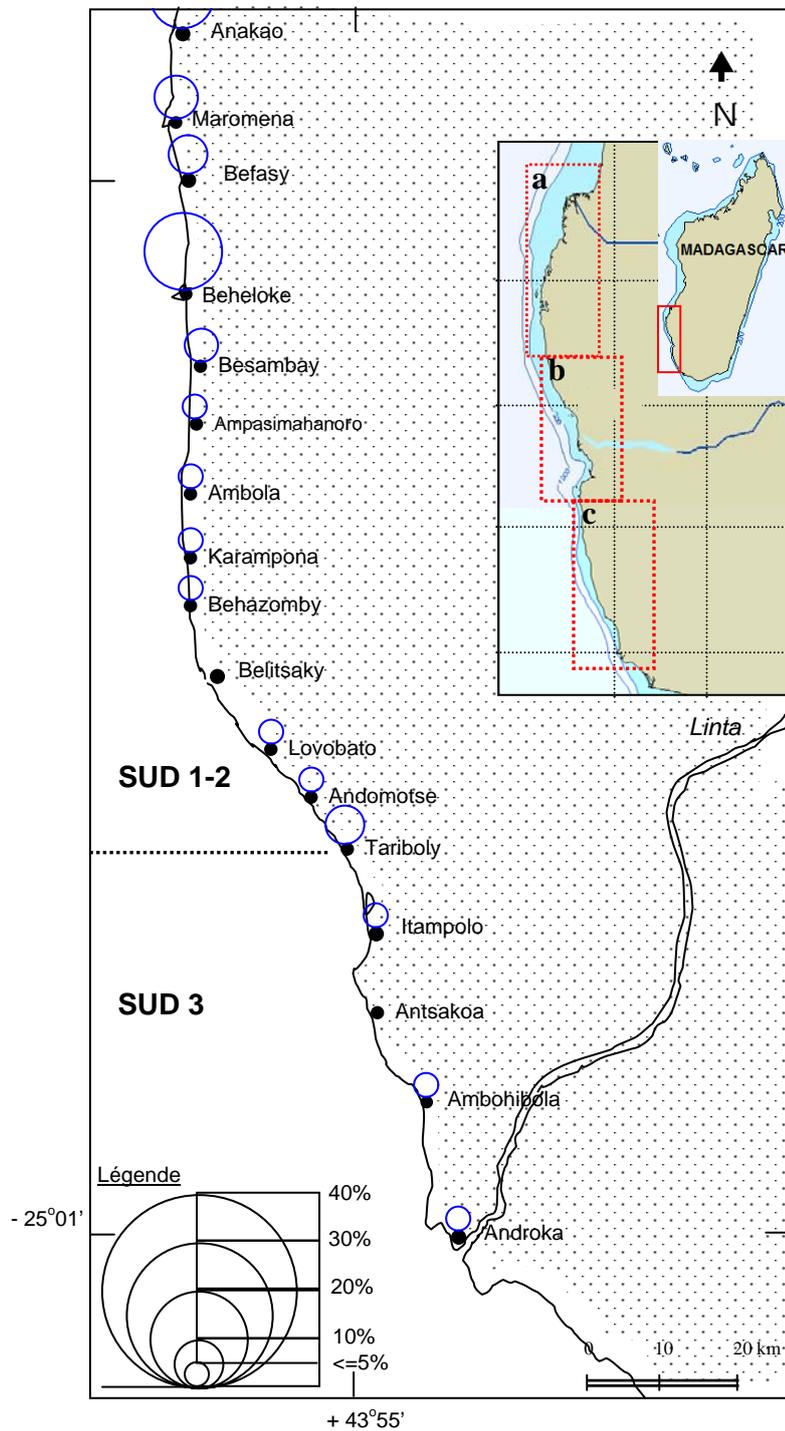


Figure 37-c. Répartition spatiale des captures totales annuelles de céphalopodes (poulpes et calmars) dans la région de Toliara entre les principales zones de collecte sur la période 2004-2007.

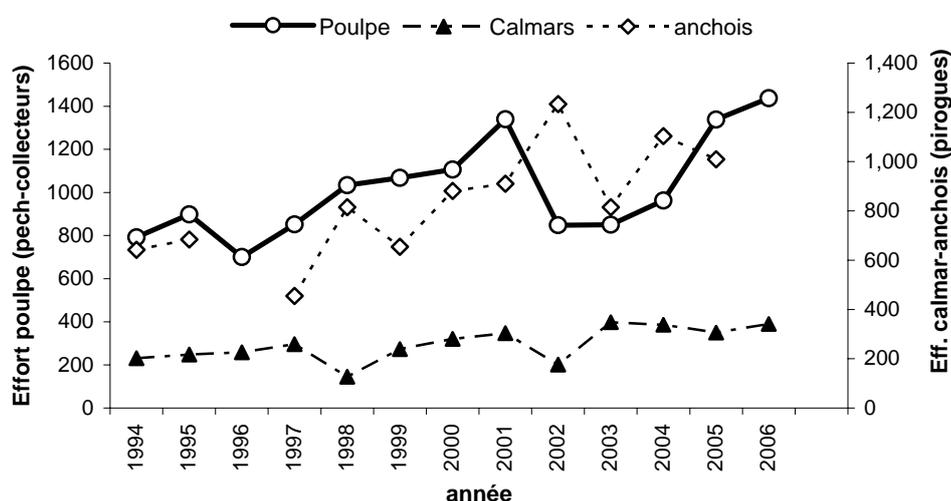


3.3. Comparaison des tendances dans la production des trois pêcheries

3.3.1. Sur l'ensemble de la période 1994-2006

Les variations des efforts de pêche et des rendements calculés pour les trois espèces exploitées sont mises en parallèle (Figure 38 et 39). On constate chez les trois espèces une même tendance globale à l'augmentation de l'effort de pêche durant les deux premières années (1994 et 1995), quoique moins marquée pour les calmars (Figure 38). Les deux années qui suivent (97 et 98), sont marquées par une tendance à la hausse des efforts pour les poulpes et les anchois, alors que pour la pêche aux calmars, cet effort a baissé. Une synchronie de tendance à la hausse continue, et ceci pour les trois espèces, entre 1999 et 2001. On note cependant, la faible amplitude de variations de l'effort de pêche exercé aux calmars, alors qu'elle est forte pour les deux autres espèces.

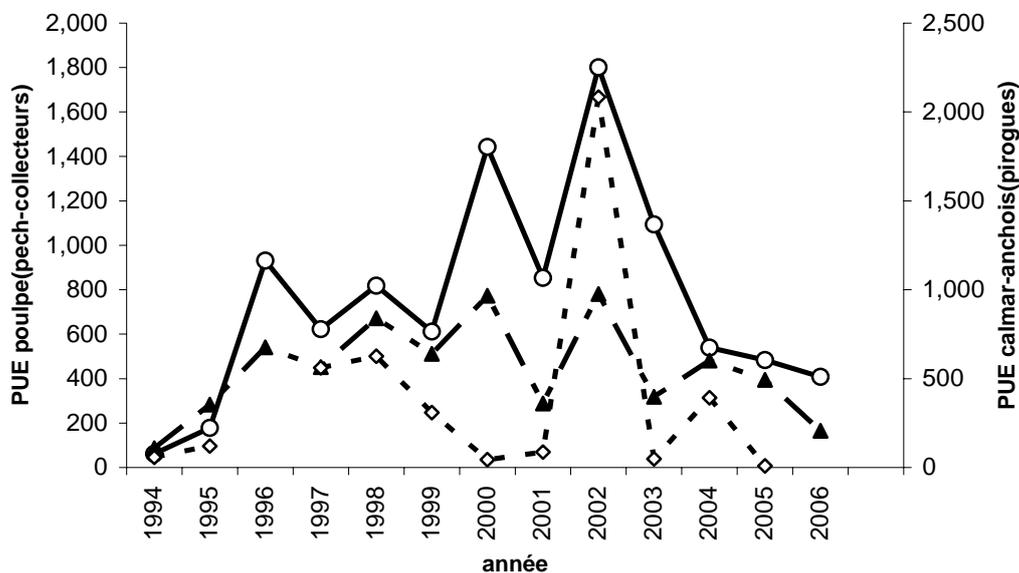
Figure 38. Variations interannuelles des efforts de pêche de poulpes, de calmars et d'anchois du sud-ouest de Madagascar sur la période 2004-2006.



En ce qui concerne les rendements, la synchronisation semble parfaite entre les poulpes et les calmars sur la période 1994 – 2006 (Figure 39). Aucune synchronisation n'est observée entre l'anchois et les deux autres espèces, hormis les deux premières années (1994-1995), 97-98 et l'année 2005. Pourrait-on alors affirmer une vraie similitude d'évolution des indices

d'abondance entre les poulpes et les calmars ? Une telle conclusion semble hâtive, car bien que certaines similarités d'évolutions des indices d'abondance soient observées, nombreux facteurs devraient être pris en considération. En effet, la tendance commune à la hausse des rendements de poulpes et calmars durant les deux premières années est, par exemple, le résultat de l'augmentation des efforts exercés sur ces ressources suite à l'implantation des sociétés de collecte des produits halieutiques dans la région.

Figure 39. Evolutions interannuelles des rendements de poulpes, de calmars et d'anchois du sud-ouest de Madagascar sur la période 1994-2006.



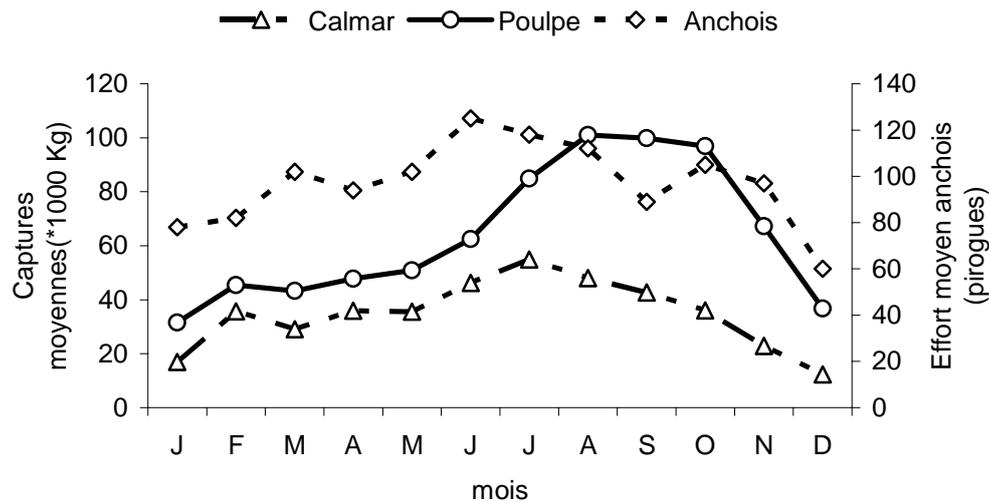
Par contre, la meilleure synchronie observée sur les 3 pêcheries en 2002 dans les variations des rendements pourrait laisser penser que l'abondance de ces ressources est influencée par un signal environnemental majeur qui se serait produit sur l'ensemble de la zone SW de Madagascar (Figure 39).

3.3.2. A l'échelle saisonnière

On remarque la similarité globale de variations d'abondance saisonnière de captures de poulpes et de calmars (Figure 40). L'évolution saisonnière de l'effort de pêche sur l'anchois diffère en quelques degrés par rapport aux allures d'évolutions d'abondance observées chez les poulpes et calmars. A petite échelle, dans un cas similaire, on pourrait suggérer que les

fluctuations d'abondance de poulpes et de calmars soient régies par un ou des facteurs environnement(al)(aux) commun(s) qui agi(t)(ssent) de la même manière sur ces deux ressources.

Figure 40. Répartitions saisonnières des captures moyennes annuelles de poulpes, des calmars et efforts moyens annuels d'anchois dans le sud-ouest de Madagascar.



Etant donné que les saisonnalités des pêcheries de poulpes, de calmars et d'anchois ont déjà été décrites précédemment, nous soulignerons simplement au passage les points essentiels de saisonnalité entre les trois espèces. Le pic de captures de saison froide (juillet-août) est commun pour les poulpes et calmars. Il apparaît un peu plus tôt pour l'anchois dont le pic débute dès le mois de juin jusqu'au mois d'août.

CONCLUSION ET RESUME DE LA PREMIERE PARTIE

Les pêcheries de poulpes, de calmars et d'anchois sont probablement les principales activités économiques des pêcheurs traditionnels du sud-ouest de Madagascar. Dans l'ensemble, ces pêcheries font vivre plus de 25 000 pêcheurs traditionnels de cette partie de la grande île. Jusqu'à présent, deux régions assurent la production en poulpes et calmars dans le sud-ouest à savoir : Toliara et Morombe, la région de Morondava ne fournit que des statistiques de captures d'anchois sur les trois régions étudiées. La production de poulpes du sud-ouest uniquement, est proche de 2 tonnes/km² (Laroche *et al.* 1997), contre plus de 10 tonnes/km² en Tanzanie (Guard & Mgya 2002) dans les régions gérées grâce à la mise en place des « No Take Zone » en rotation et l'application d'une réglementation sur le poids minimal de capture.

L'analyse des données provenant d'entreprises de collecte de produits de la mer travaillant sur la côte sud-ouest de Madagascar et du SPPRH a permis de mieux définir l'évolution des productions de poulpes, de calmars et d'anchois au cours de ces treize dernières années. Ces analyses portent d'abord sur l'évolution interannuelle des captures, des efforts et des rendements, pour toutes les régions du sud-ouest, ensuite sur leurs évolutions mensuelles, enfin sur la comparaison de leurs tendances sur des aires de pêches délimitées.

Les poulpes, les calmars et les anchois apparaissent comme des ressources instables dans le temps à moyen terme (de l'ordre de décennie) et à court terme (de l'ordre d'une année). Pendant treize ans d'exploitation (1994-2006), les tendances de collectes des poulpes et des calmars des principales entreprises de collecte de la côte Sud-ouest de Madagascar sont à la hausse sur la période 1995-2006, de façon similaire à la croissance des exportations de poulpes et de calmars de Madagascar. La production d'anchois ne suit pas cette tendance, étant donnée que sa production est fortement liée à des années favorables au recrutement de l'espèce, et que la totalité des captures est destinée à la consommation locale et à l'expédition régionale et intérieure. En treize ans d'exploitation, les trois populations ont connu, au moins, deux années d'abondance marquée (2000 et 2002 pour le poulpe, 2000 et 2004 pour le calmar et 1998, 2002 et 2004 pour l'anchois) et certaines années où les productions sont faibles.

Les variations de captures, d'efforts de pêche et de rendements peuvent être liées à divers facteurs : abondance des ressources (elle-même liée au succès du recrutement déterminé par les facteurs environnementaux) et disponibilité des ressources aux pêcheries locales. En cas

de pêcheries traditionnelles mixtes, les efforts exercés sur les ressources varient (en conséquence les rendements), car les pêcheurs orientent souvent leurs activités en fonction de l'abondance des ressources.

Aucune périodicité n'a été identifiée dans les fluctuations des indices d'abondance de trois espèces étudiées, tout au moins sur la période considérée. Cependant, l'anchois est apparu massivement en certaines années 1987-1988, (Rakotoarinivo, 1998), exceptionnellement en 2002, après quelques années de rareté. Ce dernier passage massif a eu lieu simultanément pendant l'année où les poulpes et calmars semblent aussi abondants et leurs captures élevées. Ce qui est évident, c'est que ces espèces sont toujours présentes dans les pêcheries tout au long de l'année, quoique parfois en quantité moindre. Pourrait-on penser qu'elles connaissent des phases d'abondance et de rareté à un intervalle de temps relativement long ? On ne peut pas identifier cette périodicité, du fait que les séries d'observations en notre disposition ne sont pas suffisamment longues pour intégrer un cycle complet. Caviedes et Fic (1992) affirment que chez les populations pélagiques en général, cette périodicité d'abondance/rareté peut s'alterner sur un intervalle de temps de l'ordre de plus de 50 années. Dans ce cas, les séries temporelles étudiées sont loin d'être suffisantes pour faire apparaître un tel cycle. Caddy et Galland (1983) définissent, pour les populations de pélagiques, cette alternance est caractérisée par un type de « pattern irrégulier », i.e. les périodes de fortes et faibles abondances alternent sans qu'il y ait de périodicité évidente.

L'étude des variations spatiales des indices d'abondance montre une forte variabilité inter et intra régionale dans les captures. Quoique la région de Toliara semble plus productive, il faut tenir compte de certains facteurs quant à l'assimilation de l'abondance réelle de ces ressources. En effet, l'implantation à Toliara depuis 1995 des deux sociétés de collectes de produits marins (Copefrito s.a. et Murex International) a eu un impact visible dans les captures dès 1995 (114,3 t de poulpes congelés en 1995 contre 8,5 t en 1994). Les zones d'action des principales entreprises de collecte de Toliara se sont étendues à partir de 1996 pour atteindre Morombe au Nord et Itampolo au Sud depuis 2004 et Fenambosa en 2005. L'effet des conditions météorologiques particulières (cyclones) ainsi que de l'état des routes en saisons de pluies, pourraient perturber ou annuler l'acheminement des produits.

Pour l'anchois en particulier, l'effort de pêche durant la période froide est généralement supérieure à celui de la période chaude. En général, pour les petits pélagiques du sud-ouest malgache, l'effort de pêche actuellement utilisé représente 55 à 82% de l'effort maximal équilibré. Avec ce taux d'exploitation, la pêche industrielle n'est pas justifiée dans ce type de pêcherie (Rakotoarinivo, 1998).

Depuis ces trois dernières années, les constats alarmistes sur l'exploitation des poulpes du sud-ouest de Madagascar (diminution des captures moyens, signe de surexploitation !) devraient attirer l'attention. L'avenir de ces pêcheries méritent une attention toute particulière et la nécessité de prendre des mesures de conservation et de gestion de ces ressources est de plus en plus pressente. En ce qui concerne les poulpes et calmars, pour le sud-ouest, les données analysées (similarité du cycle saisonnier de reproduction des deux espèces) incitent à l'application de la fermeture des zones de pêche en novembre/janvier (période de ponte massive pour les poulpes), pour conserver vivant un maximum d'individus au moment des pics de reproduction. La fermeture de la pêche aux poulpes, mesure prise par le Ministère de l'Agriculture, d'Elevage et de la Pêche en 2005, semble par ailleurs pertinente, en arrêtant la pêche pendant une partie de la deuxième période maximale de ponte. L'interdiction de pêcher et de collecter des poulpes de moins de 350g semble par contre contreproductive. En effet, elle n'est pas accompagnée par une interdiction d'usage du harpon qui détruit par ailleurs les récifs coralliens. Une orientation vers l'utilisation des techniques moins destructives est souhaitable et une remise en question de cette mesure pourrait être envisagée. En effet, le suivi sur terrain n'est pas toujours évident, et de plus, avant de connaître le poids du poulpe, les pêcheurs blessent mortellement l'animal.

Mais l'instabilité naturelle constitue aussi un facteur majeur dans l'exploitation de ces ressources. Les caractéristiques biologiques communes des trois espèces étudiées (durée de vie courte, capacité reproductive énorme, soins maternels apportés aux œufs pour les poulpes et calmars), leur font des espèces hautement opportunistes et colonisatrices qui pourront se multiplier massivement si les conditions du milieu sont favorables. Chez l'anchois comme chez les poulpes et calmars, l'existence d'une phase larvaire planctonique amène à penser l'existence des facteurs analogues à la survie larvaire. Le fort taux de mortalité à ce stade déterminerait la taille du stock au recrutement, et la mortalité due à l'exploitation accentuerait les fluctuations de leur abondance.

Nous étudierons les principales causes de variations de ces ressources dans la partie qui suit et qui pourraient être dues : (i) à la variabilité des facteurs extrinsèques agissant sur les ressources ; ou (ii) à la complexité du milieu et de ses réponses aux variations externes.

DEUXIEME PARTIE

Le couplage environnement-ressources
ou les fluctuations des indices d'abondance des ressources

INTRODUCTION

Pour de nombreux stocks côtiers, la forte variabilité d'abondance observée est principalement liée à celle du recrutement dont les facteurs de succès constituent un des problèmes centraux de l'halieutique et la principale source d'incertitude pour les gestionnaires des pêches (Sissenwine, 1984). Selon Voss (1983), le recrutement se réfère au nombre de jeunes individus entrant dans la pêche chaque année provenant de la dernière saison de reproduction. De nombreuses études ont été faites sur les fluctuations d'abondance de populations de poissons. Les plus connues concernent les Clupéidés (Schwartzlose *et al.*, 1999). Des études réalisées sur les sardines (*Sardinops* et *sardina* spp.) et l'anchois (*Engraulis* spp) dans les quatre systèmes d'upwelling les plus connus: le courant Californien, le Humboldt, le Canarie et le Benguela (Crawford, 1987), affirment le même constat. Quoique la surpêche joue probablement un rôle primordial dans de nombreux cas de déclin de stocks, la variabilité environnementale est aussi un facteur clé à la variabilité extrême d'une population marine (Bakun, 1996; Cury *et al.*, 2000; Boyer *et al.*, 2001). Ce point de vue est confirmé par les découvertes de fossiles d'écailles des clupéidés enfouies dans des sédiments et dépôts de guano, et qui montrent que des fluctuations naturelles importantes de la taille de populations ont été apparues en l'absence de pression de pêche (Shackleton, 1987; Baumgartner *et al.*, 1992)

Bakun (1996) propose la théorie intégrée expliquant comment l'environnement pourrait influencer les recrutements chez les populations marines au niveau des stades œufs et larvaires. Il suggère que trois mécanismes fondamentaux influencent le recrutement : l'enrichissement, la concentration et la rétention. Ensemble, ils forment ce qu'on appelle la triade océanique. L'enrichissement est nécessaire pour fournir une alimentation adéquate ; la concentration permet l'agrégation des particules alimentaires à des densités suffisantes ; et la rétention est importante pour éviter les pertes d'œufs vers le large et les larves par advection. En appliquant la théorie de la triade océanique dans le nord Benguela, Hardman-Mountford *et al.* (2003) postulent qu'un upwelling d'intensité modérée assure des conditions favorables au recrutement, en fournissant un enrichissement côtier, quoique les mécanismes de rétention et de concentration puissent aussi apparaître par le front d'un upwelling qui sépare les eaux froides du fond de celles plus chaudes en provenance du large. Réciproquement, un fort upwelling pendant la période de ponte pourrait réduire la probabilité de succès du recrutement car les vents forts qui l'induisent accentuent le phénomène de mixage, et en conséquence

entraîne la rupture du mécanisme de rétention et de concentration (Parrish *et al.*, 1983; Cury & Roy, 1989) De la même façon, l'absence ou un faible upwelling pourrait avoir un impact négatif au recrutement en réduisant le processus d'enrichissement du milieu. Ceci semblerait être en accord logique avec les hypothèses de fenêtres environnementales optimales de Cury et Roy (1989) Ainsi, la fréquence globale des conditions favorables au recrutement ne pourrait pas être une mesure suffisante de l'impact environnemental sur le recrutement. Que ce soit les mauvaises conditions ou la rupture des conditions favorables, toutes peuvent nuire au succès de recrutement. La théorie de la triade océanique est, pourtant, critiquable dans la mesure où elle ne tient compte d'autres approches du recrutement (les approches du recrutement du peuplement dans les nurseries lagunaires par exemple).

Gulland (1965), Steele et Henderson (1984) attribuent aux fortes variations d'une année sur l'autre du taux de mortalité durant les premiers stades de vie et la phase larvaire, la principale cause des fluctuations annuelles du rendement. 50 à 99 % de la mortalité totale surviennent généralement pendant ce stade. On appelle stades « critiques » cette période et même une courte phase critique peut affecter de façon drastique le nombre de survivants (Laurence, 1992 *in Faure 2000*). Chez les poulpes en particulier, la phase larvaire planctonique, appelée aussi stade paralarvaire, est la plus vulnérable du cycle de vie de l'animal (Savile, 1987 ; Villanueva *et al.*, 1995). Une étude comparative faite (Faure, 2000) entre les principales caractéristiques biologiques des poissons et des poulpes montre que des larves relativement semblables sont produites et soumises à des contraintes environnementales similaires.

Les espèces à durée de vie courte comme les poulpes, les calmars et les anchois seraient particulièrement sensibles aux fluctuations du recrutement, du fait de l'existence des rares chevauchements de leurs générations. Par conséquent, la biomasse du stock de l'année dépend presque entièrement du succès d'un ou de deux recrutements (Boyle et Boletzky, 1996).

Dans la plupart des modèles de dynamiques de populations marines, les modifications des caractéristiques d'exploitation de la ressource (stratégie des pêcheurs, variations de l'effort,...) sont considérées comme les principales causes des variations d'une ressource marine. Pourtant, à lui seul, l'impact anthropique n'est pas suffisant pour expliquer les variations d'une ressource marine, et l'hypothèse environnementale est alors généralement mise en avant (Faure, 2000). Par sa complexité et les incertitudes qui en découlent, le problème de la variabilité du recrutement reste crucial pour les gestionnaires de pêche, malgré

les très nombreuses études faites en ce sens, notamment chez les poissons pélagiques. Wooster et Bailey (1989) affirment qu'il est notamment difficile de distinguer le rôle respectif des différents facteurs, car ils sont interdépendants. Aucun donc n'est réellement exclusif des autres. Toute tentative d'établir une hypothèse générale simple et valable pour toutes les espèces et en toutes circonstances seraient inconcevables. Il est vrai que certaines populations marines présentent une variabilité naturelle propre comme nous l'avons évoqué plus haut dans le cas d'écailles de sardines et d'anchois piégées depuis plus de 2000 ans dans les sédiments marins anaérobies. A cette composante naturelle s'ajoute l'impact de la pêche qui amplifie cette variabilité.

Les fluctuations annuelles des stocks pourraient davantage être en relation avec la variabilité à plus court terme de l'environnement. Les variabilités de l'abondance de stocks d'une année sur l'autre supposent qu'elles peuvent être en relation avec la variabilité à court terme de l'environnement physique et biologique, ce qui nécessite une analyse comparative des fluctuations des conditions environnementales à long, à moyen et à court terme.

Le principal objectif de cette étude est d'estimer l'impact de l'environnement sur les variations d'indices d'abondance ou sur les populations de poulpes, de calmars et d'anchois le long des côtes sud-ouest malgache.

CHAPITRE 4

**Fluctuation environnementale en zone de pêche
d'anchois, de calmars et de poulpes
du sud-ouest de Madagascar**

INTRODUCTION

Nous venons de citer les principales causes supposées influant le recrutement chez les espèces des populations marines. Il est indiscutable que les facteurs environnementaux jouent un rôle important dans ce processus. Une simple modification de l'environnement physique peut favoriser l'explosion ou la disparition d'une espèce. En conséquence, des recherches sur l'étude des relations entre la variation du recrutement et les fluctuations de l'environnement ont été menées depuis quelques années. On note que chez les espèces à courte durée de vie, comme le poulpe, le calmar et l'anchois, cet effet est particulièrement prononcé (Caddy, 1980 et 1983 ; Caverivière, 1994 ; Caddy et Rodhouse, 1998; Pierce et Guerra, 1994).

Particulièrement, chez les poulpes et calmars, cette sensibilité aux aléas environnementaux semble amplifiée par leurs caractéristiques biologiques. Les auteurs suivants (Sauer *et al.*, 1991 ; Roberts et Sauer, 1994 ; Coelho, 1985 ; Caddy, 1983) affirment que toutes les phases du cycle de vie des céphalopodes (distribution, abondance, croissance, maturation, comportement, survie et recrutement) sont supposées être influencées par les conditions environnementales, et en particulier par la température (Van Heukelem, 1976 ; Hanabe *et al.*, 1974 ; O'Dor *et al.*, 1980 ; Forsythe et Hanlon, 1988).

Chez les calmars, des exemples de relations directes entre facteurs environnementaux et variations d'abondance de leur population sont cités dans les travaux de MacInnis et Broenkow (1978), Caddy (1981), Laughlin et Livingston (1982), Voss (1983), Costa et Fernandes (1993), Dawe et Warren (1993), Rasero (1994), Roberts et Sauer (1994), Pierce (1995), Yatsu et Watanabe (1996) en relation avec les variations de la température de l'eau. Les variations de la salinité peuvent aussi intervenir (Laughlin et Livingston, 1982 ; Dawe et Warren, 1993 ; Pierce, 1995 ; Yatsu et Watanabe, 1996) comme celles de la turbidité et le brassage des eaux (Costa et Fernandes, 1983 ; Roberts et Sauer, 1994), ou encore celles de la biomasse zooplanctonique (Laughlin et Livingston, 1982).

Quoique peu d'études aient été réalisées sur les liens éventuels entre évolutions des populations de poulpes et l'environnement, certains travaux ont pourtant mis en relief l'impact des changements hydroclimatiques sur les captures ou les rendements. Ainsi, l'augmentation des captures de poulpes *Octopus mimus* au Chili est en relation à la forte anomalie thermique positive liée à l'El Niño Southern Oscillation (ENSO). Une relation

négative entre l'abondance de ces espèces et la salinité a été observée par Hartwick *et al.*, (1984) sur *O. dofleini* et Takeda (1990) sur *O. vulgaris* dans les mers près des côtes japonaises. Sur les côtes ouest-africaines, Sy-Moussa et Tchernichkov (1985) attestent avoir trouvé une forte corrélation entre la période des années de forts upwelling (1968-1982) et les années de bons rendements de poulpes *O. vulgaris* en Mauritanie. De même, au Sénégal, l'observation de fortes captures de la même espèce après les premières fortes pluies, incite à penser au rôle que la salinité joue sur la disponibilité de la ressource dans les pêcheries locales (Diouf, 1992).

Le problème de l'impact de l'environnement sur la variabilité du recrutement, et par conséquent de l'abondance, nécessite des investigations poussées, notamment sur les processus océanographiques clés dans la survie du stade paralarvaire des espèces étudiées (Faure, 2000). Les changements à moyen et à long terme des facteurs environnementaux et leurs conséquences sur l'abondance de la majorité des stocks pélagiques des zones d'upwelling ont été largement reconnus (Sissenwine, 1984 ; Cury et Roy, 1989 ; Cury *et al.*, 1995 ; Faure et Cury, 1998). Les variations environnementales agissent de deux façons : (i) directement et affectent la survie des nouveaux-nés, soit (ii) indirectement en modifiant les processus biotiques et les relations entre classe d'âge (Wooster et Bailey, 1989). Nous avons évoqué plus haut que le manque de nourriture est un des facteurs limitants au succès de recrutement. Encore faut-il que cette nourriture soit disponible au moment opportun, i.e. au maximum larvaire (Hjort, 1914). Et la dispersion fait partie de l'une des causes principales de la mortalité larvaire (Valdés-Szeinfeld et Cochrane, 1992).

Pour survivre, les larves ont besoin d'une quantité considérable de nourriture dont la disponibilité est fonction de la variabilité environnementale physique (Faure, 2000). Le parallélisme entre productivité biologique du milieu et moment approprié est important pour le succès de la survie larvaire. Cushing (1975, 1996) appelle cette dualité comme la théorie de « match/mismatch ». Une théorie développée à partir d'observations sur les stocks de poissons dans l'atlantique nord-est et la mer du Nord et de l'hypothèse de Hjort (1914). En définitive, la mortalité des larves nectoniques est donc déterminée par une plus ou moins bonne concordance avec la production planctonique, essentiellement du zooplancton (Cushing, 1975, 1996).

Ce chapitre consacré à l'influence des fluctuations climatiques sur les variations d'abondance de poulpes, de calmars et d'anchois essaie de fournir des explications sur les objectifs suivants :

- (i) mettre en exergue un lien éventuel entre les fluctuations du climat et celles des ressources ;
- (ii) étudier la façon dont les différents processus climatiques agissent dans le temps et dans l'espace sur les populations de poulpes, de calmars et d'anchois, i.e. explorer la forme des relations environnement-ressources ;
- (iii) enfin, déterminer la période clé du stade de vie du poulpe, du calmar et de l'anchois pendant laquelle les variations des facteurs environnementaux auraient un effet particulièrement décisif.

4.1. Les conditions environnementales des pêcheries de poulpes, de calmars et d'anchois des côtes sud-ouest malgache.

Les pêcheries traditionnelles de poulpes, de calmars et d'anchois du sud-ouest malgache, tout comme les autres pêcheries locales, s'inscrivent dans un contexte hydroclimatique particulier du fait d'une part, de la morphologie du plateau continental de la bordure sud-ouest et caractérisée par l'existence des résurgences côtières d'eaux froides ou upwellings côtiers au sud d'autre part.

4.1.1. Le plateau continental sud malgache

La longueur des côtes est d'environ 1100 km (Morombe - Toliara : 500 km ; Toliara - Bevoalavo Ouest : 300 km ; Bevoalavo – Fort-Dauphin : 300 km). La zone de plage est prolongée par la plage sous marine en continuité avec la plate-forme continentale qui descend, en général, en pente douce vers le large. La faible profondeur, 2 à 10 m en moyenne favorise l'installation des récifs coralliens. Dans certains endroits, le plateau continental est très étroit, notamment dans la région de Toliara, où les profondeurs atteignent 200 m non loin de la côte. Une description plus détaillée sera l'objet du chapitre ci-après sur la topographie du plateau continental de l'extrême sud de Madagascar.

4.1.1.1. Le relief du plateau continental

Les grandes unités zonales dans le relief du plateau continental de l'extrême sud de Madagascar sont les suivantes :

a) *près de la côte*, une pente que l'on peut désigner sous le nom de "pente pré - littorale", de valeur moyenne comprise entre 0,6 et 1 %, avec localement une chute plus brutale (falaises sous-marines de Tolagnaro) et un relief de détail différencié (pitons rocheux). Cette pente pré-littorale se poursuit, selon les endroits, jusqu'à -30 m, -40 m, voire -60 m, ces isobathes venant alors coller à la cote;

b) *une vaste plaine sous-marine*, en pente beaucoup plus faible (entre 0 et 3,5%, avec une valeur moyenne comprise entre 0,5 et 1%) qui occupe la plus grande partie de l'étendue du

plateau continental. Le relief entre le Cap Ste-Marie et Tolagnaro montre un profil général légèrement convexe, les pentes les plus faibles s'observant dans sa partie interne et les pentes les plus fortes dans sa partie externe.

Battistini *et al.* (1964), ont effectué une étude plus détaillée de la zone et établi une carte de relevée topographique sous-marine plus précise.

4.1.1.2. L'extension du plateau continental

Le plateau continental est très réduit entre le delta du Mangoky (nord de Morombe) et Androka, séparés par environ 400 km. Il s'étend au contraire de part et d'autre de ce secteur, atteignant sa largeur maximale d'une part en face de la Baie du Mangoky, d'autre part en face du Cap Ste-Marie. La carte marine n° 4715 à l'échelle de 1/45000 de la baie de St-Augustin et des abords de Toliara montre qu'une coupure majeure, correspondant à un canyon sous-marin, existe en face de l'embouchure de l'Onilahy (Figure 41).

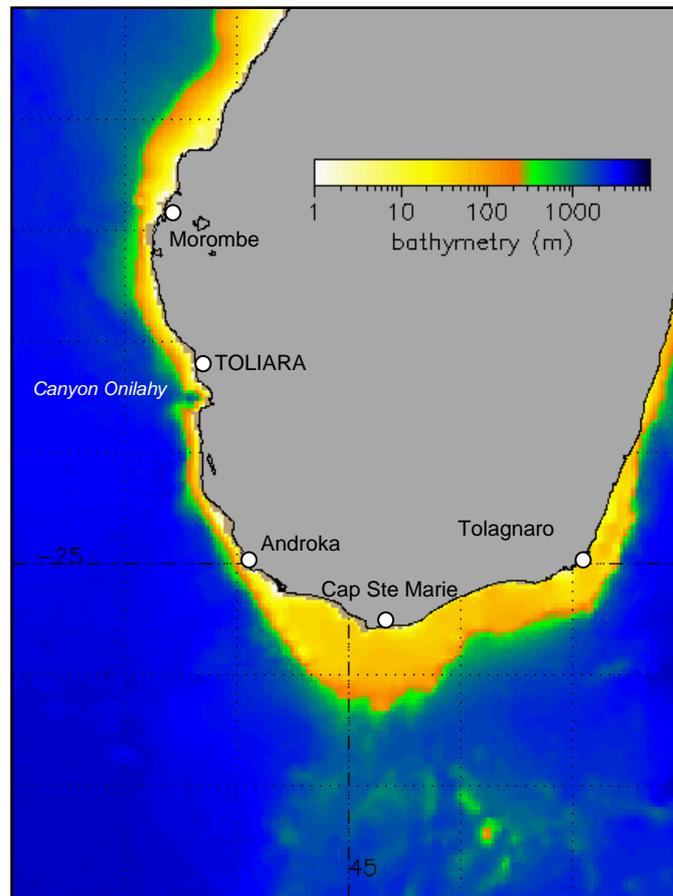
Au Sud de la baie de St-Augustin, le domaine des grands fonds reste très proche de la ligne de rivage jusqu'au niveau d'Androka.

C'est seulement au Sud d'Androka que le plateau continental commence à se développer en largeur en même temps que le domaine des grandes profondeurs s'éloigne progressivement de la côte. C'est en face de Cap Ste-Marie que le plateau continental est le plus large. En face de Tolagnaro, cette retombée se fait de même à une trentaine de milles de la côte. Au Nord de Tolagnaro, le plateau continental perd à nouveau rapidement de sa largeur en face de la plaine côtière orientale.

4.1.1.3. Le début de la retombée sur les grands fonds

Dans la partie ouest, en face d'Androka, la retombée est partout brutale, caractérisée par une rupture de pente nette à laquelle succède une descente fortement inclinée. La valeur de la pente est notable : 14% en moyenne entre -30 m et -200 m. Les autres exemples de retombée brutale en pente forte ont été observés en face de Tolagnaro. En face de Tolagnaro, la descente s'amorce vers -110 m d'abord par une pente assez faible, de 3% seulement en moyenne aux environs de -120 m, ensuite de 8% à -130 m, et de 20% à -180 m.

Figure 41. Carte bathymétrique du sud et du sud-ouest de Madagascar montrant le rétrécissement et l'extension du plateau continental. (Bemiasa, 2007)



Au sud-sud-est de Cap Ste-Marie, le plateau présente une retombée d'un type très particulier. Le plateau continental se termine à -115 m par une falaise de 20 m de dénivellation, en pente de 10% à 15%.

4.1.1.4. Le relief du plateau continental en face de Cap Ste-Marie

Le plateau continental s'élargit en face de Cap Ste-Marie. Sa largeur varie de 40 km à 63 km. La descente est progressive depuis le zéro des plus basses mers jusqu'à l'amorce du talus continental. La pente moyenne du plateau continental est de 1,5% à 1,8%. Au sud d'Androka, l'une de ces irrégularités est une falaise sous-marine quasi-verticale entre 18 m et 30 m. Les preuves apportées par l'étude sédimentologique d'au moins une régression marine récente importante dans cette région, permettent d'interpréter de manière très vraisemblable cette

falaise sous-marine comme une falaise d'érosion marine fossile immergée jalonnant une ancienne ligne de rivage (Berthois *et al.* 1964) .

Au-delà de cette étroite zone en pente plus forte proche de la côte, on aborde une plaine sous-marine à pente très faible, qui couvre la quasi-totalité de la surface du plateau continental entre -30 m et le début de la retombée sur les grands fonds. Nous retrouverons cette convexité dans les autres endroits en travers du plateau continental entre Cap Ste-Marie et Tolagnaro.

4.1.1.5. Le relief du plateau continental entre le cap Ste-Marie et Tolagnaro.

Entre le cap Ste-Marie et Tolagnaro, le plateau continental a l'aspect d'une immense plaine très régulière tapissée de sédiments, en pente extrêmement faible vers le large. Comme dans le secteur précédent, on atteint rapidement, à partir de la côte, les profondeurs de 30 à 40 m. C'est entre -40 et 80 m que l'on observe les étendues les plus plates, atteignant par endroits une horizontalité presque absolue (ainsi en 17 km, on ne descend que de 5 m).

4.1.2. L'Hydrographie

4.1.2.1. La façade Sud-Ouest

L'une des caractéristiques physiques essentielles de cette partie côtière de la région est sa pauvreté en rivières permanentes (Figure 44). Une autre particularité de ces cours d'eau est leur dépérissement à mesure que l'on va vers l'aval. Cette décroissance s'explique par la fréquence des sols à dominance texturale sableuse favorisant l'infiltration. La période des hautes eaux dure de *décembre* jusqu'à la première moitié de *mars*. Les maxima sont presque toujours en *janvier*. Cinq fleuves importants se jettent dans la mer sur la façade ouest de la zone étudiée : le Mangoky (1), le Fiherenana (2), l'Onilahy (3), le Linta (4) et le Menarandra (5).

La *Mangoky* est l'un des plus importants cours d'eau de Madagascar. Les débits du fleuve sont en corrélation étroite avec les pluies. Quoique la période de hautes eaux soit courte, les débits sont par contre élevés (entre 0.03 et 1 m³/s) et provoquent d'inondations catastrophiques. La période des basses eaux dure de *juin* à *novembre*. Cette période est marquée par les débits très faibles : 15% des écoulements apparaissent en cette saison.

Le *Fiherenana* débouche en mer au nord de la ville de Toliara. Son cours inférieur est à sec une partie de l'année, avec un sous écoulement dans les sables.

L'*Onilahy* transporte des quantités d'eau assez importantes jusqu'à la mer. Ses débits observés pendant la période de 5 ans varie (à 60 km de l'embouchure), de 45 m³/s en saison sèche et 378 m³/s en saison humide. Il peut atteindre 1 000 m³/s en période de crue et peut descendre à 25 m³/s en période d'étiage. Les deux fleuves restants (la *Linta*, le *Menarandra*) ont des écoulements intermittents et n'atteignent pas la mer pendant la période des basses eaux. La rivière Menarandra (180 km) est à sec 5 mois sur 12. Ses nombreux petits affluents ne coulent que pendant la saison des pluies. Son débit moyen annuel ou module observé au cours de la période 1951-1967 est de 30 m³/s

4.1.2.2. La façade sud et sud-est

Trois principales rivières se jettent à la mer dans cette zone, notamment pendant la saison de pluies : la Manambovo (6), la Mandrare (7) et la Manampontsy (8) (Figure 42).

La *Manambovo* (6) est une petite rivière à sec 9 mois sur 12. Elle a une longueur de 100 km. Son débit moyen annuel ou modulé observé pendant la même période que précédemment est de 5 m³/s.

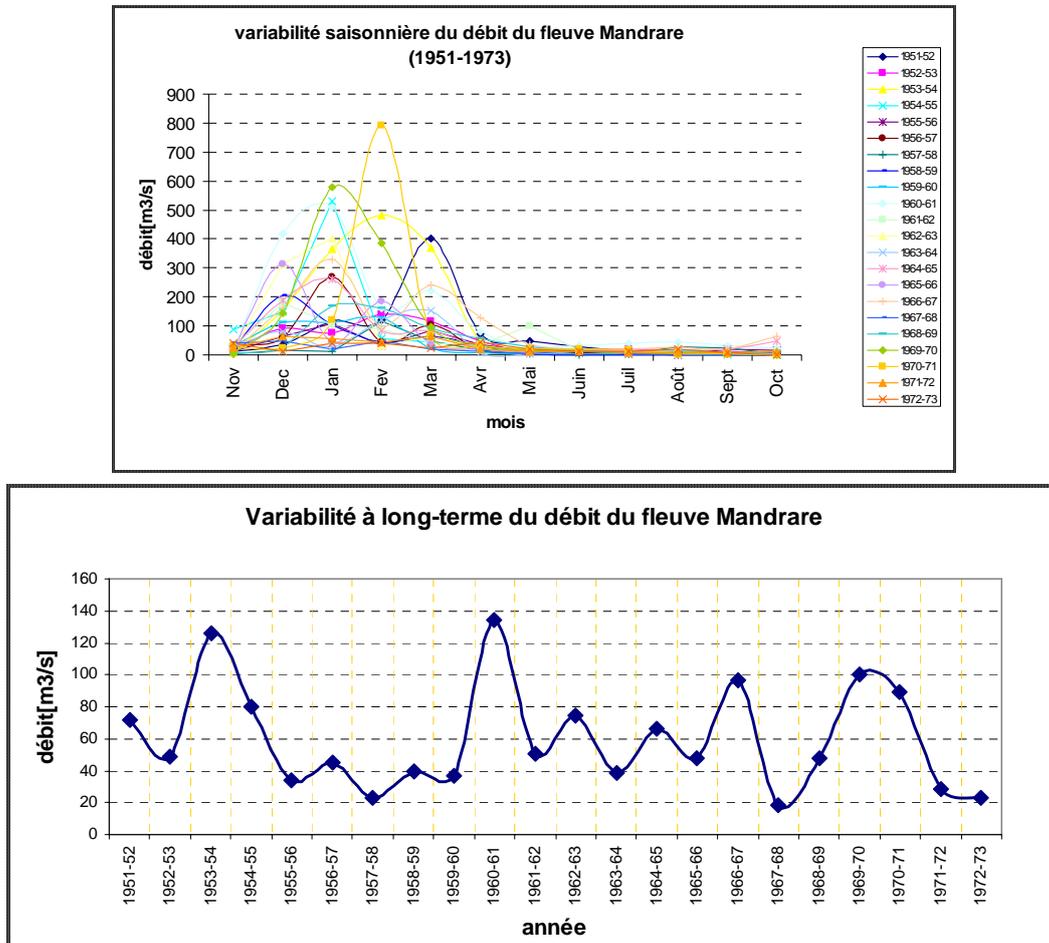
La *Mandrare* (7) coule avec un débit moyen annuel de 65 m³/s. En période de crues, son débit maximal peut atteindre 7200 m³/s. C'est donc la seule rivière qui rejoint la mer pendant toute l'année. Mais sa saisonnalité montre une variation importante, comme le montre la Figure 45 ci-après.

Figure 42. Carte du réseau hydrographique du sud et sud-ouest de Madagascar. Les principaux fleuves qui débouchent vers la mer pendant les saisons pluvieuses, de décembre à mars, sont numérotés de 1 à 8.



1. Mangoky; 2. Fiherenana; 3. Onilahy; 4. Linta; 5. Menarandra; 6. Manambovo; 7. Mandrare; 8. Manampontsy.

Figure 43. Variabilité saisonnière et interannuelle du débit du fleuve Mandrare. Ce sont des moyennes observées sur la période 1951-73. (Source des données : Aldegheri, 1965).



Le minimum de débit est observé pendant la période sèche (de mai à octobre), et les débits maxima sont observés entre décembre et mars.

Seules la Mangoky et l'Onilahy déversent de quantités importantes d'eaux pendant la saison des pluies. Aucune d'elles ne rejoint la mer à partir de mai-juin (Aldegheri, 1965). Ce qui suggère que la perturbation engendrée par les apports fluviaux sur les signatures spectrales au niveau des images SeaWifs de la couleur de l'eau est moindre, notamment pendant la période de bloom chlorophyllien observé dans cette région. En d'autre terme, les apports fluviaux n'affectent pas de façon significative les signatures spectrales des images de la couleur de l'eau, au moins pendant la période de l'enrichissement de la zone.

4.1.3. L'hydroclimat du sud malgache

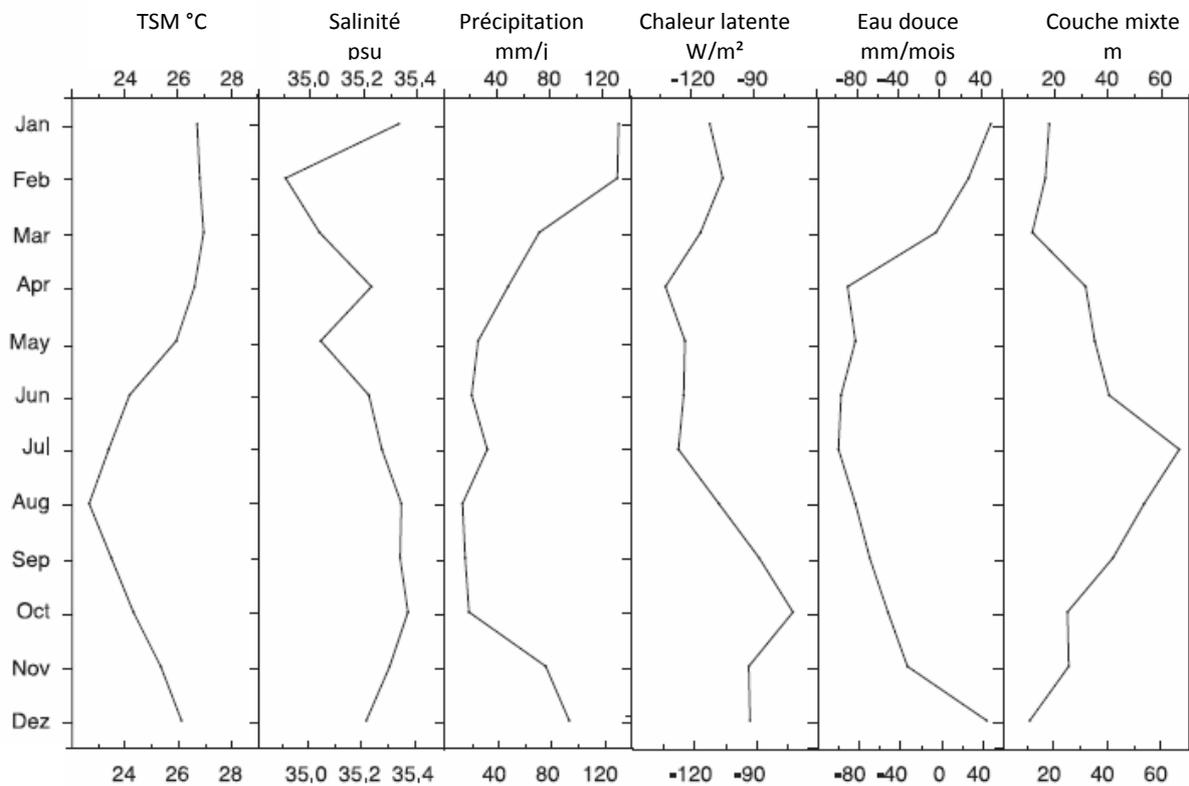
Les données climatologiques proviennent essentiellement du Service de la Météorologie de Toliara, de l'ASECNA de Tolagnaro, des travaux de Battistini et de Pichon.

4.1.3.1. La température de l'eau de mer

Zinke *et al.* (2004) ont publié les courbes climatologiques mensuelles de certains paramètres environnementaux de la zone sud-ouest, en l'occurrence la Température de Surface de la Mer (TSM), la salinité, les précipitations, la chaleur latente et les profondeurs de la couche mixte (Figure 44).

La température de surface (mer ouverte ou lagon) évolue régulièrement au cours de l'année, autour d'une moyenne légèrement supérieure à 25°C. La maximale (voisine de 30°C) est atteinte en février et le minimum (23°C, en mer ouverte, un peu moins de 22°C dans le lagon) en juillet. Elle varie de 22 à 27°C pendant la saison froide (avril à septembre) et de 25 à 29°C durant la saison chaude (octobre à mars). Les données vont être couplées dans cette thèse par l'analyse d'autres données in situ et satellitales.

Figure 44. . Climatologie mensuelle des paramètres environnementaux de la zone sud-ouest : Température de Surface de la Mer (TSM), salinité, précipitation, chaleur latente et profondeur de la couche mixte. (Source : Zinke *et al.* 2004).



4.1.3.2. La marée

La marée, dans la région de Toliara, est de type semi diurne. C'est-à-dire, on assiste à deux basses mers et deux hautes mers d'amplitudes sensiblement égales par jour. Ces dernières pouvant atteindre 3 m en période de vives eaux. Il s'ensuit de forts courants de marée, notamment entre le Grand Récif et le littoral, ainsi que dans les chenaux. Par contre, la façade sud-est est soumise à un régime de marée semi-diurne à inégalité diurne. Elle présente donc les mêmes nombres de basses et de hautes mers par jour comme précédemment, mais les d'amplitudes inégales.

4.1.3.3. Les données atmosphériques de surface

Le sud ouest de Madagascar est caractérisé par un climat tropical de type semi-aride, avec un maximum humide unique de saison chaude, à caractère orageux ou cyclonique (Battistini *et*

al., 1975). A la longue saison sèche (7 à 9 mois) succède une brève saison des pluies, parfois aléatoire, souvent très irrégulière et toujours pauvre en précipitations (moins de 600 mm/an). C'est dans la région de Toliara et le long de la plaine côtière mahafaly (située au sud de l'embouchure de l'Onilahy) que l'on observe les pluviosités les plus faibles de Madagascar (moins de 400 mm). Elles augmentent vers le nord-est, au fur et à mesure que l'on pénètre à l'intérieur des terres (Battistini, 1964).

a. Température de l'air

- A Toliara, la variation des températures, tout au long de l'année reste faible (amplitude annuelle comprise entre 7° et 10°C). Les moyennes annuelles sont toujours comprises entre 25°C (Morombe) et 23°C (au sud de l'Onilahy). Les températures assez basses sont enregistrées à la saison fraîche. La moyenne des minima du mois le plus froid (juillet) pouvant descendre en deçà de 10°C : ces manifestations sont principalement liées à la continentalité et à l'altitude.

Hervieu (1968) avance qu'au cours de l'année, la température moyenne mensuelle dans la région de Toliara varie de 20°C (*juin et juillet*) à 27,5°C (*janvier et février*). La température moyenne annuelle est de 25,5°C.

- A Tolagnaro, la température moyenne annuelle se situe entre 23°C et 24°C. Les températures relevées au centre Météo ASECNA pour les années 2000 à 2001 montrent que le maximum se situe au mois de février avec une température de 27°C à Taolagnaro. Les mois de *juin* et *juillet* sont les plus froids, la température étant de 21°C. La température maximum annuelle peut atteindre 28°C tandis que la température minimale tourne autour de 17°C

b. La pluviométrie

- Dans le sud-ouest, on observe une décroissance régulière du nord vers le sud (Morombe: 455 mm - Toliara : 345 mm - Salary : 274 mm). Plus de 80% des précipitations, en moyenne, tombent pendant la saison humide (de novembre à mars), janvier étant sans conteste le mois le plus arrosé. Au contraire, la période qui s'étend d'avril à octobre est remarquablement sèche. Les minima tournant autour de 2 à 2,5 mm en juillet. Pour la station de relevés pluviométriques de Toliara-ville, l'examen des relevés montre que la période pluvieuse ne couvre que deux mois (Janvier et Février), elle est donc très courte et tardive.

La moyenne annuelle est de 342 mm pour un nombre de jours de pluie ne dépassant pas 28. On constate que la saison chaude (octobre-avril) est aussi la saison humide (279 mm de précipitation), alors que la saison fraîche est beaucoup plus sèche avec 63 mm de précipitation, en moyenne soit moins de 20% du total annuel (Pichon, 1964). Plus au nord (à Morombe), la saison pluvieuse est plus longue, car elle couvre la période de Novembre à Avril, soit six mois. D'autre part, elle est tardive, de courte durée et très mal répartie (Décembre : 348,7 mm ; Janvier : 28,1 mm ; Février : 56,3 mm).

- Dans le sud-est, les maxima se situent toujours au mois de décembre et janvier. Les mois de juillet et août sont encore des mois pluvieux dans cette zone avec une précipitation moyenne autour de 100mm. Il n'y a que deux mois (*septembre* et *octobre*) qui peuvent être considérés comme mois secs. Selon le bulletin SAP N° 73 sur la situation générale de la zone SAP fin janvier 2003, la zone a été dans l'ensemble particulièrement peu arrosée durant le mois de janvier 2003 (comme exemple : Ambovombe androy : 19,9mm au lieu de 71,9mm en temps normal).

c. Les vents dominants

- A l'ouest, la frange côtière est balayée en permanence par un vent dominant, « Tsiok'Atimo », de direction SW – NE. Dans le sud-ouest, l'alizé qui a franchi la falaise orientale, y est subsident, c'est-à-dire sec et de caractère anticyclonique, ce qui donne le plus souvent une dorsale anticyclonique sur l'ensemble de la région. Le temps est beau et frais en raison du refroidissement nocturne. Près des côtes, la brise marine, toujours en fin de journée, peut également déclencher quelques précipitations. Néanmoins, les vents de sud-ouest prédominent nettement dans la région de Toliara. Ces vents ont les caractères d'une brise marine assez forte, se levant dans le courant de la matinée et atteignant leur maximum d'intensité au milieu de l'après-midi (Pichon, 1964). Cette brise de sud-ouest provoque une houle de même direction, courte mais forte, qui se superpose alors à une houle de sud beaucoup plus longue, d'origine océanique.

- Faisant partie de la côte est malgache, cette zone est sous l'influence du régime d'Alizé soufflant du nord-est à est le long de la côte, et ceci pendant presque toute l'année. Si l'Alizé est le régime du vent dominant, il semble que d'autres non moins importants soufflent dans la

zone à diverses périodes de l'année. Ces vents portent des noms locaux en fonction de leurs caractéristiques : « Tiopoty » ou vent blanc : vent d'Est et desséchant ; « Tiomena » ou vent rouge, vent d'Est qui dessèche tout pendant son passage de septembre à décembre ; « Tiobaratra » ou vent du nord. Ce vent amène la pluie et souffle du nord-ouest en saison de pluies. La Figure 45 ci-après résume l'évolutions saisonnières des températures et des précipitations moyennes à Taolagnaro sur la période 2000-2004.

Figure 45. Evolutions saisonnières des températures et des précipitations moyennes à Tolagnaro sur la période 2000-2004. (Source : ASECNA, Tolagnaro)

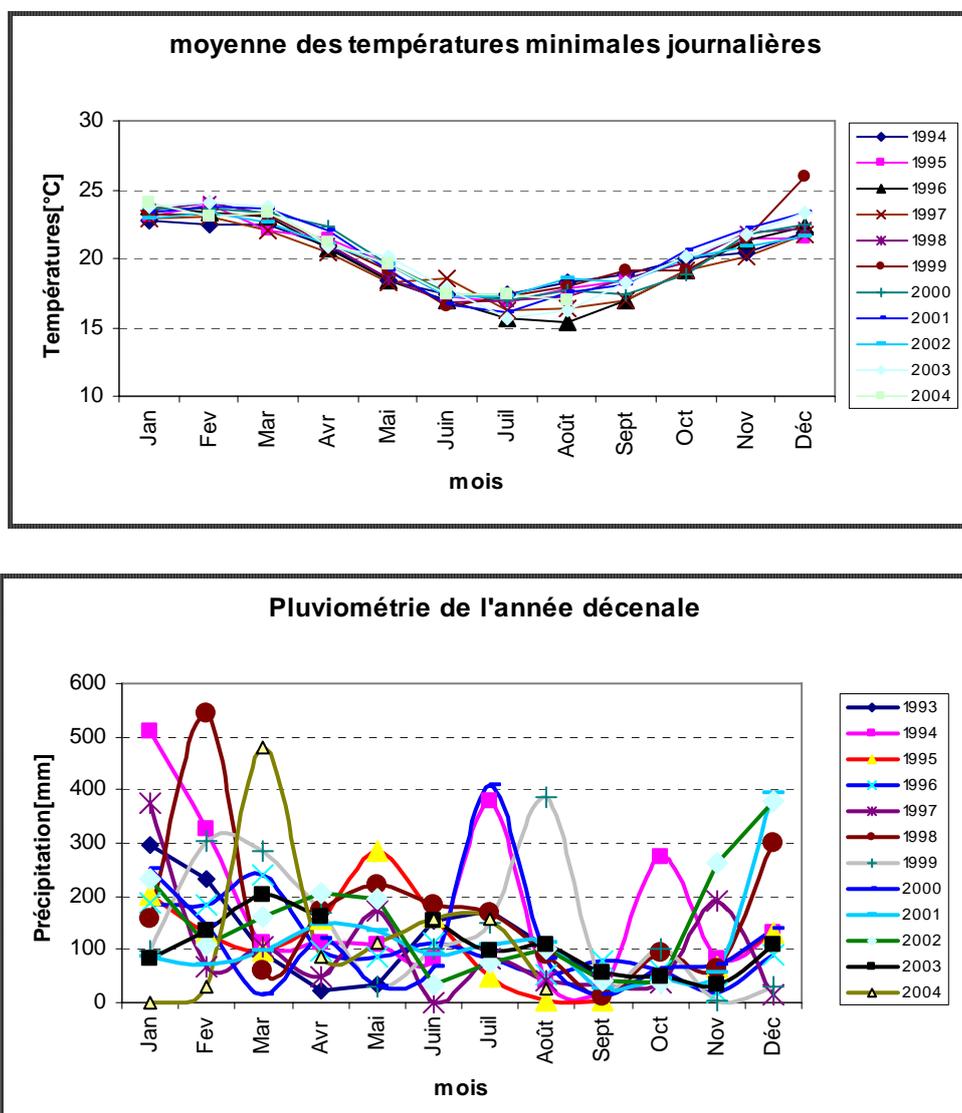
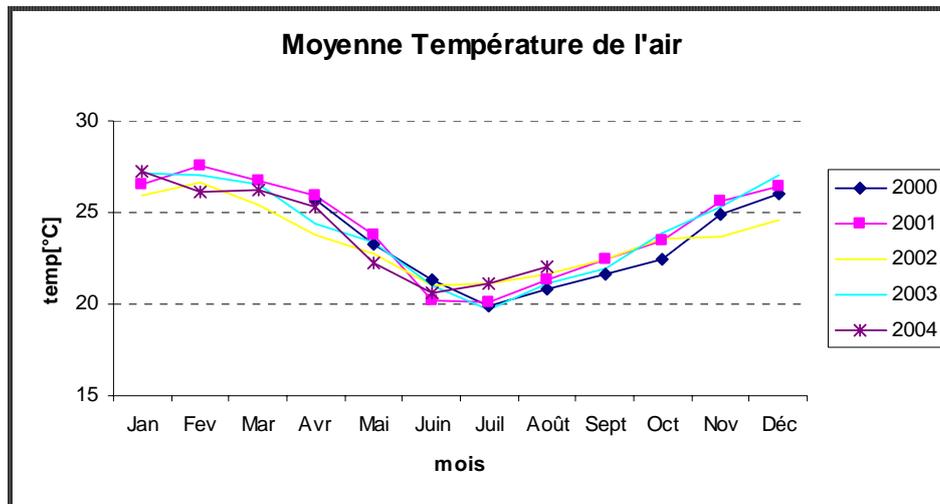


Figure 45 (suite). Evolutions saisonnières des températures moyennes à Tolagnaro sur la période 2000-2004. (Source : ASECNA, Tolagnaro)



d. Humidité atmosphérique

La valeur moyenne annuelle de l'évaporation sur la nappe d'eau libre est inférieure à 1.400 mm dans le sud-ouest et celle de l'évaporation est comprise entre 800 et 1 000 mm. On note aussi la présence des rosées et brouillards qui sont abondants sur tout le littoral et vers l'intérieur, notamment dans les cuvettes et vallées.

4.2. La dynamique océanographique des côtes sud-est, sud et sud-ouest malgache

4.2.1. Les données utilisées

Pour étudier la dynamique océanographique de la côte sud et sud-ouest malgache, les données suivantes sont exploitées : les données in situ et satellitales. Les données in situ concernent celles issues des campagnes océanographiques et des navires marchands. Les données satellitales permettent d'étudier les variations spatio-temporelles de la température de surface de la mer (TSM), de la richesse en chlorophylle (production primaire : Chl-*a*) et des vents (Turbulence) le long du littoral sud et sud-ouest de Madagascar (entre -20°S et -28°S).

4.2.1.1. Les données in situ

a. Les données de campagnes océanographiques

Les données de diverses campagnes océanographiques opérant dans les eaux territoriales malgaches sont disponibles au sein du Centre National de Données Océanographiques de Madagascar. Elles concernent la température de l'eau de mer (XBT-MBT, CTD), la salinité, l'oxygène dissous et les nutriments (nitrate, nitrites, phosphate et silicate) sur la période 1950-2002. L'analyse de ces données, en particulier, celles de la température, la salinité et l'oxygène dissous permettent de caractériser les masses d'eaux de la zone étudiée.

b. Les données de courants de surface (NOAA Navy Shipdrift)

Les données de courants de surface de « NOAA Navy Shipdrift » sont utilisées pour étudier la circulation de surface des eaux le long des côtes sud et sud-ouest de Madagascar. Ces données ont été collectées par l'Office Océanographique de la Marine des Etats-Unis entre 1853 et 1973. Les séries analysées sont extraites de l'Atlas de données océanographiques de Madagascar disponibles au Centre National de Données Océanographiques. Les séries de vecteurs U et V sont ramenées à pas de grille de 1 degré et importés dans Surfer pour la représentation graphique. Les cartes de la circulation de surface des eaux côtières du sud malgache sont présentées en annexe.

4.2.1.2. Les données satellitales

L'analyse des séries de données satellitales constitue aujourd'hui un outil important pour étudier des processus environnementaux évolutifs et son impact sur les populations marines. Bien souvent, on fait recours à des comparaisons des mesures effectuées à des échelles différentes qui peuvent être inadéquates pour étudier les relations environnement-populations marines. Cependant, l'amélioration des résolutions spatiales et temporelles des imageries satellitales ces dernières années permet d'envisager un meilleur ajustement des échelles spatiales et temporelles des processus physiques et écologiques, en temps quasi réel et à l'échelle de quelques kilomètres.

- A partir des données couleur de l'eau sont obtenues notamment les concentrations en chlorophylle à la surface de l'océan (Figure 46-b). Les pigments chlorophylliens sont présents dans les cellules phytoplanctoniques en suspension. De par son immobilité au regard de l'advection, le phytoplancton se révèle être un excellent traceur des phénomènes de la dynamique océanique horizontale. L'intérêt majeur provient du fait que les images obtenues fournissent une évaluation des biomasses chlorophylliennes sur l'ensemble de la zone étudiée. Ceci permet d'observer la répartition spatiale des blooms phytoplanctoniques, et de suivre avec beaucoup plus de précision et beaucoup plus aisément qu'auparavant leur évolution (à condition qu'il n'y ait pas trop de couverture nuageuse).

- Les variations spatio-temporelles de la température de surface de la mer (TSM) apportent de nombreuses informations sur la dynamique des zones d'upwelling (Faure, 2000). La température minimale de surface et le gradient thermique maximal entre la côte et le large renseigne notamment sur la présence d'upwelling, sur son intensité et son extension spatiale (Figure 47-a). La valeur de la température minimale de surface, bien que liée aux variations de l'intensité de l'upwelling, n'est pas directement proportionnelle à l'intensité de la résurgence. Elle est, en effet, modifiée par les effets de dilution de surface des eaux remontées avec l'eau environnante, plus chaude, et ne peut donc pas directement constituer un indice d'upwelling quantitativement comparable dans le temps et dans l'espace.

a. Les données TSM de AVHRR Pathfinder

Les données des satellites américains de la série NOAA/NASA AVHRR Pathfinder v5.0 sont utilisées pour l'étude des températures de surface de la mer. Ces données sont fournies par RSMAS et le NODC et distribuées en partenariat avec NASA PO.DAAC. Dotées d'une résolution spatiale de 4 km, la version 5.0 améliore considérablement l'utilisation des données Pathfinder pour l'étude des zones côtières et des endroits marins à forts gradients thermiques (TSM). Les informations sont synthétisées par période de 8 jours (résolution temporelle = 8 jours) de 01 janvier 1980 à 26 décembre 2006.

b. Les données Chlorophylliennes de SeaWifs

Les données utilisées pour l'analyse de la production primaire sont issues du projet SeaWifs et acquises gracieusement auprès du « Goddard Space Flight Center » (Washington, USA),

sous l'égide de la NASA. L'ensemble des images et des données de la concentration en chlorophylle présentées dans ce travail a été obtenu à partir des données du capteur SeaWiFS, embarqué à bord du satellite OrbView-2 de la compagnie ORBIMAGE. D'une résolution spatiale de 9 km et temporelle de 8 jours (de 30 septembre 1997 à 19 juillet 2006), les informations contenues dans ces données sont suffisamment adéquates pour étudier les processus d'enrichissement des zones côtières.

c. Les données « vents » de FSU

Les données de vents FUS (Florida State University) (Turbulence) sont extraites de la base GAO et de résolution temporelle de 5 jours sur la période 1970-2004.

Des séries de moyennes mensuelles et annuelles sont calculées pour permettre l'étude de variations saisonnières et interannuelles de la turbulence dans la zone d'étude.

4.2.2. Les méthodes d'analyse descriptives des variations spatio-temporelles

A partir des données satellitales sus citées, trois paramètres environnementaux ont été choisis pour l'analyse des caractéristiques dynamiques du littoral sud et sud-ouest: (1) la TSM et (2) la CHL pour l'analyse de la variation de l'intensité de l'upwelling ; la « turbulence » des vents pour d'éventuelle présence des zones de retentions côtières. Ces paramètres nous semblaient les plus représentatifs de la dynamique hydroclimatique de la zone en question et surtout des processus susceptibles d'être déterminants de la survie larvaire, et par conséquent du succès de recrutement des espèces étudiées. Parmi tant d'autres méthodes d'analyse statistiques disponibles, nous avons choisi celles qui sont les plus utilisées dans les domaines de recherche, et qui nous semblaient adéquates aux structures des données à analyser et les objectifs visés, en l'occurrence :

4.2.2.1. Les Modèles Statistiques Linéaires Avancés

Pour mieux appréhender l'étude des variations temporelles (et d'éventuelles corrélations) des paramètres environnementaux à différentes fréquences, à savoir les variations interannuelles (sur le long terme), la saisonnalité et les anomalies à hautes fréquences, les méthodes statistiques d'« Analyse spectrale », de « Décomposition saisonnière », d'« Analyse de

distribution de décalage » des « Séries Chronologiques » ont été utilisées. Entre autres, le Diagramme Hovmoller et la méthode ACP ont été aussi utilisés dans l'analyse de la variabilité spatio-temporelle des paramètres environnementaux.

Comme dans d'autres analyses, l'analyse des *séries chronologiques* considère que les données sont constituées d'une composante régulière (souvent un ensemble de composantes identifiables) et d'aléas mineurs (appelés aussi bruits aléatoires) rendant souvent difficiles l'identification des composantes. La plupart des techniques d'analyse des séries chronologiques comportent différents filtres permettant d'éliminer ce bruit pour rendre les composantes plus évidentes. La plupart du temps, les séries chronologiques peuvent être décrites par deux grandes composantes : *le trend* et *le mouvement saisonnier*. Le trend possède, la plupart du temps, une forme linéaire, mais peut également épouser une forme non-linéaire. Cette composante (trend) se modifie au cours du temps sans se répéter ou du moins sans se répéter dans la période d'étude de nos données. Le mouvement saisonnier, quant à lui, peut être de nature similaire. La différence toutefois est qu'il est récurrent, et va donc se répéter de façon systématique et à intervalles de temps réguliers. Ces deux grandes composantes des séries chronologiques coexistent souvent dans la réalité.

a. L'analyse spectrale de Fourier

L'analyse spectrale se penche sur l'extrapolation des composantes cycliques de données.

- L'objectif de l'analyse **spectrale (Fourrier) simple** (ou pour une série), est de décomposer des séries chronologiques complexes avec des composantes cycliques en quelques fonctions (sinus et cosinus) sinusoïdales sous-jacentes de longueurs d'ondes particulières, comme indiqué par le texte de référence sur l'analyse spectrale rédigé par Bloomfield (1976). Mais d'autres informations détaillées sont données par Jenkins et Watts (1968), Brillinger (1975), Brigham (1974), Elliott et Rao (1982), Priestley (1981), Shumway (1988), ou Wei (1989).

Nous disposons de séries temporelles annuelles, mensuelles ou hebdomadaires des paramètres hydroclimatiques qui caractérisent l'environnement marin du sud et sud-ouest de Madagascar. L'objectif est d'identifier les périodes marquées par des événements environnementaux afin d'analyser leurs relations avec les principales fluctuations observées dans les pêcheries sud-ouest malgache en poulpes, calmars et anchois.

- L'analyse **spectrale croisée** est une extension de l'Analyse Spectrale Simple de Fourier à une analyse simultanée de deux séries. L'objectif de l'analyse spectrale croisée est de découvrir des corrélations entre deux séries de fréquences différentes. Par exemple, en zone d'upwelling, la température de surface de la mer (TSM) peut être liée à l'intensité de la production primaire (Chl-a) de la zone. Si c'est le cas, en soumettant la série de TSM obtenue par l'analyse spectrale croisée avec les données de la production primaire (Chl-a), nous devrions trouver que la TSM est effectivement corrélée à la biomasse chlorophyllienne sur certains cycles. Ainsi, nous devrions trouver une périodicité dans les données chlorophylliennes "synchronisée" avec celles de TSM.

b. Le diagramme Hovmöller

Afin de pouvoir identifier d'éventuelles structures spatio-temporelles ainsi que les patterns de la biomasse chlorophyllienne de la zone d'étude, des diagrammes de Hovmöller ont été réalisés sur les données de SeaWiifs. Les valeurs utilisées sont centrées, c'est-à-dire, on a fait la moyenne de toutes les scènes d'images pour chaque pixel de scènes de 9x9 km. On attribue ensuite à chaque pixel de chaque scène l'écart entre sa valeur et la valeur moyenne calculée à l'étape précédente. Il s'agit de représentations spatio-temporelles de type « longitude-temps » ou « latitude-temps » qui aident à exprimer les grands traits de la variabilité saisonnière et interannuelle de la chlorophylle-*a* par secteur (Tew Kai, 2005).

4.2.2.2. Techniques Exploratoires Multivariées : L'Analyse en Composante Principale (ACP)

➤ **Introduction.** Les données sont souvent collectées sur des variables qui ne sont pas seulement corrélées, mais sont aussi très nombreuses. Cela rend l'interprétation des données et la détection de sa structure difficiles. En transformant les variables originales en un nombre plus petit de variables non corrélées, l'Analyse en Composantes Principales (ACP) rend ces deux tâches plus faciles. C'est une méthode statistique essentiellement descriptive qui permet de présenter graphiquement le maximum d'informations contenues dans un tableau de données. Elle est ancienne (Hotelling, 1947) mais d'utilisation plus récente (années 60).

➤ **Objectifs.** L'ACP tend à répondre à deux objectifs : ❶ réduction du nombre des variables à un nombre plus petit de variables 'représentatives' et 'non corrélées' ; ❷ classification des

variables et individus. Le tableau de données est constitué par n individus (en lignes) sur lesquelles sont mesurées p « variables quantitatives » disposées en colonnes.

$$X = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & \dots & j & \dots & p \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ i \\ \vdots \\ n \end{matrix} & \left[\begin{matrix} & & & & \\ & & & & \\ & & \dots X_i^j \dots & & \\ & & & & \end{matrix} \right] \end{matrix}$$

Le choix des individus et des variables est une phase essentielle et doit être en accord avec les objectifs de l'analyse.

➤ **Méthode.** A partir des séries de données de variables hydroclimatiques caractéristiques de la zone étudiée, des analyses à trois échelles de temps (les années, les mois et les semaines seront utilisés comme individus) permettent de différencier les années les unes par rapport aux autres en fonction de leurs caractéristiques environnementales, isolant ainsi les années atypiques et les anomalies saisonnières de l'hydroclimat. L'ensemble des variables environnementales est considéré simultanément, apportant ainsi une vision globale de l'évolution de l'environnement.

La méthode par l'ACP est expliquée clairement par Jambu (1991). Cette méthode permet en fait de représenter au mieux l'information contenue dans la matrice de données en réduisant le nombre de dimensions du nuage de points (égal au moins au nombre de variables) afin de pouvoir étudier sa structure multidimensionnelle. Lorsque le tableau comprend p variables quantitatives, les individus peuvent en effet être représentés dans un « espace à p dimensions », mais il est généralement impossible de « voir » dans un tel espace. Les espaces généralement retenus dans l'ACP ne sont qu'à deux dimensions. La phase essentielle de l'ACP consiste donc à transformer les p variables quantitatives initiales, plus ou moins corrélées entre elles, en p nouvelles variables quantitatives, non corrélées, appelées composantes principales qui sont obtenues par des « combinaisons linéaires » des variables initiales. A chaque axe principal ou composante principale est associé un facteur principal qui définit la nouvelle variable. La représentation du nuage des individus se fait par projection dans un sous-espace de faible dimension suivant différents critères :

- ⇒ en déformant le moins possible le nuage de points,
- ⇒ en maximisant la variance projetée, ce qui revient à projeter les points sur les axes de plus grand allongement,
- ⇒ en considérant des axes orthogonaux donc indépendants.

La première composante principale ou premier axe principal est, plus exactement celle qui permet de voir au mieux les individus, c'est-à-dire l'axe pour lequel la variance des individus est maximale. La seconde, de corrélation nulle avec la première et également de plus grande variance après la première, fournit la plus grande information possible complémentaire de la première. Le processus se déroule jusqu'à l'obtention de p composantes principales (c'est-à-dire autant de composantes principales que de variables).

Dans notre cas, les paramètres hydroclimatiques sont choisis comme variables (en colonnes) et les individus (en lignes) correspondent aux pas de temps (semaines, mois ou année). L'utilisation de l'ACP normée qui centre et réduit les données (ici par colonne) s'impose afin de masquer les différences d'unités de mesures et de dispersion entre les variables et donner le même poids à chaque variable (moyenne de chaque colonne nulle et variance égale à 1) :

$$Z_i^j = \frac{X_i^j - \bar{X}_j}{S_j}$$

\bar{X}_j est la moyenne de la variance j

S_j est son écart-type

L'ACP se fait ici à partir de la matrice de corrélation. La diagonalisation de cette matrice de corrélation (R) entre les variables centrées-réduites permet d'obtenir des valeurs propres λ qui représentent l'inertie projetée (la variance des individus) sur l'axe correspondant. Les valeurs propres sont décroissantes et leur somme qui correspond à l'inertie totale du nuage est égale au nombre de variables p .

$$R = \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & \dots & r_{1p} \\ \cdot & 1 & & \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ r_{p1} & & & 1 \end{pmatrix} \quad \theta \lambda_i = p$$

➤ **Analyse de résultats.** Les valeurs propres rendent compte du pourcentage d'inertie expliquée par chacun des axes principaux et permettent de sélectionner le nombre d'axes suffisants pour l'analyse. Il convient alors d'examiner les représentations graphiques des anciennes variables représentées dans le nouveau système d'axes. Le cercle de corrélation illustre les corrélations des variables avec les axes principaux et permet d'étudier l'organisation des variables dans le plan. La répartition des individus est, quant à elle, observée à partir de leurs coordonnées sur des axes principaux. Deux individus proches en distance présentent des valeurs proches pour l'ensemble des variables. La comparaison avec le cercle de corrélation permet de déterminer pour quelles variables les individus ou les groupes d'individus ont des valeurs élevées ou faibles.

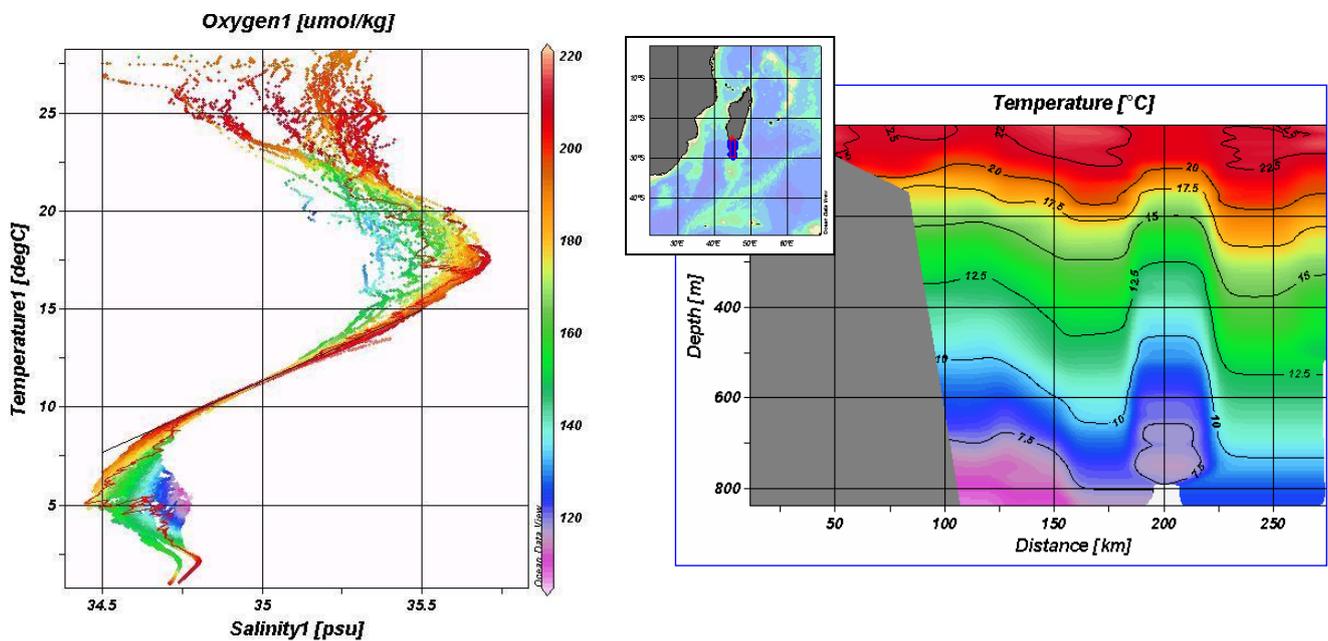
4.2.3. La structure et la dynamique marine du sud malgache

4.2.3.1. Les masses d'eau

Saetre et Da Silva (1984) subdivisent les masses d'eau de la région ouest de l'Océan Indien en: i) Eau de Surface Equatoriale (ESE), eau chaude et de faible salinité introduite dans la zone par le Courant Sud Equatorial ; ii) Eau Subtropicale (ES), eau d'origine Sud subtropicale et qui occupe le dessus des 3000m de la colonne d'eau du Sud du Canal tandis que dans la partie centrale elle est partiellement couverte par l'Eau de Surface Equatoriale. Cette eau est caractérisée par un maximum de salinité entre 200 et 300m ; iii) Eau Centrale (EC), eau située entre 300 et 600m et caractérisée par une courbe *T-S* quasi-linéaire et par la présence d'un maximum d'oxygène ; iv) Eau Intermédiaire Antarctique (EIA), eau de faible salinité d'origine Antarctique ; v) Eau Intermédiaire Nord Indien (EINI), eau de forte salinité formée dans la Mer d'Arabie avec la contribution de l'eau provenant de la Mer Rouge et du Golf d'Oman.

Les fonds caractéristiques de la partie sud du plateau continental malgache, notamment la ride de Madagascar, influe beaucoup sur la distribution des paramètres hydrologiques de la zone étudiée où le Courant Est de Madagascar amènent les masses d'eaux vers le sud (Grundlingh *et al.* (1991). L'irrégularité des flux, des lignes de côtes et des fonds marins engendrent des mécanismes de tourbillons ("eddies") et d'autres phénomènes turbulents (Grundlingh et Pearce, 1984 ; Grundlingh et Lutjeharms, 1977). La figure 46 ci-après montre le profil *T-S-O* et une section hydrologique (température de l'eau de mer) en zone d'upwelling sud malgache.

Figure 46. Profil *T-S-O* et section hydrologique (température de l'eau de mer) en zone d'upwelling sud malgache.



Ce profil caractéristique (données de CTD) montre une ESE relativement riche en oxygène, a température élevée et salinité variant entre 34.5 – 35.4 psu. Cette masse d'eau chaude puise son origine dans l'Océan Indien Subtropical (Wyrtki, 1971) à l'Est de 58°E entre 15° et 35°S. Elle atteint le Sud-ouest de l'Océan Indien vers la pointe sud de Madagascar où elle entre en contact avec l'Eau de Surface Tropicale de faible salinité (EST, $S < 35,0$ psu) et qui se propage vers le sud dans le Canal de Mozambique (Duncan, 1970). La superposition de l'Eau de Surface Tropicale sur l'Eau de SubSurface Tropicale produit un maximum de salinité subsurface vers 150 – 200 m (température entre 15-20°C) dans la zone de contact et vers le sud dans la Région des Aiguilles. On attribue à ce dernier, une affinité d'Eau de surface Subtropicale (ES).

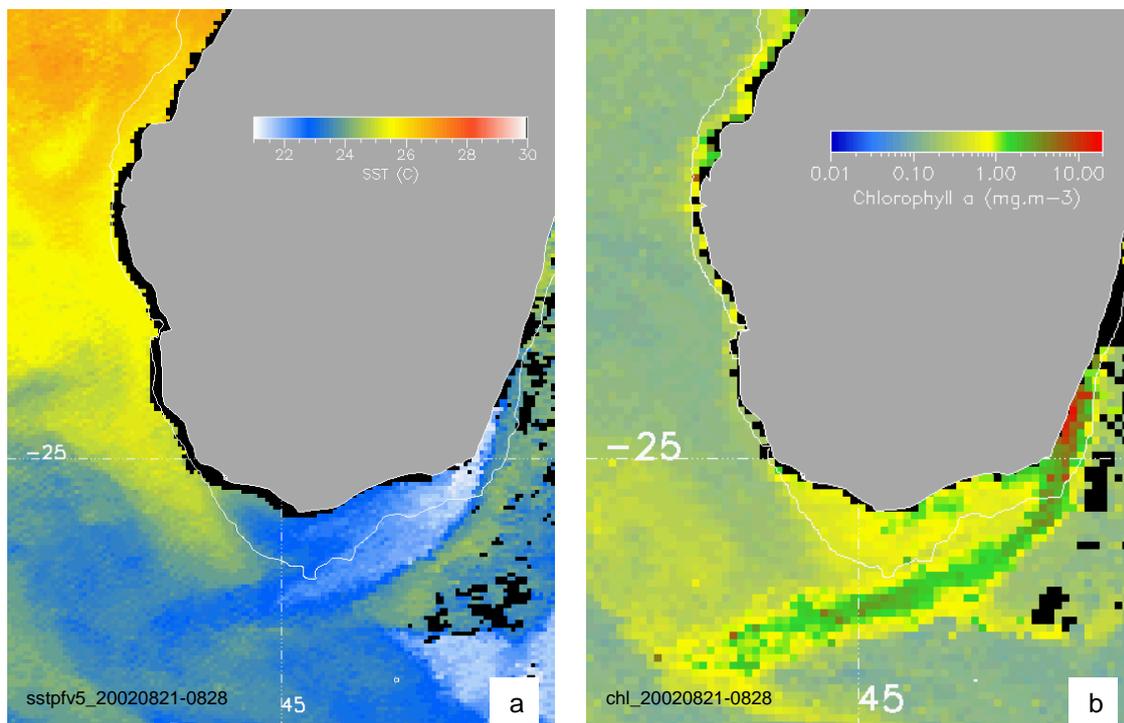
Au-dessous de 300m jusqu'au voisinage de 600 m, la corrélation *T-S* accuse une linéarité parfaite, à une température comprise entre 9°C et 12°C, une salinité comprise entre 34,80 psu et 35,10 psu. Sverdrup *et al.* (1942) appelle cette masse d'eau "Eau Centrale (EC)" et admettent que les points caractéristiques de cette eau s'aligne sur le diagramme *T-S* selon une droite définie par $T = 8^{\circ}\text{C}$, $S = 34,60$ psu et $T = 15^{\circ}\text{C}$, $S = 35,50$ psu. Une telle droite indique un mélange entre l'ES de salinité maximale et l'EIA à salinité minimale (Donguy et Piton, 1969). Vers les profondeurs de 1000 m, trois types d'eau se superposent. Un minimum de salinité signifie la présence de l'EIA (EIA, $T \sim 4 - 6^{\circ}\text{C}$, $\text{psu} < 34,6$, Clowes, 1950 ; Duncan, 1970)

s'infiltrant vers le nord dans la zone Sud de l'Océan Indien et qui retourne vers le sud dans le sens contraire de l'aiguille d'une montre (anticyclonique). L'autre type d'eau montre une température comprise entre 6,5°C et 4°C, une salinité plus élevée supérieure à 34,70 psu atteignant un maximum de 34,78 psu environ.

4.2.3.2. Les variations interannuelles et saisonnières de l'intensité de l'upwelling sud malgache

La figure 47 ci-après montre les images composites de la température de surface (°C) et des teneurs en chlorophylle-*a* de la zone d'étude (-20°S à -28°S et 42°E à 48°E).

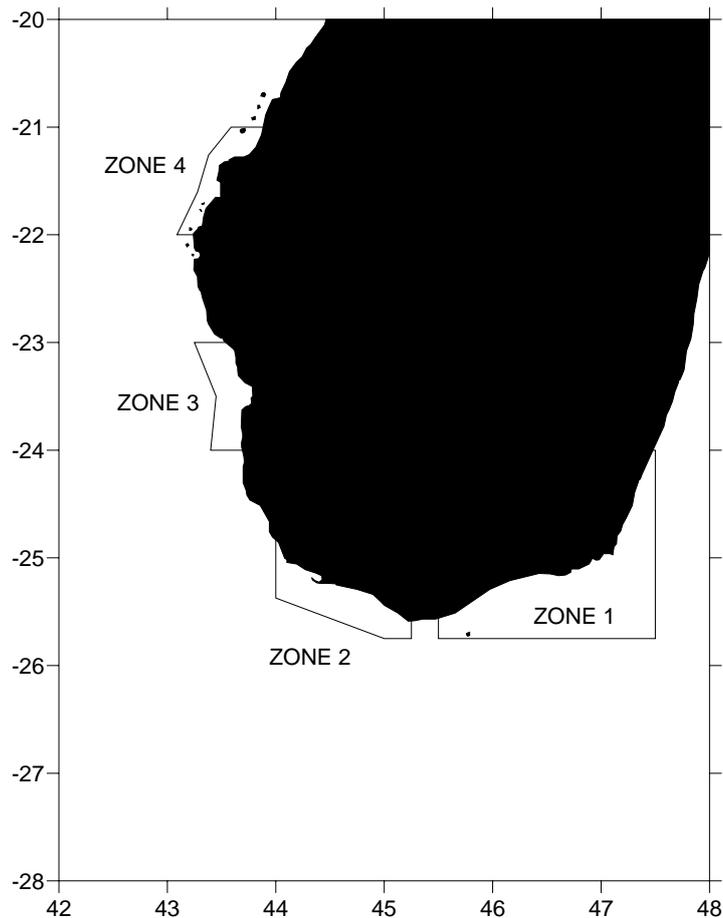
Figure 47. Représentation composite de la température de surface (°C) et des teneurs en chlorophylle-*a* ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$). (a) TSM de AVHRR Pathfinder v5.0, résolution 4 km ; (b) Chl-*a* de SeaWifs (sur la même période), résolution 9 km. Remarquez l'analogie entre l'extension spatiale de la TSM et celle de la Chl-*a*. (Bemiasa, 2007)



Dans toutes les séries, les valeurs manquantes ont été estimées à l'aide des valeurs existantes adjacentes par la méthode d'interpolation des valeurs manquantes du logiciel STATISTICA. Afin de pouvoir quantifier, comparer les variations spatio-temporelles de chaque paramètre

(TSM, CHL et Vents) et obtenir des séries temporelles qui pourront être analysées, des zones ont été définies le long du littoral sud et sud-ouest. Quatre zones dont les limites géographiques ont été définies en fonction de critères objectifs d'homogénéité thermique et chlorophyllienne issue de la carte de TSM et de la couleur de l'eau (SeaWifs) (Figure 48).

Figure 48 : Zones extraites en fonction de critères d'homogénéité thermique et chlorophyllienne



Zone 1 : sud-est, Tolagnaro (foyer d'upwelling)

Zone 2 : sud, Cap Andriamanao

Zone 3 : sud-ouest, Toliara

Zone 4 : sud-ouest, Morombe

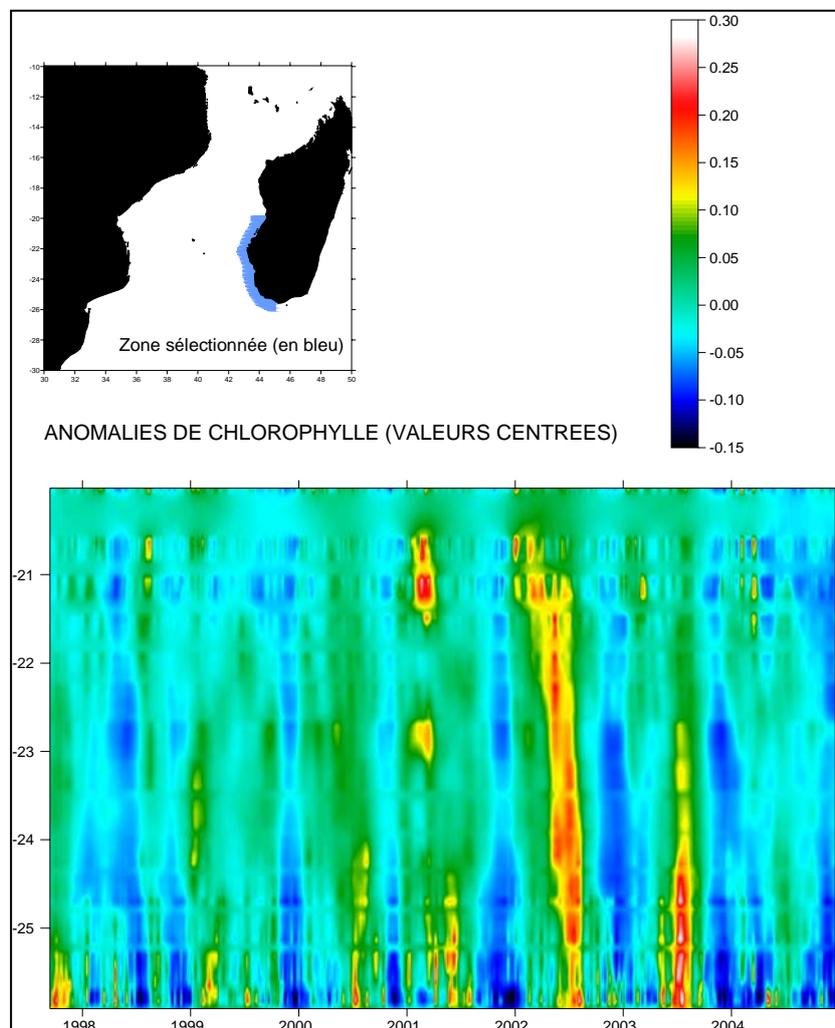
Différentes analyses ont été réalisées à partir des données thermiques, chlorophylliennes et du vent satellitaires et respectivement moyennées hebdomadairement (8 jours) sur la période

1997-2007. Les séries finales extraites de ces données de variables environnementales sont présentées en annexe.

a. La variabilité interannuelle en Chlorophylle-*a*

Les variations interannuelles de l'intensité de l'upwelling (production primaire) du sud malgache sur la période 1997-2006 sont illustrées sur la figure 49.

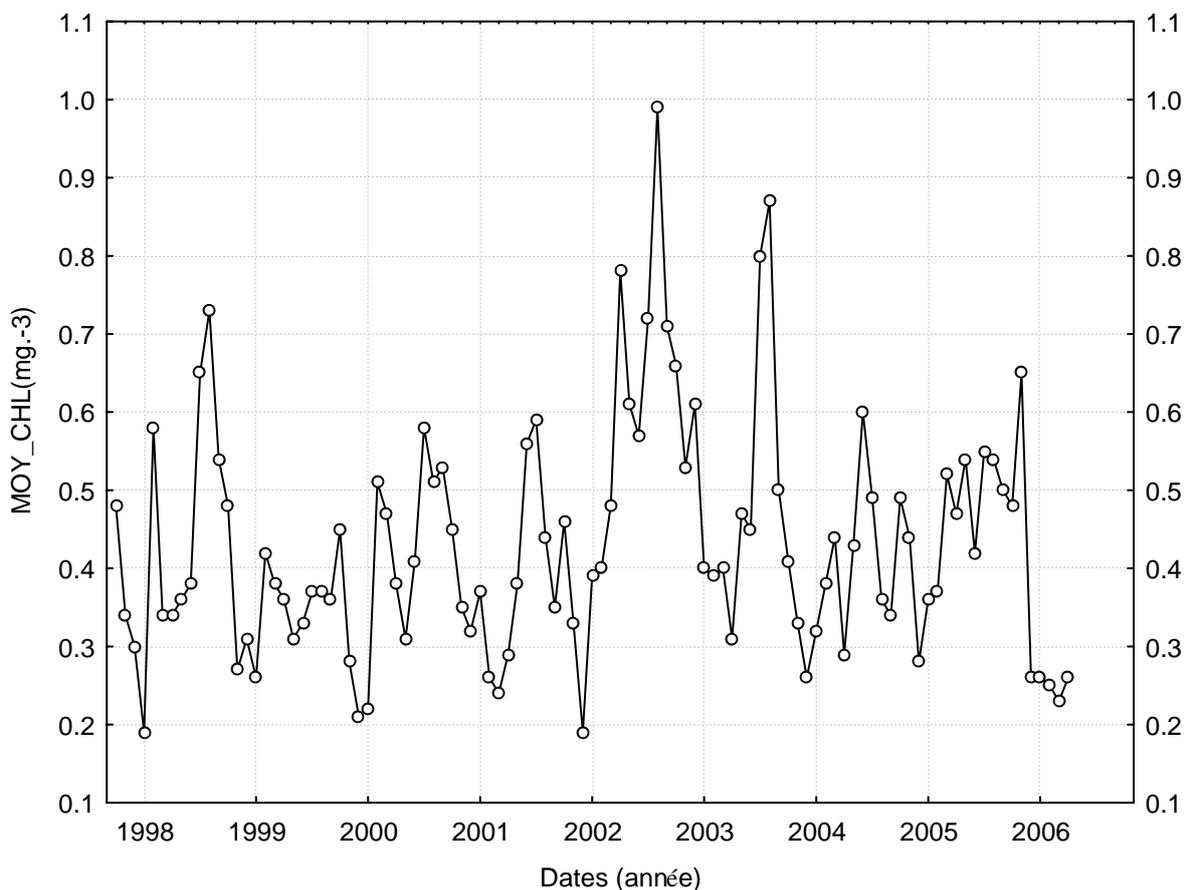
Figure 49-a : Evolution interannuelle de l'intensité de l'upwelling sud malgache (Chl-*a* SeaWifs: mg.m^{-3}) sur la période 1997-2006. (Source : Bemiasa, 2007)



L'analyse de la variabilité de la teneur en chlorophylle-*a* (production primaire) dans la zone de pêche aux anchois, poulpes et calmars montre une forte évolution interannuelle entre les

latitudes -20°S et -26°S sur la période 1997-2006. En général, et en terme de variation spatiale, le secteur sud de la zone étudiée (lat. -24°S - 26°S) est plus riche en chlorophylle-*a* que celui du nord (voir aussi Fig. 50). Cependant, des endroits plus riches en chlorophylles ($0.10 - 0.30 \text{ mg.m}^{-3}$) sont observés, notamment au niveau des latitudes -21°S , -23°S et -25°S pour l'année 2001. Le long de la côte sud-ouest, l'année 2002 apparaît comme la période d'intensification la plus marquée du bloom phytoplanctonique de la zone. L'année 2001 est caractérisée par quelques patterns de bloom, notamment au niveau de la latitude -21S , suivie par une activité d'upwelling non moins importante en 2003 entre $-22,5\text{S}$ et -26S .

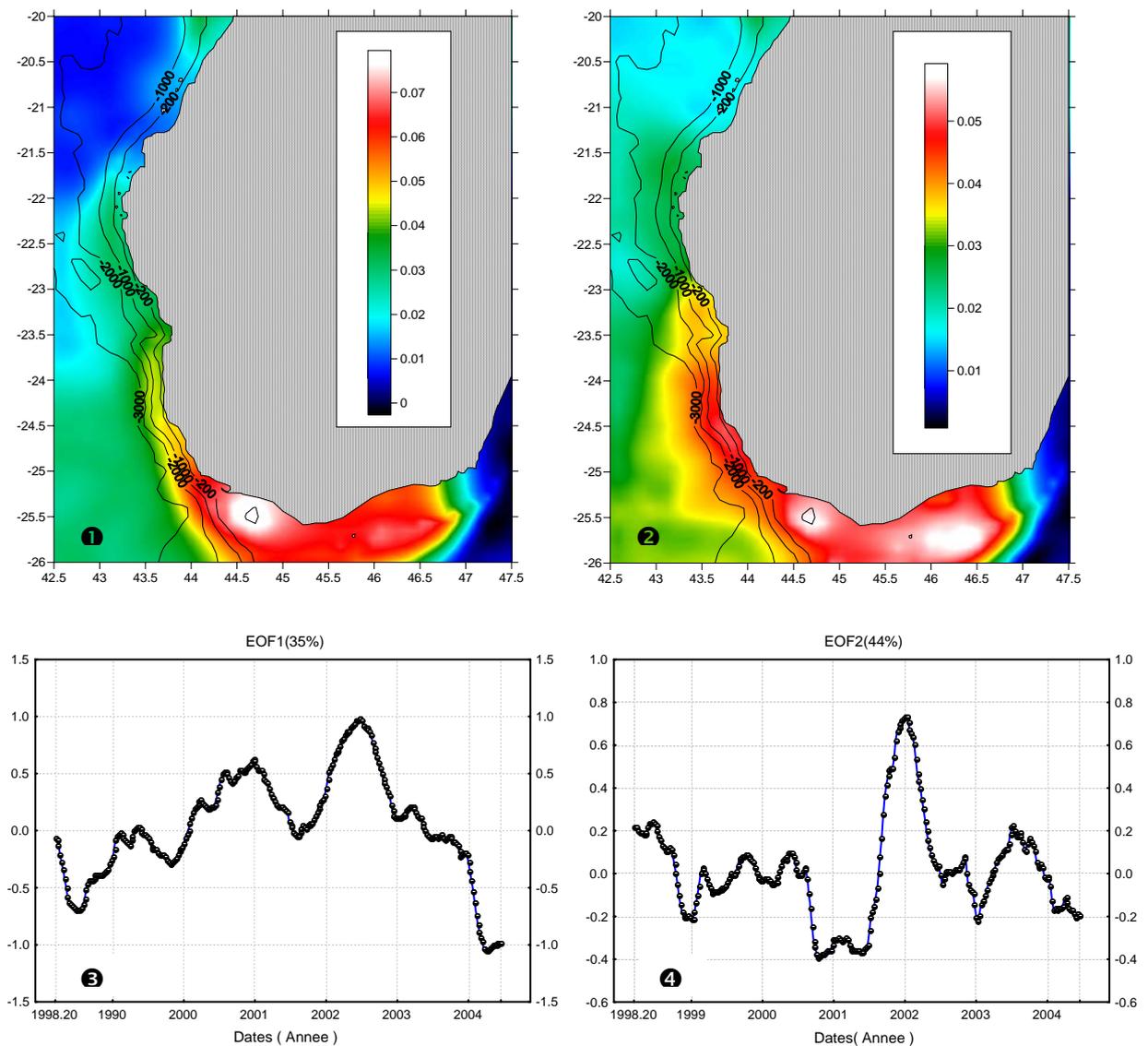
Figure 49-b : Evolution interannuelle de l'intensité d'activité de l'upwelling sud malgache (CHL-*a* SeaWifs: mg.m^{-3}) sur la période 1998-2006.



Par la méthode EOF (*Empirical Orthogonal Function*) nous avons pu décomposer la variabilité spatiale et temporelle contenue dans les images satellite, en composante spatiale et temporelle (Nezlin et McWilliams, 2003). Ceci permettrait d'avoir une vision synoptique des variations spatio-temporelles de la concentration de la chlorophylle-*a* dans la zone étudiée. A

titre de résultat obtenu, la figure 49 montre les motifs spatiaux et les séries temporelles de deux EOFs représentant 35% et 44 % de la variance totale sur les données centrées.

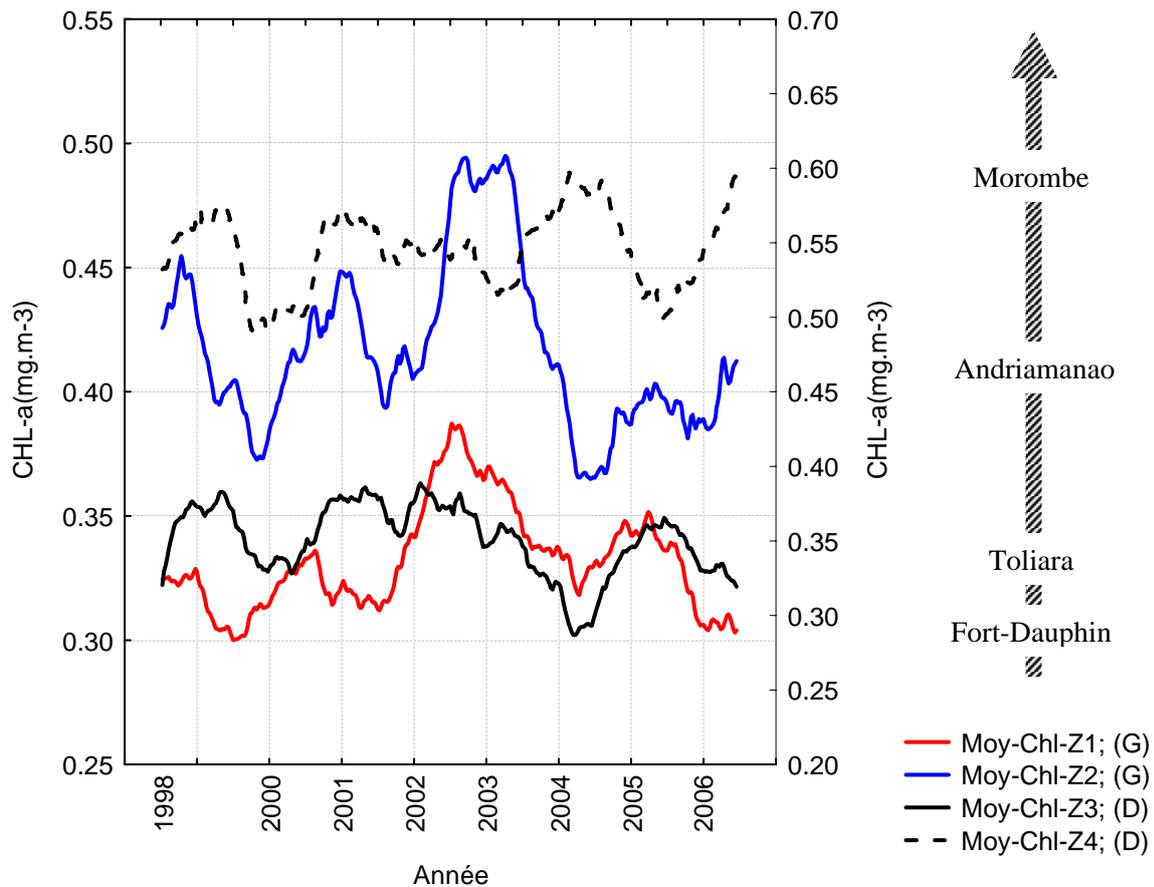
Figure. 50 EOF appliqué sur les images à valeurs centrées (anomalies type 1). Eh haut, les composantes spatiales (1 et 2), et en bas les composantes temporelles (3 et 4). La concentration en chlorophylle est exprimée en mg.m^{-3} . (Source : Bemiasa, 2007)



Le résultat de cette première analyse montre des variations interannuelles significatives : des années de forte production en 1997 (pendant l'hiver austral), 2002 et 2003 ; des années de faible production en 1998, 2000 et 2004 ; et des années montrant des valeurs intermédiaires en 1999 et 2001.

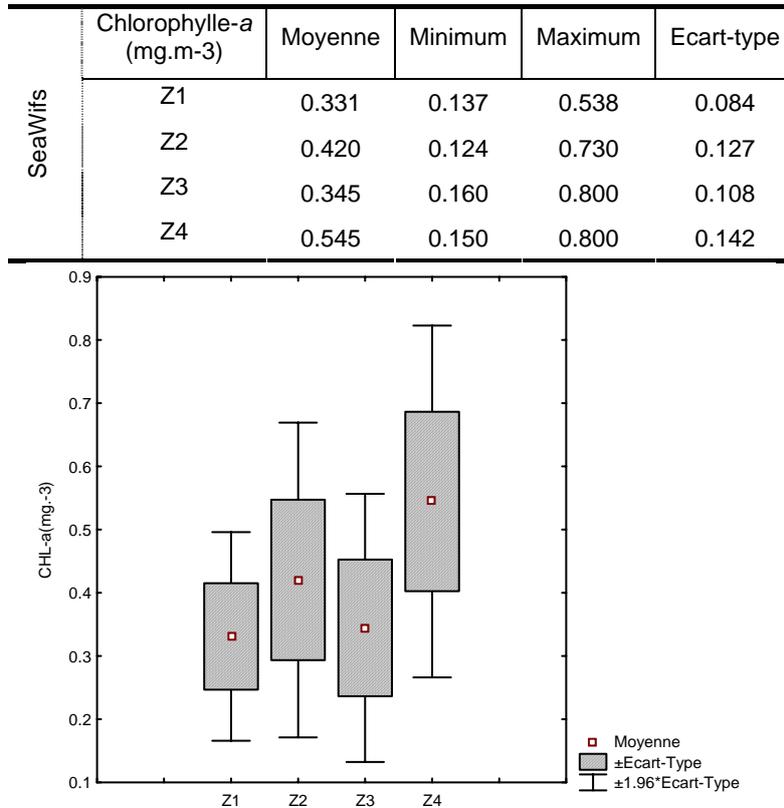
L'analyse des séries de valeurs moyennes de chlorophylle-*a* montre une certaine variabilité entre les quatre zones prédéfinies (Figure 51). Il est rare d'observer 2 ou 3 années consécutives de même intensité d'activité de production primaire dans la région. La variabilité annuelle au niveau de Z1 (Tolagnaro) apparaît globalement moins forte avec une moyenne

Figure. 51. Evolution annuelle de la production primaire (Chl-*a* SeaWifs : mg.m⁻³) dans les principales zones de pêcheries traditionnelles du sud et sud-ouest malgache.



de 0,331 mg.m⁻³ de chlorophylle-*a* (Figure 52), suivie de Z3(Toliara). Z4 présente la plus forte valeur moyenne (0,54 mg.m⁻³), alors que les valeurs observées au niveau de Z2 varient autour de 0,42 mg.m⁻³. Cette tendance à la hausse du signal annuel des valeurs moyennes dans l'axe sud-nord amène à se demander s'il existe ou non des corrélations liant les séries de Chl-*a* extraites de quatre zones entre elles. En d'autres termes, est-ce que la production primaire de Z1 est précurseur de celles des trois autres zones (Z2, Z3 et Z4) ou encore, est-ce que l'upwelling du sud constitue la principale source d'enrichissement des zones de pêcheries du sud-ouest.

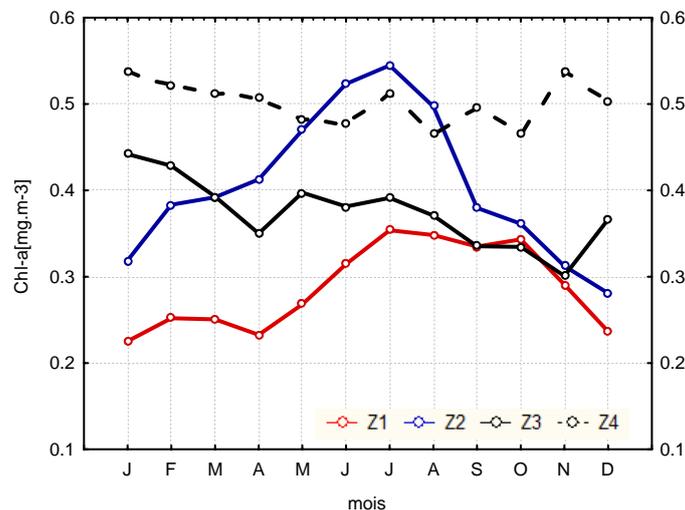
Figure. 52. Moyenne et dispersion des valeurs annuelles de concentration en Chl-*a* dans les principales zones de pêcheries traditionnelles sud et sud-ouest malgache sur la période 1997-2006.



Si l'on considère les variations saisonnières, les blooms chlorophylliens ont surtout lieu pendant l'hiver austral (Figure 53), quoique l'activité de l'upwelling soit permanente.

b. Fluctuations saisonnières en Chlorophylle-*a*

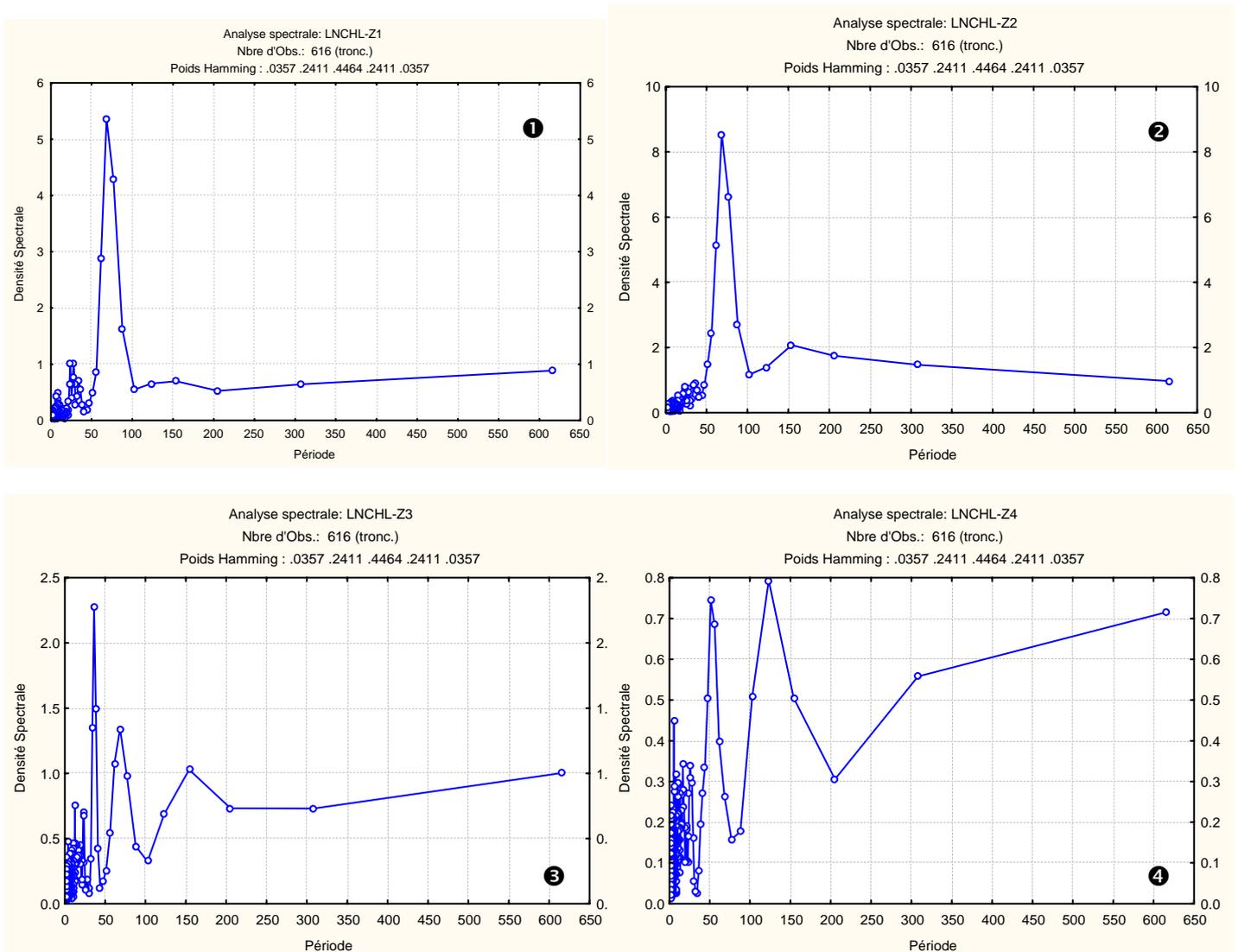
Figure. 53. Cycles saisonniers moyens de la production primaire au large des côtes sud et sud-ouest de Madagascar sur la période 1997-2006.



Conformément aux connaissances sur la dynamique de l'upwelling sud malgache (Lutjeharms et Machu, 2000; Chung-Ru *et al.*, 2004; Bemiasa, 2007), le cycle saisonnier moyen (Figure 53) illustre la permanence du phénomène d'enrichissement sur les côtes sud et sud-ouest. La chronologie du processus d'enrichissement est relativement identique entre Tolagnaro (Z1) et Cap Andriamanao (Z2), avec une activité maximale pendant l'hiver austral (*juin-août*). Pour les deux zones, le pic de la production primaire est atteint vers le mois de *juillet*. L'upwelling (Z1) reste actif depuis *mai* jusqu'au mois d'*août* et diminue d'intensité dès *novembre*. Le minimum de production s'observe donc pendant l'été austral (*novembre-mars*). Toliara (Z3) et Morombe (Z4) ne montrent pas de cycles saisonniers bien définis quoique les amplitudes de leurs variations saisonnières restent cependant importantes.

Des analyses spectrales (Transformation de Fourier) appliquées aux séries Z1, Z2, Z3 et Z4 (Figure 54) permettent d'identifier les caractéristiques de chaque zone et la nature des relations entre elles.

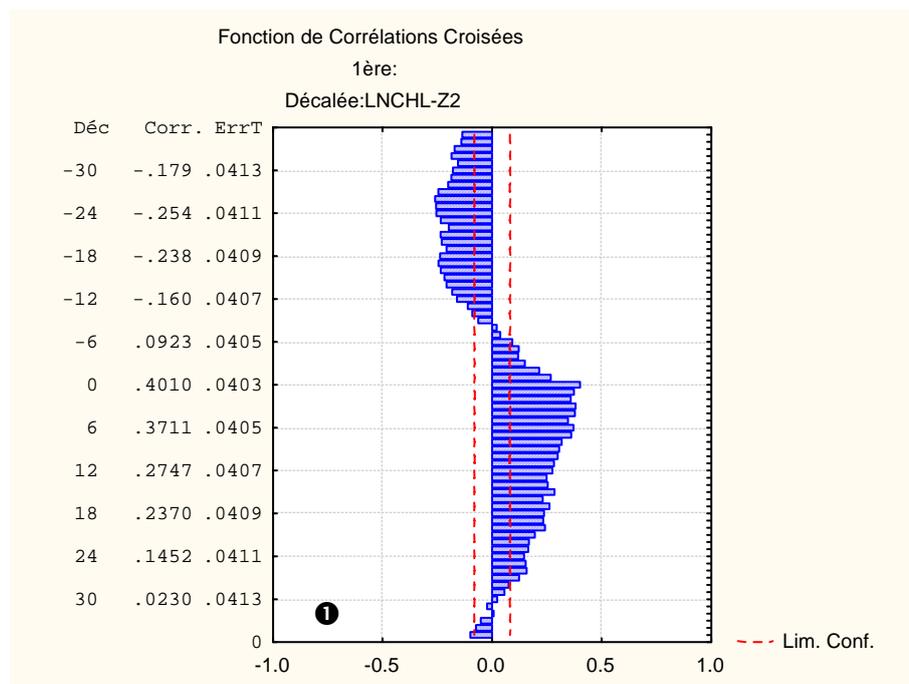
Figure. 54. Analyse spectrale (Transformation de Fourier) appliquée aux séries chl-*a* de Z1, Z2, Z3 et Z4. Les valeurs sont les LN des séries périodiques de 5 jours entre 1997-2006.



Au niveau de Z1 (Fig. 54.1), la densité spectrale la plus importante (5,37) correspond à une période de 68,44. Ce qui explique le caractère cyclique de l'activité de l'upwelling de cette zone de l'ordre de 367,52 jours, c'est-à-dire annuel. La série de Z2 (Fig.54.2) montre pour une même période (68,44) une densité spectrale plus importante de l'ordre de 8,57. Ce qui lui confère une cyclicité supérieure d'une année et demie (586,53 jours). Les séries de Z2 et Z3 ne montre pas un phénomène cyclique bien défini (Fig. 54.3 et 4).

L'analyse des corrélations (Fonction de Corrélation Croisées) entre les séries par la méthode de décalage permet de déceler l'intensité des relations entre les zones (Figure 55).

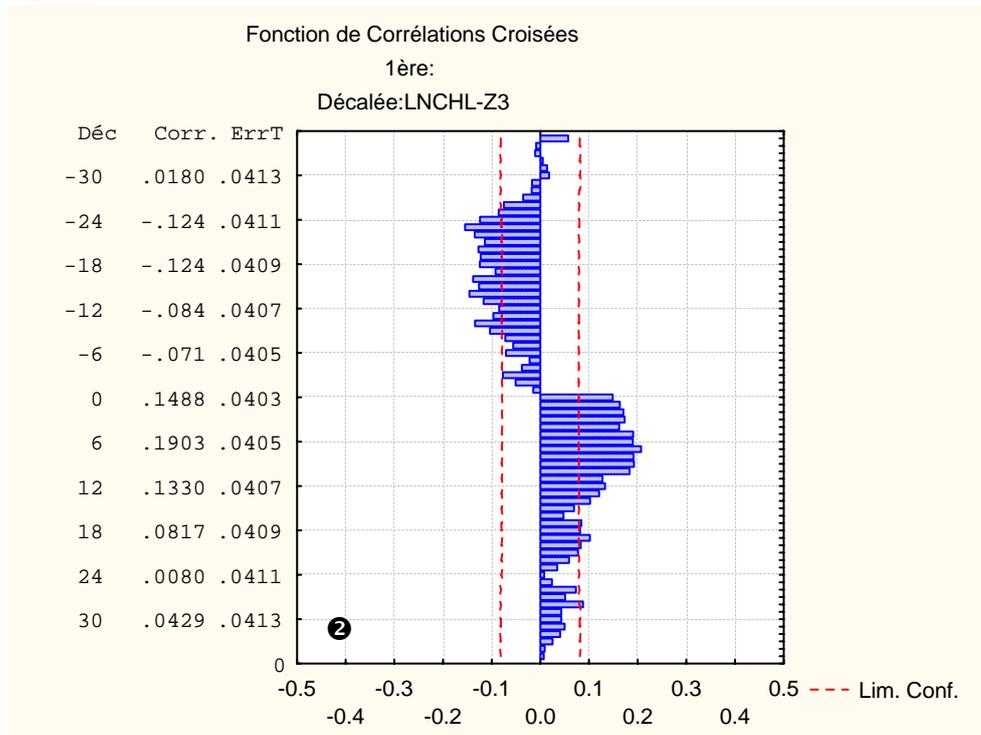
Figure. 55. Analyse des corrélations (Fonction de Corrélation Croisées) appliquées aux séries chl-*a* de Z1, Z2, Z3 et Z4. Les valeurs sont les LN des séries à période de 5 jours entre 1997-2006.



On a décalé la série Andriamanoa (Z2) de -6 à 6 mois (-35 à +35 périodes de 5 jours) par rapport à la série Tolagnaro (Z1) (Fig. 55.1) La plus forte corrélation est sans décalage (synchronie parfaite). Du fait que les corrélations restent élevées et positives quand on décale Z2 en temps croissant, cela signifie que ce sont bien les cycles de Z1 qui précèdent ceux de Z2. Quand on recule Z2 dans le temps, les corrélations tombent rapidement, ce qui confirme

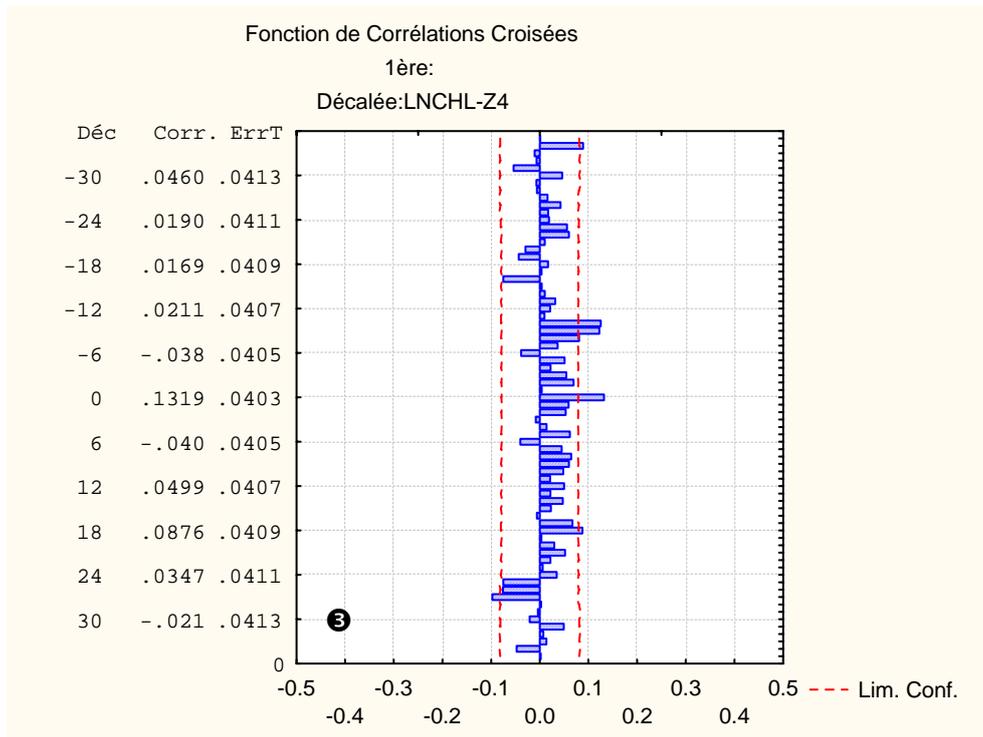
bien le fait que Z1 est précurseur de Z2. En d'autres termes, la plus grande partie de l'enrichissement de la zone Cap Andriamanao dépend de l'upwelling de Tolagnaro.

Figure. 55 (suite). Analyse des corrélations (Fonction de Corrélations Croisées) appliquées aux séries chl-a de Z1, Z2, Z3 et Z4. Les valeurs sont les LN des séries à période de 5 jours entre 1997-2006.



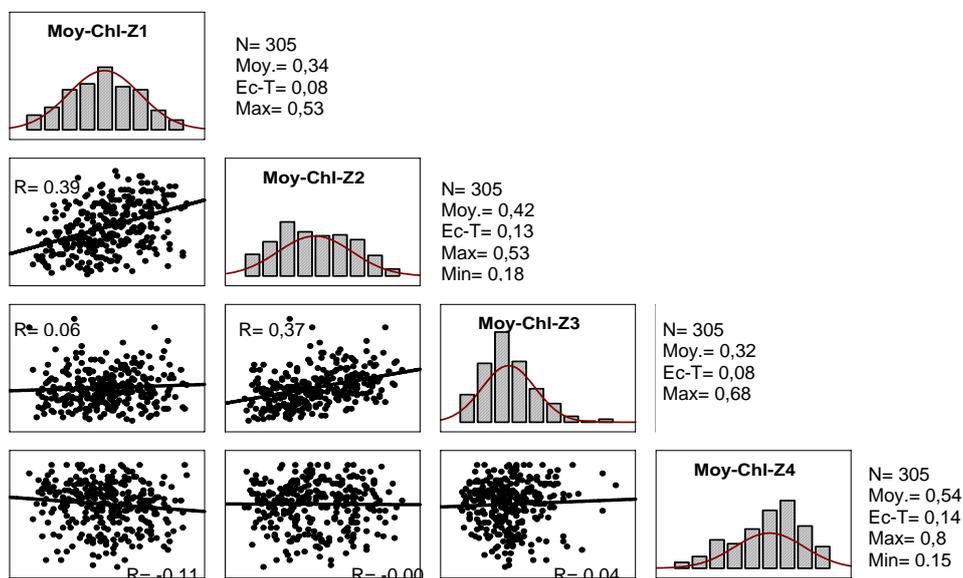
On a décalé Toliara (Z3) par rapport à Andriamanao (Z2). Les corrélations restent positives dans la gamme 0-50 jours et négatives avant. Cela tendrait à prouver que Z2 est précurseur sur Z3 ? Mais les coefficients de corrélations très faibles indiquent que le couplage est assez restreint, voire inexistant car il s'étale sur une longue période (cela pourrait correspondre à de fausses corrélations dues à des événements stochastiques locaux).

Figure. 55(suite). Analyse des corrélations (Fonction de Corrélations Croisées) appliquées aux séries chl-*a* de Z1, Z2, Z3 et Z4. Les valeurs sont les LN des séries à période de 5 jours entre 1997-2006.



On a décalé la série Morombe (Z4) par rapport à celle de Toliara (Z3). Aucun signal cyclique dans les corrélations et les valeurs très faibles témoignent l'absence de couplage entre ces 2 zones. La régression multiple réalisée sur les séries des quatre zones montre une certaine relation entre les zones (Figure 56).

Figure. 56. Analyse des corrélations (Régression multiple) appliquées aux séries chl-*a* de Z1, Z2, Z3 et Z4 sur la période 1997-2006. La série de Z1 (Tolagnaro), variable indépendante et Z2 (Andriamano), Z3(Toliara) et Z4(Morombe) considérées comme variables dépendantes.



Seules Z1-Z2, Z1-Z3 et Z2-Z3 montrent des valeurs de R positives, témoignant ainsi l'influence de Z1 sur les Z2 et Z3. Au-delà de Toliara (Z3), vers le nord, l'influence de Z1 est inexistante.

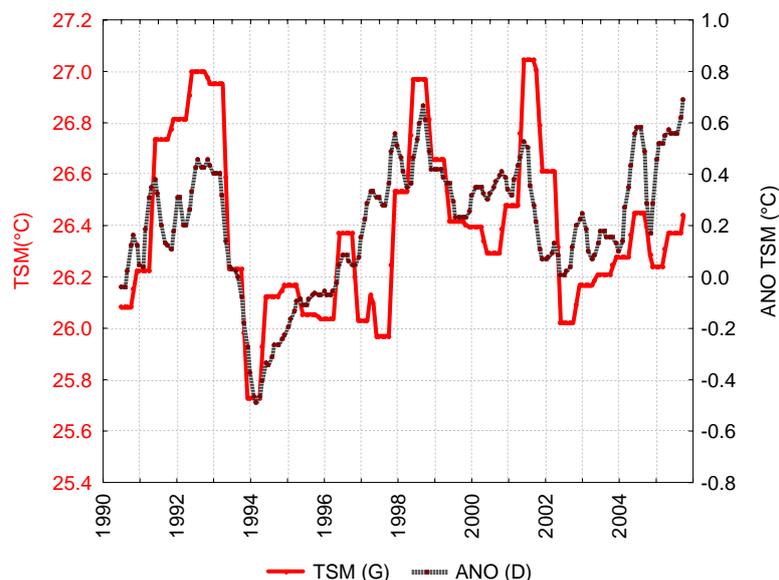
En conclusion, on peut avancer une hypothèse et dire que l'enrichissement des zones de pêche du sud-ouest est influencé par le processus d'upwelling permanent (Lutjeharms et Machu, 2000; Chung-Ru *et al.*, 2004; Bemiasa, 2007) du sud malgache (au moins jusqu'au niveau de la latitude -24°S: Zone 3) et d'un probable transport vers le nord de cette production. D'autres phénomènes locaux peuvent être à l'origine de l'enrichissement des zones plus au nord, notamment des apports terrigènes.

4.2.3.3. Les variations interannuelles et saisonnières de la température de surface de la mer

a. Variabilité interannuelle de la température

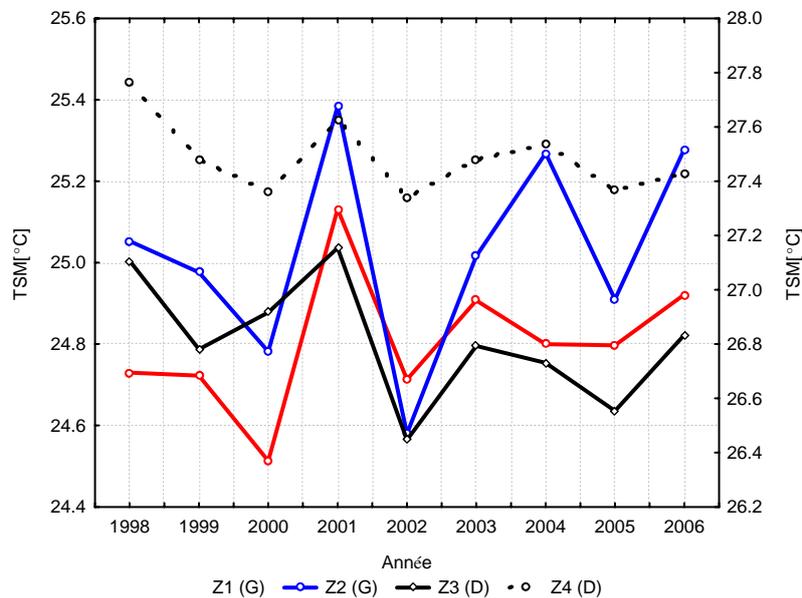
L'évolution interannuelle de la TSM montre trois périodes de forte transition entre anomalies positives et négatives : 1993-1994, 1998-1999 et 2001-2002 (Figure 57 et 58). On ne note pas une tendance significative sur le long terme. Globalement, les valeurs de la température de surface de la mer fluctuent autour d'une moyenne relativement constante sur les 17 années d'observations : 26,43°C.

Figure. 57. Evolution interannuelle de la température de surface de la mer (TSM GAO) dans les principales zones de pêcheries traditionnelles du sud-ouest de Madagascar sur la période 1990-2006.



Les variations annuelles de la température sont globalement synchrones entre les quatre zones (Figure 58). Elles sont parfois importantes et la température de surface de la mer fluctue entre 21,9°C et 28,9°C au niveau de la zone d'upwelling (Z1), entre 21,7°C et 30°C sur Cap Andriamano (Z2), entre 23,6°C et 31,2°C sur Toliara (Z3) et entre 23,8°C et 31,4°C au niveau de Morombe (Z4). La variabilité interannuelle est plus réduite au niveau de la zone d'upwelling (écart-type 1,68 contre 2,00, 2,15 et 2,19 pour les trois autres zones).

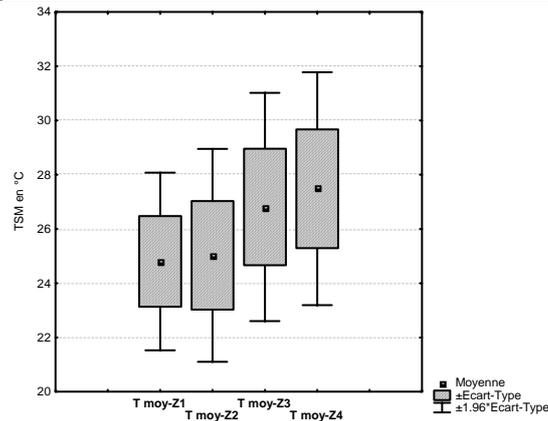
Figure. 58. Evolution interannuelle de la température de surface de la mer (TSM Pathfinder v.5) dans les principales zones de pêcheries traditionnelles du sud-ouest de Madagascar sur la période 1998-2006.



On observe un léger gradient thermique positif de Z1 (zone d'upwelling) à Z4 (Morombe) (Figure 58 et 59).

Figure. 59. Moyenne et dispersion des valeurs de la TSM dans les principales zones de pêche traditionnelles du sud-ouest de Madagascar sur la période 1998-2006.

Pathfinder v5	TSM en °C	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart-type
Z1		24.804	21.854	28.813	1.671
Z2		25.029	21.690	30.293	2.002
Z3		26.813	23.538	31.233	2.147
Z4		27.485	23.730	31.400	2.189



b. Les fluctuations saisonnières de la température de surface de la mer

Les variations saisonnières de la TSM sont très marquées et très régulières d'une année sur l'autre (Figure 60). L'amplitude du signal saisonnier ne montre pas de différence notable entre les quatre zones. La saisonnalité apparaît également très constante dans l'espace puisque les cycles saisonniers sont synchrones le long des côtes sud et sud-ouest malgaches. La TSM diminue à partir de mars pour atteindre la minimale en hiver, de juin à août (Figure 61). La température augmente dès le début d'été austral de septembre pour atteindre au maximum de décembre à février. Les minima de l'amplitude des variations saisonnières sont beaucoup plus faibles au niveau de la latitude -26°S que dans les deux autres zones plus au nord. On peut avancer une hypothèse que jusqu'à ce niveau, le cycle thermique est influencé par le processus d'upwelling du sud.

Figure. 60. Composante saisonnière de la TSM extraite de série hebdomadaire (8 jours) sur la période 1970-2005.

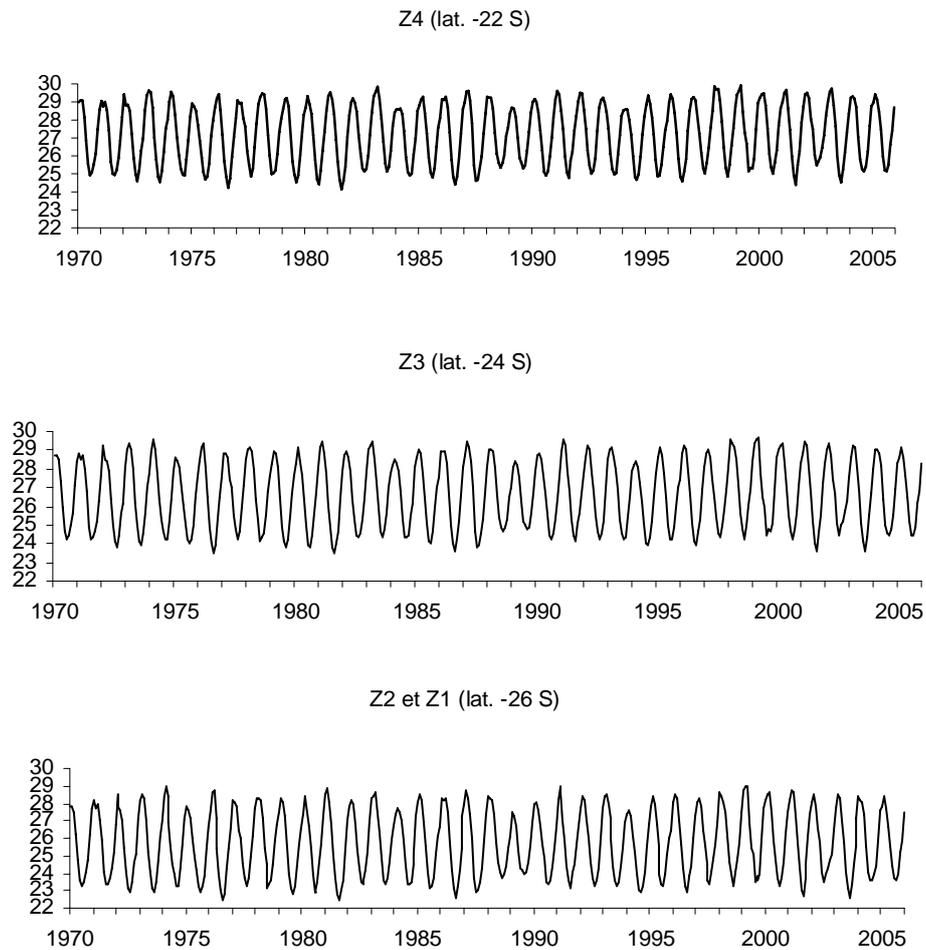
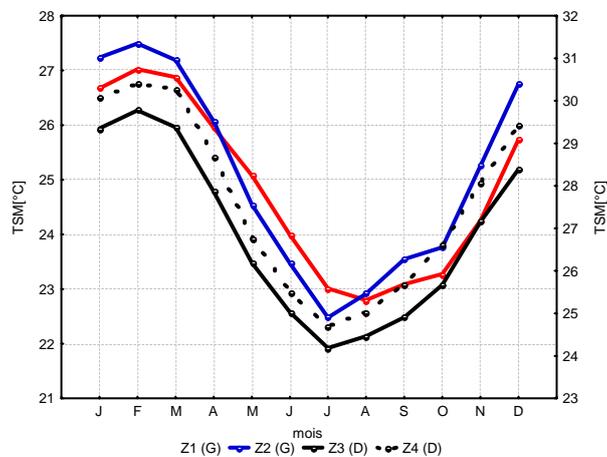
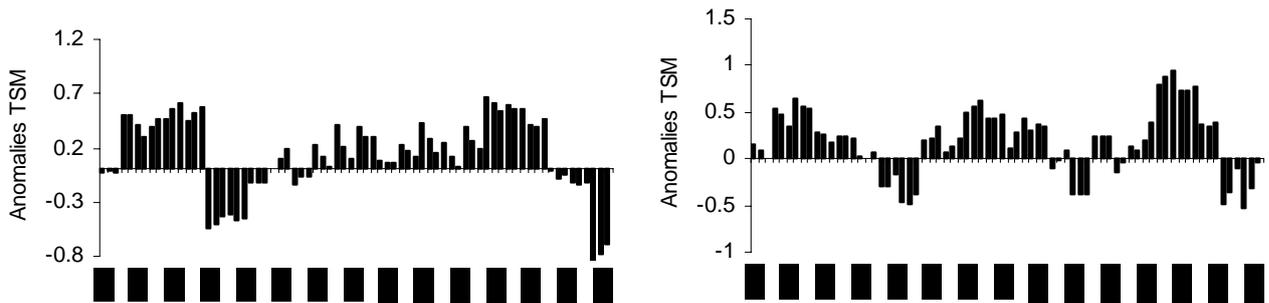


Figure. 61. Cycles saisonniers moyens de la température de surface de la mer dans les principales zones de pêcheries traditionnelles du sud-ouest de Madagascar. Le cycle moyen est calculé à partir des données satellitales sur la période 1998-2006 sur l'ensemble des zones.



Les composantes résiduelles obtenues après extraction du signal saisonnier et tendance aux séries mensuelles montrent de nombreuses anomalies thermiques positives et négatives (Figure 62).

Figure. 62. Anomalies saisonnières de la TSM au large des côtes sud-ouest malgaches au cours des périodes de passage massif des populations d’anchois sur la pêche. Données extraites de la composante résiduelle issue de la décomposition des séries temporelles (tous les 10 jours).



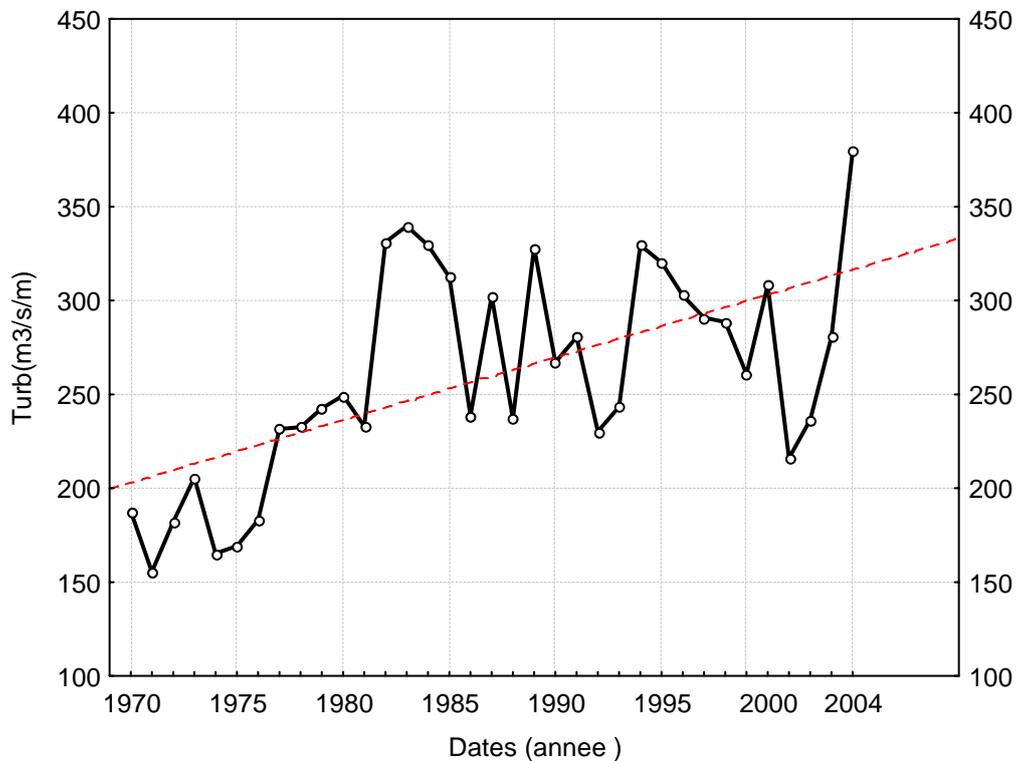
Une attention particulière est portée aux années précédant les passages massifs des anchois (Figure 62). Les années 1987 et 1986 sont caractérisées par des anomalies négatives particulièrement forte pendant l’hiver (juin – août 1987) et en été 1988 (octobre-décembre). De la même façon, l’hiver de l’année 2001 (juillet-août) est marqué par des anomalies négatives de TSM ainsi que les mois d’avril et juin pour l’année 2002.

4.2.3.4. Les variations interannuelles et saisonnières de la turbulence

a. Variabilité interannuelle de la turbulence

L’évolution interannuelle de la turbulence moyenne annuelle de 1970 à 2004 est représentée ci-dessous (Figure 63). On observe une tendance générale à la hausse de la turbulence dans l’ensemble des zones sur la période 1970-2004.

Figure. 63. Evolution interannuelle de la turbulence associée au vent au large des côtes sud et sud-ouest de Madagascar sur la période 1970-2004.



Dans l'ensemble de la zone, l'intensification de la turbulence est particulièrement marquée durant les années 1982-1984, 1994, 2000 et 2004. Dans cette région, la turbulence maximale est observée en 2004 ($380,67 \text{ m}^3/\text{s}^3$). Du sud au nord, l'intensification évolue de manière synchrone et de même ordre de grandeur (Figure 64).

Figure. 64. Evolution interannuelle de la turbulence au niveau des quatre principales zones du sud et sud-ouest de Madagascar sur la période 1970-2004.

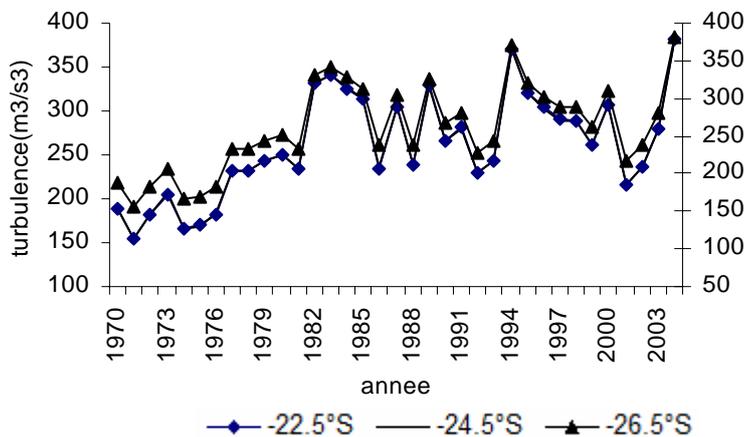
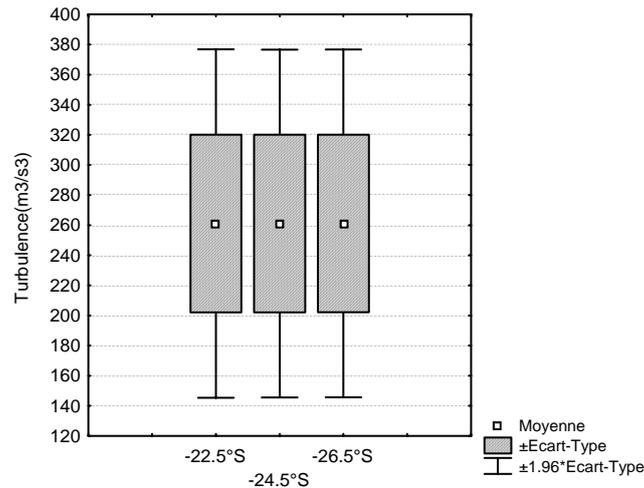


Figure. 65. Moyenne et dispersion des valeurs de la turbulence au niveau de quatre principales zones du sud-ouest de Madagascar sur la période 1970-2004.

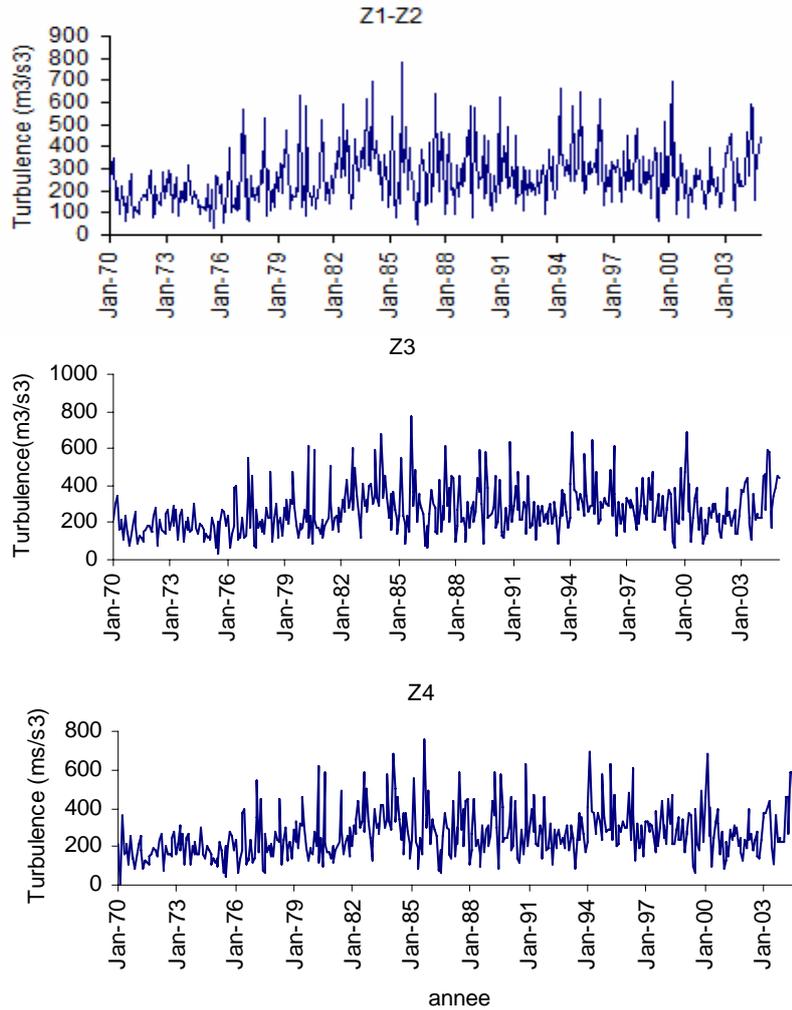
Turbulence (m3/s3)		Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart-type
	-22.5°S	261.081	154.988	381.808	59.03232
	-24.5°S	261.105	155.286	381.351	58.94591
	-26.5°S	261.166	155.801	380.675	58.93917



b. Variabilité saisonnière de la turbulence

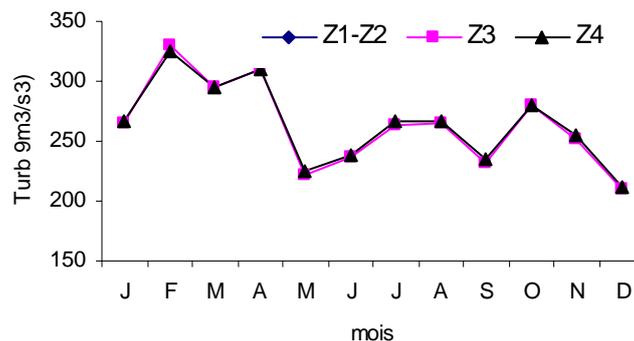
La turbulence générée par le vent varie saisonnièrement en relation avec les variations d'intensité de mousson et/ou des alizés. Les variations saisonnières semblent s'amplifier depuis 1976 dans l'ensemble de la région et particulièrement en 1986 et 2001. Les cycles saisonniers moyens de la turbulence sont représentés sur Figure 66.

Figure. 66. Composante saisonnière extraite des séries des valeurs de la turbulence au niveau de quatre principales zones du sud-est, sud et sud-ouest de Madagascar sur la période 1970-2004.



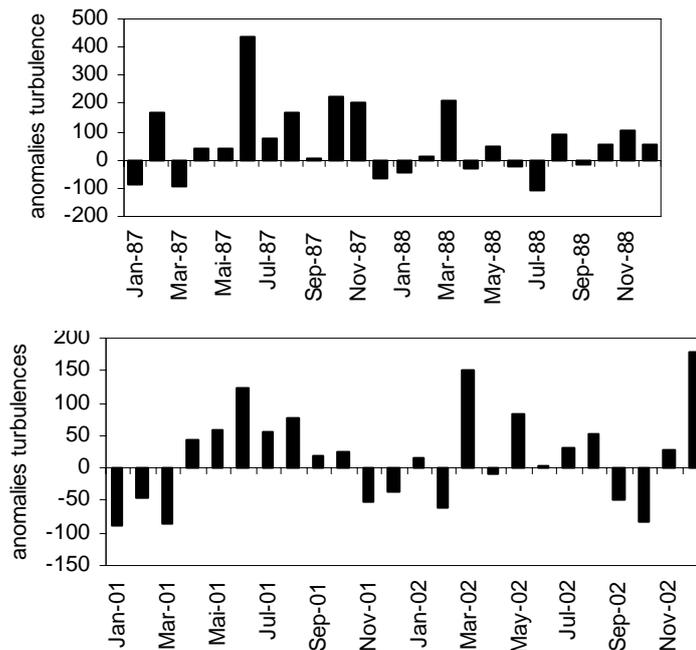
On observe une forte homogénéité spatiale de la turbulence le long de la côte sud et sud-ouest malgache (Figure 67). En générale, la turbulence est maximale pendant les mois de février, mars et avril. Elle diminue a partir du mois de mai et reste globalement stable jusqu'en décembre.

Figure. 67. Cycles saisonniers moyens de la turbulence au niveau de quatre principales zones du sud-ouest de Madagascar sur la période 1970-2004.



Les anomalies observées une fois la saisonnalité extraite aux séries témoignent de nombreuses anomalies positives au cours des années 1987 et 2001 (Figure 68). Ces anomalies positives précèdent les périodes de passages massifs des anchois les années 1988 et 2002.

Figure. 68. Anomalies saisonniers de la turbulence au large des côtes sud-est, sud et sud-ouest de Madagascar au cours du passage massif des anchois en 1987-1988 et 2001-2002. .



4.2.4. Analyse descriptive et multivariée des fluctuations environnementales

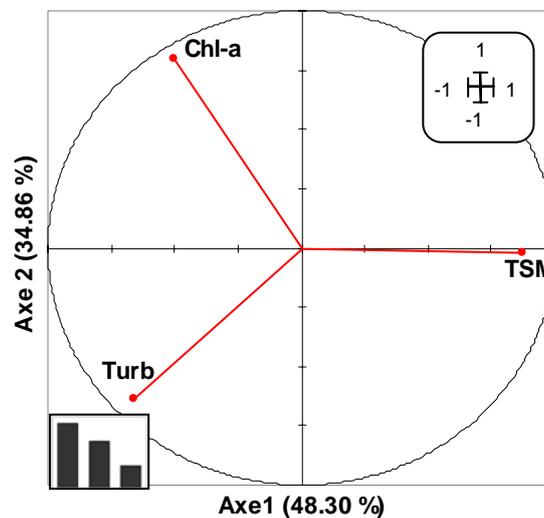
L'analyse détaillant de l'évolution de chacun des paramètres environnementaux a permis de caractériser leurs fluctuations et de les comparer d'une zone à l'autre. Cependant, la prise en compte des importances relatives des différentiels paramètres environnementaux clés ou des combinaisons environnementaux auxquelles sont soumises les populations à un instant donné s'est bien souvent révélée importante dans les études des relations entre environnement et recrutement des espèces marines (Cury et Roy, 1989; Bakun, 1996). Une telle approche sera réalisée par le biais d'analyses en composantes principales permettant une caractérisation multivariée des paramètres environnementaux.

4.2.4.1. Analyse à l'échelle de l'année

Une analyse prenant compte les valeurs annuelles des 3 variables environnementales (Chl-*a*, TSM et Turbulence) sur la période 1998-2006 est réalisée (Figure 69).

- **Zone 1-(Tolagnaro) : zone d'upwelling**

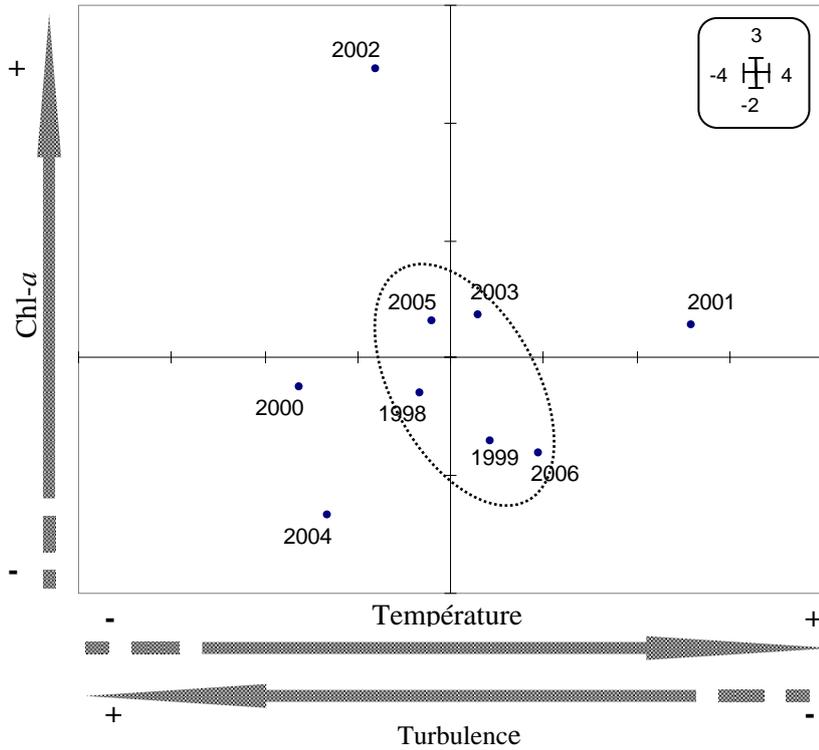
Figure. 69. Corrélations des variables environnementales (Chlorophylle-*a* (Chl-*a*), Température de surface de la mer (TSM) et Turbulence (Turb) sur la période 1998-2006.



Les deux premiers axes expliquant 83,16% de la variance sont retenus (48,30% l'axe 1 et 34,86% l'axe 2). La variable TSM est bien représentée sur l'axe 1 tandis que Chl-*a* semble plus proche de l'axe 2 (Figure 69). La variable *Turb* est légèrement associée à l'axe 1 et apparaît indépendante des deux autres variables.

L'examen de la répartition des individus dans le plan constitué par les axes principaux (Figure 70) montre que la plupart des individus se trouvent proches du centre du plan, ce qui expliquerait une variabilité interannuelle relativement faible des paramètres considérés.

Figure. 70. Coordonnées des individus (les années) sur les axes principaux.

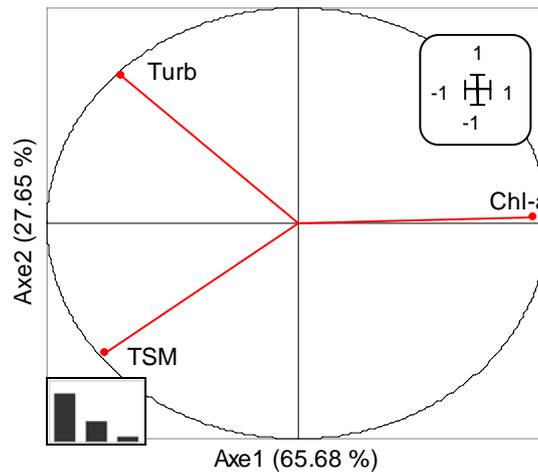


L'année 2001 se distingue fortement des années proches de par sa plus forte température. L'année 2002 au contraire, est caractérisée par une production primaire importante (upwelling plus intense) et une température plus froide. L'année 2004 se trouve en bas à gauche du plan et se distingue des autres par sa faible production primaire.

- **Zone 2-(Cap Andriamanao)**

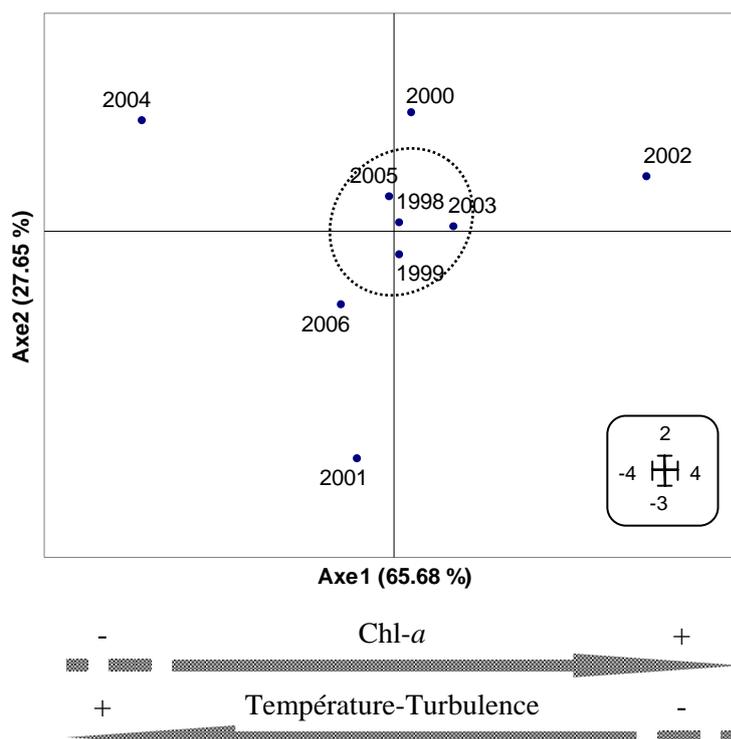
Tout comme la zone 1, une analyse prenant compte les trois variables (Chl-a, TSM et Turbulence) a été effectuée pour la zone 2. Les deux premiers axes expliquent 93,33% de la variabilité annuelle environnementale, respectivement 65,68% et 27,65% pour l'axe 1 et 2. La variable Chl-a est mieux représentée sur l'axe 1 par rapport aux deux autres qui y sont aussi représentées mais inversement. La structure des variables environnementales à partir de leurs coordonnées sur les axes principaux est représentée sur la Figure 71.

Figure. 71. Corrélations des variables environnementales (Chlorophylle-a (Chl-a), Température de surface de la mer (TSM) et Turbulence (Turb) sur la période 1998-2006.



Les individus sont largement éparpillés dans le plan (Figure 72). Les individus des années 1990, 2003 et 2005 se répartissent tout près du centre du plan, caractérisés par une variabilité annuelle faible. L'année 2002 se trouve à droite du plan et distinguée par une intensité de production primaire (Chl-a) particulièrement forte, associée à une température et turbulence faibles. L'année 2004 présente une caractéristique particulière par une température élevée associée à une très faible production primaire.

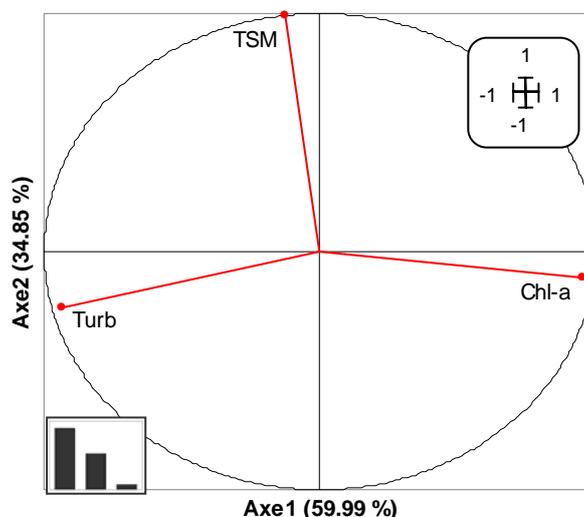
Figure. 72. Coordonnées des individus (les années) sur les axes principaux.



- **Zone 3 : - (Toliara)**

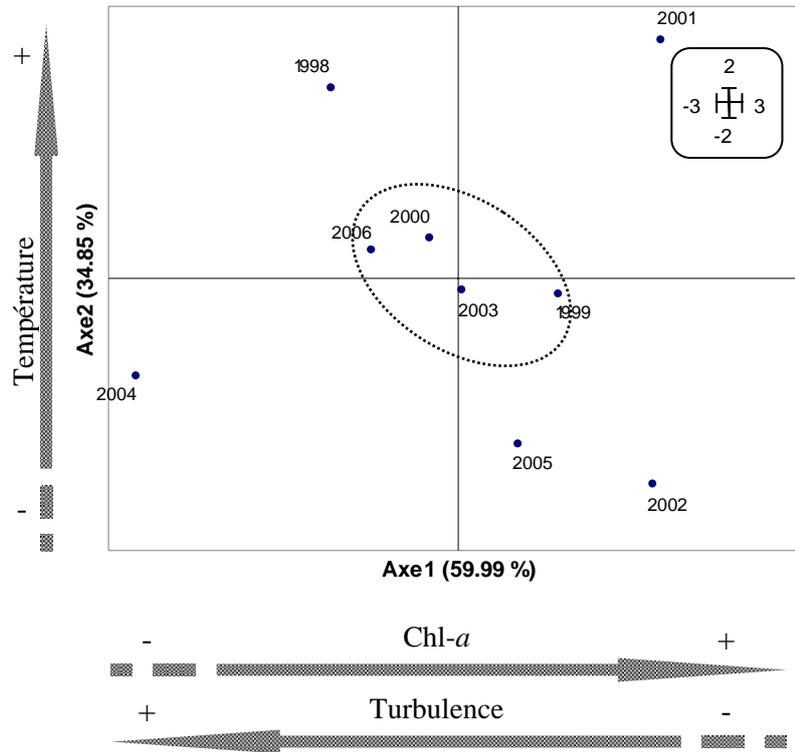
L'analyse effectuée sur la zone 3 décrit la variabilité interannuelle des valeurs annuelles moyennes des trois paramètres environnementaux (Chl-*a*, TSM et Turb) sur la période 1998-2006. Les deux premiers axes représentent 94,83% de la variance des paramètres environnementaux (59,99% axe 1 et 34,85% axe 2). Les variables Chl-*a* et Turb sont bien représentées sur l'axe 1 et fortement corrélées entre elles (Figure 73). Par contre, la variable TSM est mieux représentée sur l'axe 2 et est quasi indépendante des deux autres variables précédentes comme en témoigne sa position perpendiculaire. L'axe 1 sera par conséquent représentatif de l'intensité de la production primaire et de la turbulence, c'est-à-dire du vent et l'axe 2 des conditions thermiques.

Figure. 73. Corrélations des variables environnementales (Chlorophylle-*a* (Chl-*a*), Température de surface de la mer (TSM) et Turbulence (Turb) sur la période 1998-2006.



La répartition des individus à partir de leurs coordonnées sur les axes principaux est illustrée sur la Figure 74 ci-après.

Figure. 74. Coordonnées des individus (les années) sur les axes principaux.

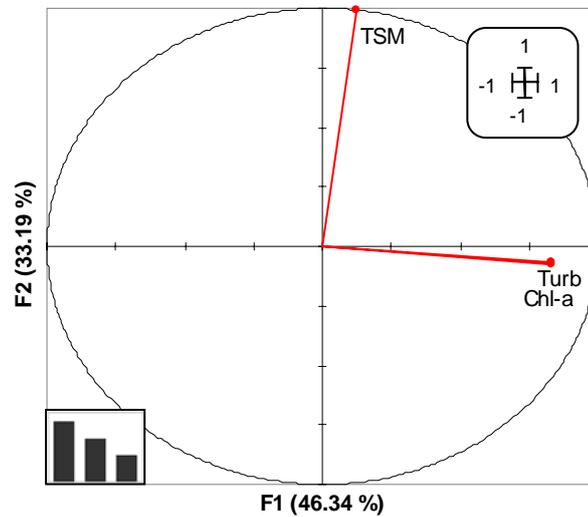


Quatre individus se démarquent complètement du centre du plan. Les trois années les mieux représentées sur l'axe 1 sont 2001, 2002 et 2004. Les années 2001 et 2002 se distinguent de toutes les autres par leur production primaire (Chl-*a*) élevée, associée à des températures respectivement élevée et basse pour 2001 et 2002. L'excentricité de l'année 2004 (en bas à gauche du plan) indique sa faible productivité primaire (et donc faible influence de l'upwelling du sud) couplée par contre à une turbulence forte. La position de l'année 1998 par rapport aux deux axes principaux témoigne une forte température associée à une productivité primaire faible.

- **Zone 4 : - Morombe**

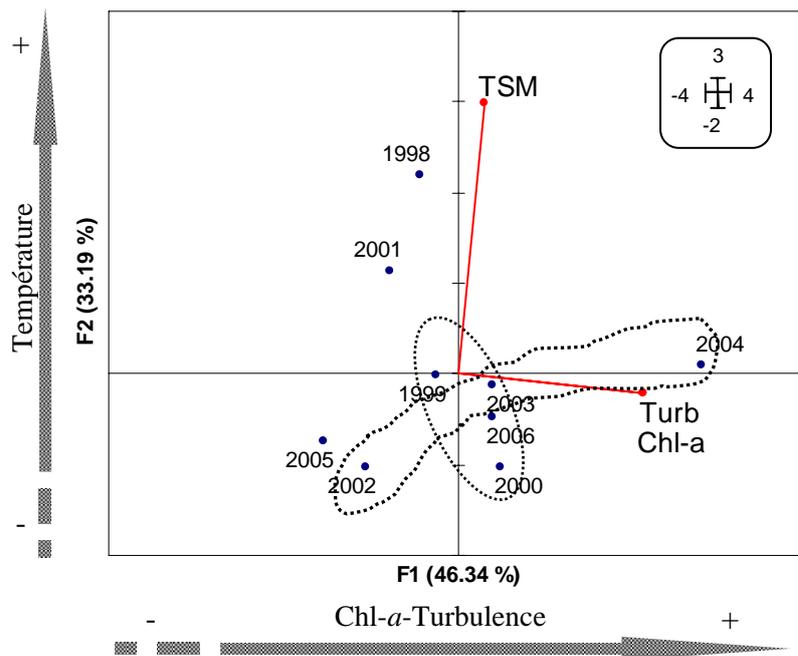
Comme les trois autres zones précédentes, une analyse considérant les valeurs annuelles des trois variables environnementaux (Chl-*a*, TSM et Turb) a été effectuée pour la Zone 4 sur la période 1998-2006. Les deux premiers axes expliquant 79,54% de la variance sont retenus (46,34 l'axe 1 et 33,19% l'axe 2). Les variables Chl-*a* et Turb sont très bien représentées sur l'axe 1 et y sont fortement corrélées tandis que la variable TSM apparaît très fortement liée à l'axe 2 (Figure 75). Cette dernière semble être indépendante des deux autres variables.

Figure. 75. Corrélations des variables environnementales (Chlorophylle-a (Chl-a), Température de surface de la mer (TSM) et Turbulence (Turb) sur la période 1998-2006.



La Figure 76 ci-après illustre la répartition des individus à partir de leurs coordonnées sur les axes principaux.

Figure. 76. Coordonnées des individus (les années) sur les axes principaux.



On observe en haut et à gauche du plan les années 1998 et 2001 caractérisées par leur forte intensité thermique. La position de l'année 2004 témoigne en revanche, d'une forte productivité primaire associée à une turbulence élevée et une température plus faible. On observe pour la période 2002 à 2004 un déplacement progressif des points de la gauche vers la droite et le haut du plan défini par les deux axes. Ceci explique une intensification progressive et simultanée des trois paramètres.

4.2.4.2. Analyse à l'échelle de mois

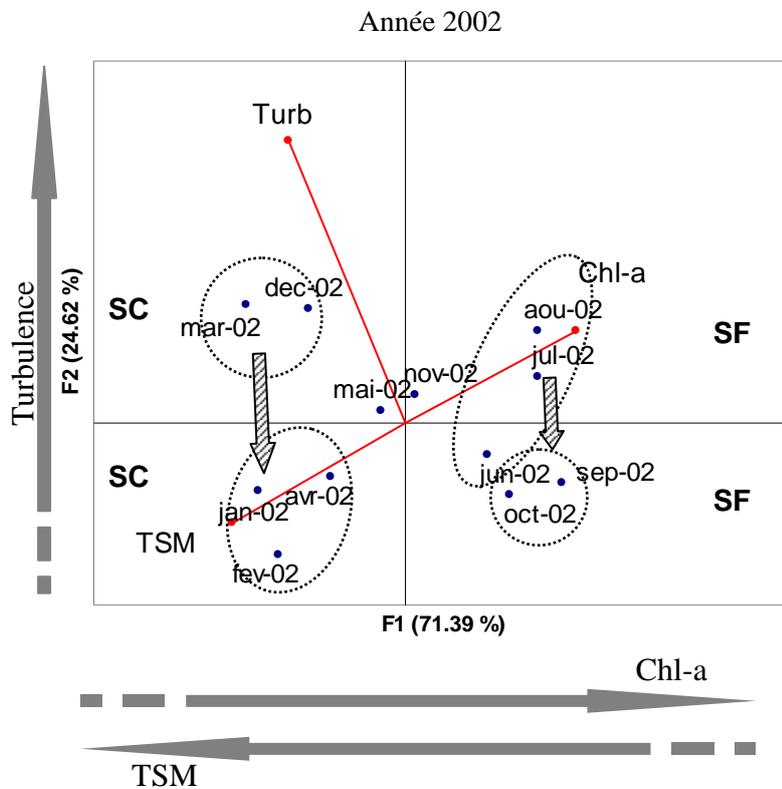
Les analyses en composantes principales sont réalisées par zone à partir des séries des valeurs mensuelles moyennes des paramètres environnementaux. Les trois variables prises en considération sont les paramètres climatiques (Chl-*a*, TSM et Turbulence : en colonnes) tandis que les mois (en lignes) constituent les « individus ». La représentation de l'ensemble des variables dans un plan permet de mettre en évidence les combinaisons environnementales saisonnières et leurs fluctuations interannuelles. Les analyses détaillées sont présentées en annexe IV. Des extraits des principaux résultats par zone sont présentés ici.

- **Zone 1 - (Tolagnaro) : zone d'upwelling**

On distingue deux principaux groupes d'individus qui correspondent aux deux principales saisons hydroclimatiques de la région sud et sud-ouest malgache : la saison froide (SF) (de juin à octobre) et la saison chaude (SC) (de novembre à avril) (Figure 77).

Les individus de la saison chaude sont situés dans la partie gauche du plan et sur l'axe 1 jusqu'au mois d'avril, ce qui correspond à des conditions de température élevée et de faible activité d'upwelling et donc de production primaire.

Figure.77. Evolution des caractéristiques saisonnières environnementales (Chlorophylle-*a* : Chl-*a*), Température de surface de la mer : TSM et Turbulence : Turb sur la période 1998-2004.

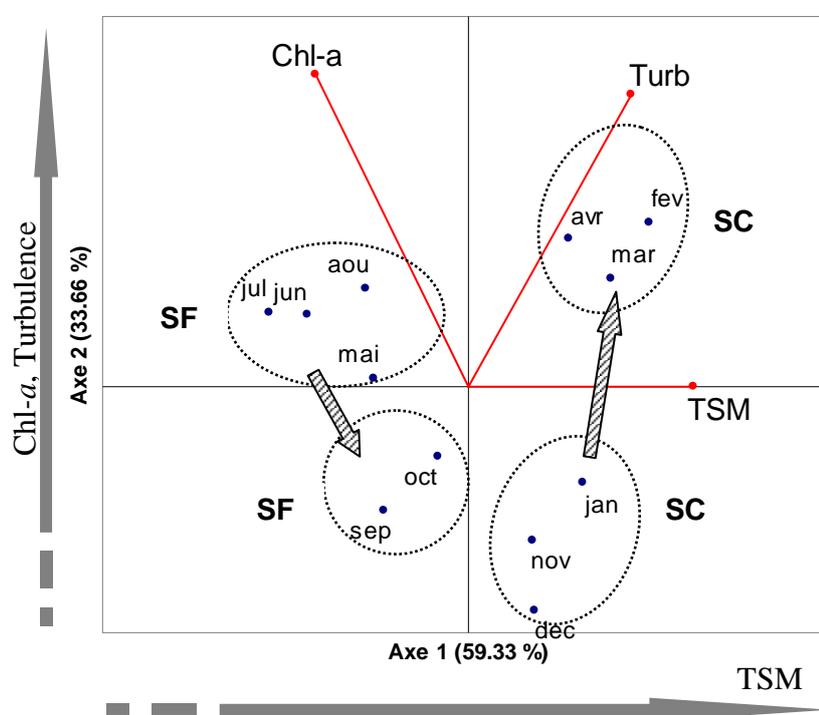


Ils sont relativement groupés et à part l'année 2001, leurs positions varient globalement peu d'une année sur l'autre, ce qui explique d'une part une homogénéité des conditions environnementales au cours de la saison chaude et d'autre part une variabilité annuelle relativement moyenne durant cette saison. Un déplacement du nuage de point vers le bas du plan à partir du mois de décembre pourrait indiquer d'une diminution légère de la turbulence. Les individus correspondant à la saison froide sont situés à droite du plan. Comme le cas des individus de la saison chaude, leurs positions apparaissent moins variables d'une année sur l'autre. Les mois de maximum d'activité de production primaire (intense activité d'upwelling), généralement les mois de juin, juillet, août, septembre et octobre, varient peu d'une année sur l'autre. Des le mois de juin, les individus de la saison froide sont généralement groupés à droite du plan, zone qui caractérise une intense activité de l'upwelling et par conséquent, de la productivité primaire. Le déplacement du nuage de points du haut du plan vers le bas témoigne d'une baisse relative de la turbulence de la saison considérée.

- **Zone 2-(Cap Andriamanao)**

Dans l'ensemble, les coordonnées des individus sur l'axe 1 ne s'éloignent pas trop des axes principaux et les mois se répartissent selon les deux principales saisons hydroclimatiques de la région (Figure 78). Les individus de la saison froide se trouvent dans la partie gauche du plan

Figure. 78. Evolution des caractéristiques saisonnières environnementales (Chlorophylle-*a* : Chl-*a*), Température de surface de la mer : TSM et Turbulence : Turb au niveau du Cap Andriamanao sur la période 1998-2004.



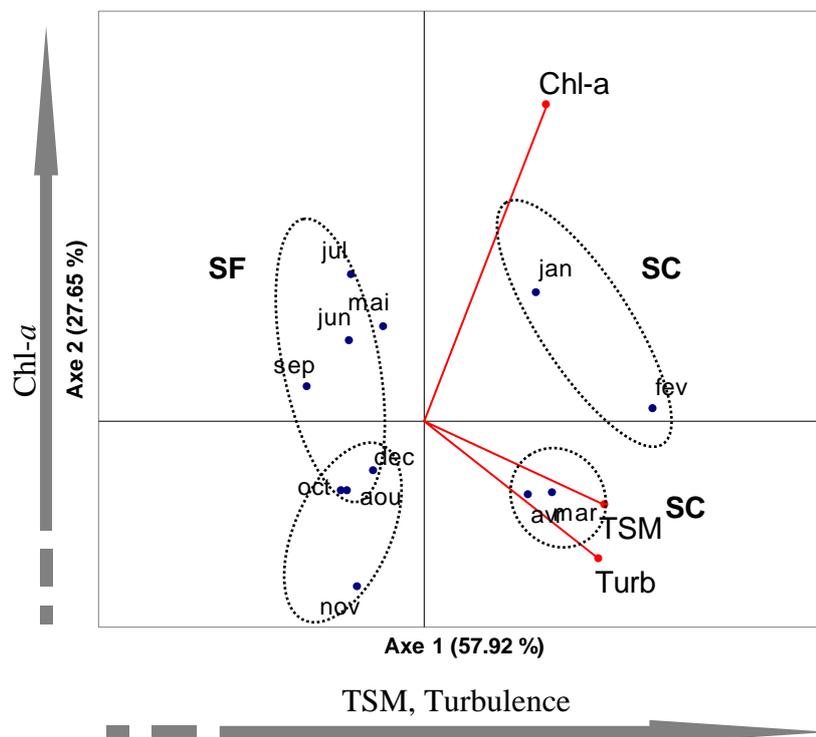
et majoritairement associés à l'axe 1. Ils sont caractérisés par une température relativement basse associée à une productivité primaire et une turbulence relativement élevées pendant les mois de mai, juin, juillet et août.

- **Zone 3 : - (Toliara)**

On remarque que les individus de la saison chaude (décembre, février, mars et avril) sont situés majoritairement le long de l'axe 1 attribué à la température et turbulence. Le mois le plus chaud est le mois de février associé à une turbulence forte (Figure 79). Les individus de

la saison froide (mai, juin, juillet et septembre) sont principalement situés dans la partie gauche du plan, le long de l'axe 2 associé à la variable Chl-*a*. Globalement, les points ne s'écartent pas trop du centre du plan, ce qui témoigne d'une variabilité saisonnière relativement faible des paramètres environnementaux dans cette zone.

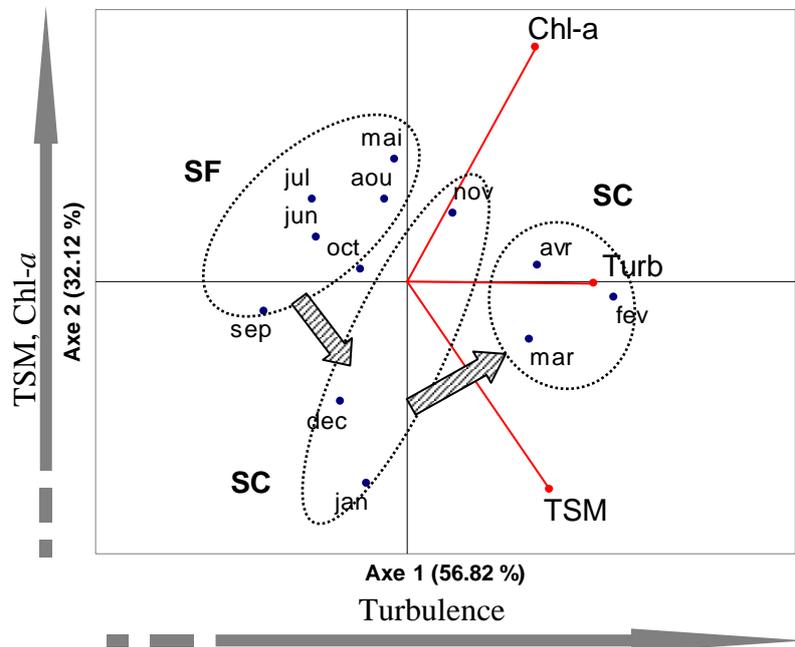
Figure. 79. Evolution des caractéristiques saisonnières environnementales (Chlorophylle-*a* : Chl-*a*), Température de surface de la mer : TSM et Turbulence : Turb au niveau de Toliara sur la période 1998-2004.



- **Zone 4 : - (Morombe)**

Les deux principaux groupes d'individus qui correspondent aux deux principales saisons hydroclimatiques de la région (saison chaude et saison froide) se répartissent suivant les deux principaux axes du plan (Figure 80). Les individus correspondant à la saison froide (mai, juin, juillet et août) sont localisés dans la partie gauche et haute du plan correspondant à des conditions de température relativement élevées, associées à une productivité primaire non moins importante et une turbulence faible. L'importante Chl-*a* produit sous une température élevée témoigne l'absence du processus d'upwelling dans l'enrichissement de la zone mais plus probablement la présence d'un phénomène local comme l'apport terrigène.

Figure. 80 Evolution des caractéristiques saisonnières environnementales (Chlorophylle-*a* : Chl-*a*), Température de surface de la mer : TSM et Turbulence : Turb au niveau de Morombe sur la période 1998-2004.



Par contre, les individus de la saison chaude (novembre, décembre, janvier) sont situés le long de l'axe 2 caractéristique de la température et de la Chl-*a*. Le déplacement du nuage de points des individus de la saison chaude du bas gauche du plan (température et productivité primaire faible) vers la partie droite témoigne d'une augmentation progressive de la turbulence associée à une température et une production primaire non négligeables durant les mois de février, mars et avril.

4.2.5. Résumé de l'évolution et des caractéristiques de l'hydroclimat sud et sud-ouest malgache

- **Certaines tendances à la hausse à moyen terme**

Le long des côtes sud et sud-ouest de Madagascar, les conditions environnementales présentent de légères tendances à la hausse depuis les années soixante-dix et en particulier pour la température de surface de la mer et de la turbulence. Les changements sont particulièrement marqués entre 1993-1994, 1998 et 2001-2002 pour la température de surface de la mer de l'ensemble de la région. L'amplitude des valeurs moyennes annuelles de la TSM est relativement faible dans le sud (Z1 et Z2) par rapport au nord (Z3 et Z4). Une

augmentation générale de la production primaire (Chl-*a*) est observée en 2002 consécutive à une intensification de l'activité de l'upwelling du sud malgache (une baisse globale de la TSM).

- **Un environnement instable à court terme**

Les conditions environnementales le long des côtes sud et sud-ouest malgaches montrent également une certaine instabilité d'une année sur l'autre. Les changements sont principalement dus aux variations d'intensité et de la durée des processus environnementaux agissant dans la région, en l'occurrence les vents (la mousson et les alizés qui conditionnent l'intensité de la turbulence) et l'influence de l'upwelling au large de Tolagnaro. Les fluctuations saisonnières de la turbulence ainsi que celles de la température de surface de la mer apparaissent synchrones le long du littoral sud et sud-ouest malgache.

- **Une certaine structuration spatiale de l'environnement**

Les populations du sud et sud-ouest malgache d'anchois, de poulpes et de calmars sont soumis à des conditions environnementales distinctes du fait des variations spatiales de l'intensité et de la saisonnalité des processus le long du littoral. La partie sud du littoral (Z1 et Z2) est ainsi soumise à des températures de surface de la mer plus froid (et influencé par l'upwelling du sud-est) par rapport aux zones plus au nord (Z3 et Z4) en terme de processus d'enrichissement. L'upwelling du sud-est malgache est en effet permanent avec une intensité maximale, chaque année, aux mois de juin, juillet, août et septembre. Le courant de surface remontant vers le nord assure l'enrichissement du milieu jusqu'au niveau de la latitude -23° S (Z3). L'enrichissement de la partie nord (Z4) est dû aux processus locaux.

En résumé, les populations d'anchois, de poulpes et de calmars du sud-ouest malgache sont soumises à un environnement instable dans le temps (variation interannuelle et saisonnière) et dans l'espace (du sud vers le nord). On pourrait penser et avancer une hypothèse que cette hétérogénéité environnementale ait un impact important sur les espèces (la ponte, la phase larvaire, le recrutement) dont les caractéristiques biologiques à ces stades les rendent particulièrement sensibles aux conditions du milieu. L'impact des fluctuations de l'environnement sur la dynamique spatio-temporelle des populations de ces espèces mérite une investigation poussée.

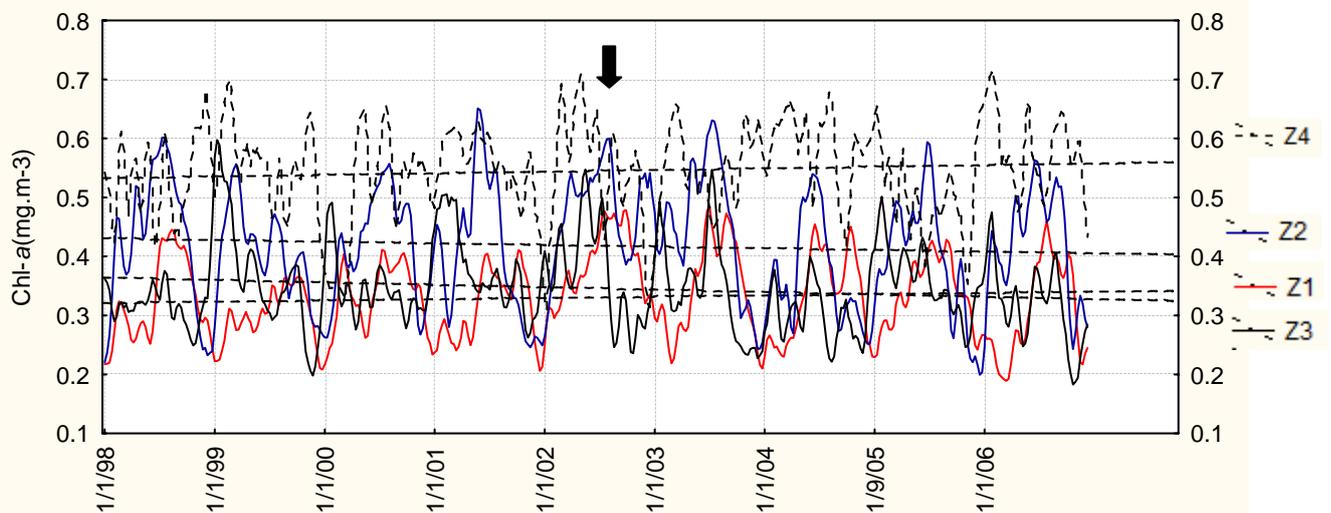
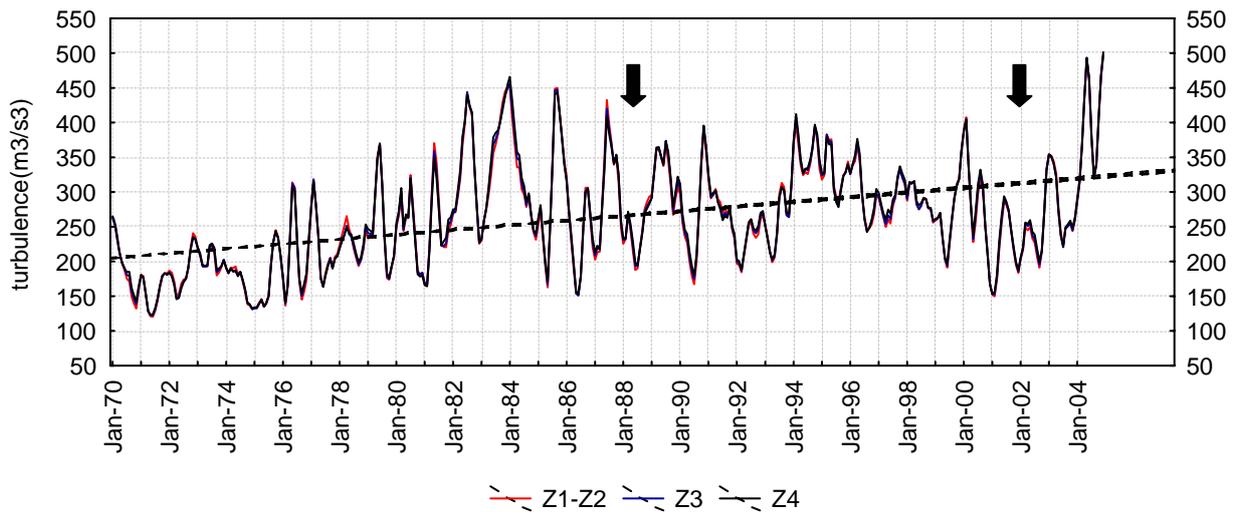
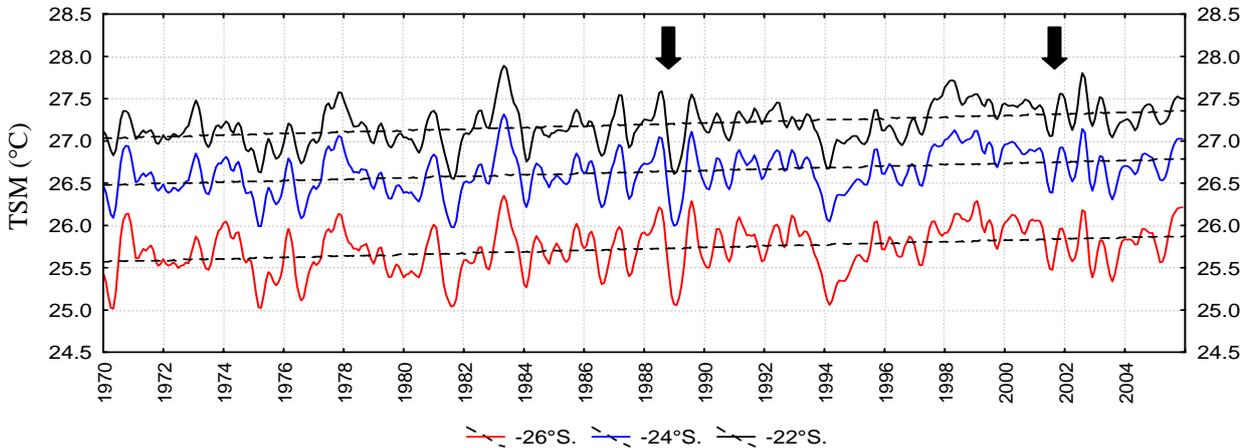
4.3. Analyse des relations environnement-ressources

4.3.1. Passage massif des anchois ou l'hypothèse d'un déterminisme environnemental

Les années 1987-88 (Rakotoarinivo, 1998) et 2002 (Bemiasa, 2007) marquent les passages massifs de la ressource en anchois dans les pêcheries traditionnelles du sud-ouest malgache. Au niveau des paramètres environnementaux (TSM, Chl-*a* et turbulence), des anomalies particulières semblent avoir lieu au moment de ces captures exceptionnelles (Figure 81). Par ailleurs, on a vu dans les paragraphes précédents, décrivant les fluctuations environnementales, que l'intensification de l'activité de l'upwelling sud (enrichissement du milieu) est particulièrement marquée sur l'ensemble de la région au cours de l'année 2002. L'explosion démographique des anchois à cette époque coïncide donc avec une activité exceptionnellement intense et soutenue de l'upwelling (induisant une forte baisse de la température de surface de la mer et de la turbulence). La valeur moyenne annuelle de Chl-*a* atteinte cette année-là (0.538 mg.m^{-3}) laisse à penser que la ressource n'apparaît pas massivement au-delà d'un certain niveau seuil de l'ensemble des paramètres environnementaux (niveau d'intensité d'upwelling, TSM et turbulence).

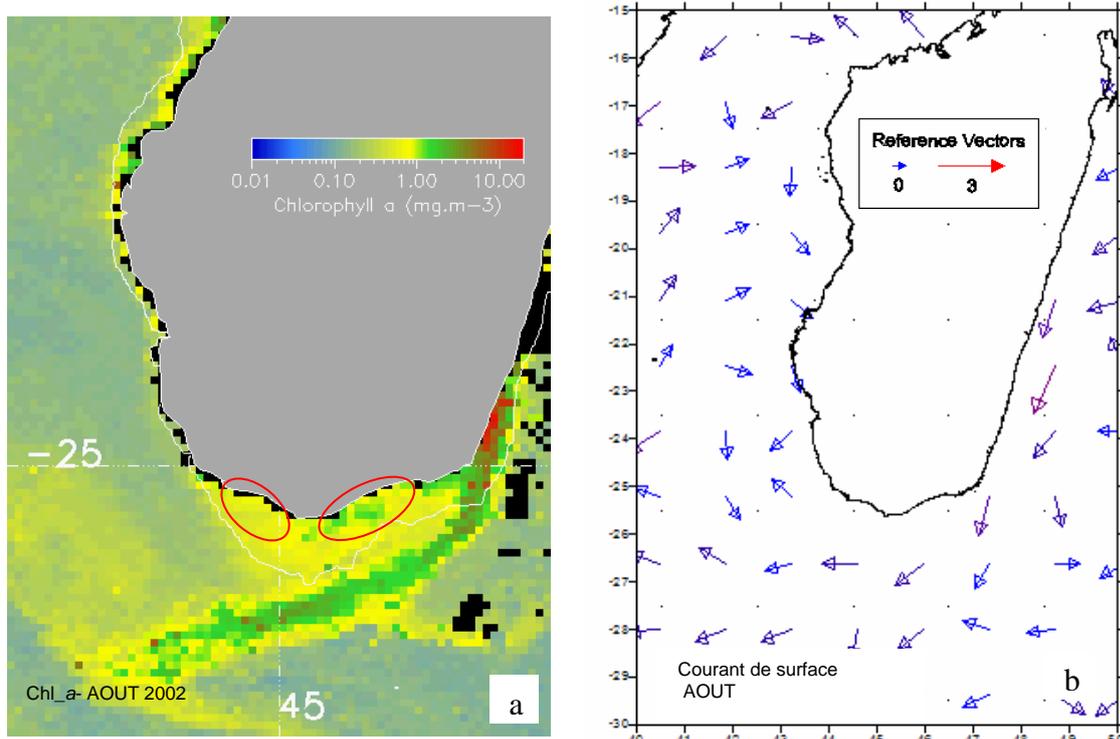
En observant les variations de ces paramètres dans le temps et dans l'espace, on ne peut donc ignorer un possible effet seuil de leur intensité. L'ensemble des conditions à l'origine du succès de recrutement des anchois aurait ainsi été réuni en 1987-88 et en 2002 au large des côtes sud et sud-ouest malgache, ce qui n'est pas forcément le cas pour les poulpes et les calmars.

Figure. 81. Tendances environnementales dans le sud et sud-ouest malgache (Chlorophylle-*a* : Chl-*a*), Température de surface de la mer : TSM et Turbulence : Turb au niveau de Morombe sur la période 1970-2004 (séries obtenues par décomposition des séries mensuelles). Les flèches indiquent les périodes de l'apparition massive des ressources, en particulier les anchois.



La zone de Tolagnaro (zone 1) est supposée comme un foyer de reproduction pour les anchois (cercle rouge). Cette zone correspond bien à des endroits du littoral dont la topographie assure des conditions environnementales particulièrement favorables à la reproduction et au recrutement des espèces marines en général. Ces conditions sont réunies en 1987-88 et 2002 : forte productivité primaire (phytoplanctonique), moindre turbulence et forte probable de rétention côtière. On peut envisager ensuite qu'une fois établis, les calmars et les poulpes (du fait de leur caractère opportuniste) tirent profit des conditions probablement favorables de l'écosystème (enrichissement trophique du milieu) pour se développer. Le système de courant de surface assure le transport des nutriments le long des côtes (Figure 82).

Figure. 82. Situations hydrologiques dans le sud et sud-ouest de Madagascar (production primaire et système de courant de surface) au cours du mois d'août. Chl-*a* de SeaWifs (a) et vecteurs courants de surface (b) de NOAA Navy Shipdrift. (Source : Bemiasa, 2007).



Ainsi, il semble alors évident que la prolifération massive des populations d'anchois, de calmars et des poulpes dans la région sur certaines années peut être liée à une forte intensification de l'enrichissement trophique associée, en partie, à une baisse de température et de la turbulence.

4.3.2. Analyse descriptive et comparative de l'impact des fluctuations climatiques annuelles sur les captures, efforts et PUE d'anchois, de calmars et de poulpes.

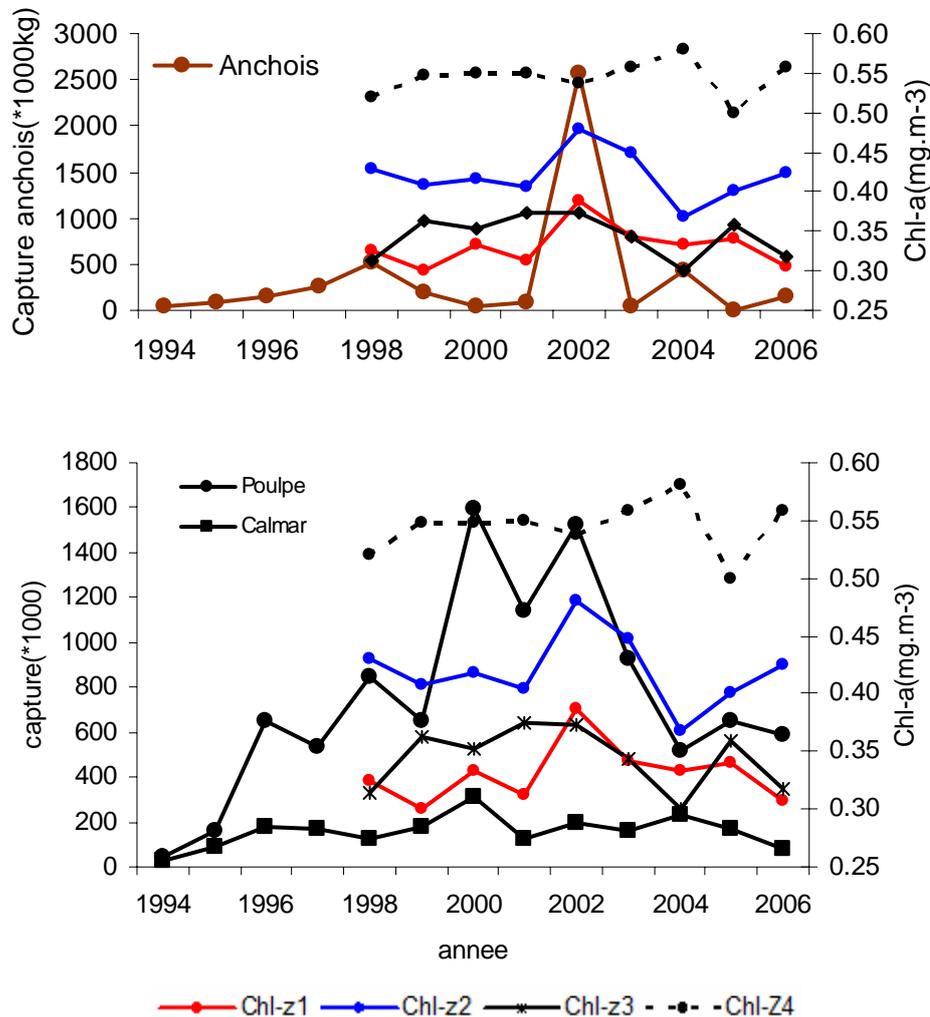
4.3.2.1. Fluctuations environnementales annuelles et niveau de production : quelles relations ?

On a mis en évidence (paragraphe 4.1) que l'environnement des zones de pêche du sud-ouest montre une certaine instabilité. Etant donné que les caractéristiques biologiques d'anchois, de calmars et de poulpes les rendent sensibles aux conditions du milieu et que le niveau de captures est de plus déterminé par le succès du recrutement de l'année et l'accessibilité aux ressources, on pourrait penser que la variabilité interannuelle des captures est liée aux fluctuations climatiques interannuelles. Une analyse descriptive et comparative des séries de l'environnement et de captures des différentes espèces a été réalisée en utilisant les séries brutes (« détendentalisées »). Les figures 83 à 87 mettent en parallèle les fluctuations annuelles des captures des trois espèces exploitées par les pêcheries traditionnelles et les taux de production primaire (Chl-*a*), la température de surface et la turbulence des zones sur la période 1970-2006.

Les séries de captures et l'intensité de la productivité primaire (Chl-*a*) de la zone d'upwelling (Z1), Z2 et Z3 sont positivement corrélées sur la période 1998-2006. De même manière pour les séries de rendements, puisque les productions et les rendements (PUE) sont en hausse lorsque la production primaire augmente de façon significative (Figure 85). Les observations faites pour les captures, les PUE et la température de surface de la mer (TSM) montrent des relations inverses. L'allure de leurs variations va en sens inverse, en particulier au cours de l'année 2002.

Hormis les années 1999, 2000, 2001 et 2002, la turbulence semble n'avoir aucune influence sur les captures et les rendements. D'ailleurs, la corrélation entre turbulence et le processus d'upwelling du sud malgache est pratiquement nulle ($R^2=0,0019$), étant donné que l'upwelling n'est pas entièrement induit par le vent (Lutjeharms, 2002). Les captures et rendements de poulpes et d'anchois apparaissent respectivement très élevés au cours des années 2000 et 2002.

Figure. 83. Séries annuelles de production (Captures) des trois espèces exploitées et de l'intensité de la production primaire (Chl-a) sur la période 1998-2006.



La Figure 84 ci-après montre les variations annuelles de production (Captures) des trois espèces exploitées (anchois, calmar et poulpe), de la température de surface de la mer (TSM) et de la turbulence sur la période 1998-2006. Les séries de variations annuelles de captures et de PUE sont mis en parallèle avec les taux de variations annuels de la turbulence (Figure 87). Les résultats montrent des relations négatives pour l'anchois et les poulpes (captures et PUE), alors que pour les calmars, ces relations sont quasiment nulles. Pour ces deux espèces, une variation de captures est donc généralement associée à un changement d'intensité de l'activité de la zone de l'upwelling, au moins jusqu'au niveau de la zone 3. Ainsi, les années marquées par de forts taux de production primaire associés à de fortes baisses de température correspondent généralement à de forts taux de changement de captures et de la PUE.

Figure. 84. Séries annuelles de production (Captures) des trois espèces exploitées (anchois, calmar et poulpe) et de la température de surface de la mer (TSM), turbulence sur la période 1998-2006.

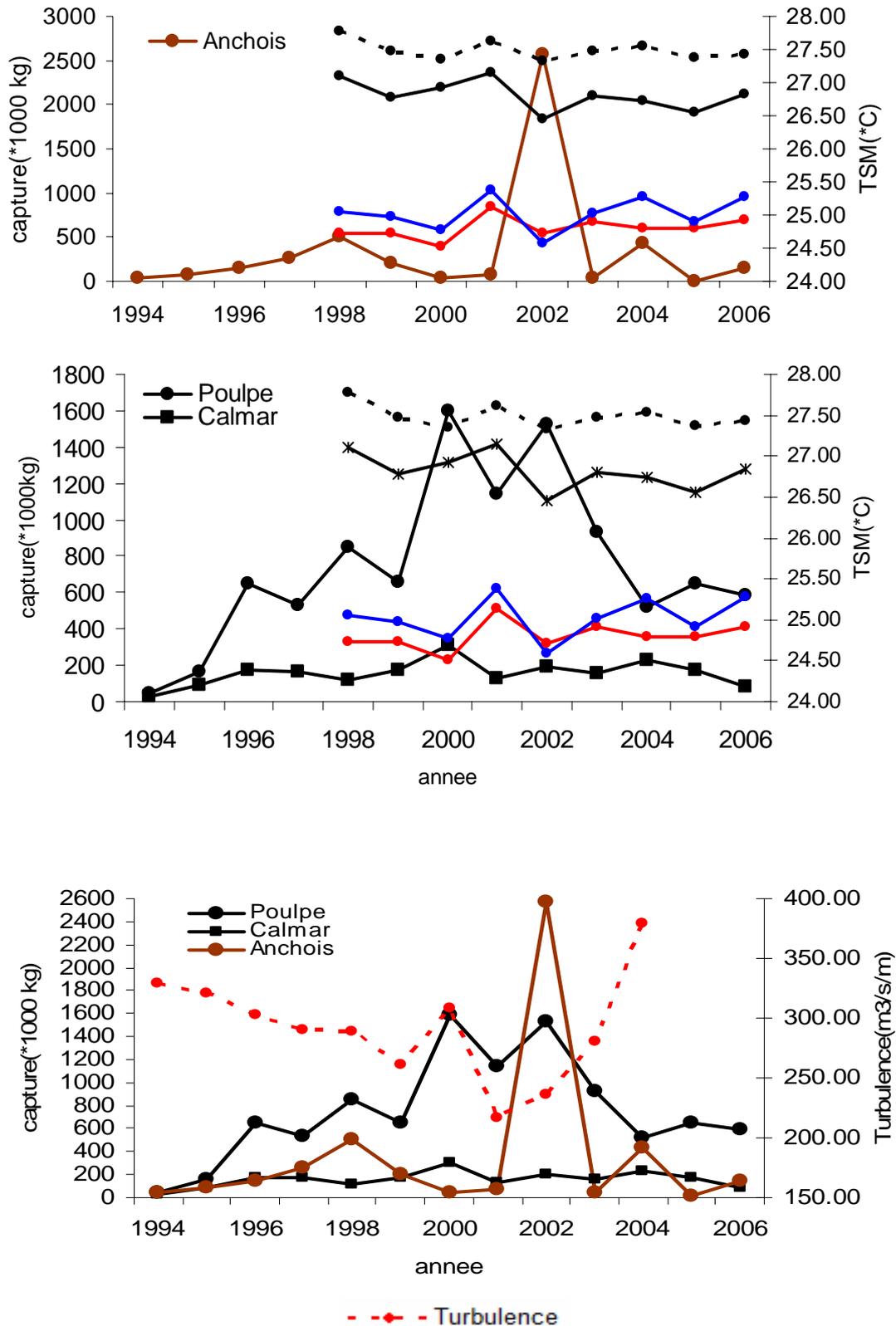
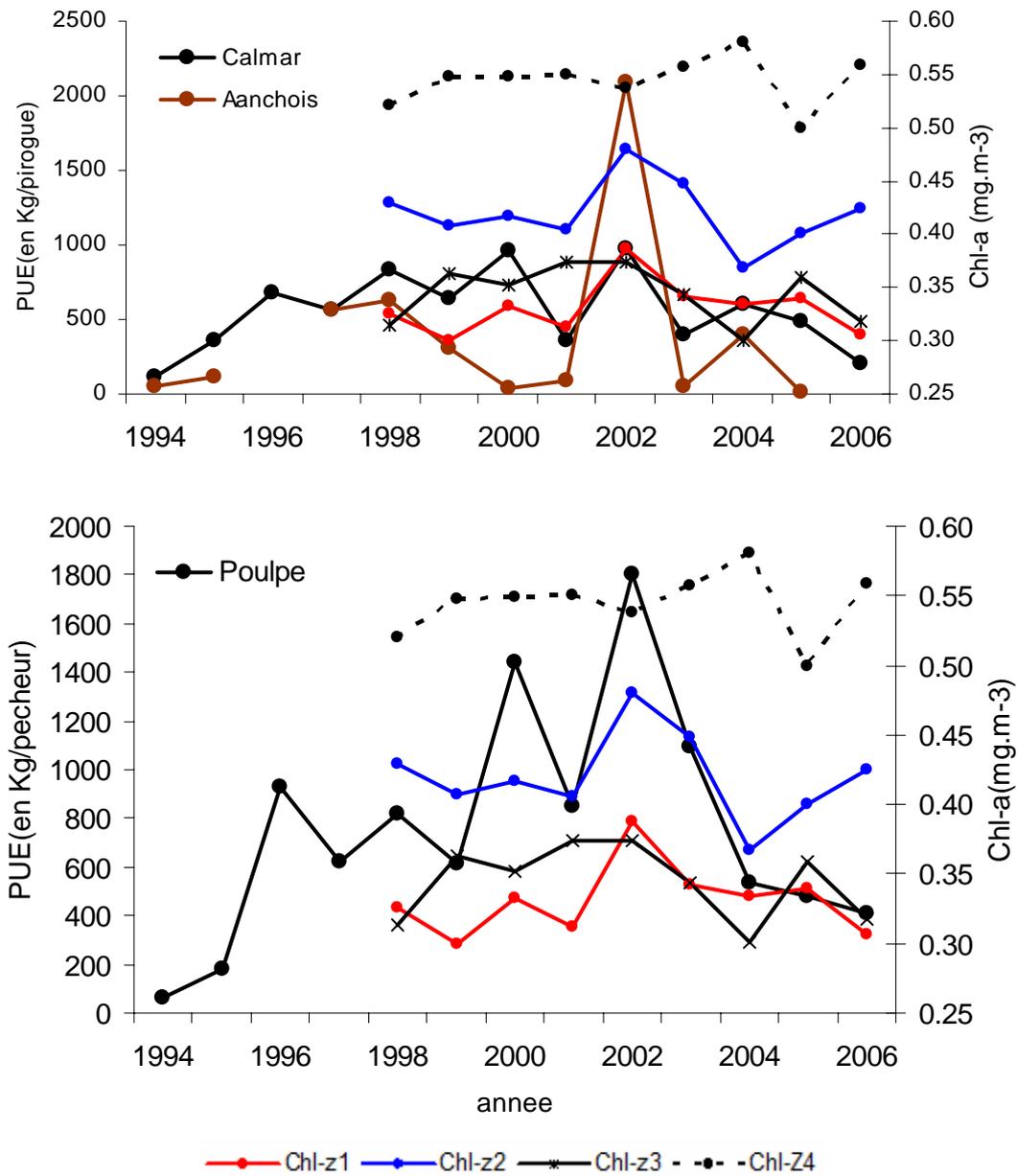
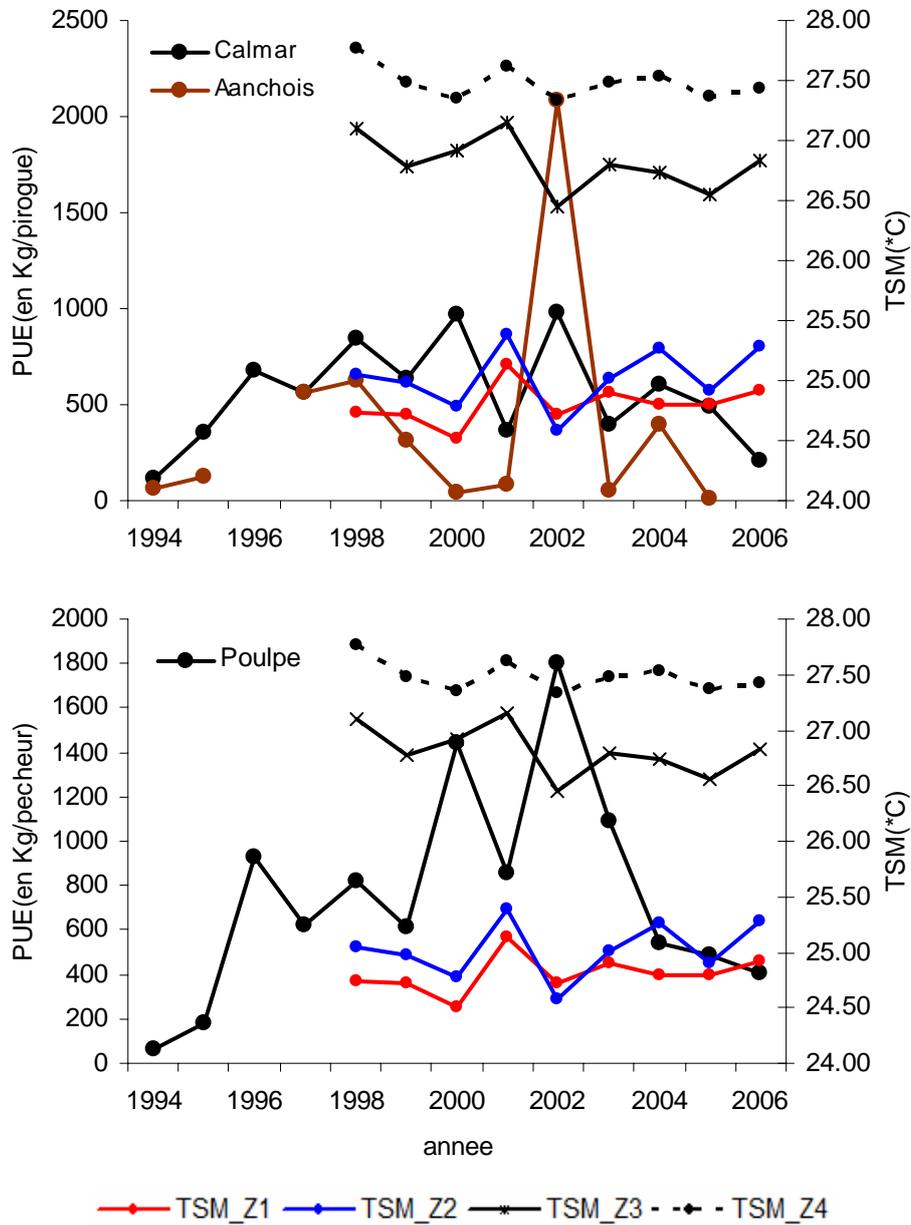


Figure. 85. Variations annuelles des rendements (PUE) des trois espèces exploitées (anchois, calmar et poulpe) et de la production primaire (Chl-a) sur la période 1998-2006.



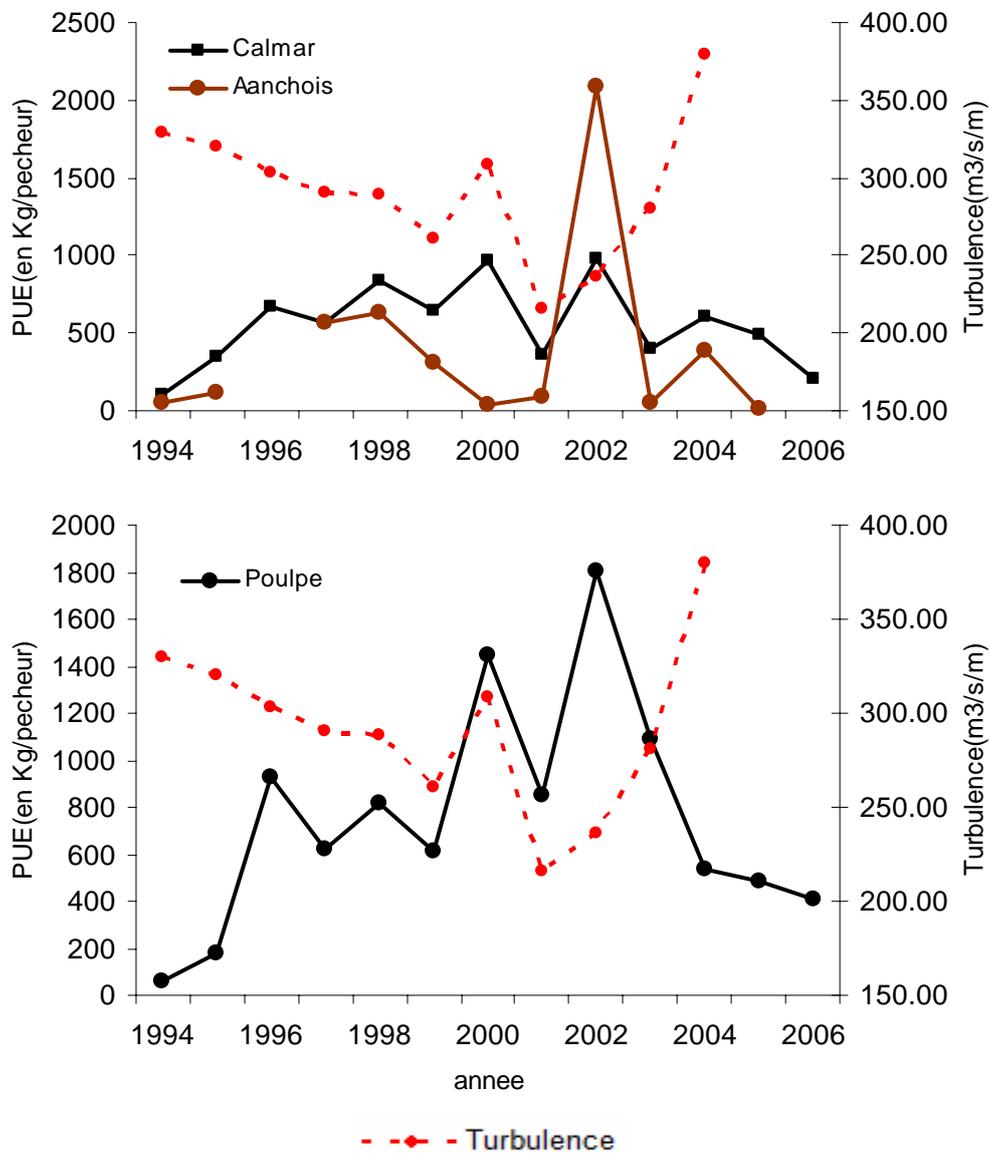
Les variations annuelles des rendements (PUE) des trois espèces exploitées (anchois, calmar et poulpe) et de la température de surface de la mer (TSM) sur la période 1998-2006 sont montrées sur la Figure 86.

Figure. 86. Variations annuelles des rendements (PUE) des trois espèces exploitées (anchois, calmar et poulpe) et de la température de surface de la mer (TSM) sur la période 1998-2006.



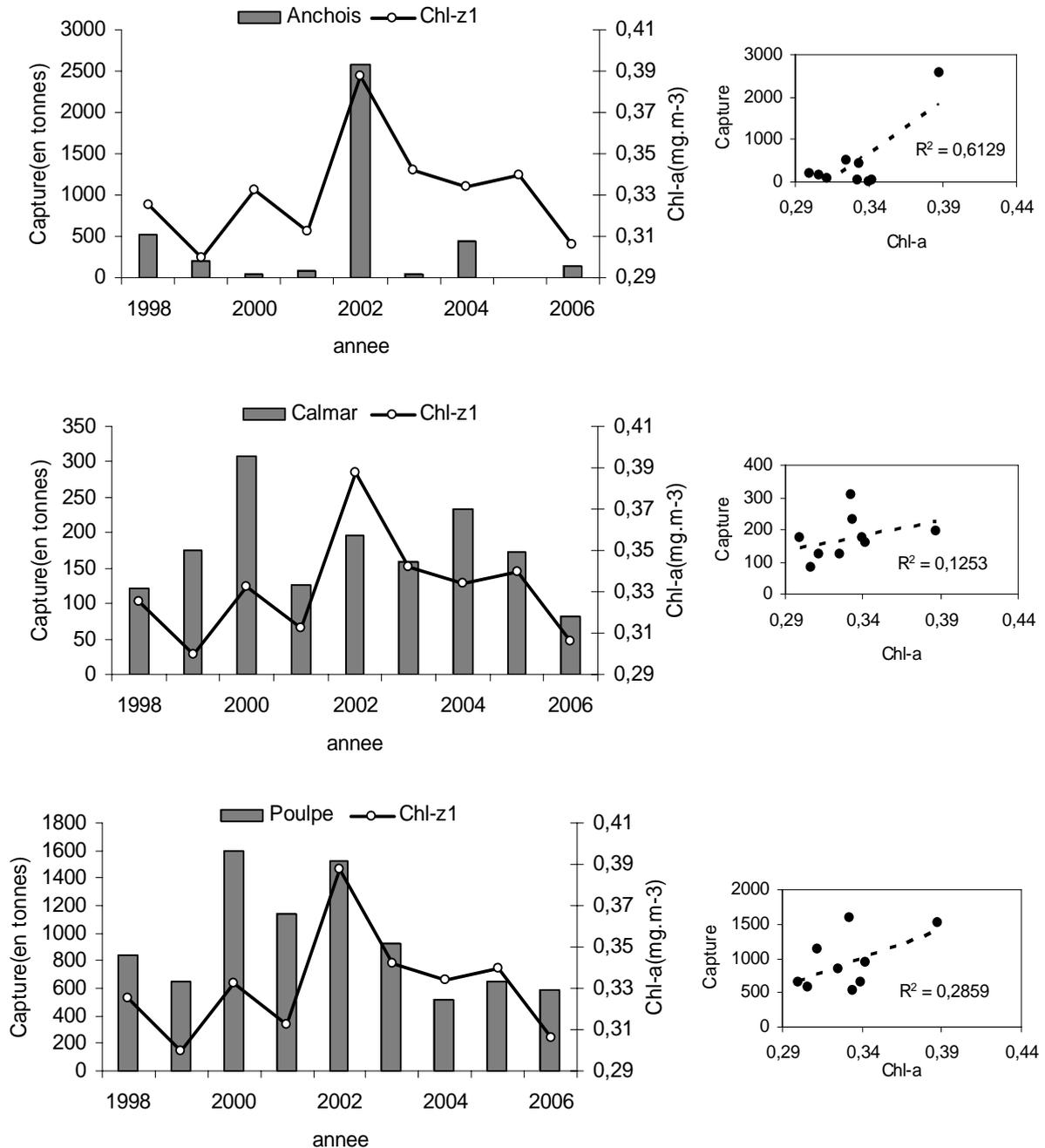
La Figure 87 ci-après montre l'évolution des rendements (PUE) des trois espèces exploitées (anchois, calmar et poulpe) et de la turbulence sur la période 1998-2006. Jusqu'à la fin de l'année 1998, la turbulence évolue en sens inverse des rendements obtenus pour les trois espèces exploitées. Dès 1999, les PUE varient en parallèle avec la turbulence, particulièrement pour les calmars et les poulpes.

Figure. 87. Evolutions annuelles des rendements (PUE) des trois espèces exploitées (anchois, calmar et poulpe) et de la turbulence sur la période 1998-2006.



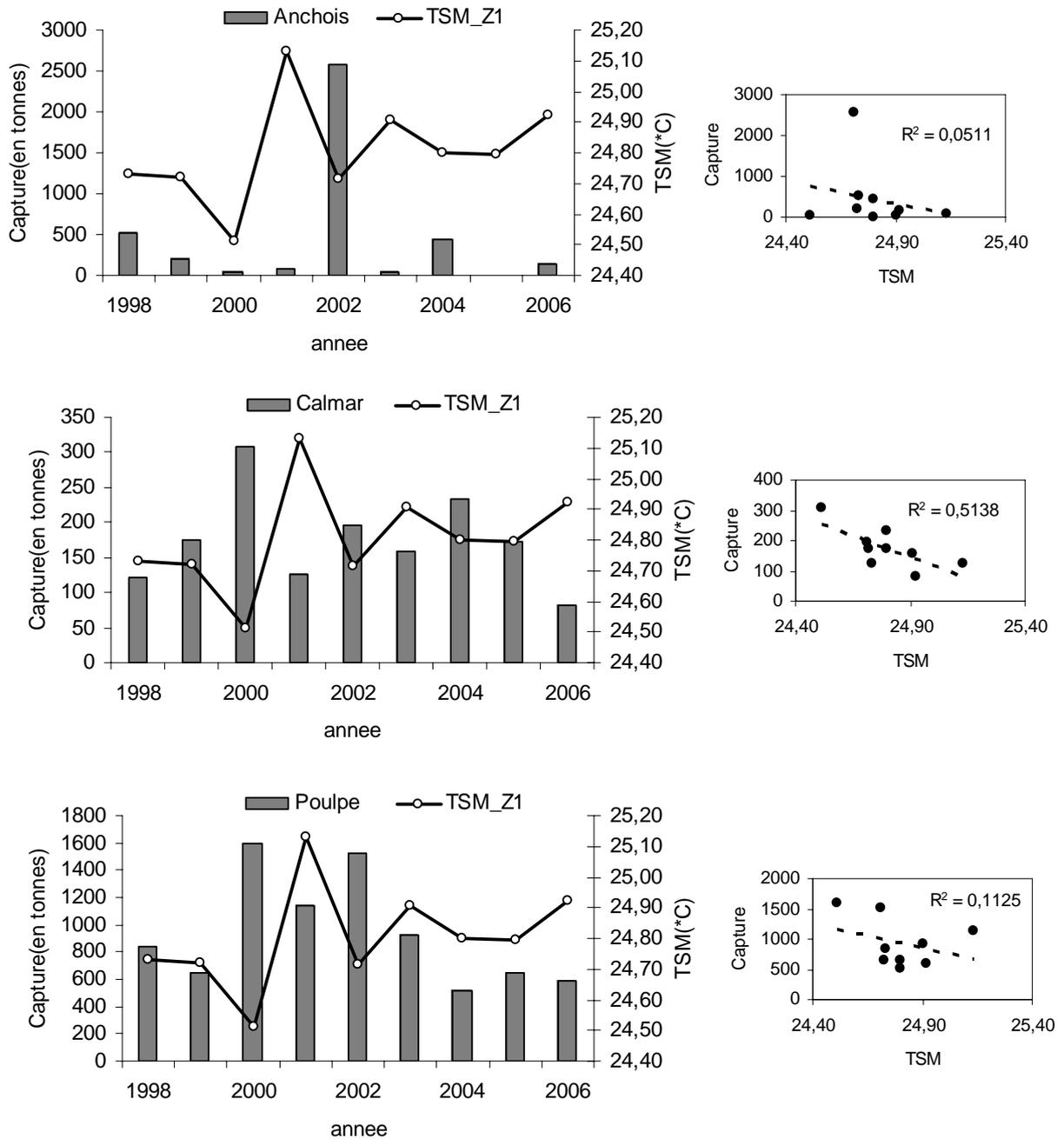
Les figures ci-après (Figure 88 à 96) récapitulent les différentes formes et intensités des relations liant les captures, les efforts de pêche, les rendements et les trois indices environnementaux. Globalement, les captures annuelles évoluent en parallèle avec la variation de la production primaire (Chl-*a*), et ceci pour les trois espèces. La plus forte relation semble obtenue pour la capture d'anchois et l'intensité de la productivité primaire ($R^2 = 0.6129$) (Figure 88).

Figure. 88. Evolutions annuelles comparées de captures des trois espèces exploitées (anchois, calmar et poulpe) et de la productivité primaire (Chl-a) sur la période 1998-2006.



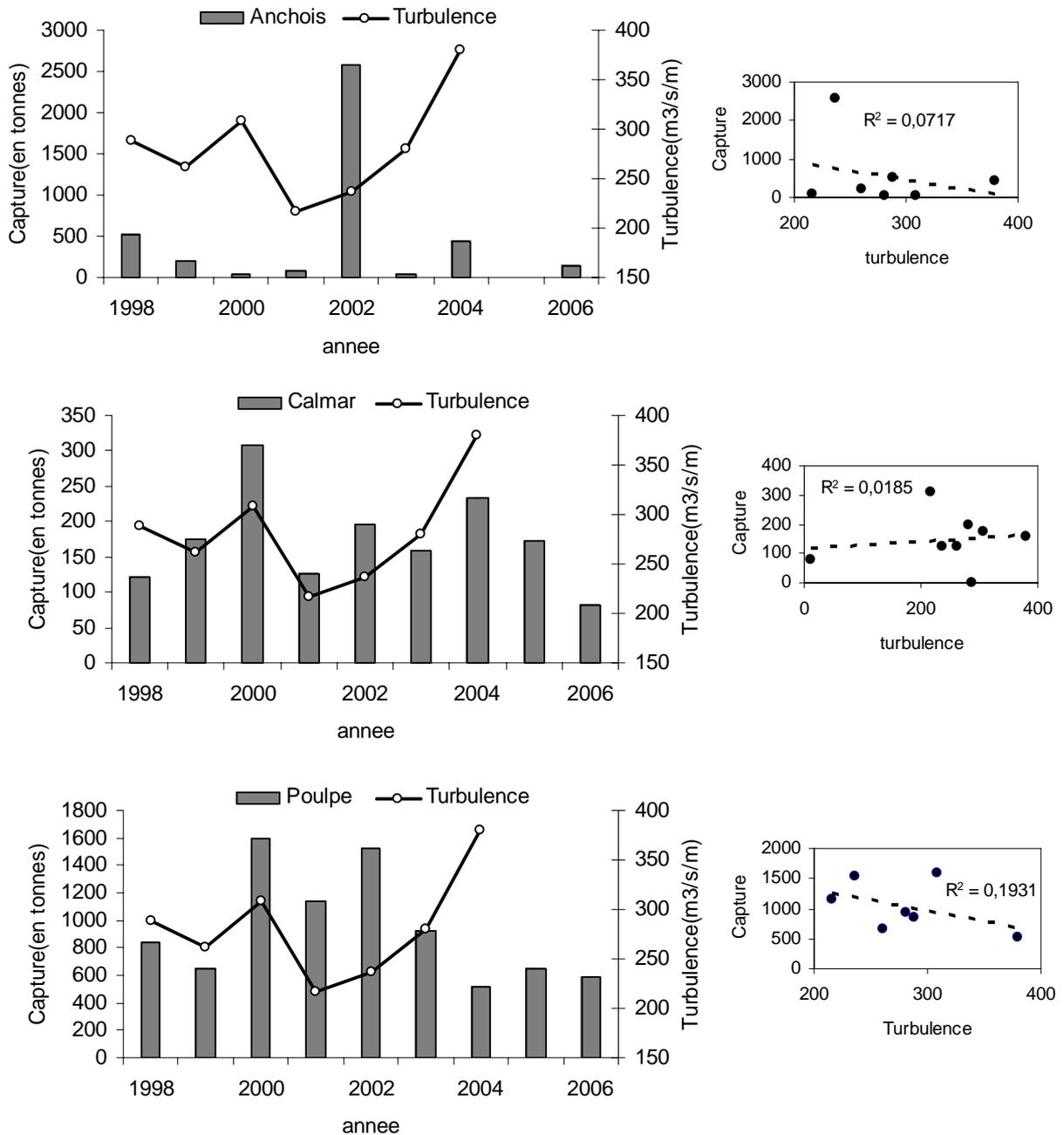
De la même façon, les séries annuelles de captures d’anchois, de calmars et de poulpe sont confrontées aux fluctuations annuelles de la température de surface en zone d’upwelling (Figure 89). Les captures des trois espèces sont négativement corrélées aux variations annuelles de la température de surface de la zone d’upwelling avec respectivement $R^2 = 0.0511$, $R^2 = 0.5131$ et $R^2 = 0.1125$ pour l’anchois, le calmar et le poulpe.

Figure. 89. Evolutions annuelles comparées de captures des trois espèces exploitées (anchois, calmar et poulpe) et de la température de surface de la mer (TSM) sur la période 1998-2006.



La confrontation des séries annuelles des captures avec un indice de l'environnement (la turbulence) montre une relation négative puisque au fur et à mesure que la turbulence augmente, les captures diminuent (Figure 90). Une légère évolution parallèle est pourtant observée pour les calmars suite, probablement à l'augmentation des captures en 2002 et 2004.

Figure. 90. Evolutions annuelles comparées de captures des trois espèces exploitées (anchois, calmar et poulpe) et de la Turbulence sur la période 1998-2006.



L'indice de l'intensité de la production primaire (Chl-*a*) est mis en parallèle aux variations de l'effort de pêche (Figure 91). Une forte corrélation positive est observée pour l'anchois, car l'effort augmente considérablement en fonction de l'intensité de la production primaire. Les relations négatives observées pour les calmars et les poulpes s'expliquent par le « caractère opportuniste » de la pêche traditionnelle du sud-ouest, où les pêcheurs orientent leurs efforts en fonction de l'abondance et l'accessibilité des ressources. Pendant la saison chaude (où

l'anchois est rare), la plus grande partie de l'effort est orientée vers la pêche aux calmars et aux poulpes (Figure 91).

Figure. 91. Evolutions annuelles comparées de l'Effort de pêche des trois espèces exploitées (anchois, calmar et poulpe) et de la productivité primaire (Chl-*a*) sur la période 1998-2006.

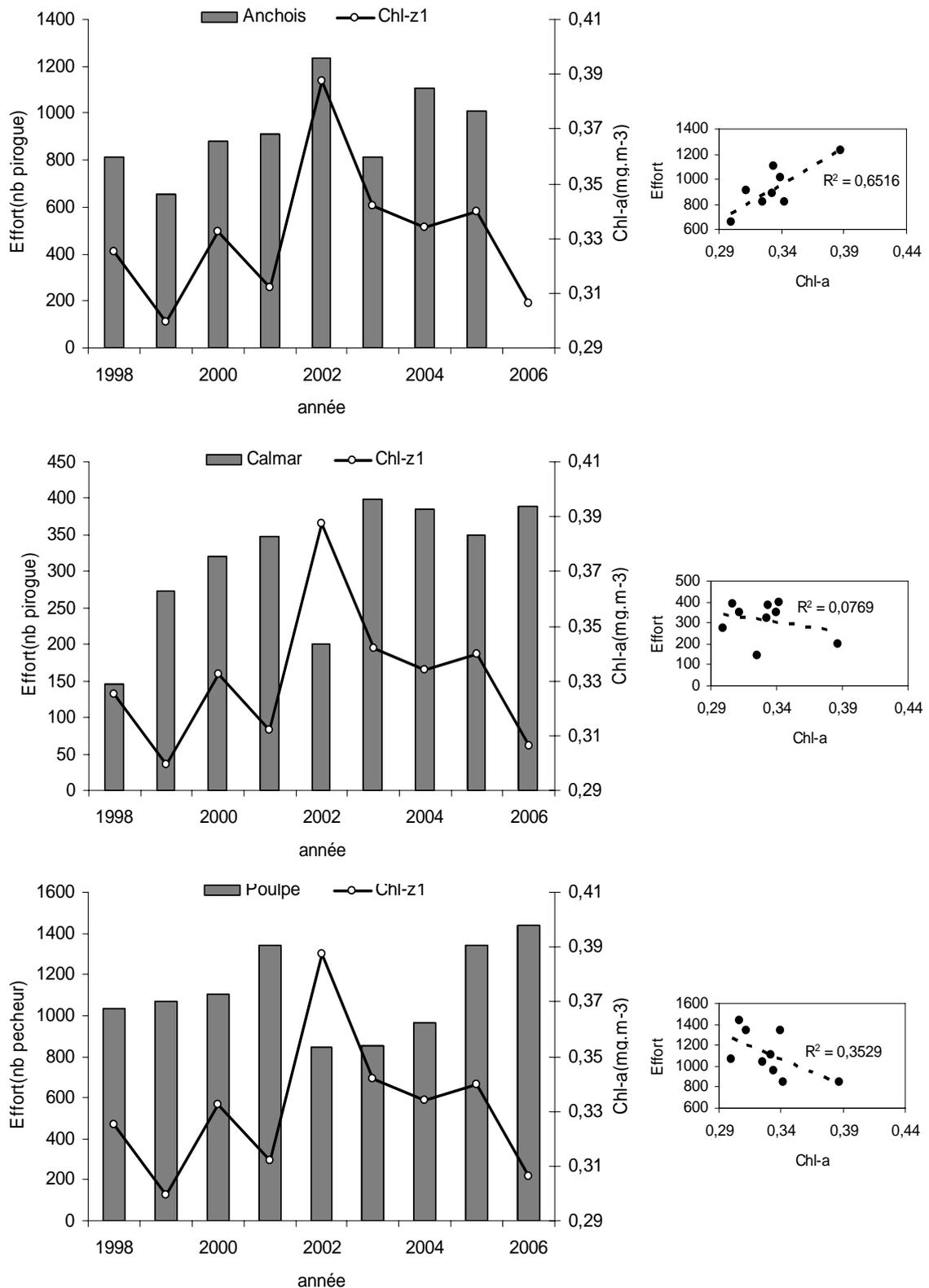
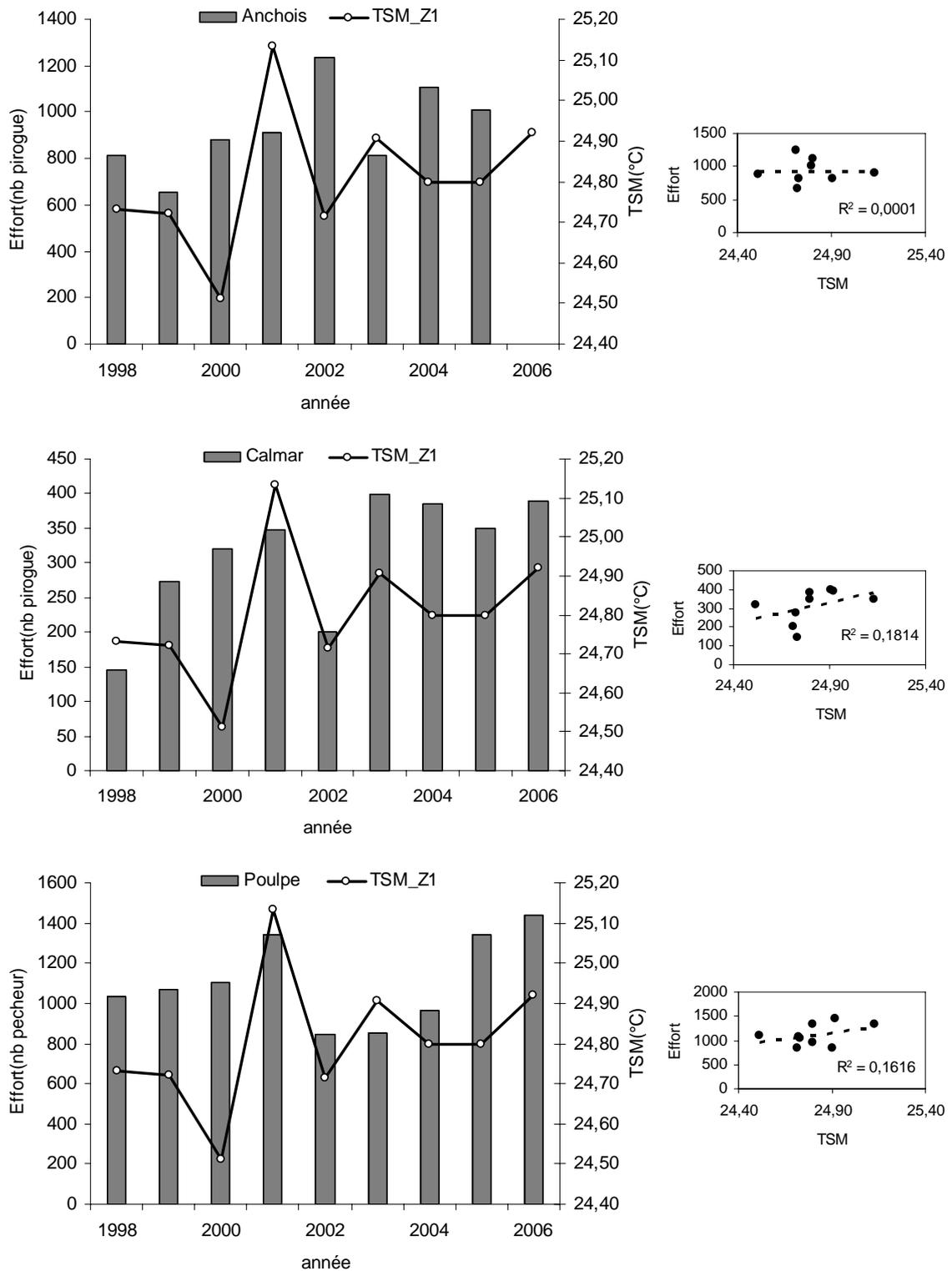
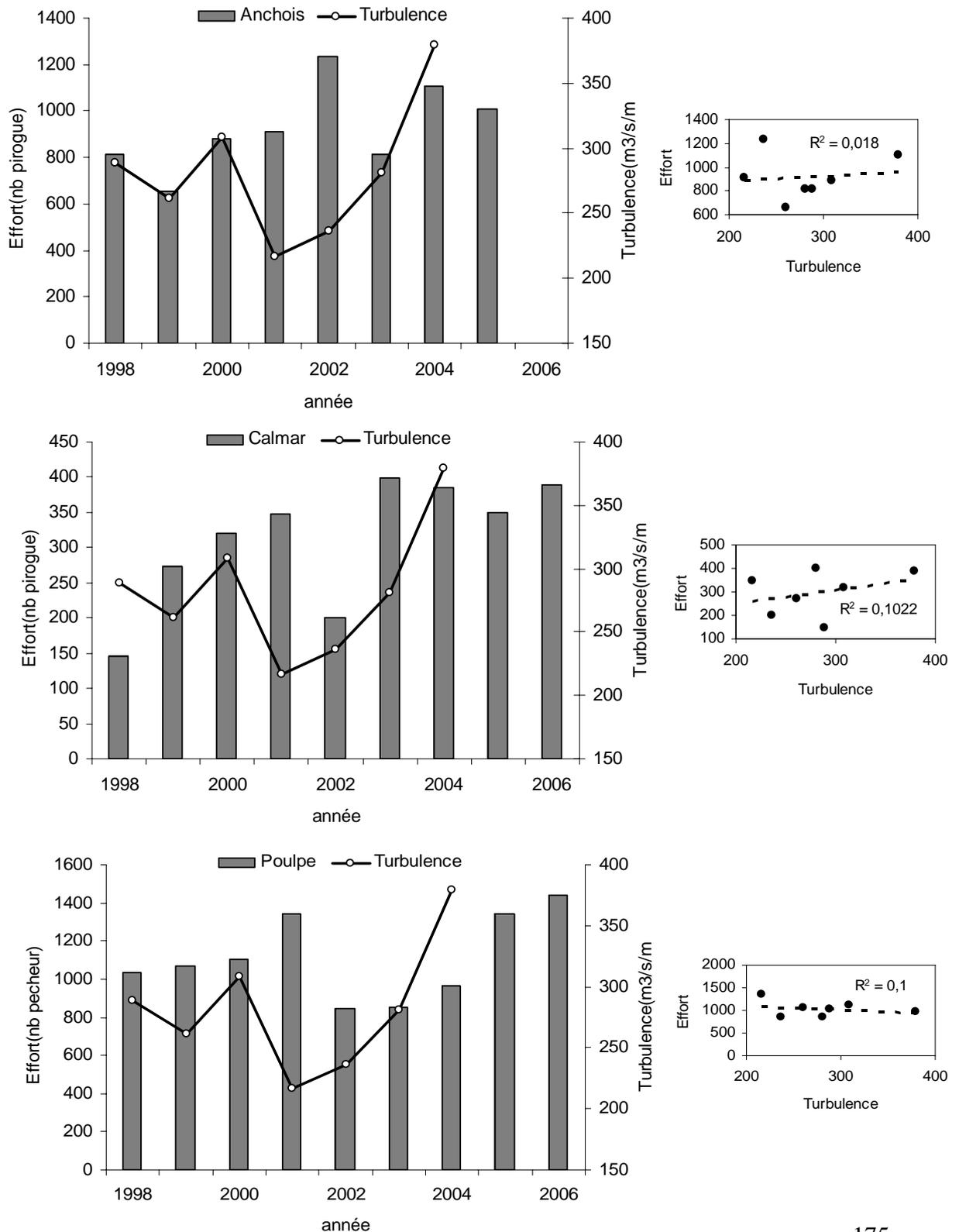


Figure. 92. Evolutions annuelles comparées de l'Effort de pêche des trois espèces exploitées (anchois, calmar et poulpe) et de la température de surface (TSM) sur la période 1998-2006.



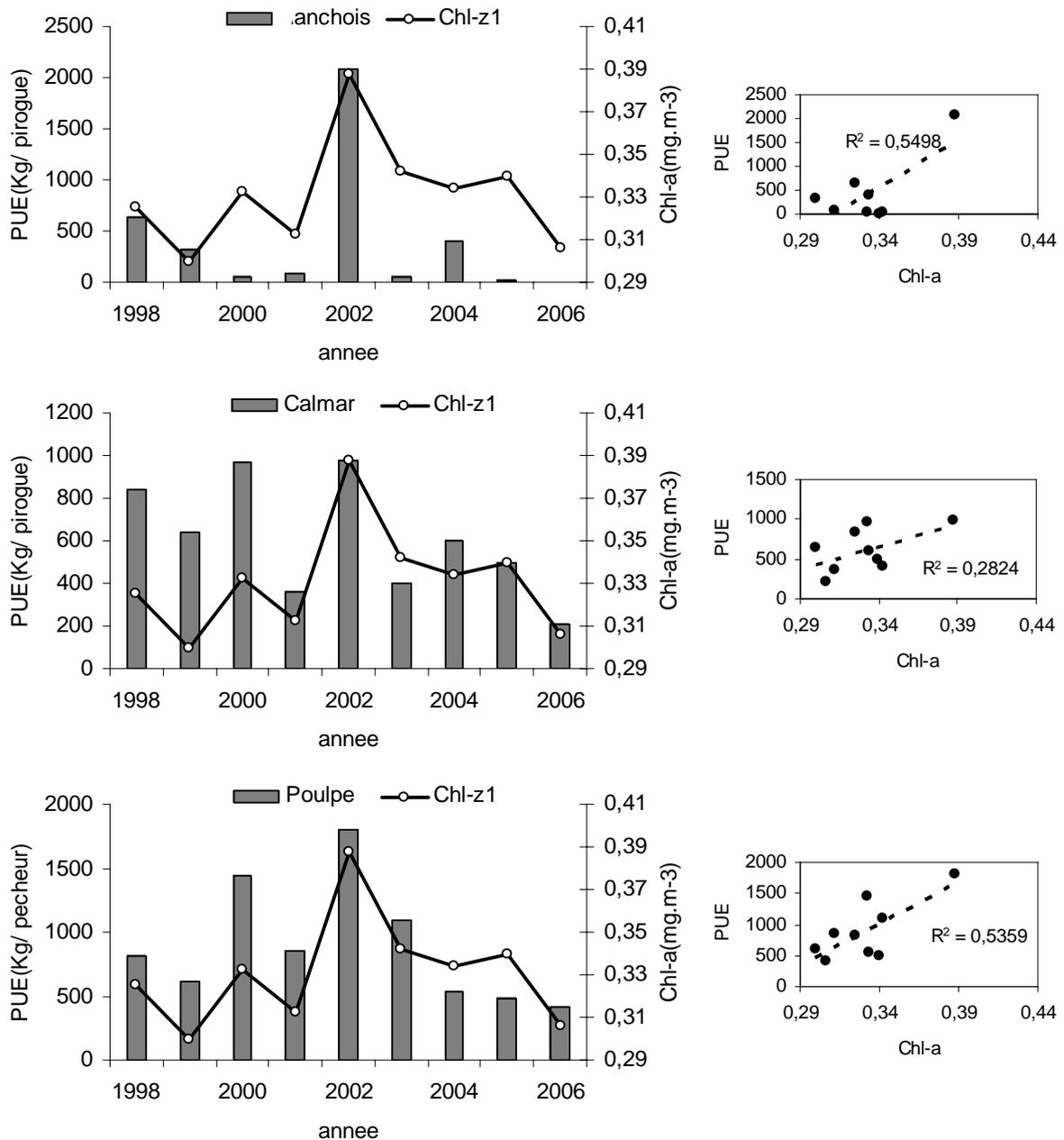
La turbulence ne semble pas avoir une influence significative sur l'évolution annuelle des efforts (Figure 93).

Figure. 93 Evolutions annuelles comparées de l'Effort de pêche des trois espèces exploitées (anchois, calmar et poulpe) et de la Turbulence sur la période 1998-2006.



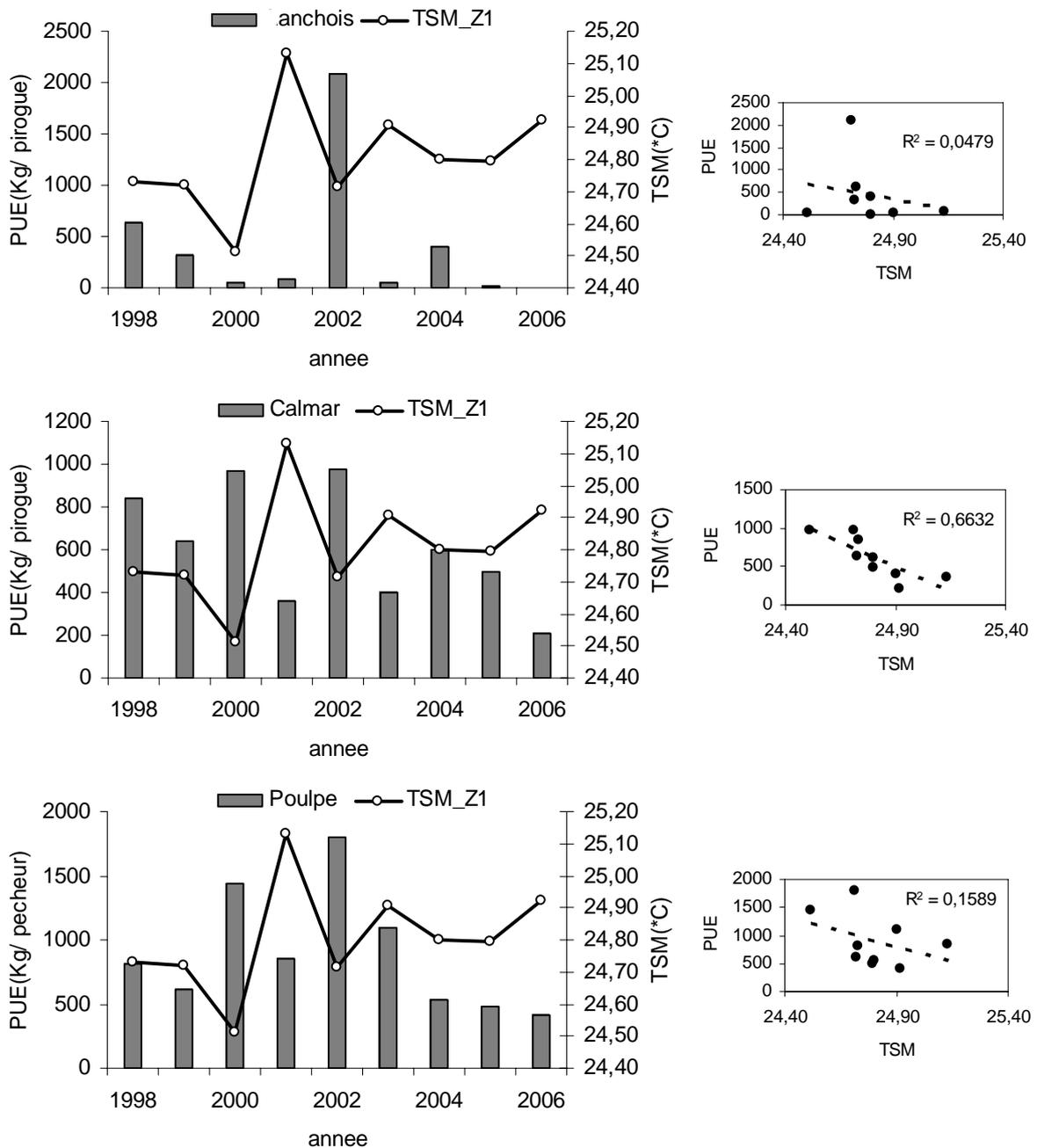
La mise en parallèle des séries annuelles de rendements avec l'évolution de l'intensité de la production primaire témoigne de la présence des relations positives. Une variation du rendement est généralement associée à un changement d'intensité de la production primaire (Chl-*a*), en particulier chez les anchois et les poulpes (Figure 94).

Figure. 94. Evolutions annuelles comparées des rendements (PUE) des trois espèces exploitées (anchois, calmar et poulpe) et de la productivité primaire (Chl-*a*) sur la période 1998-2006.



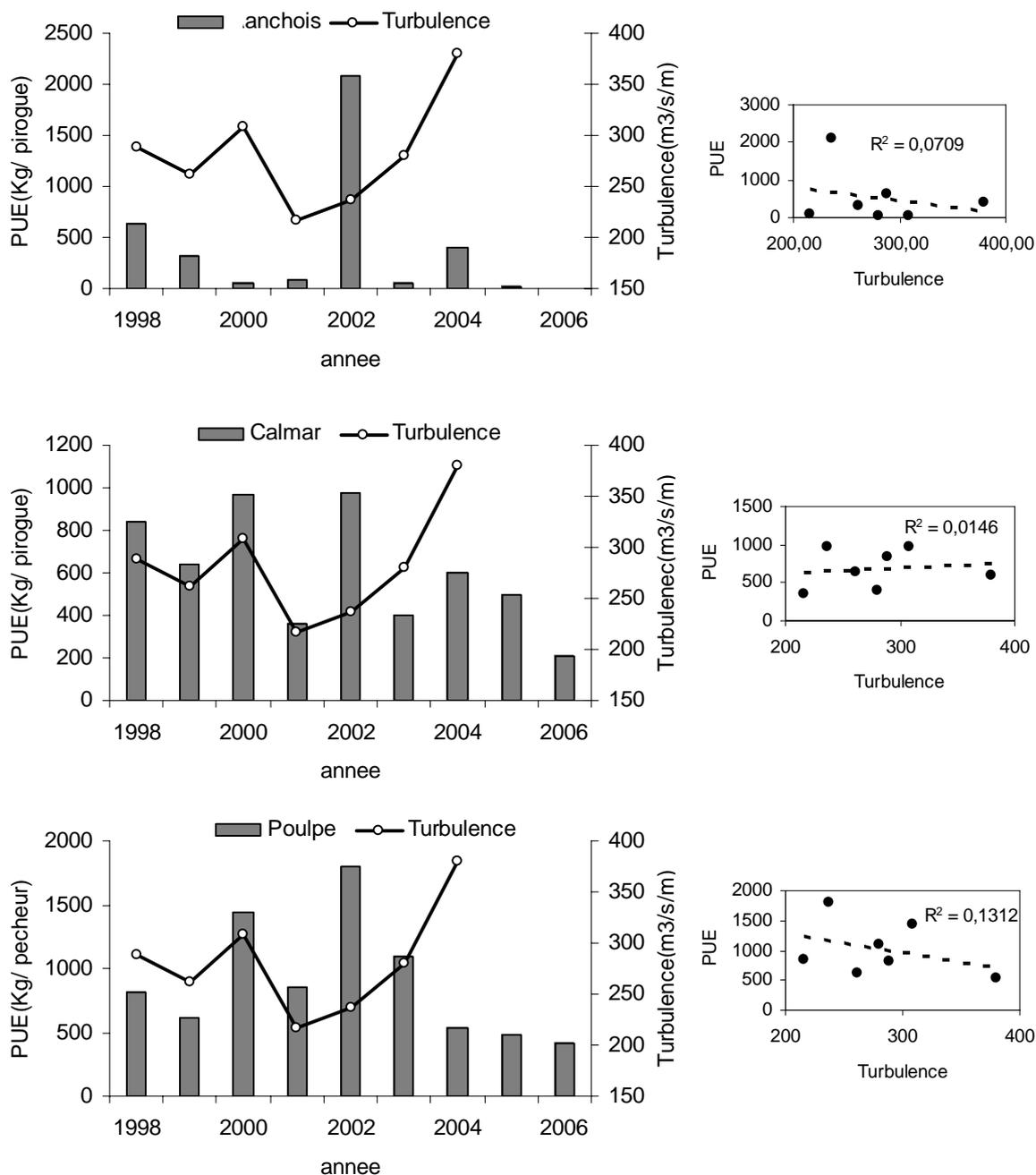
La température semble jouer un rôle négatif sur les rendements, car à toute diminution des rendements est associée une augmentation de la température (Figure 95). Cette relation peut être expliquée par le fait que durant la saison chaude, les efforts exercés sur les ressources augmentent, principalement orientés vers les poulpes et les calmars alors qu'eux-mêmes se font de plus en plus rares dans les pêcheries.

Figure. 95. Evolutions annuelles comparées des rendements (PUE) des trois espèces exploitées (anchois, calmar et poulpe) et de la température de surface (TSM) sur la période 1998-2006.



Pour l'anchois et les poulpes, les rendements et la turbulence semblent être liés négativement puisque l'augmentation de la turbulence est associée à une diminution de la PUE (Figure 96). Cette relation est quasiment nulle pour le calmar ($R^2 = 0.0146$).

Figure. 96. Evolutions annuelles comparées des rendements (PUE) des trois espèces exploitées (anchois, calmar et poulpe) et de la Turbulence sur la période 1998-2006.



Les captures exceptionnelles d'anchois en 2002 ont ainsi lieu dans des conditions d'upwelling (production primaire) particulièrement fortes et l'effondrement de la production de l'année

suivante coïncide avec une relaxation de l'intensité de la production primaire et une augmentation de la température de surface de la mer.

• Discussion

La mise en parallèle des captures, des efforts, des rendements et des variables environnementaux permet simplement de tirer quelques hypothèses quant à leur relation. Par contre, l'étude des corrélations des séries de captures, efforts, PUE (principalement pour l'anchois et le poulpe) et des paramètres environnementaux (résumés dans le Tableau 5 ci-après) apportent un certain nombre d'informations.

Tableau 5. Corrélations entre les paramètres environnementaux du sud et sud-ouest malgache (Chlorophylle-a (Chl-a), Température de surface (TSM) et Turbulence) et les captures, les efforts de pêche, les PUE sur la période 1998-2006. (* coefficients de corrélations significatifs au seuil $p < 0,05$).

		Chl-a				TSM				Turbulence
		Z1	Z2	Z3	Z4	Z1	Z2	Z3	Z4	Z1
Captures	anchois	0.78*	0.65	0.25	-0.06	-0.23	-0.59	-0.53	-0.24	-0.26
	calmar	0.35	-0.16	0.12	0.17	-0.72*	-0.51	-0.26	-0.44	0.45
	poulpe	0.53	0.58	0.56	-0.07	-0.34	-0.60	0.01	-0.30	-0.39
Efforts	anchois	0.81*	0.16	-0.03	0.02	-0.01	-0.25	-0.57	-0.38	0.13
	calmar	-0.18	-0.50	-0.01	0.44	0.37	0.42	-0.08	-0.30	0.31
	poulpe	-0.51	-0.52	0.32	-0.46	0.32	0.38	0.34	0.10	-0.26
PUE	anchois	0.74*	0.66	0.17	-0.05	-0.22	-0.57	-0.49	-0.19	-0.26
	calmar	0.43	0.41	-0.07	-0.11	-0.83*	-0.71*	-0.19	-0.23	0.12
	poulpe	0.69	0.81*	0.39	-0.08	-0.34	-0.68	-0.21	-0.42	-0.33

Ce résultat amène à considérer les coefficients de corrélations entre les séries de captures, efforts, rendements et les paramètres environnementaux. Les corrélations relativement élevées obtenues entre les paramètres environnementaux et les productions (captures, efforts et PUE) laissent supposer qu'il pourrait exister une relation entre les fluctuations annuelles environnementales et la taille des stocks des ressources disponibles et accessibles à la pêche locale. On remarque une forte corrélation entre les captures, les efforts et les PUE d'anchois, et la production primaire de Z1 et Z2 (respectivement $r=0.78^*$; 0,65 ; 0.81^* ; 0.16

et 0.74* ; 0.66). Cette corrélation reste importante et s'étend jusqu'au niveau de Z2. Le niveau de production primaire de Z1, Z2 et Z3 semble être fortement lié aux captures et aux PUE chez les poulpes.

On ne peut pas dire catégoriquement que le niveau d'indices d'abondance (passage massif) des anchois, des poulpes ou des calmars sur certaines années soit uniquement le résultat de la variabilité de l'intensité de la production primaire de la zone d'upwelling ou de la variation de la température de surface de la mer. On peut par contre supposer que de tels changements de régime dans l'état d'équilibre du système peuvent perturber les relations des populations avec leur milieu. D'ailleurs, toutes les espèces sont susceptibles d'être influencées par des changements environnementaux. Il est fort probable que les succès du recrutement d'anchois en 1987-88 et 2002 sont en fait la conséquence d'un effet indirect de ces changements environnementaux sur des populations en interaction directe avec les anchois. Par conséquent, l'intensification de l'activité de production primaire (en zone d'upwelling), associée à une baisse notable de la température a pu être nocive aux populations de prédateurs d'anchois mais indirectement favorable à ce dernier. Cette hypothèse s'explique par la relation positive entre les variations des captures, des efforts, des PUE d'anchois et celles des paramètres environnementaux, notamment la production primaire.

Skud (1982) affirme que de tels changements des relations d'une espèce avec les facteurs environnementaux ont bien souvent été mis en évidence chez des populations de poissons pélagiques avec une modification de dominance des espèces. Le même auteur affirme que l'abondance des espèces dominantes serait positivement corrélée avec les facteurs environnementaux qui amélioreraient la survie des larves, et l'abondance des espèces dominées serait négativement corrélée avec les mêmes facteurs. Ainsi, Bakun (1973) a observé en Californie une corrélation respectivement négative et positive entre un indice d'upwelling et les abondances des sardines et des anchois sur la période de 1951-1959 pendant laquelle le stock d'anchois était dominant. Dès que la dominance change, la réponse des espèces dominées change également. Un tel phénomène a été observé en Californie, où le recrutement du stock de sardines était positivement corrélée à la salinité de 1934 à 1941 puis négativement de 1942 à 1945 lorsque le stock d'anchois est devenu dominant.

Si de telles hypothèses s'appliquent à notre investigation sur les anchois du sud-ouest malgache, cela sous entend qu'il y a eu des moments où les facteurs environnementaux sont

favorables aux succès du recrutement des anchois (car relation positive avec les facteurs environnementaux).

Quoi qu'il semble y avoir des relations étroites entre les captures, les efforts, les PUE (indices d'abondance des espèces exploitées) et les facteurs environnementaux (corrélations positives ou négatives), nous n'avons pu au mieux que proposer quelques hypothèses concernant les passages massifs d'anchois ou les captures exceptionnelles des calmars et poulpes sur certaines années. Certaines limitations devraient être prises en considération à savoir : la période couverte par les données analysées et les limites des études de corrélations. En fait, la corrélation de Pearson utilisée ne mesure que l'ajustement des données à un modèle linéaire et le coefficient ne mesure que le degré de liaison linéaire entre deux variables. Une valeur élevée du coefficient n'indique pas toujours une dépendance directe de ces variables ni même une relation de cause à effet, car les corrélations entre deux variables résultent presque toujours d'un schéma complexe d'interdépendances. De ce fait, les effets sur l'abondance des anchois par d'autres facteurs que celui considéré dans l'analyse de corrélation peuvent à certaines périodes venir modifier ou masquer les relations réelles entre ce facteur et l'abondance. D'autres paramètres environnementaux devraient s'ajouter à l'analyse comme la salinité et l'indice de la rétention côtière qui favorisent la survie larvaire des espèces.

Enfin, les études des variations de captures, des efforts et des rendements comparées à celles des paramètres environnementaux ignorent les effets simultanés de divers processus climatiques sur les ressources, alors que l'état d'équilibre environnemental d'un système en requiert. Dans les zones d'upwelling où les processus ont souvent des effets contradictoires, une présentation simultanée de trois paramètres climatiques pourrait aider à la compréhension des relations environnement-ressources.

Une telle démarche a été appliquée au niveau de la zone 1 (zone d'upwelling), zone 2, zone 3 et zone 4 sur les trois paramètres climatiques pris en considération (Chl-*a*, TSM et Turbulence). Au niveau des trois premières zones, ce type de présentation apporte certaines informations supplémentaires permettant de relier les évolutions des captures, des efforts et des rendements à celles de l'environnement. L'année de forte ou de faible capture d'anchois par exemple a des combinaisons environnementales très distinctes (Figure 97-a,b). L'année 2002 qui est caractérisée par une forte capture se distingue des autres par un taux très élevé en Chl-*a*, combiné à une turbulence et TSM faibles.

Figure. 97-a. Représentation graphique 3-D des paramètres environnementaux annuels (Chl-a, TSM et Turbulence) dans les quatre principales zones entre 1998-2006. (a-Z1, b-Z2, c-Z3 et d-Z4).

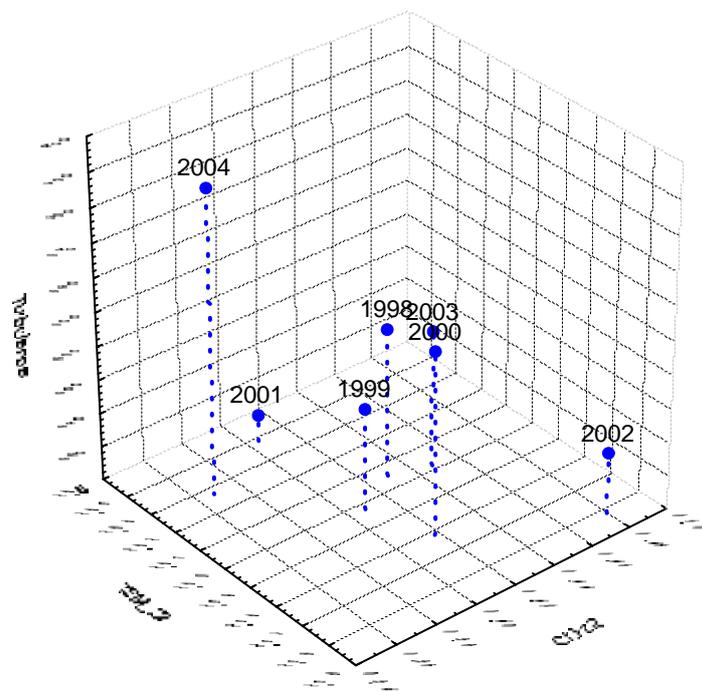
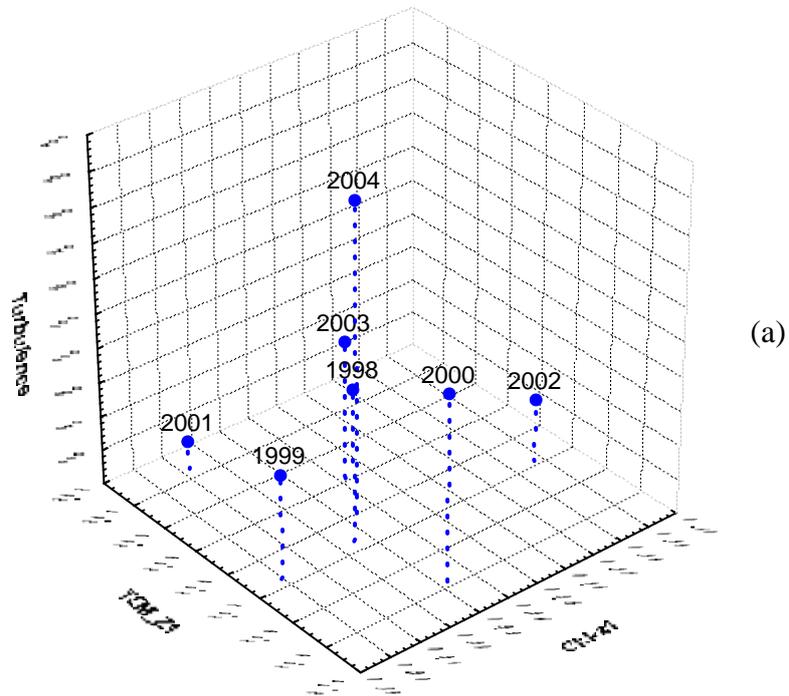
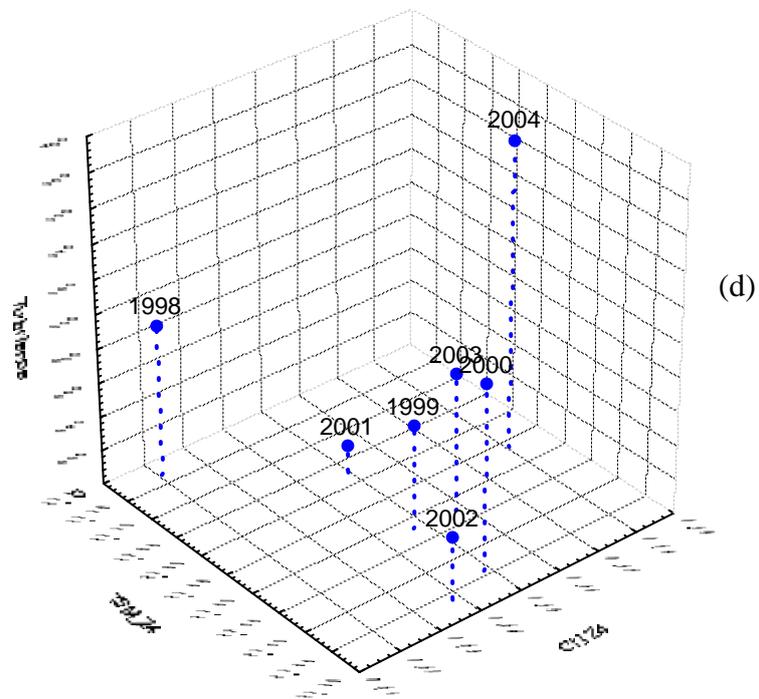
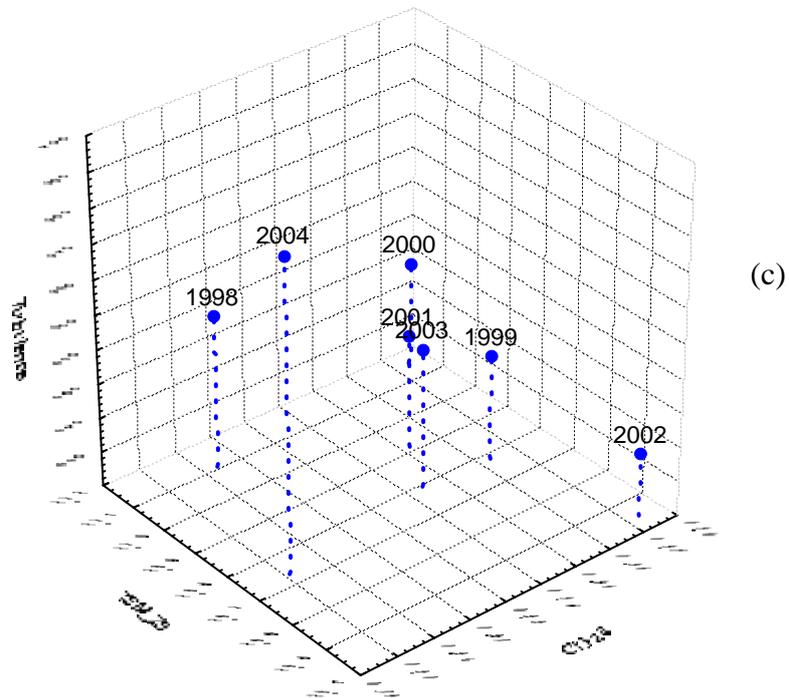


Figure. 97-b. Représentation graphique 3-D des paramètres environnementaux annuels (Chl-*a*, TSM et Turbulence) dans les quatre principales zones entre 1998-2006.



Il semble qu'à une certaine gamme de conditions environnementales correspond un seuil au succès de recrutement. De fortes captures d'anchois seraient obtenues en 2002 lorsqu'une intensité de production primaire en Chl-*a* dépasse $0.53 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, une température de la mer inférieure ou égale à 24.7°C et une turbulence inférieure à $260 \text{ m}^3/\text{s}^3$. Par contre, la production est faible (en 2001 par exemple) lorsque la production en Chl-*a* est faible (inférieure à $0.31 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ en zone d'upwelling), la température de surface de la mer supérieure à 25.1°C malgré la turbulence relativement faible.

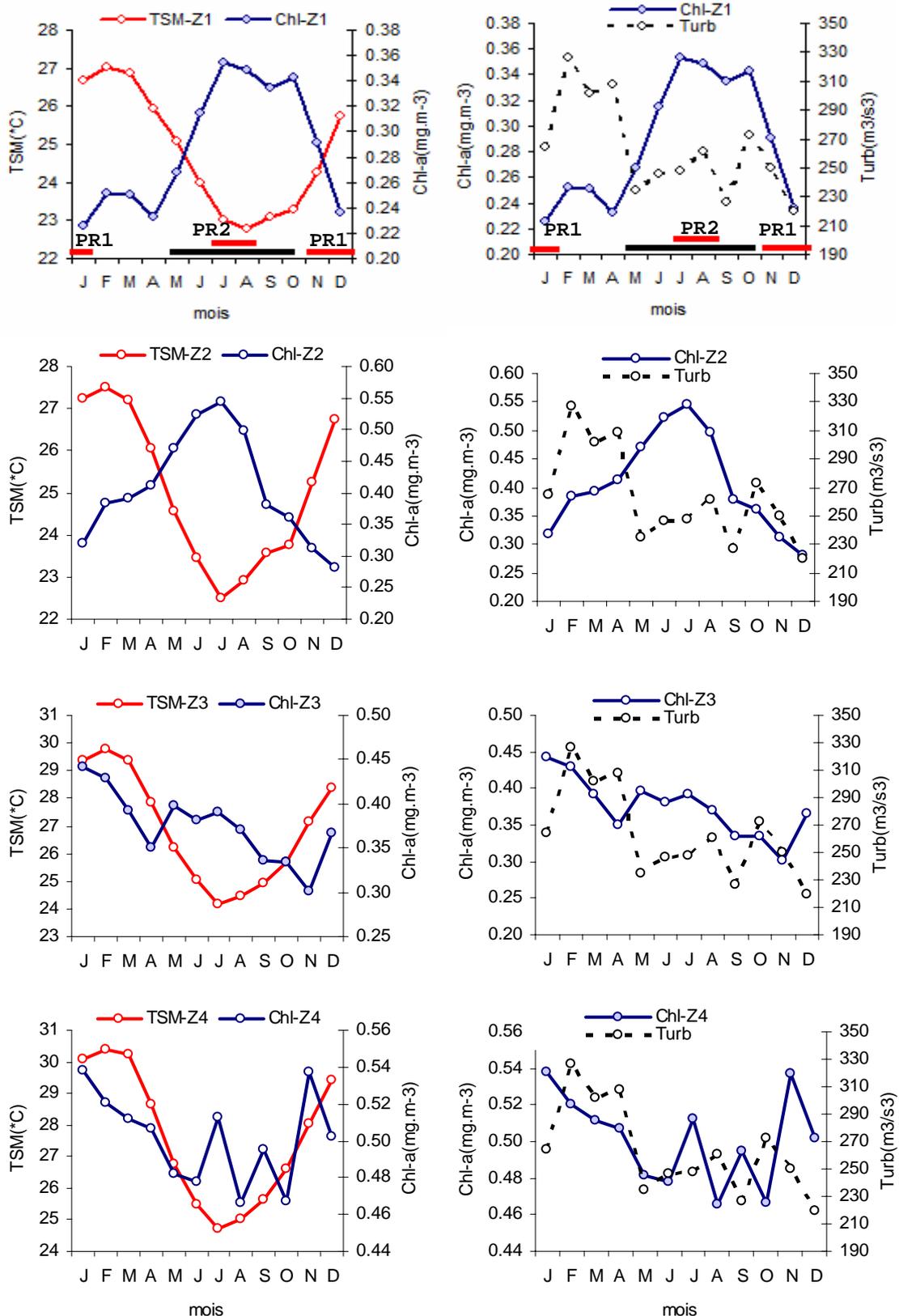
4.3.3. Adaptation de la reproduction des anchois et des poulpes du sud-ouest malgache aux contraintes environnementales.

On vient de constater que les captures, les efforts et les PUE sont en relation avec la disponibilité et l'accessibilité des ressources dans la pêche. On sait aussi que la combinaison environnementale est déterminante pour la survie larvaire et en conséquence le succès du recrutement. On peut ainsi dire que la stratégie (spatiale et temporelle) de reproduction des espèces sont adaptées aux variations saisonnières de l'environnement pour discerner « la fenêtre environnementale optimale » favorable à la survie larvaire et au succès du recrutement. Pour vérifier une telle hypothèse, les cycles de reproduction des poulpes et des anchois du sud-ouest malgache sont mis en parallèle aux variations saisonnières des paramètres environnementaux (Figure 98).

- Chez les anchois (*S. indicus*) du sud-ouest malgache, la période de ponte s'étale de *mai* à *octobre* (Rakotorinivo (1998), période correspondant aux caractéristiques environnementales très distinctes (Figure 98). La ponte débute donc au moment où l'intensité de la production primaire augmente et s'étale durant la période de forte activité de l'upwelling du sud (*juillet-octobre*), de forte baisse de température de surface associée à une turbulence minimale. L'éclosion aurait lieu plus tard et les larves issues de ces pontes hivernales sont ainsi soumises à des conditions environnementales favorables pour leur survie.

- Chez les poulpes (*O. cyanea*), on assiste à deux principales périodes de ponte (Chap.1 biologie des espèces), lesquelles correspondent à deux caractéristiques environnementales très distinctes. La ponte de la saison chaude (*novembre-janvier*) (ponte principale ; P1 sur la figure) débute dans des conditions de faible intensité de l'upwelling sud (en Z1 et Z2) mais d'une légère augmentation en production primaire sur les deux zones plus au nord. L'éclosion ayant lieu 20-30 jours plus tard, les larves issues de cette cohorte printanière sont soumises à des températures relativement élevées ($>27^{\circ}\text{C}$) associées à une turbulence de l'ordre de $200\text{-}250\text{ m}^3/\text{s}^3$. Les œufs éclos plus au nord (Z4) donnent pourtant des larves bénéficiant d'un milieu plus riche en production primaire ($\text{Chl-}a > 0.5\text{mg.m}^3$). Ce sont les individus issus de cette cohorte qui sont recrutés pour la pêche de l'année suivante (premier pic de recrutement : *avril-juillet*).

Figure 98. Cycles saisonniers moyens des conditions environnementales (température de surface de la mer (TSM), production primaire (Chl-*a*) et turbulence) et principales périodes de pontes des anchois et des poulpes (— période de ponte des anchois ; — périodes de ponte des poulpes, PR1 : ponte principale, PR2 : ponte secondaire).



La ponte secondaire (P2 sur l'image) a lieu au milieu de la saison froide (*juillet-août*) alors que l'upwelling du sud est fort, la température est minimale et la turbulence dépassant $250 \text{ m}^3/\text{s}^3$. Les larves apparaissent de *juillet* à *septembre* dans milieu relativement riche en production primaire, température faible et turbulence stable. Les cohortes issues de cette ponte secondaire sont les nouveaux recrues pour la pêcherie printanière (deuxième pic de recrutement : *décembre-janvier*).

- **Conclusion et discussion**

Les anchois des côtes sud et sud-ouest de Madagascar se reproduisent en saison de forte intensité de la production primaire. Au niveau de la zone 1 (supposée de lieu de ponte), cette période s'étale entre la période de reprise de l'activité de l'upwelling (*mai*) et se termine au moment où son intensité commence à chuter (*octobre*). Cette situation implique nécessairement que les larves issues des pontes dès le début de l'intensité d'upwelling bénéficient beaucoup plus de nourritures que celles écloses vers la fin de la saison froide. Si les anchois se reproduisent en pleine saison d'upwelling, c'est sans aucun doute que leurs stocks sont essentiellement localisés au niveau des zones dont la configuration du plateau continental constitue une barrière aux processus dispersifs induits par l'upwelling (zone Est et Ouest de Cap Ste Marie) (cf. Figure 82).

On pourrait s'attendre au même avantage pour les larves issues des œufs pondus au niveau de la zone 2, à la seule différence qu'ici, l'étalement de la période d'intensité maximale en production primaire est plus réduit, donc une plus courte durée d'abondance de nourriture. Les juvéniles migrent probablement vers le nord ; une migration favorisée par la circulation des eaux superficielles riches en nourriture le long des côtes jusqu'aux environs de la latitude -23°S , l'enrichissement de la zone plus au nord étant indépendant du processus d'upwelling.

Chez les poulpes, l'existence de deux principales périodes de ponte par an dans un environnement dont la dynamique saisonnière est marquée, suggère que les larves issues de ces deux cohortes rencontrent des conditions environnementales différentes. La première période de reproduction se situe en début d'été austral, en fin de la saison d'intense activité de l'upwelling sud (Z1) et de production primaire en zone 2. Les milieux sont moins turbulents. A la même période, les deux autres zones plus au nord présentent des niveaux d'enrichissement non moins importants.

La deuxième période de reproduction a lieu en plein hiver austral au moment de l'intense activité d'upwelling en Z1. Les mêmes conditions sont observées dans les trois autres zones avec un niveau moyen de production primaire plus important en zone 4.

Cependant, et particulièrement chez les poulpes, on remarque qu'au moment des pontes, les œufs sont fixés à des substrats et bénéficient en plus d'un soin maternel particulier. Ce qui laisse penser que ce ne sont pas uniquement les conditions environnementales au moment de la ponte qui sont déterminants, mais plutôt celles rencontrées au cours de l'éclosion des larves (Faure, 2000). Les pontes de l'été australe (*novembre-janvier*) juste après la période d'enrichissement maximal du milieu, assurent l'obtention des larves vivant dans un milieu, d'une part à température croissante (qui favorise la croissance), moins turbulent, et d'autre part dans un environnement où s'installe progressivement le processus d'enrichissement (Z1 et Z2). Ce constat mettrait en évidence l'importance pour la reproduction de l'été austral (P1), car les pics de captures atteints six mois plus tard (*juillet-octobre*, paragraphe 3.2.2.1.) sont composés en majorité des individus issus de ces pontes.

Bref, que ce soit chez les anchois ou chez les poulpes, les périodes de pontes semblent établies afin d'assurer les meilleurs compromis saisonniers entre les différents processus environnementaux et en particulier l'enrichissement et la température de l'eau de mer. Néanmoins, des études sur la productivité biologique des eaux (phytoplancton et zooplancton) devraient être entreprises afin de mieux apprécier l'accord entre la reproduction des espèces et les processus d'enrichissement du milieu.

DISCUSSION ET CONCLUSION DU CHAPITRE 4

Pourrait-on affirmer qu'il existe des relations étroites entre la variabilité des captures, d'effort de pêche, des rendements de la pêcherie traditionnelle d'anchois, de calmars et de poulpes du sud-ouest malgache et celle des paramètres environnementaux ? Certaines informations recueillies le long de ce chapitre révèlent les effets conséquents de la variabilité de ces paramètres sur cette pêcherie. Les passages massifs des anchois à certaines années, en particulier en 1988-89 et 2002 ont ainsi pu être reliés aux modifications interannuelles de l'intensité du processus d'enrichissement du milieu où se reproduit cette espèce (phénomène d'upwelling du sud associé aux autres processus locaux vers les zones plus au nord). Ainsi, les captures, efforts, rendements de 2002 sont fortement corrélés au niveau moyen de la production primaire de l'année. Globalement, une intensification de la production primaire

de la zone d'upwelling a des impacts positifs sur les captures et rendements des trois espèces exploitées. Cette corrélation positive doit être prise avec une certaine réserve du fait que l'influence spatiale du processus d'enrichissement des zones de pêche par l'upwelling du sud se limite au niveau de la latitude -23°S . Le caractère « opportuniste » de la pêche traditionnelle fait que si les efforts de pêche évoluent en parallèle à la productivité primaire de la zone d'upwelling pour les anchois, ils diminuent pour les calmars et les poulpes. La température de surface de la même zone semble évoluer en sens inverse avec les captures et les rendements. L'émergence des anchois en 2002 semble donc être favorisée par une baisse générale de la température de la mer dans la région. Il est plus difficile de relier les effets de la turbulence sur les captures, les efforts et rendements, du fait que sa part au processus d'upwelling est relativement faible. Les conditions environnementales en zone d'upwelling (Z1) permettent d'expliquer en partie le succès de la survie larvaire et donc du recrutement chez les anchois (disponibilité alimentaire, turbulence faible et zones probables de ponte à potentiel de rétention important).

Pour les anchois, les périodes de pontes coïncident avec les maxima de productivité primaire, ce qui permet aux larves de bénéficier un important apport trophique ; ceci dans un environnement plus stable (turbulence faible) et la température minimale. La stratégie est un peu nuancée chez les poulpes avec deux périodes de pontes donnant naissance à deux cohortes par an dont celles issues de la ponte d'été ont plus de chance de survie.

Pour conclure, l'analyse des relations environnement-ressources a permis de dégager certaines informations sur la variabilité des captures, des efforts et des rendements de la pêche traditionnelle sud-ouest malgache d'anchois, de calmars et de poulpes. Il semble pourtant difficile de connaître le rôle exact de l'environnement sur les ressources, dans la mesure où les interactions au sein même du milieu marin sont complexes et que de nombreux facteurs sont susceptibles d'avoir également un impact sur la ressource.

CHAPITRE 5

**Approche modélisatrice simple de l'impact de
l'environnement sur les stocks exploités**

5.1. Introduction

La forme des relations entre les indices d'abondance (captures, efforts et PUE) des anchois, des calmars et des poulpes et les paramètres environnementaux est analysée à l'aide de modèles simples de l'impact de l'environnement sur les stocks exploités. L'expression mathématique décrivant les relations théoriques entre P.U.E. et effort de pêche se réduit généralement à un modèle simple, pouvant être facilement linéarisé : modèle linéaire dans le cas du modèle de Schaefer et modèle exponentiel dans le cas du modèle de Fox et Garrod. Seul le modèle de Pella et Tomlinson est un peu plus complexe, mais la relation entre effort et P.U.E. reste monotone. Il en va tout autrement des relations entre P.U.E et environnement, qui en théorie peuvent prendre toute forme de fonction mathématique, monotone ou non (Fréon *et al.*, 1992). Des algorithmes itératifs qui étendent les analyses de régression multiple linéaire aux modèles additifs généralisés fournissent une méthode d'exploration des relations entre une variable réponse et des variables prédictrices quand la forme de la relation est inconnue à priori (Faure, 2000). Le logiciel dédié CLIMPROD permet de réaliser une telle analyse.

5.2. Généralités et modélisation sur Climprod

- **Généralités.** Le logiciel dédié, CLIMPROD, permet de choisir puis d'ajuster et valider statistiquement le modèle de production le mieux adapté au cas de chaque pêcherie (Fréon *et al.*, 1991; 1993). Cet outil de modélisation est adapté à l'usage des chercheurs comme des décideurs, grâce à l'utilisation de l'intelligence artificielle. Il apporte une aide pratique à la prise de décision dans les situations où le climat et l'effort de pêche jouent un rôle prépondérant dans l'évolution des biomasses exploitées (Fréon *et al.*, 1989; 1991). L'utilisation de ce logiciel dans le domaine des pêches a été discuté en détail dans Fréon *et al.*, (1991 ; 1992 ; 1993) et de nombreuses applications sont disponibles dans la littérature (Fréon *et al.*, 2005 ; Fréon, 1983 ; 1984 ; Fréon *et al.*, 1995 ; Bebars *et al.*, 1997 ; Crivelli *et al.*, 1995).
- **Structure de données requises.** Le jeu des données de base que nécessite CLIMPROD se compose simplement de deux séries chronologiques de valeurs moyennes annuelles concernant la pêcherie, prise (Y) et effort de pêche (E), permettant de calculer la prise par unité d'effort ou P.U.E ($U=Y/E$), et d'une série chronologique d'une variable de

l'environnement (V), calculée à l'échelle saisonnière ou annuelle. Un minimum de 12 triplets de valeurs annuelles consécutives est exigé par le programme, sans données absentes (Fréon *et al.*, 1992). L'effort de pêche standardisé est recommandé dans les analyses sur Climprod, ceci pourrait améliorer le modèle selon Evans *et al.*, (1997).

- **Ajustement du modèle.** L'algorithme de Marquardt est utilisé pour l'estimation par la technique des moindres carrés des paramètres des formules non linéaires. Il s'agit d'une méthode itérative qui, à partir des valeurs initiales des paramètres du modèle, cherche par approximations successives leurs valeurs optimales (Fréon *et al.*, 1992).
- **Validation du modèle.** Le modèle approprié est choisi en utilisant la routine de régression non linéaire, et les résultats sont validés avec des tests paramétriques et non paramétriques. Le coefficient de détermination (R^2) est donné par le programme et la méthode du jackknife (Ducan, 1978; Efron et Gong, 1983) est utilisée pour donner une indication sur la robustesse du modèle. La méthode de Jackknife consiste à effectuer autant d'ajustements qu'il y a de triplets d'observations annuelles, en retirant successivement une année du jeu de données initial. Ceci permet de contrôler la stabilité du modèle et d'estimer, sans biais, R^2 et les coefficients de régression. L'analyse graphique des résidus et du modèle est également utilisée dans cette étape de validation (Fréon *et al.*, 1992).

5.3. Application de modèles CLIMPROD à l'étude de l'impact des fluctuations annuelles environnementales sur la variabilité des indices d'abondance d'anchois, de calmars et de poulpes du sud-ouest malgache.

5.3.1. Hypothèse de travail et analyses

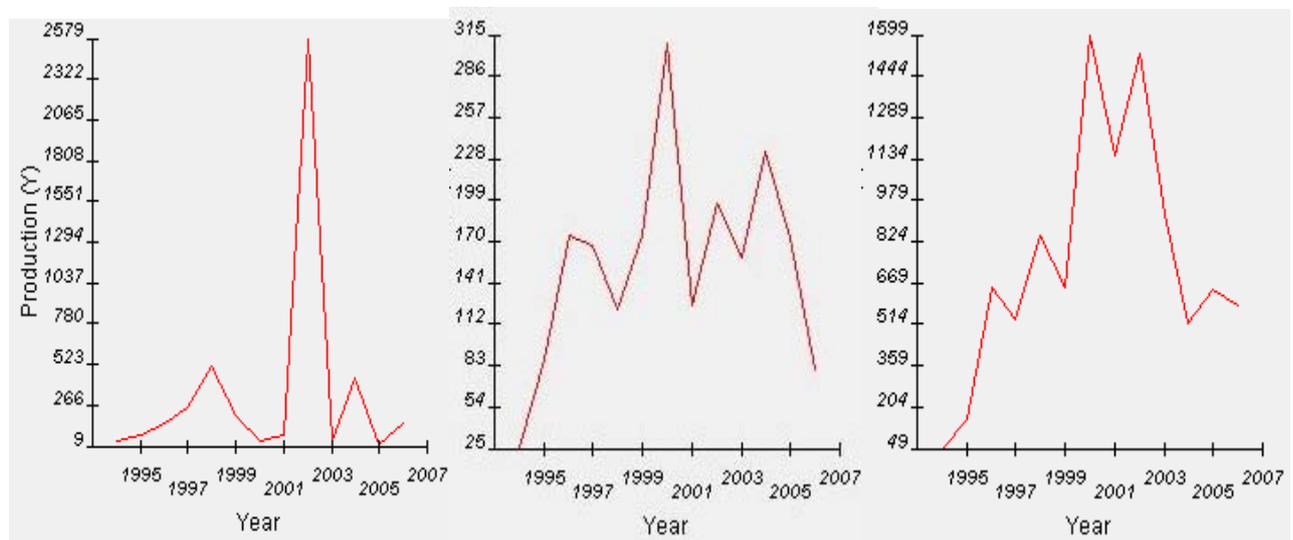
Les côtes sud et sud ouest de Madagascar abritent des nurseries, en particulier pour les anchois. La découverte des larves et juvéniles de cette espèce tout près de la côte entre le Cap Andriamanao et Tolagnaro (cf Fig. 82) lors de la campagne océanographique du bateau Dr Fridjoff NANSEN en octobre 2008 en témoigne (*com.pers.*). Les jeunes reproducteurs et adultes (1 à 1,5 ans) vont migrer vers le nord pour alimenter la zone de pêche du sud-ouest, en suivant les courants de surface remontant les côtes. Pour les calmars et poulpes, l'analyse sur

CLIMPROD est réalisée en supposant que dans la région, les parties exploitées par les pêcheries sont issues, chacun, d'un même stock.

Comme indiquée plus haut, la particularité de la zone étudiée est la présence d'un upwelling côtier permanent dans le sud et qui assure l'enrichissement de la zone en production primaire (cf. Chap. 4.2.3.2). L'activité de l'upwelling génère une productivité biologique à des niveaux relativement élevés. Les estimations de la production primaire sont extrêmement variables dans le temps et l'espace. Des valeurs maximales en *Chl-a* supérieures à 0.5 mg.m^{-3} (0.730) ont été enregistrées dans les zones avoisinantes de l'upwelling et des valeurs minimales autour de 0.137 mg.m^{-3} sont mesurées au niveau du foyer d'upwelling (Bemiasa, in prep.).

Les pêcheries d'anchois, de calmars et de poulpes dans la région du sud-ouest débutait il y a longtemps (~ 3 siècles) et se font toujours de manière traditionnelle (cf. Chap. 2.1). En terme de production, alors que la totalité des anchois est consommée localement, la quasi totalité des calmars et des poulpes pêchés dans la région est destinée à l'exportation (cf. Chap. 2.4). Si les autres années (entre 1974 et 2006) ne connaissent pas de fortes captures pour les trois espèces (< 1 600.0 t), la capture totale de l'année 2002 est significativement élevée et dépassait 2500 t.

Figure 99. Captures totales d'anchois, de calmar et de poulpe dans le sud-ouest de Madagascar, 1994-2006. La production est exprimée en t.



A travers ce chapitre, on analysera les données existantes sur les captures, les efforts, les CPUE et les variables environnementaux en vue d'étudier l'exploitation, les paramètres de population et les interactions entre les ressources et leurs environnements.

5.3.2. Matériels et méthodes

5.3.2.1. Les séries environnementales

Les paramètres environnementaux (prédictifs) constituent les variables climatiques (Chl-*a*, TSM et Turbulence). Les détails relatifs à ces données sont décrits au chapitre 4.2.1.2 de ce manuscrit. Les analyses sont réalisées sur la période de 1994-2006 pour les deux types de variables. Les moyennes annuelles des variables climatiques sont calculées entre les latitudes -22°S et -26°S, soit dans l'ensemble des zones de pêches traditionnelles du sud-ouest malgache. En ce qui concerne les données de la couleur de l'eau (Ch-*a* de SeaWifs), les valeurs manquantes sont remplacées par la moyenne des valeurs existantes. Sachant les relations liant Chl-*a* et TSM en zone d'upwelling (cf. Chap. 4.2.3.2) et leur rôle prépondérant à la survie des espèces étudiées (cf. Chap. I), seuls ces deux paramètres seront utilisés pour les analyses futures.

5.3.2.2. Analyses de capture et effort

Les variables introduites dans Climprod sont ici les paramètres biologiques (à prédire) à savoir les captures et les efforts annuels de pêche. Ces données sont obtenues auprès du Service Provincial des Pêches et des Ressources Halieutiques (SPPRH) (cf. Chap. 2.4). Les seuls efforts de pêche disponibles sont le nombre des pirogues (pour l'anchois et calmar) et pêcheurs-collecteurs pour le poulpe. L'effort « normalisé » est calculé en utilisant la formule classique :

$$f_e = \frac{\sum U_i f_i}{U} \quad \text{avec } U = \frac{\sum C_i f_i}{\sum [(q_i/q_R) f_i]} \quad \text{et} \quad q_i/q_R = \frac{f_{iR}}{f_i}$$

où

f_e = effort normalisé
 U = taux de capture
 C = la prise ou capture
 f_i = effort de pêche
 q_R = coefficient de capturabilité de référence

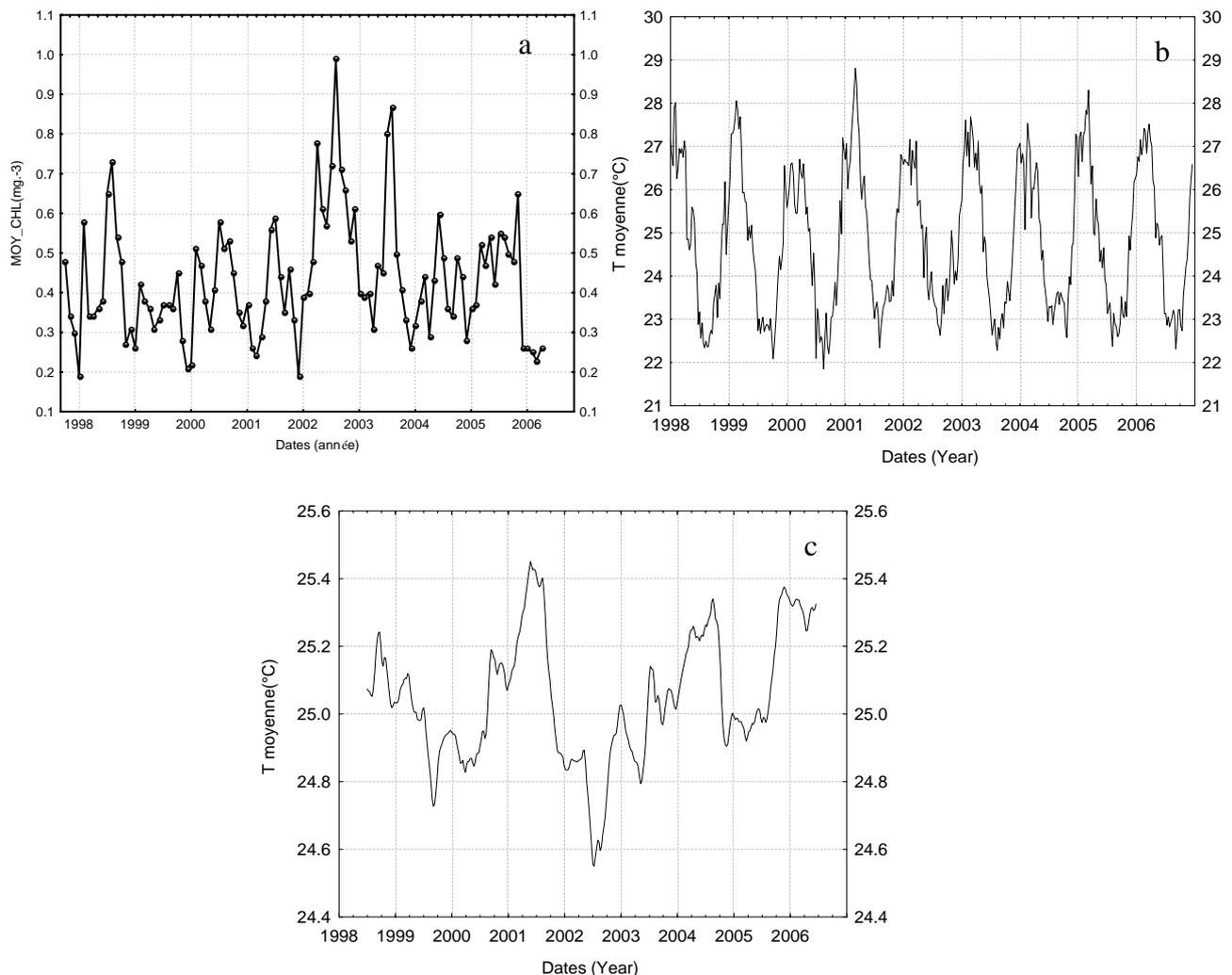
Le système « expert » de Climprod permet de sélectionner des modèles de surplus de production appropriés en tenant compte l'effet d'un variable environnemental. Avec 13 nombres d'observations annuelles, le coefficient de corrélation entre capture et p.u.e est toujours élevée (entre 0.78 et 0.98), alors qu'elle varie de 0.19 et 0.58 entre capture et effort.

5.3.3. Résultats

5.3.3.1. Les séries environnementales

Les figures 100a et 100b montrent respectivement les séries temporelles des anomalies mensuelles de l'intensité d'activité de l'upwelling sud malgache et l'évolution de la température de surface de la mer de la même zone sur la période 1998-2006. Les deux séries montrent d'importantes composantes saisonnières avec un maximum d'activité durant les mois de juillet-août pour l'upwelling, correspondant aux minima des valeurs de température enregistrées dans la zone (cf. Chap. 4.2.3.2 et 4.2.3.3). Les années 1998, 2002 et 2003 montrent des anomalies très marquées pour les deux séries, en particulier durant les mois de juillet-août de l'année 2002 (Fig. 100 a et c).

Figure 100. (a) Séries temporelles des anomalies mensuelles de l'intensité d'activité de l'upwelling sud malgache (Chl-*a* SeaWifs: mg.m⁻³) sur la période 1998-2006 et (b) de TSM entre 1990-2006. (c) TSM moyenne (moyenne mobile 13).



5.3.3.2. Approche de surplus de production

En appliquant le système expert de CLIMPROD, on a utilisé les efforts de pêche et les p.u.e comme indice d'abondance. Pour les trois espèces étudiées, le nombre de classe d'âge exploité est fixé à 2 pour les trois espèces. Le recrutement s'effectue au cours de la première année et les paramètres environnementaux (pris séparément) influencent les stocks sur la période de 3 ans (à partir de la maturité, considérée âge 0 et les 2 années suivantes). On considère aussi que l'influence de ces paramètres agit simultanément sur l'abondance et la capturabilité.

Les variables utilisées pour l'ajustement des modèles (les captures, les efforts, les CPUE et Chl-*a* ou TSM) montrent (à part celles des anchois qui sont asymétriques) une distribution voisine à la normale (Figure 101).

Figure 101. Distributions univariées des captures, efforts, CPUE, Chl-*a* et TSM

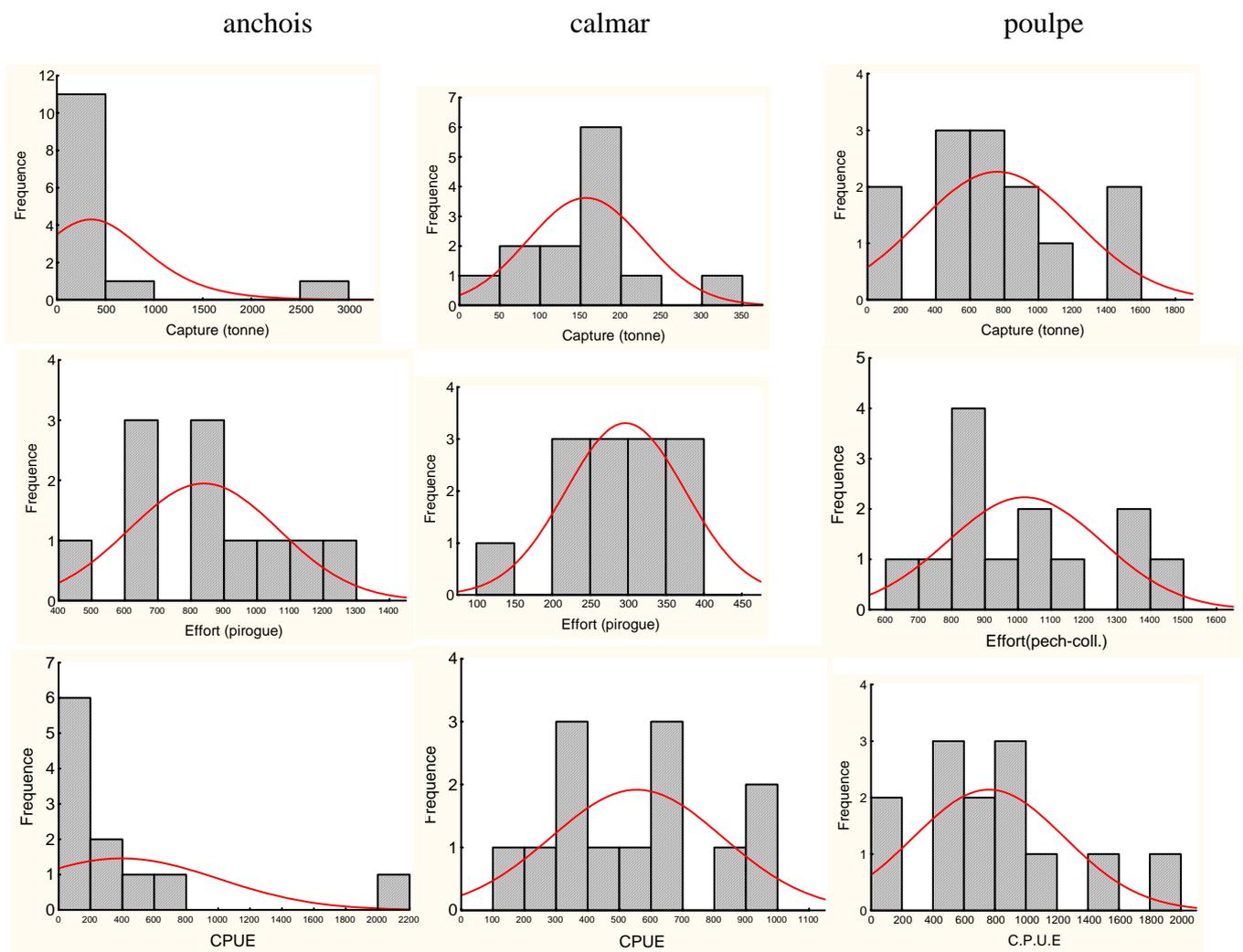
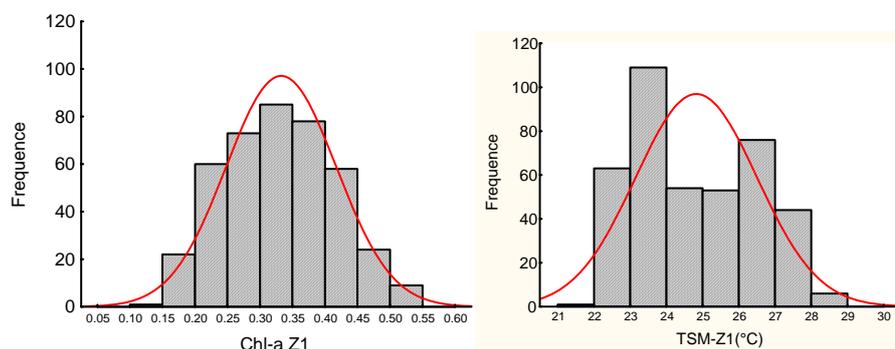


Figure 101(suite). Distributions univariées des captures, efforts, CPUE, Chl-*a* et TSM



Les relations entre effort et CPUE prennent la forme linéaire ou tout au moins monotone (Fig. 102-suite-a). Par la suite, seules les relations entre Chl-*a* seront présentées, étant donnée que la relation liant « température-Chl-*a* » va en sens inverse dans les zones d'upwelling.

Figure 102. Relations bivariées entre (a) CPUE et effort, (b) effort et capture, (c) CPUE et Chl-*a*.

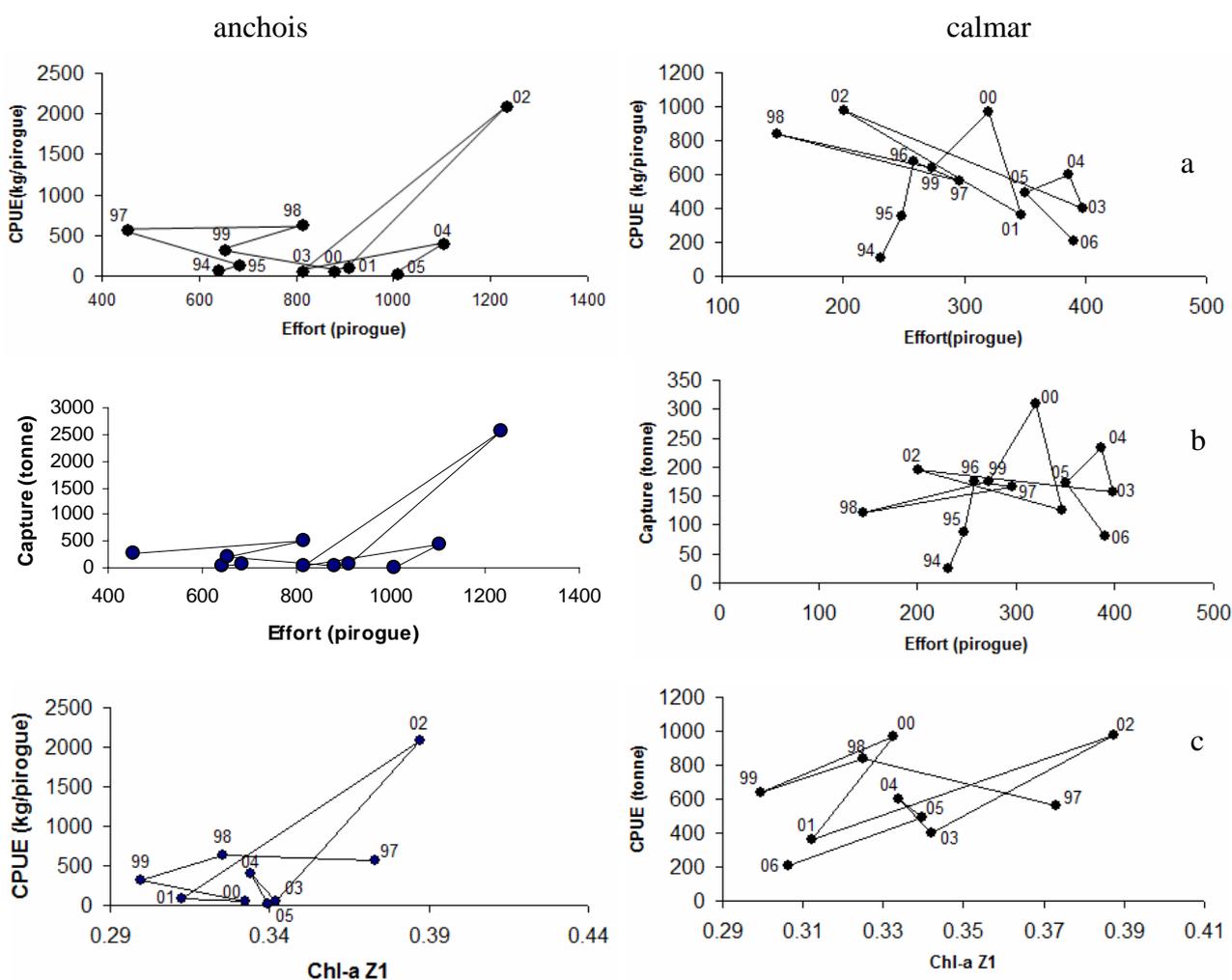
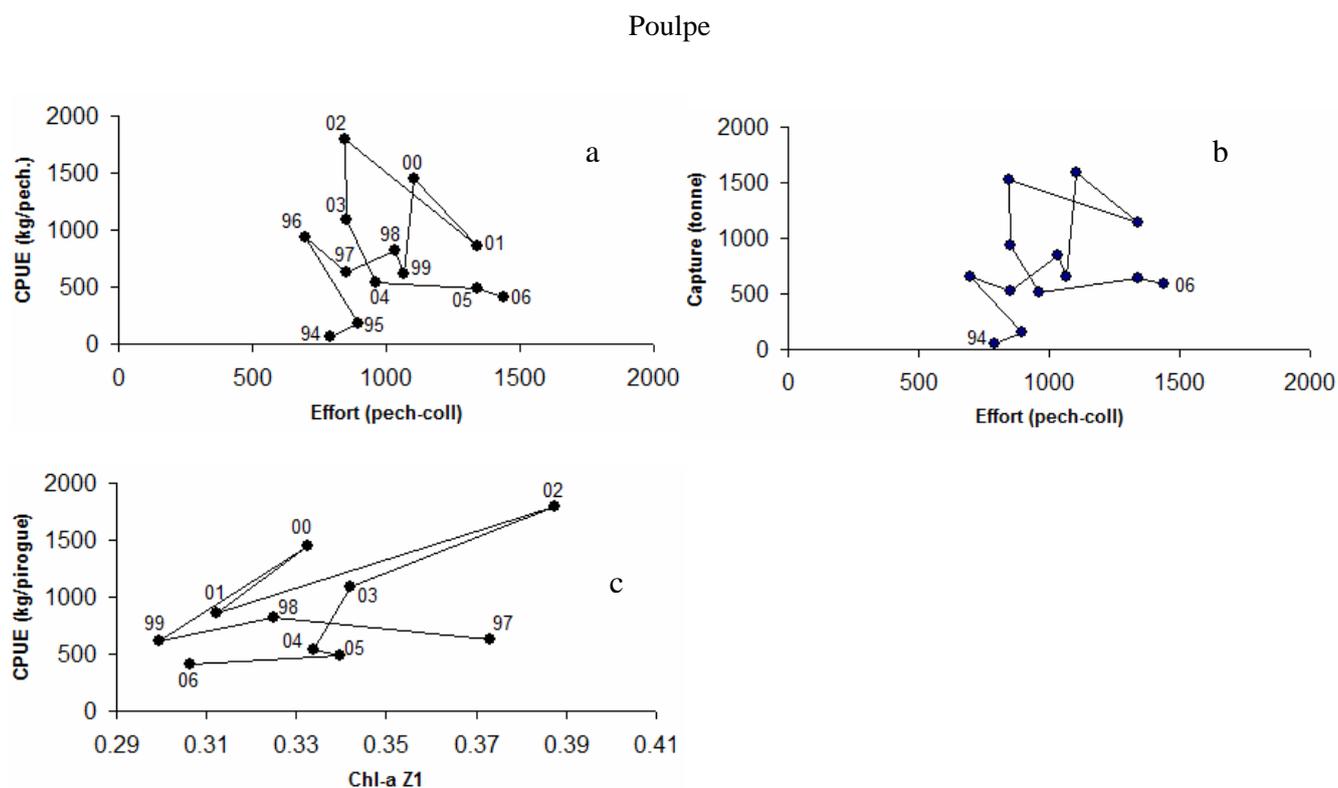


Figure 102(suite). Relations bivariées entre (a) CPUE et effort, (b) effort et capture, Chl-a et CPUE



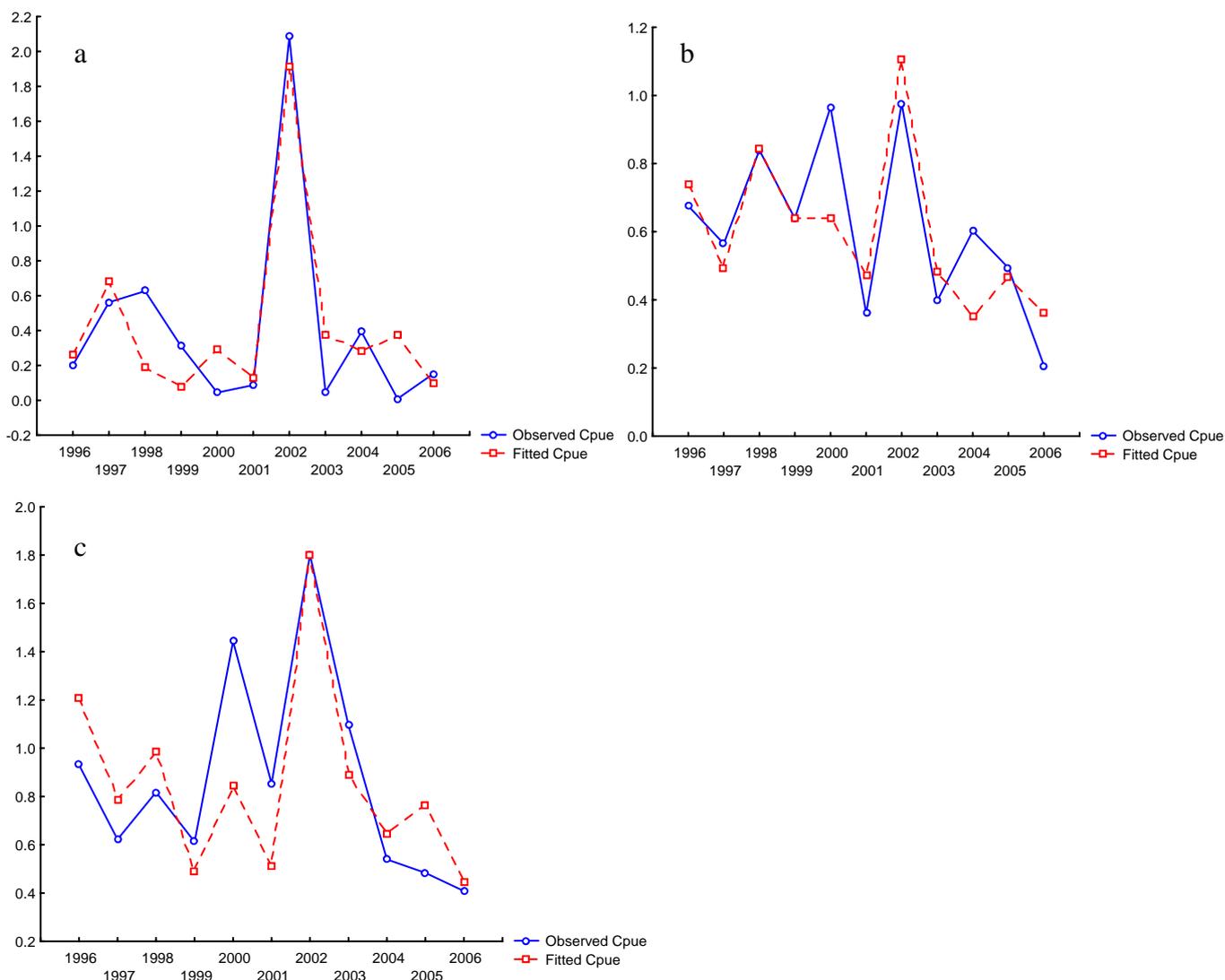
Les modèles de surplus de production sélectionnés combinent la relation *exponentielle* entre CPUE et effort avec celle *quadratique* entre CPUE et environnement :

$$\text{CPUE} = (a \cdot V^{(1+b)} + c \cdot V^{(2+b)}) \cdot \exp(d \cdot V^b \cdot E)$$

où a, b, c et d sont des constantes (cf. annexe VI) et,

V (variable environnementale) représente l'indice de l'intensité de l'activité de la production primaire en zone d'upwelling, (mentionnée Chl-a dans l'analyse) et E représente l'effort de pêche. Des ajustements ont été faits avec l'indice de la productivité primaire, et donnent un résultat beaucoup plus satisfaisant chez l'anchois que chez le calmar et le poulpe. Les coefficients R^2 obtenus varient entre 59% et 83% pour les trois espèces. Seuls le coefficient de détermination obtenu sur l'anchois ($R^2 = 0.51$) est jugé « bon » par le test de jackknife. Les figures ci-après montrent les différents ajustements du modèle entre la CPUE observée et prédite (Figure 102).

Figure 103. CPUE observée et prédite par un modèle mixte de production où la production primaire (Chl-*a*) agit sur l'abondance et la capturabilité pour la pêche d'anchois (a), de calmar (b) et de poulpe (c) du sud-ouest malgache (1994-2006).



• Discussion et conclusion du chapitre 5

Si les trois espèces (anchois, calmar et poulpe) du sud-ouest malgache sont sous-exploitées par les pêcheries traditionnelles locales, on pourrait s'attendre à des relations linéaires positives quant aux relations entre captures et efforts. Dans ce cas de figure, on se trouve à la partie gauche de la courbe de production (Fréon, 1998), suggérant ainsi que le modèle de surplus de production tendrait à sous-estimer le point d'inflexion (i.e. MSY). Le coefficient de

détermination élevé obtenus à partir de la régression multiple effectuée entre capture, effort et l'indice environnemental (Chl-a) ne peut pas être considérée comme preuve de validité de régression, car la relation entre capture et effort est triviale avec un stock sous-exploité. Cependant, la régression confirme l'influence de l'indice de l'intensité de l'upwelling (cf. Chap. 4.3.2.1).

Le résultat de modèles CLIMPROD retenu, quoique recelant une certaine faiblesse, permet dans l'avenir d'incorporer d'autres types de modèles du genre bioéconomique par exemple. L'application du programme CLIMPROD sur les efforts, les rendements et les variations annuelles des paramètres environnementaux n'a pas permis de valider le modèle retenu pour les pêcheries d'anchois, de calmars et de poulpes. Ce modèle fournit des informations qui pourraient être utiles à des investigations futures. Par ailleurs, le modèle retenu souffre de certaines faiblesses comme tout modèle de surplus de production. L'absence de réalisme biologique (Meynecke *et al.*, 2006) constitue un point faible dans la qualité prédictive de tels modèles. Une des faiblesses d'approche de modélisation de biomasse de production réside dans le fait qu'elle ne tient pas compte de la composition de communauté. La structure d'âge des stocks, par taille ou par espèce n'est pas prise en compte par exemple. Des logiciels de dynamique plus sophistiqués pourraient aussi donner des résultats fiables pour la gestion efficace d'une pêcherie du fait qu'ils prennent compte de divers modèles de dynamique (non équilibre) (FAO, 1996 ; FAO, 1998).

Les données de captures et les informations disponibles sur la biologie des espèces étudiées limitent l'utilisation d'autres modèles. Quelques problèmes qui pourraient influencer l'analyse des données sont les suivants : l'auto-corrélation dans les séries temporelles, la présence de fausses corrélations où les variables sont statistiquement liées mais souffrant de relations de causes à effets (Hilborn et Walters, 1992). Des techniques statistiques sont disponibles pour résoudre les problèmes d'autocorrélation malgré leur tendance, parfois, de diminuer la force du test (Drinkwater, 1987). De longues séries de données (> 30 points), permettant des analyses saisonnières satisfaisantes, ne sont pas disponibles pour l'instant sur les pêcheries du sud-ouest malgache. L'étude réalisée par Kasulo et Perrings (2004) pour le lac Malawi montre un aspect plus pratique d'une approche modélisatrice en utilisant d'autres outils statistiques comme CLIMLAB 2000, GAM et GLM. Ils ont utilisé le modèle Gordon-Schaefer modifié (Gordon, 1954; Schaefer, 1957) pour introduire les variables de diversité bio-économique et environnementale. Lorsque les activités de pêche montrent un aspect économique important, le

modèle bio-economique est plus réaliste qu'une simple approche biologique (ou purement économique) (FAO, 1993, 1997; King, 1995; Helstad, 2000; Ulrich *et al.*, 2001). Un simple modèle ne pourrait pas décrire tous les aspects environnementaux pertinents. Meilleur ajustement peut être obtenu si l'on dispose des séries temporelles sur la biomasse, sur la mortalité par pêche et des informations sur le suivi statistique de pêche.

Le présent cas d'étude sur la pêcherie traditionnelle du sud-ouest malgache a montré une relation étroite entre les captures, les efforts, les rendements et les variables climatiques, notamment pour les anchois (significativement positive avec l'intensité de la production primaire en Chl-*a* en zone d'upwelling), au moins tout au long de la période étudiée. La nature des relations et leurs intensités sont parfois différentes pour les trois espèces étudiées.

Pour conclure, les pêcheries ne pourront être gérées sans tenir compte des relations entre les ressources et le milieu où elles évoluent. Les variables climatiques (production primaire, température de surface de la mer) et leurs tendances futures peuvent être prédites avec une certaine précision ? Une telle prédiction pourrait être un élément significatif pour la gestion durable d'une pêcherie dans laquelle la sensibilité environnementale aurait des impacts sur les ressources exploitées. Quoique les pêcheries traditionnelles d'anchois, de calmars et de poulpes du sud-ouest ne souffrent pas pour l'instant du phénomène de surexploitation, se doter d'un outil de prise de décision constitue un atout majeur pour éviter d'éventuelles pertes économiques pour les communautés de pêcheurs. Par conséquent, des séries de données plus longues (statistique de pêche, indices environnementales) sont nécessaires pour obtenir une représentation plus robuste des relations environnement-ressources.

CONCLUSION GENERALE

Les pêcheries traditionnelles sud-ouest malgache d'anchois, de calmars et de poulpes constituent un aspect socio-économique important, aussi bien pour les communautés de pêcheurs que les opérateurs exploitant les ressources halieutiques. L'étude de la dynamique de ces pêcheries révèle leurs caractéristiques qui rappellent ceux des principales populations pélagiques des zones côtières d'upwelling. Bien que quelques études aient déjà abordées sur ces ressources, notamment sur les petits poissons pélagiques (Rakotoarinivo, 1998) et les poulpes (Laroche *et al.* 1997 ; Toany, 1997 ; Raberinary, 2007), aucune investigation n'a été consacrée jusqu'alors au déterminisme des variations annuelles des captures, des efforts et des rendements de ces pêcheries sud-ouest malgache ; et ce, malgré l'importance économique considérable de ces espèces. Quoique la sonnette d'alarme de surexploitation ne soit pas encore déclenchée, l'instabilité de ces ressources liée a la fois aux effets climatiques et aux pressions de pêche rend le besoin d'aménagement encore plus important et opportun.

A l'issu de ce travail, on ne prétend pas apporter tous les éléments de réponse à la question de la variabilité des indices d'abondance des stocks d'anchois, de calmars et de poulpes du sud-ouest malgache. Néanmoins, cette étude des pêcheries traditionnelles couplée aux variations environnementales apporte des éléments essentiels de compréhension de leur dynamique spatiale et temporelle. Il semble que l'environnement soit un facteur clé des variations interannuelles des indices d'abondance pour ces ressources, en particulier l'anchois. Les variations annuelles des populations d'anchois, de calmars et des poulpes (en conséquence, la capturabilité qui, elle-même, est liée à la disponibilité et à l'accessibilité) dépendent essentiellement des conditions environnementales durant les premiers stades de vie et principalement le stade larvaire ainsi que la prédation chez les adultes.

En ce qui concerne les passages massifs d'anchois à certaines années, ils sont fortement liés à des combinaisons de circonstances favorables dont a pu profiter cette espèce, notamment les processus d'enrichissement du milieu (upwelling au sud associé à une baisse générale de la TSM, apports terrigènes au nord). L'hypothèse environnementale d'un effet de seuil de l'intensité de la production primaire en zone d'upwelling, associée aux phénomènes stochastiques locaux (apports terrigènes et autres) offre en effet un scénario cohérent pour comprendre ce phénomène, étant donné que l'upwelling du sud malgache est permanent. Ainsi, des conditions océanographiques propices (un certain niveau d'intensité d'upwelling,

une baisse de température) aurait permis d'assurer une bonne réussite de recrutement. Les anchois apparaissent abondamment dans la pêche lors que cet ensemble de conditions est réuni : les années 1987-88 (Rakotoarinivo, 1998), l'année 2002 pour les trois espèces exploitées (Bemiasa, 2007).

Les fluctuations environnementales annuelles (upwelling : production primaire en Chl-*a*, température de surface, turbulence) ont permis d'expliquer en partie la variabilité interannuelle des indices d'abondance d'anchois, de calmars, de poulpes le long de la côte sud-ouest ainsi que leur stratégie saisonnière de reproduction. La fluctuation saisonnière du milieu peut d'une certaine manière être prise en compte par ces espèces qui développent une stratégie de reproduction adaptée au cycle saisonnier environnemental. Ainsi, les pontes et l'éclosion des larves coïncident avec la période de meilleur équilibre environnemental (processus d'enrichissement, concentration, et probablement rétention (Bakun, 1996)), jugée comme les conditions optimales pour leur survie. La phase larvaire planctonique dont la mortalité est déterminante dans le succès du recrutement, est fortement sensible aux variations du milieu. C'est une des raisons qui fait que l'abondance de ces espèces apparaît si dépendante des conditions environnementales annuelles.

L'analyse de la variabilité environnementale a été faite en utilisant des données issues des traitements des images satellitales couvrant la totalité du littoral sud et sud-ouest malgache. Les informations issues de ces images permettent de disposer d'une source de données fiables et précises pour la caractérisation des indices environnementaux. La circulation des eaux de surface le long des côtes a été établie à partir des données recueillies par les navires marchands ou de recherche qui fournissent des informations précieuses sur le sens et les limites de l'enrichissement du milieu. L'utilisation des images satellites en vue de caractériser l'environnement au large des côtes sud et sud-ouest malgaches a permis de quantifier dans le temps et dans l'espace la production primaire chlorophyllienne (indice d'intensité d'upwelling et phénomènes locaux) et la température de surface de la mer. Les cartes à haute résolution de la variabilité saisonnière de ces variables climatiques ont été établies pour la première fois dans cette région.

L'analyse du couplage environnement-ressources a permis de déceler certaines caractéristiques communes entre les trois espèces quoique, a priori, elles apparaissent différentes les unes des autres : stratégie de reproduction relativement comparable, similitude des facteurs clés des conditions de recrutement.

Les résultats obtenus et les limites du présent travail vont permettre de mieux appréhender les nouvelles recherches visant à améliorer la gestion de ces ressources. Des investigations complémentaires sont nécessaires, notamment l'étude des biomasses phytoplanctoniques et zooplanctoniques afin de renforcer les connaissances sur le développement larvaire et le succès du recrutement. Une approche comparative semble être intéressante avec d'autres espèces exploitées placées dans des contextes hydroclimatiques identiques pour mieux comprendre les causes des fluctuations des ressources exploitées. L'hypothèse émise concernant la stratégie spatiale de reproduction (zone de ponte) chez les anchois souligne de plus la nécessité d'approfondir les connaissances sur ce sujet jusqu'alors mal connu.

Les plus importantes contraintes rencontrées durant cette étude proviennent : (i) de la courte période couverte par certaines séries temporelles, (ii) de l'absence de données adéquates pour estimer la variabilité réelle de l'abondance et (iii) des limites de connaissances sur l'écologie et la biologie des espèces, notamment des calmars. Il conviendrait donc de mettre en place des bases de données environnementales et biologiques cohérentes pour la zone étudiée.

Ce travail montrant la sensibilité des ressources aux changements des conditions du milieu (abiotique) souligne la nécessité de l'intégration des connaissances sur les interactions de la ressource avec l'environnement dans les outils d'aménagement pour une gestion rationnelle de ces ressources. Depuis ces dernières années, l'approche halieutique des stocks est de plus en plus orientée vers une approche écosystémique, qui prend en considération l'ensemble des facteurs responsables de la dynamique et non seulement les facteurs relatifs au niveau d'exploitation (captures, efforts de pêche, etc.)(Faure, 2000). On pourrait, dans ce cas, rechercher des indicateurs des relations environnement-ressources grâce à une bonne connaissance des couplages entre les processus environnementaux et biologiques (facteurs et périodes sensibles). Les résultats obtenus durant cette étude donnent une première idée des facteurs et des relations dans la dynamique des pêcheries traditionnelles d'anchois, de calmars et de poulpes qu'il faudrait prendre en compte dans leur gestion. Une gestion adaptative à court terme des ressources basée sur le suivi des conditions environnementales peut être envisageable en appliquant les connaissances acquises. Les stratégies d'exploitation et d'aménagement dépendent de la qualité de la compréhension de ces interactions environnement-ressources, d'où l'importance de l'approfondissement des connaissances sur ce sujet.

Cependant, une grande incertitude plane toujours. Elle est notamment liée à la difficulté de prédiction à court et à long terme de l'environnement, comme l'a souligné Glantz (1984) et Steele (1984). Les variations des relations environnement-ressources observées à la fois dans le temps et dans l'espace mettent de plus en exergue la précarité des résultats des analyses de l'impact climatique sur les ressources qui dépendent étroitement du choix des échelles d'observations. Il semble que la difficulté de connaître les causes exactes des fluctuations des ressources soit liée à la complexité des interactions au sein de l'écosystème lui-même.

Les effets combinés des facteurs climatiques ont été abordés par une approche multivariée, et l'utilisation des modèles de surplus de production simples (CLIMPROD) aboutit à des résultats globalement satisfaisants. Mais, l'utilisation de modèles plus robustes, permettant d'intégrer l'ensemble des informations disponibles sur l'écosystème permettrait sans aucun doute de faire avancer nos connaissances sur les ressources. Le modèle retenu dans le cadre de ce travail pourrait être appliqué avec certaines précautions dans la gestion future à court terme des pêcheries traditionnelles d'anchois, de calmars et de poulpes du sud-ouest malgache.

BIBLIOGRAPHIE

- Adams, P.B. 1980. Life history patterns in marine fishes and their consequences for fisheries management. *Fish. Bull.* 78 (1), 1-12.
- Aldegheri, M. 1965. Etudes des étiages des rivières Onilahy, Linta, Menarandra et Manambovo en 1963 et 1964. *Rapport de l'Office de la Recherche scientifique et technique d'outre-mer, Centre de Tananarive, Section Hydrologique.* 35p.
- Amaratunga, T. 1983. The role of cephalopods in the marine ecosystem. In: *Advances in assessment of world cephalopod resources.* Caddy, J.F. (ed.), Rome, 379-415.
- Amaratunga, T. 1987. Population biology. In: *Cephalopods life cycles.* Boyle, P.R.(ed.), Academic Press, Lond., 239-252.
- Arkhipkin A.I., 1995. Age, growth and maturation of the european squid *Loligo vulgaris* (Myopsidae, Loliginidae) on the west Saharan Shelf. *J. Mar. Biol. Assoc. UK* 75, 593-604.
- Arkhipkin A.I., Jereb P., Ragonese S. 2000. Growth and maturation in two successive seasonal groups of the short-finned squid, *Illex coindetii* from the Strait of Sicily (central Mediterranean). *ICES J. Mar. Sci.* 57, 31-41.
- Bakun, A. 1973. Daily and weekly upwelling indices, West coast of north America
- Bakun, A. 1996. Patterns in the ocean: Ocean processes and marine population dynamics. La Jolla, California: California Sea Grant College System, NOAA.
- Backun, A., Csirke, J. (1998). Environmental process and recruitment variability. *FAO Fisheries Technical Paper, No 376, 105-124 pp.*
- Baddy, M. 1991. Biology of the squid *Loligo vulgaris* in relation to the artisanal fishing site of Tifnit, Morocco. *Bull. Mar. Sci.* 49, 661p.
- Bando, M. 1987. On the poor catch for Japanese anchovy in western Enshu Nada, Ise Bay and Mikawa Bay, 1987. *Bull. Jpn. Sot. Fish. Oceanogr.*, 52(3): 266-269.
- Battaglia, A., Forest, A. 2001. Les calmars (*Loligo sp.*) du golfe de Gascogne (divisions VIIIab du CIEM). Ressources halieutiques hors quotas du Nord Est Atlantique : bilan des connaissances et analyse de scénarios d'évolution de la gestion. *Contrat Ifremer/MAPA – Réf. 99-11-03-01. Rapport final Volume 1/2.*
- Battistini, R. 1964. L'extrême sud de Madagascar, étude géomorphologie. In: *Le littoral (Tome II), 268 p.*
- Battistini, R., Jouann, C., Maugé, L.A. 1975. Morphologie et sédimentologie du Canyon sous-marin de l'Onilahy (Sud-Ouest de Madagascar). *Cahier ORSTOM, ser. Géol., vol. VII, n° 2, 1975 : 95-110*
- Baumgartner, T. R., Soutar, A., & Ferreira-Bartrina, V. 1992. Reconstruction of the history of Pacific sardine and northern anchovy populations over the past two millennia from sediments of the Santa Barbara Basin, California. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports*, 33, 22-40.
- Bebars, M.I., Lam Hoai, t., et Lasserre, G. 1997 - Analysis of the Egyptian marine and lagoon fisheries landing in relation to the construction of the Aswan Dam. *Oceanologica Acta*, 20, 2, 421-436.
- Bemiasa, J. Marsac, F., et E. Mara 2007. Effets de la variabilité climatique sur la pêche d'anchois du sud-ouest de Madagascar. (art. soumis).
- Berthois, L., Battistini, R., Crosnier, A. 1964. Recherches sur le relief et la sédimentologie du plateau continental de l'extrême sud de Madagascar. *Cahiers Océanographes, XVIe année, n° 7, juillet-août 1964.*
- Beverthon, R.J.H., Holt, S.J. 1957. On the dynamics of exploited fish populations. *Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Fish. Invest. Ser.* 2(19), 1-533.
- Bettencourt, V., Coelho M.L., Andrade J.P., Guerra A. 1996. Age and growth of the squid *Loligo vulgaris* off the south coast of Portugal, using statolith analysis. *J.Molluscan Stud.* 62, 359-366.
- Bloomfield, P. 1976. *Fourier analysis of time series: An introduction.* New York: Wiley

- Blue Ventures 2006. Seasonal Closures of No-Take Zones to promote a sustainable fishery for *Octopus cyanea* (Gray) in South west Madagascar. *Blue Ventures Conservation report*, October 2006. 30 p.
- Boyer, D. C., Boyer, H. J., Fossen, I., & Kreiner, A. (2001). Changes in abundance of the northern Benguela sardine stock during the decade 1990 to 2000, including a discussion of the relative importance of fishing and the environment. *South African Journal of Marine Science*, 23, 67–84.
- Boyle, P.R. (1990). Cephalopod biology in the fisheries context. *Fish. Res.* 8(4), 303-321.
- Boyle, P.R., Boletzky, S.V. 1996. Cephalopods populations : Definition and dynamics. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 351, 985-1002.
- Brigham, E. O. 1974. *The fast Fourier transform*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Brillinger, D. R. (1975). *Time series: Data analysis and theory*. New York: Holt, Rinehart. & Winston.
- Brêthes, J-C. 1990. Méthodes d'évaluation des stocks halieutiques.. *Centre international des oceans, Canada, Vol.1*, 7-30.
- Caddy, J.F. 1981. Quelques caractéristiques de l'aménagement des stocks de céphalopodes au large de l'Afrique de l'ouest. Les pêches dans l'atlantique Centre Est, *COPACE/TECH/81/37*, 33 p.
- Caddy, J.F. 1983. The cephalopods : Factors relevant to their population dynamics and to the assessment and management of stocks. In: *Advances in assessment of world cephalopod resources*. Caddy, J.F. (ed.) *FAO Fish. Tech. Pap.* 231, 416-452.
- Caddy, J.F., Gulland, J.A. 1983. Historical patterns of fish stocks. *Marine policy*, 267-278.
- Caddy, J.F. 1996. Modelling natural mortality with age in short-lived invertebrates population : assessment. *Aquat. Living. Resour.* 9, 197-207.
- Caddy, J.F., Rodhouse, P.G. 1998. Cephalopods and groundfish landings: evidence for ecological change in global fisheries? *Rev. Fish. Biol.* 8, 431-444.
- Catherine, P. (2006). – Les poisons de mer. *Séa River*.
- Caveriviere, A. 1990. Etude de la pêche du poulpe (*Octopus vulgaris*) dans les eaux côtières de la Gambie et du Sénégal: l'explosion démographique de l'été 1986. *Doc. Sci. CRODT*. 116, 42p.
- Caveriviere, A. 1994. Le poulpe (*Octopus vulgaris*) au Sénégal : une nouvelle ressource. In : *L'évolution des ressources exploitables par la pêche artisanale sénégalaise*. Barry-Gerard, M., Diouf, T., Fonteneau, A. (eds.), *ORSTOM editions*, 245-257.
- Caveriviere, A., Domain, F., Diallo, A. 1999. Observations about the influence of temperature on the length of embryonic development in *Octopus vulgaris* (Senegal). *Aquat. Living Resour.* 12, 151-154.
- Caveriviere, A., 2002. Elements du cycle de vie du poulpe *Octopus vulgaris* des eaux sénégalaises. In : *Le poulpe commun Octopus vulgaris. Sénégal et cotes nord-ouest africaines*. Caveriviere A., Thiam M., Jouffre D. (eds). *Editions IRD, Paris, Colloques et séminaires*, pp. 105-125.
- Caveriviere, A. 2005. Principaux traits de vie du poulpe *Octopus cyanea* en zone tropicale. *Rapport d'atelier sur l'Aménagement de la pêche de céphalopodes a Madagascar*. p39-45
- Caviedes, C.N., Fic, T.J. 1992. The Peru-Chile eastern Pacific fisheries and climatic oscillation. In: *Climate variability, climate change and fisheries*. Cambridge University Press, Glantz, M.H. (ed.), 355-375.
- Chen, T.S. 1980. Study and investigation of bullard and anchovy fisheries in the coastal waters of Taiwan. *Bull. Taiwan Fish. Res. Inst.*, 32: 219-233.
- Chen, T.S., Jean, C.T. 1982. Studies on larval fish and anchovy fisheries in the coastal waters of Taiwan: Relationship between larval fish, anchovy and mackerel, Jack. *Bull. Taiwan Fish. Res. Inst.*, 34: 69-75.

- Cheng, L.J., Kishi, M.J., Sugimoto, T. 1989. Multivariate analysis on the catch data of sardine and environmental data off Boso and Johban, Japan. *Bull. Jpn. Soc. Fish. Oceanogr.*, 53(4): 372-377.
- Chung-Ru, H.O., Quanan, Z., Nan-Jung, K. 2004. SeaWifs observations of upwelling south of Madagascar : long-term variability and interaction with East Madagascar Current. *Deep-Sea Research II* 51 (2004) 59-67.
- Clowes, A. J. 1950. An introduction to the hydrology of South African waters. *Investigational Report, 12, South African Division of Sea Fisheries, 42p.*
- Coelho, M.L. 1985. Review of the influence of oceanographic factors on cephalopod distribution and life cycles. *NAFO Sci. Cou. Studies* 9, 47-57.
- Conand, C. 1977. Contribution a l'étude du cycle sexuel et de la fécondité de la sardinelle ronde, *Sardinella aurita*, pêche sardinière Dakaroise en 1975 et premier semestre 1976. *Cah. ORSTOM, ser. Oceanogr.*, 15(3): 201-214. .
- Conand, F. 1988. Biologie et écologie des poissons pélagiques du lagon de Nouvelle Calédonie utilisables comme appât thonier. Thèse de Doct. D'Etat, Université de Bretagne Occidentale : 239 p.
- Copefrito (2005). Rapport statistique d'exportation de la Société.
- Costa, P.A.S., Fernandes, F.C. 1993. Seasonal and spatial changes of cephalopod caught in the Cabo Frio (Brazil) upwelling ecosystem. *Bull. Mar. Sci.* 52 (2), 751-759.
- Crawford, R. J. M. 1987. Food and population variability in five regions supporting large stocks of anchovy, sardine and horse mackerel. In A. I. L. Payne, J. A. Gulland, & K. H. Brink (Eds.), *The Benguela and Comparable Ecosystems. South African Journal of Marine Science*, 5, 735-757.
- Crivelli, A.J., Ximenes, M.C., Gout, B., Lasserre, G., Freon, P., et Do Chi, T. 1995 - Causes and effects of terrestrial runoff and riverine outflow on brackish/coastal marine fisheries ecosystems in the northern mediterranean region. In *Effects of riverine inputs on coastal ecosystems and fisheries resources. FAO Fisheries Technical Papers*, 349, 59-88.
- Cury, P. 1988. Pressions sélectives et nouveautés évolutives : une hypothèse pour comprendre certains aspects des fluctuations à long terme des poissons pélagiques côtiers. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45, 1099-1107.
- Cury, P., Roy, C. 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46, 670-680.
- Cury, P. 1990. L'impact des fluctuations climatiques sur la dynamique des stocks de poissons pélagiques côtiers. *Méthodes d'évaluations des stocks halieutiques (Vol. I)*, 213-232.
- Cury, P., Roy, C., Mendelsshon, R., Bakun, A., Husby, D.M., Parish, R.H., 1995. Moderate is better nonlinear climate effect on Californian anchovy. In: *Climate change and northern fish populations. Beamish, R.J. (ed.)*, *Can. Spec. Publ. Fish. Aquatic Sci.*, 417-424.
- Cury, P., Roy, C. 1999. Environnement marin et variabilité des ressources en Afrique de l'Ouest. In : *Afrique contemporaine. Dossier spécial. La pêche en Afrique : enjeu et défis. Weigel, J.Y. (ed.)*, 187 : 30-43.
- Cury, P., Bakun, A., Crawford, R. J. M., Jarre, A., Quinones, R. A., Shannon, L. J., Verheye, H. M. (2000). Small pelagics in upwelling systems: patterns of interaction and structural change in "wasp-waist" ecosystems. *ICES Journal of Marine Science*, 57, 603-618.
- Cury, P. 2005. Communication vidéophonique sur le système de Benguela : Sardine et Fou du Cap
- Cushing, D.H. 1975. The natural mortality of the plaice. *J. Cons. Int. Explor. Mer.* 36, 150-157.
- Cushing, D.H. 1982. Climate and fisheries. *Academic Press, Lond. New York*, 373 p.
- Cushing, D.H. 1996. Towards a Science of recruitment in fish populations.
- Dawe, E.G., Warren, W.G. 1993. Recruitment of short-finned squid in the northwest atlantic ocean and some environmental relationship. *J. Ceph. Biol.* 2, 1-21.

- De Pierrepont, J.F., Dubois, B., Desormonts, S., Santos, M.B., Robin, J.P. 2005. Stomach contents of English Channel cetaceans stranded on the coast of Normandy. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* (2005), 85, 1539-1546.
- Devold, R. 1963. The life story of the Atlanto-Scandian herring. *Rapp. P.-v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer*, 154: 98-108.
- Diouf, M. 1992. Rapport préliminaire sur la deuxième phase de vulgarisation de la palangre pots à poulpes. *R/P/ATEPAS*, 27 p.
- Domain, F., Jouffre, D., Caveriviere, A. 2000. Growth of *Octopus vulgaris* from tagging in Senegalese waters. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 80 (4), pp. 699-706.
- Domergue, B.B. (2007). Arbre de vie : <http://kimura.univ-montpl2.fr/~adv/arbredelavie/fichetaxon.php>
- Donguy, J.R., Piton, B. 1969. Aperçu des conditions hydrologiques de la partie nord du canal de Mozambique. *Cahiers O.R.S.T.O.M., Serie Oceanographie*, 7, 3-26.
- Drinkwater, K.F., 1987. Sutcliffe revisited. Previously published correlations between fish stocks and environmental indices and their recent performance. In: *Perry, I.R.I., Frank, K.T. (Eds.), Environmental Effects Recruitment to Canadian Fish Stocks, 1556. Canadian Technical Report on Fisheries Aquatic Science*, pp. 41-61.
- Ducan G.T., 1978. An empirical study of jackknife-constructed confidence regions in non linear regression. *Technometrics*, 20 (2): 123-129.
- Duncan C. P. 1970. The Agulhas Current. *Phd Dissertation, University of Hawaii*, 76p.
- Efron B., Gong G., 1983. A leisurely look at the Bootstrap, the Jackknife and Cross-validation. *The American Statistician*, 37 (1): 36-48.
- Elliott, D. F., Rao, K. R. 1982. *Fast transforms: Algorithms, analyses, applications*. New York: Academic Press.
- Evans, C.R., Opnai, L.J., Kare, B.D., 1997. Fishery ecology and oceanography of the prawn *Penaeus merguensis* (de Man) in the Gulf of Papua: estimation of maximum sustainable yield and modelling of yield, effort and rainfall. *Marine and Freshwater Research* 48, 219-228.
- Ezzeddine, N.S. 1992. Biologie et pêche du poulpe *Octopus vulgaris* (Cephalopoda, Octopoda) du golfe de Gabès. *Bull. Inst. Natl. Sci. Tech. Mer*, Salammbô 19: 5-19.
- Ezzeddine, S., Abed, E. 1998. Potential biological and environmental influences on the *Octopus vulgaris* population of the Gulf of Gabès (south-eastern Tunisian coast). *MedSudMed Technical Documents No.2*
- FAO, 1993. BEAM4 Analytical Bio-economic Simulation of Spacestructured Multispecies and Multifleet Fisheries. In: *Description of the Model. User's manual, vol. 1. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome*, pp. 46e186.
- FAO, 1996. Biomass Dynamic Models. User's Manual. FAO Computerized Information Series (Fisheries). *Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome*, 62 pp.
- FAO, 1998. CLIMPROD (version 2): Experimental Interactive Software for Choosing and Fitting Surplus Production Models Including Environmental Variables. Computerized Information Series (Fisheries). *Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome*, 121 pp.
- FAO, 2006).
- Faure, V., Cury, P., (2000) - Dynamiques spatiale et temporelle des populations de poulpes (*Octopus vulgaris*) en Afrique de l'Ouest : Influence des fluctuations environnementales et des relations interspécifiques. *Thèse de doctorat de 3ème cycle, à l'Université de Montpellier II*, 155p.
- Ferraris J., Koranteng K., Samba A. 2000. Comparative Study of the Dynamics of Small-Scale Marine Fisheries in Senegal and Ghana.
- Fiedler, P.C., Methot, R.D., Hewitt, R.P. 1986. Effects of California El Niño 1982-84 on the northern anchovy. *J. Mar. Res.* 44: 317-338.

- Fishbase, 2006. <http://www.fishbase.org>
- Fontana, A. 1979. Etude du stock démersal côtier congolais. Biologie et dynamique des principales espèces exploitées. Propositions d'aménagement de la pêche. *Thèse de Doct. d'Etat. Univ. Paris VI et Mus. Hist. Nat.*, 300 p.
- Forest, J.E., Waterson, A.R. 1934. Scottish records of cephalopods 1. A Cephalopods Year in the Clyde. *Scott. Nat.*, 29 p.
- Forsythe, J.W., Hanlon, R.T. 1988. Effects of temperature mediated-growth model for cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) larvae in the Gulf of Maine. *Mar. Biol.* 98, 369-379.
- Forsythe, J.W. 2004. Accounting for the effect of temperature on squid growth in nature: from hypothesis to practice. *Mar. Reshw. Res.* 55, 331-339.
- Fréon P., Kwiecinski B., Lopez D. 1992. Utilité du système expert *climprod* pour la connaissance du déterminisme du recrutement. *Ann. Inst. octanogr., Paris, 1992,68 (1-2) : 193-210*
- Fréon, P., Mullon, C., & Pichon, G. 1991. CLIMPROD: a fully interactive expert-system software for choosing and adjusting a global production model which accounts for changes in environmental factors. *Pergamon Press, Oxford: 347-357*
- Fréon, P., Mullon, C. and Pichon, G. 1993. CLIMPROD: experimental interactive software for choosing and fitting surplus production models including environmental variables. *FAO Computerized Information Series Fisheries, 5. 76p.*
- Fréon, P. 1989. Introduction of climatic variables into global production models. In M.G. Larrañeta and T. Wyatt (Eds). International Symposium on Long Term Changes in Marine Fish Populations (Vigo, Spain, 1986). *Consejo Superior de Investigaciones Cientificas. pp. 481-528.*
- Fréon, P., Cury, P., Shannon, L. and Roy, C. 2005. Sustainable exploitation of small pelagic fish stocks challenged by environmental and ecosystem changes. *Bulletin of Marine Science, 76(3): 385-462, 2005.*
- Fréon, P. 1983. Production models as applied to sub-stocks depending on upwelling fluctuations. In J. Csirke and G.D. Sharp (Eds). Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources. *FAO Fish. Rep., 291(3): 1047-1064.*
- Fréon, P. 1984. Des modèles de productions appliquées à des fractions de stock dépendantes des vents d'upwelling. *Océanographie Tropicale, 19(1): 67-94.*
- Fréon, P. and Yáñez, E. 1995. Influencia del medio ambiente en evaluación de stock : una aproximación con modelos de producción. *Invest. Mar., Chili 23: 25-47.*
- Gascuel, D. 1993. Modélisation de la dynamique des stocks exploitées par la pêche artisanale sénégalaise : intérêt, limites et contraintes de l'approche structurale. In : *L'évaluation des ressources exploitables par la pêche artisanale sénégalaise. Barry-Gerard, M., Diof, T., Fonteneau, A. (eds), 385-403.*
- Glantz, M.H. 1984. Report on the working group on social implications of varying fishery resources. Proceeding of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neretic fish resources. Sharp, G.D., Csirke, J (eds.), *FAO Fish Rep. 291.*
- Gordon, H.S., 1954. The economic theory of a common property resource: the fishery. *Journal of Political Economy* 62, 124-142.
- Gourdon, J. (2002). Ecotourisme et valorisation de la biodiversité dans le Sud-Ouest de Madagascar : étude de cas sur les villages d'Anakao, Ifaty, Mangily et sur la commune de Manombo. *Rapport de stage IRD-UMR C3ED (oct 2001-janv 2002), 92 p.*
- Grasse, P.P., R.A., Poisson, Tuzet, O., (1961). - Précis de sciences biologiques : Zoologie I, invertébrés, *Masson ed.:* 442-448 .
- Grist, E.P.M., Desclers, S. 1999. Seasonal and genotypic influences on life cycle synchronisation: further insights from annual squid. *Ecol. Model.* 115, 149-163.

- Grundlingh M. L., Lutjeharms J. R. E. (1977). Large-scale flow patterns of the Agulhas Current system. *South African Journal of Science*, 75, 269-270.
- Grundlingh M. L., Pearce, A. F. 1984. Large vortices in the northern Agulhas Current. *Deep-Sea Research*, 31, 1149-1156.
- Grundlingh M. L., Carter R. A., Stanton R. C. 1991. Circulation and water properties of the southwest Indian Ocean, Spring 1987. *Prog. Oceanog.*, 28, 305-342.
- Guard, M., Mgaya, Y.D. 2002. The artisanal fishery for *Octopus cyanea* Gray in Tanzania. *Ambio*, 31 (7-8), pp. 528-336.
- Guerra, A. 1979. Fitting a von Bertalanffy expression to *Octopus vulgaris* growth. *Inv. Pesq.* 43 (1): 319-326.
- Guerra, A. 1981. Spatial distribution pattern of *Octopus vulgaris*. *J. Zool.*, London 195: 133-146.
- Guerra, A., Rocha, F. 1994. The life history of *Loligo vulgaris* and *Loligo forbesi* (Cephalopoda: Loliginidae) in Galician waters (NW Spain). *Fish. Res.* 21, 43-69.
- Guland, J.A. 1965. Estimation of mortality rates. *Ann. To Rep. Artic. Fish. Working Group. ICES CM3*, 9.
- Guland, J.A. 1969. Manuel d'évaluation des stocks d'animaux aquatiques. Première partie: Analyse des populations. *Man. FAO Sci. Halieut.* 4 : 160 p.
- Guland, J.A., Garcia, S. 1984. Observed patterns in multispecies fisheries. In: *Exploitation of marine communities*. May, R.M. (ed.), Berlin Springer, 155-190.
- Hanabe, H., Sato, T., Kawakami, T. 1974. A preliminary note on the ecology of copulation of the omastrephid squid, *Illex illecebrosus* Lesueur, in the Northwest Atlantic. *Bull. Tokai Fish. Res. Lab.* 78, 97-105.
- Hanlon, R.T. 1989. Versatility of adaptative coloration in cephalopod molluscs. In: *Adaptive coloration in invertebrates*. Wicksten, M.K. (ed.), Sea Grant publication, 14 p.
- Hardenberg, 1934, cited in Rakotoarinivo, 1998
- Hardman-Mountford, N.J., Richardson, A.J., Boyer, D.C., Kreiner, A. Boyer, H.J. 2003. Relating sardine recruitment in the Northern Benguela to satellite-derived sea surface height using a neural network pattern recognition approach. *Progress in Oceanography* 59 (2003) 241-255
- Hartwick, E.B., Ambrose, R.F., Robinson, SMC. 1984. Dynamics of shallow-waters populations of *Octopus dofleini*. *Mar. Biol.* 82 (1), 65-72.
- Hatanaka. H. 1979. Spawning season of common octopus, *Octopus vulgaris* Cuvier. off the northwestern coasts of Africa. In: *rapport du groupe de travail ad hoc sur l'évaluation des stocks de céphalopodes. COPACE / PACE Skries 78 / 11 (Fr.)*; 121-132.
- Helstad, K., 2000. Management of Herring, Capelin and Cod in the Greater Barents Sea Economic Optimal Management from a Norwegian Point of View. *The Norwegian College of Fishery Science. University of Tromsø, Tromsø*, 22 pp.
- Hjort, J. 1914. Fluctuations in the great fisheries of northern Europe viewed in the light of biological research. *Rap. P-v.Reun. Cons. Int. Explor.Mer.* 20, 1-228.
- Hilborn, R., Walters, C.J., 1992. Quantitative Fisheries Stock Assessment: Choice Dynamics and Uncertainty. *Chapman and Hall, New York*, 570 pp.
- Hotelling, H. 1947. Multivariate quality control. In Eisenhart, Hastay, and Wallis (Eds.), *Techniques of Statistical Analysis*. New York: McGraw-Hill
- Houk, B. 1982. Temporal spacing in the activity patterns of three Hawaiian shallow-water octopods. *The Nautilus*, 96, pp. 152-155.
- Ibrahim, S., Muhammad, M., Ambak, M. A., Zakaria, M. Z., Mamat, A. S., Isa, M. M., Hajisamae, S. 2003. Stomach Contents of Six Commercially Important Demersal Fishes in the South China Sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 3: 11-16 (2003).
- IFRMER 2004. Anchois commun (*Engraulis encrasicolus*) Stock du golfe de Gascogne (Divisions VIIIab du CIEM).
- Itami, K., Izawa, Y., Maeda, S., Nakai, K. 1963. Notes on the laboratory culture of the octopus larvae. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 29 (6), 514 p.

- Jackson G.D., 1994. Application and future potential of statolith increment analysis in squids and sepioids. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 51, 2612-2625.
- Jambu, M. 1991. *Exploratory and multivariate data analysis*. Academic Press
- Jenkins, G. M., & Watts, D. G. 1968. *Spectral analysis and its applications*. San Francisco: Holden-Day.
- Jouffre, D., Caveriviere, A., Domain, F. 2002. Croissance du poulpe *O. vulgaris* au Senegal. Compléments d'informations et comparaison régionale. In : *Le poulpe commun Octopus vulgaris. Senegal et cotes nord-ouest africaines*. Caveriviere, A., Thiam, M., Jouffre, D. (eds.) Editions IRD, Paris, Colloques et seminaries, pp. 59-69.
- Kasulo, V., Perrings, C., 2004. Fishing Down the Value Chain: Modelling the Impact of Biodiversity Loss in Freshwater Fisheries -The Case of Malawi. *Arizona State University, Tempe*, 23 pp.
- Kawasaki, T 1992. Climate-dependant fluctuations in the Far Eastern sardine population and their impacts on fisheries and society. In: *Climate variability, climate change and fisheries*. Glantz, M.H. (ed.), Cambridge University Press, 325-354.
- King, M., 1995. Fisheries biology. Assessment and management. Fishing News Books, 341 pp.
- Koslow, J.A. 1981. Feeding selectivity of schools of northern anchovy, *Engraulis mordux*, in the southern California Bight. *Fish. Bull.*, 79(1): 131-142.
- Laroche J., Razanoelisoa J., Fauroux E., Rabenevanana M.W. 1997. The reef fisheries surrounding the southwest coastal cities of Madagascar. *Fisheries Management and Ecology* 4, 285-299.
- Laroche J. *et al.* (non publié)
- Lasker, R. 1978. The relation between oceanographic conditions and larval anchovy food in the California current: Identification of factors contributing to recruitment failure. *Rapp. P.-V. Renu., Cons. Int. Explor. Mer*, 177: 322-354.
- Lasker, R. 1981. Factors contributing to variable recruitment of the northern anchovy (*Engraulis mordux*) in the California current: Contrasting years, 1975 through 1978. *Rapp. P.-V. Renu., Cons. Int. Explor. Mer*. 178: 375-388.
- Lasker, R. 1988. Studies on the northern anchovy: Biology, recruitment and fishery
- Laughlin, R.A., Livingston, R.J. 1982. Environmental and trophic determinants of the spatial/temporal distribution of the brief squid (*Lolliguncala brevis*) in the Apalachicola estuary (North Florida, USA). *Bull. Mar. Sci.* 32 (2), 489-497.
- Laurec, A., Le Guen, J.C., Frontier, S. 1983. Collecte de l'information pour une gestion rationnelle des stockshaliéutiques. In : *S. Frontier (ed.), strategies d'échantillonnage en ecologie*, Massson, Paris, et Presses de l'Université Laval, Québec : 385-415.
- Mangold, K. et Boletzky, S.V. 1973. New data on reproductive biology and growth of *Octopus vulgaris*. *Mar. Biol.* 19:7±13.
- Lee, M.A., Lee, K.T., Chao, S.C. 1990. The larval anchovy fishing ground formation in relation to osmotic pressure changes of the coastal waters along southern Taiwan. *J. Fish. Sot. Taiwan*, 17(4): 233-245.
- Lee, M.A., Lee, K.T., Chao, S.C. 1993. Estimation of the biomass of larval anchovy along the coastal waters of Fangliao by a hydroacoustic method. *J. Fish. Sot. Taiwan*, 20(2) : 105-112.
- Lee, M.A., Lee, K.T., Shiah, G.Y. 1994. Seasonal changes in commercial catches of larval anchovy in the southwest coastal waters of Taiwan. *J. Fish. Sot. Taiwan*, 21(1): 49-56.
- Lee, M.A., Lee, K.T. 1996. The larval anchovy (*Engraulis japonicus*) fishery in relation to the environmental factors in coastal waters of Fangliao, Taiwan. *Fisheries Research* 26 (I 996), 37-48
- L'Haridon, L. 2006. Evolution de la collecte de poulpe sur la côte Sud Ouest de Madagascar: éléments de réflexion pour une meilleure gestion des ressources. *Blue Ventures conservation report*. 46p.

- Lich-Belda, D., Lluch-Cota, D.B., Hernandez-Vasquez, S., Salinas-Zaval, C.A., Schwartzlos, R.A. 1989. Worldwide fluctuations of sardine and anchovy stocks : the regime problem. *S. Afr. J. Mar. Sci.* 8, 195-205.
- Lipinski M.R., 1998. Cephalopod life cycles: patterns and exceptions, *In Cephalopod Biodiversity, Ecology and Evolution*, Payne A.I.L., Lipinski M.R., Clarke M.R. and M.A.C. Roeleveld (Eds), *S. Afr. J. mar. Sci.* 20: 439-447.
- Lutjeharms J.R.E., Machu E., 2000. An upwelling cell inshore of the East Madagascar Current. *Deep-Sea Research I* 47 (2000) 2405-2411.
- MacInnis, R.R., Broenkow, W.W. 1978. Correlations between squid catches and oceanographic conditions in Monterey Bay, California. In: *Biological, oceanographic and acoustic aspects of the market squid Loligo opalescens Berry*. *Fish. Bull.* 169, 16-70.
- Mamoudou, A. D., (1988). - Biologie et exploitation du poulpe *Octopus vulgaris* (Cuvier, 1797) des cotes mauritaniennes. *Thèse de doctorat de 3ème cycle, à l'Université de Bretagne occidentale*. 155p.
- Mangold, K., (1963). - Biologie des céphalopodes benthiques et nectoniques de la mer catalane. *Vie et Milieu, suppl.* 13, 285p.
- Mangold, W. (1963). Biologie des Céphalopodes benthiques et nectoniques de la Mer catalane. *Vie Milieu*, 13 (Suppl.): 1-285.
- Mangold, K. (1983). *Octopus vulgaris*. In: *Cephalopod life cycles, vol. 1*, Boyle, P.R. (ed.), *Academic Press, London*: 335-364.
- Mangold, K. 1997. *Octopus vulgaris*: Review of the biology. In: *The fishery and market potential of Octopus in California*. Lang, L.A., Hochberg, F.G. (eds.), 85-90.
- May, R.M. 1976. Models for single populations. In: *Theoretical ecology, principles and applications*. May, R.M. (ed), *Blackwell scientific publications, Oxford*, 5-29.
- Mesnil, B. 1980. Les cephalopodes oceaniques. Conditions de leur exploitation. *Neuvieme colloque sur l'exploitation des oceans. Techniques et moyens operationnels*, 25-38.
- Meynecke, J.-O. Shing, Y. L., Norman, C. D., Jan, W. 2006. Effect of rainfall as a component of climate change on estuarine fish production in Queensland, Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 69 (2006) 491-504
- Methot, R.D. 1983. Seasonal variation in survival of larval anchovy, *Engraulis mordax*, estimated from the age distribution of juveniles. *Fish. Bull. US*, 81: 741-750.
- Mitani, I. 1988. Food habits of Japanese anchovy in the shirasu fishing ground within Sagami Bay. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 54(1): 1859-1865.
- Mitani, I., Hasegawa, T. 1988. The shirasu fishing ground formations and sea surface salinity change in Sagami Bay. *Bull. Jpn. Sot. Fish. Oceanogr.*, 52(4): 297-303.
- Moreno A., Cunha M.M., Pereira J.M.F. 1994. Population biology of the veined squid (*Loligo forbesi*) and European squid (*Loligo vulgaris*) from the Portuguese coast. *Fish. Res.* 21, 71-86.
- Murphy, G.T. 1974. Report of the fourth session of the panel of experts on stock assessment of Peruvian anchoveta. *Inst. Mar. Peru*, 2: 605-719.
- Nesis, K. N., 1982. Kratki opredelitel golovonoguikh mollouscov mirovogo okeana. *Moscova*: 285 p.
- Nezlin, N.P., Mc Williams, J.C., 2003. Satellite data, Empirical Orthogonal Functions, and the 1997-1998 El Nino off California. *Remote Sensing of Environnement* 84, 234-254.
- O'Dor, R.K., Durward, R.D., Balch, N. 1980. Feeding and growth in captive squid, *Illex illecebrosus*, and the influence of food availability on growth in the natural population. *ICNAF Sel. Pap.* 6, 15-21.

- Parrish, R.H., Nelson, C.S., Bakun, A. 1981. Transport mechanism and reproductive success of fish in the California current. *Biol. Oceanogr.*, 1: 175-203.
- Parrish, R.H., Bakun, A., Husby, D.M., & Nelson, C.S. (1983). Comparative climatology of selected environmental processes in relation to eastern boundary current pelagic fish reproduction. In: G.D. Sharp, J. Csirke, (Eds.), *Proceedings of the Expert Consultation to Examine Changes in Abundance and Species Composition of Neritic Fish Resources*. San Jose, Costa Rica, April 1982. F.A.O. Fisheries Reports, 291, 731-777.
- Pichon, M. 1964. Contribution à l'étude de la répartition des Madréporaires sur le récif de Tuléar, Madagascar. *Rec.Trav. Stat. Mar. Endoume, fasc. Hors Série suppl. n° 2* : 79-203.
- Pierce, G.J., Guerra, A. 1994. Stock assessment methods used for cephalopod fisheries. *Fish. Res.* 21, 255-285.
- Pierce, G.J., Boyle, P.R., Hastie, L.C., Key, L. 1994. The life history of *Loligo forbesi* Cephalopoda: Loliginidae in Scottish waters. *Fish. Res.* 21, 17-41.
- Pierce, G.P. 1995. Stock assessment with a thermometer : correlation between sea surface temperature and landings of squid (*Loligo Forbesi*) in Scotland. *ICES CM/K21*.
- Priestley, M. B. (1981). *Spectral analysis and time series*. New York: Academic Press.
- Raberinary, D. 2007. Période de ponte de poulpe (*Octopus cyanea*) dans la région sud ouest de Madagascar. *Memoire de DEA, IH.SM-Toliara*. 75 p.
- Rakotoarinivo, W. 1996. Etude des petits poissons pélagiques et leur pêche dans le sud-ouest Madagascar. *Rapport de stage au Centre ORSTOM/Ifremer à La Réunion (1-28 juillet 1996)*.
- Rakotoarinivo, W. 1998. Les petits pélagiques de la région de Toliara (Sud Ouest de Madagascar) : Biologie, Ecologie, Exploitation et Aménagement. *Thèse de Doctorat IHSM, Tuléar, Madagascar*. 150 p.
- Rasero, M. 1994. Relationship between cephalopod abundance and upwelling: the case of *Todoropsis eblanae* (Cephalopoda Omnastrephidae) in Galician waters (NW Spain). *ICES CM 1994/K20*, 3 p.
- Raveloarisoa J. E., 2006 Etude de l'efficacité de la pêche expérimentale en référence à la pêche professionnelle et contribution à l'étude Bio-écologique céphalopodière dans les deux parcelles marines du parc national de la presqu'île Masoala. *Memoire de DEA IHSM*.
- Raya C.P., Balguerias E., Fernandez, M.M., Pierce G.J. 1999. On reproduction and age of the squid *Loligo vulgaris* from the Saharan Bank (north-west African coast). *J. Mar. Biol. Assoc. UK* 79, 111-120.
- Rees, W.J., Lumby, J.R. 1954. The abundance of octopus in the english chanel. *J. Mar. Biol. Asses.* 33, 515-536.
- Rejela, M. 1993. La pêche traditionnelle Vezo du sud-ouest de Madagascar : « un système dépassé ? ». *Thèse de Doctorat d'Université Michel de Montagne-Bordeaux-3, UER de Géographie, Centre d'Etude de Géographie Tropicale-CNRS*, 449 p.
- Richard, A. 1966. La température, facteur externe essentiel de croissance pour le céphalopode *Sepia officinalis* L. C.-R. *Acad. Sci. Paris D* 263, 1138-1141.
- Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Board Can.* 191: 382 p.
- Roberts, M.J., Sauer, W.H.H. 1994. Environment: the key to understanding the south african chokka squid (*Loligo vulgaris reynaudii*) life cycle and fishery. *Antarctic Science* 6, 249-258.
- Rocha F., Guerra A. 1999. Age and growth of two sympatric squid *Loligo vulgaris* and *Loligo forbesi*, in Galician waters (north-west Spain). *J. Mar. Biol. Assoc. UK* 79, 697-707.
- Rodhouse P.G., Hatfield, E.M.C. 1990. Age determination in squid using statolith growth increments. *Fish. Res.* 8, 323-334.
- Royama, T. 1992. Analytical population dynamics. Chapman et Hall.

- Saetre R., Da Silva, A. J. 1984. The circulation of the Mozambique Channel. *Deep-Sea Research*, **31**, 485-508.
- Sandon, Y. 1998. Effort effectif exerce sur le poulpe (*Octopus vulgaris*) par la pêche sénégalaise. Estimation et analyse. *Mémoire DAA, ENSA Rennes*, 86 p.
- Sato, T., Hatanaka, H. 1983. A review of assessment of Japanese distant water fisheries for cephalopods. In: *Advances in assessment of world cephalopod resources*. Caddy, J. (ed.), *FAO Rome*, 231, 145-180.
- Sauer, W.H.H., Goshen, W.S., Koorts, A.S. 1991. A preliminary investigation of the effect of sea temperature fluctuations on squid catches in the inshore areas of the Eastern Cape. *S. Afr. J. Mar. Sci.* **11**, 467-473.
- Sauer, W.H.H., Smale, M.J., Lipinski, M.R. 1992. The location of spawning grounds, spawning and shoaling behavior of the squid *Loligo vulgaris reynaudii* (D'Orbigny) off the Eastern Cape coast, South Africa. *Mar. Biol.*, **114**: 97-107.
- Savile, A. 1987. Comparisons between cephalopods and fish of those aspects of the biology related to stock management. In: *Cephalopod life cycle 2. Comparative reviews*. Boyle, P.R. (ed.), *Academic Press, Lond.*, 277-290.
- Schaefer, M.B., 1957. A study of the dynamics of the fishery for yellow tuna in the eastern tropical Pacific ocean. *Bulletin of the Inter-American Tropical Tuna Commission* **2**, 247e268.
- Schwartzlose, R. A., Alheit, J., Bakun, A., Baumgartner, T. R., Cloete, R., Crawford, R. J. M., Fletcher, W. J., Green-Ruiz, Y., Hagen, E., Kawasaki, T., Lluch-Belda, D., Lluch-Cota, S. E., MacCall, A. D., Matsuura, Y., Neva rez-Martinez, M. O., Parrish, R. H., Roy, C., Serra, R., Shust, K. V., Ward, M. N., Zuzunaga, J. Z. 1999. Worldwide large-scale fluctuations of sardine and anchovy populations. *South African Journal of Marine Science*, **21**, 289-347.
- Shackleton, L. Y. 1987. A comparative study of fossil fish scales from three upwelling regions. In A. I. L. Payne, J. A. Gulland, & K. H. Brink (Eds.), *The Benguela and Comparable Ecosystems*. *South African Journal of Marine Science*, **5**, 79-84.
- Shumway, R. H. 1988. Applied statistical time series analysis. *Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall*.
- Sissenwine, M.P. 1984. Why do fish population vary? In: *Exploitation of marine communities*. May, R. (ed), *Springer Berlin*, 59-94.
- Soutar, A., Isaacs, J.D. 1974. Abundance of pelagic fish during the 19th and the 20th centuries as recorded in anaerobic sediment of the California. *Fish. Bull.* **72**, 257-274.
- Steel, J.H., Henderson, E.W. 1984. Modelling long-term fluctuations in fish stocks. *Science*. **224**, 985-987.
- Steele, J.H. 1984. Kinds of variability and uncertainty affecting fisheries. In: *Exploitation of marine communities*. May, R.M. (ed.), *Springer-Verlag*, 245-262.
- Sverdrup, H.U., Johnson, M.W., Fleming, R. H. 1942. The Oceans, their physics, chemistry and general biology. *Prentice-Hall, New York*, 1089 p.
- Sy-Moussa, Tchernichkov, P.P. 1985. Influence des conditions thermiques sur le rendement de la pêche aux poulpes (*Octopus vulgaris*) dans la région du Cap Blanc. *Bull. CNROP.*, 85-92.
- Tait, R.W. 1986. Aspects physiologiques de la sénescence post reproductive chez *Octopus vulgaris*. *These de Doctorat, Université de Paris VI*.
- Takeda, R. 1990. Octopus resources. *Mar. Behav. Physiol.* **18**, 111-149.
- Tew Kai, E., 2005. Analyse des structures méso-échelles de la chlorophylle de surface mesurée par SeaWifs dans le canal de Mozambique : Variabilité saisonnière et interannuelle. *Mémoire Master - Université Pierre et Marie Curie*. 90 p.
- Toany, 1997. Ecologie et biologie d'*Octopus cyanea* du Sud-Ouest de Madagascar. *Mémoire de DEA, Institut Halieutique et des Sciences Marines*. 92 p.
- Tzeng, W.N., Wang, Y.Z. 1992. Structure, composition and seasonal dynamics of the larval and juvenile fish community in the mangrove estuary of Tanshui River. *Taiwan Mar. Biol.*, **113**: 481-490.

- Ulrich, C.D., Gascuel, M.R., Dunn, B., Le Gallic, B., Dintheer, C., 2001. Estimation of technical interactions due to the competition for resource in a mixed-species fishery, and the typology of fleets and métiers in the English Channel. *Aquatic Living Resources* 14, 267-281.
- Valdés-Szeinfeld, E.S., Cochrane, K. 1992. The potential effects of cannibalism and intraguild predation on anchovy recruitment and clupeoid fluctuations. Proc. Benguela Trophic Functioning Cape Town. *S. Afr. J. Mar. Sci.* 12, 605-702.
- Van Heukelem, V.F. 1976. Environmental control of reproduction and life span in octopus. An hypothesis. In: *Reproductive ecology of marine invertebrates*, Stancyk, S.E. (ed.), University of South Carolina press, 123-133.
- Van Heukelem, W.F. 1983. *Octopus cyanea*. In: Boyle P.R (ed.). Cephalopod Life Cycles. Vol. I. Species account. *Academic Press, London*, pp. 267-276
- Van Heukelem, W.F. 1973. Growth and life-span of *Octopus cyanea* (Mollusca: cephalopoda). *J. Zool. London*, 169, pp. 299-315.
- Van Heukelem, W.F. 1966. Some aspects of the ecology and ethology of *Octopus cyanea* Gray. *M.S. Thesis, University of Hawaii*, 104 p.
- Villanueva, R., Nozais, C., Boletzky, S.V. 1995. The planktonic life of octopuses. *Nature* 377, 106-107.
- Voss, G. L. 1983. A review of cephalopod fisheries biology. Proceedings of the Workshop on the biology and resource potential of cephalopods. *Memoirs on the national museum of Victoria*. 44, 229-241.
- Wells, M. J., Wells, J. 1959. Hormonal control of sexual maturity in Octopus. *J. Exp. Biol.* 36, 1-33.
- Wells, M.J., Wells, J. 1972. Sexual display and mating of *Octopus vulgaris* Cuvier and *Octopus cyanea* Gray and attempts to alter performance by manipulating the glandular condition of the animals. *Anim. Behav.* 20, 293-308.
- Wells, M.J., Wells, J. 1970. Observation on the feeding, growth rate and habits of newly settled *Octopus cyanea*. *J. Zool. London*, 161, pp. 65-74.
- Wei, W. W. 1989. Time series analysis: Univariate and multivariate methods. *New York: Addison-Wesley*.
- Whitehead, P.J.P., Nelson, G.J., Wongratana, T. 1988. FAO species catalogue. Vol. 7. Clupeoid fishes of the world (Suborder Clupeiidae). An annotated and illustrated catalogue of the herrings, sardines, pilchards, sprats, shads, anchovies and wolf-herrings. Part 2 - Engraulidae.. *FAO Fish. Synop.* 125(7/2):305-579.
- Wooster, W.S., Bailey, K.M. 1989. Recruitment of marine fishes revisited. In: *Effects of ocean variability on recruitment and an evaluation of parameters of used in stock assessment models*. Beamish, R.J., McFarlane, G.A. (eds.), Fisheries and Oceans editions Canada. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 108, 153-159.
- Wyrski, K. 1971. Oceanographic atlas of the International Indian Ocean Expedition. *National Science Foundation, Washington, D.C.*, 531 p.
- Yarnall, J.L. 1969. Aspect of the behaviour of *Octopus cyanea*. *Animal Behaviour*, 17, pp. 747-754.
- Yatsu, A., Watanabe, T. 1996. Interannual variability in neon flying squid abundance and oceanographic conditions in the central north pacific, 1982-1992. *Bull. Nat. res. Inst. Far Seas Fish.* 33, 123-138.
- Young, R.F., Harman, R.F. 1988. "Larvae" "Paralarva" and "Subadult" in cephalopod terminology. *Malacologia*. 29, 201-207.
- Young, S.S., Chen, C.C., Chiu, T.S., (1992). Resource characteristics of young herring-like fish in the I-Lan Bay area: Fishing season, major species and size variation. *J. Fish. Soc. Taiwan*, 21(4): 263-271.
- Zguidi, W. 2002. Ecobiologie et exploitation du poulpe commun *Octopus vulgaris* Cuvier, 1797 (Cephalopoda, Octopoda) dans le golfe de Gabès (Tunisie, Méditerranée centrale). *Thesis 3rd cycle, University of Tunis*, 165p.
- Zinke, J., Dullo, W.-C., Heiss, G.A., Eisenhauer, A. 2004. ENSO and Indian Ocean subtropical dipole variability is recorded in a coral record off southwest Madagascar for the period 1659 to 1995. *Earth and Planetary Science Letters* 228 (2004) 177-194.

Effets de la variabilité climatique sur la pêche traditionnelle d'anchois (*Engraulis indicus*, Van Hasselt, 1823) du sud-ouest de Madagascar.

John BEMIASA (1) , Francis MARSAC (2), Man Wai RABENEVANANA (1), Edouard MARA (1), Catherine MAILLARD (3).

(1) Institut Halieutique et des Sciences Marines (IH.SM), Toliara (Madagascar)

(2) Centre de Recherche Halieutique (CRH), Sète (France)

(3) Sismer & Coriolis Data Centre-Ifremer, BP 70, 29280 Plouzane-Brest (France)

ABSTRACT

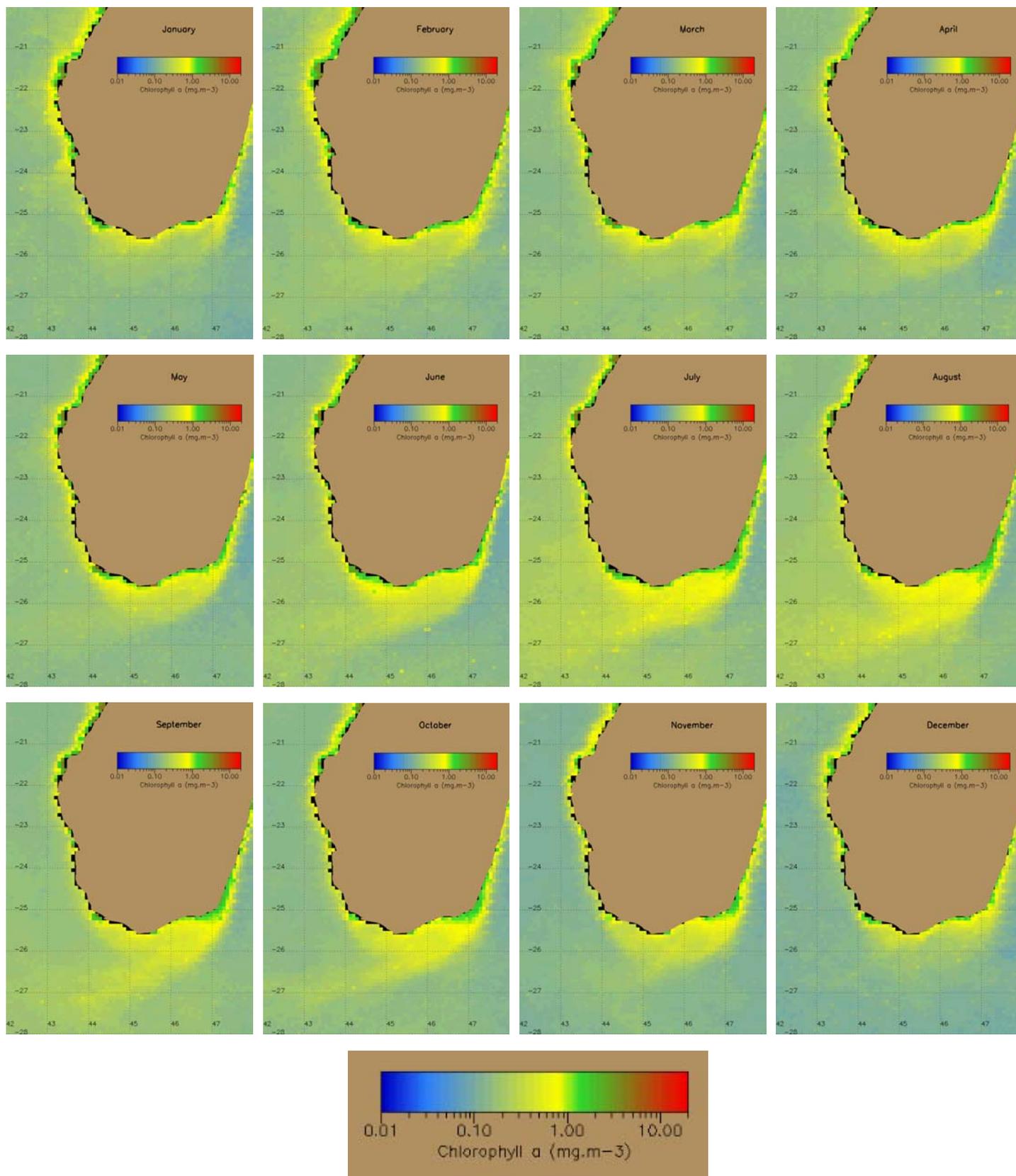
Traditional fishery of anchovy is important in terms of social and economical aspects for fishing communities in the southwestern coast of Madagascar. Influenced by the upwelling located in the southern uttermost part of Madagascar, this fishery is influenced by the environmental parameter dynamics.

Climate impact on anchovy traditional fisheries is described and analysed using classical fishery statistics (catches, effort and PUE). Anchovy (*Engraulis indicus*), is species particularly sensitive to climate fluctuations, due to its dependency to the primary production fluctuations along its life cycle. Data from SeaWifs (Chl-*a*) and Pathfinder v5.0 (SST) between 1998-2006 are analysed for environmental parameters study.

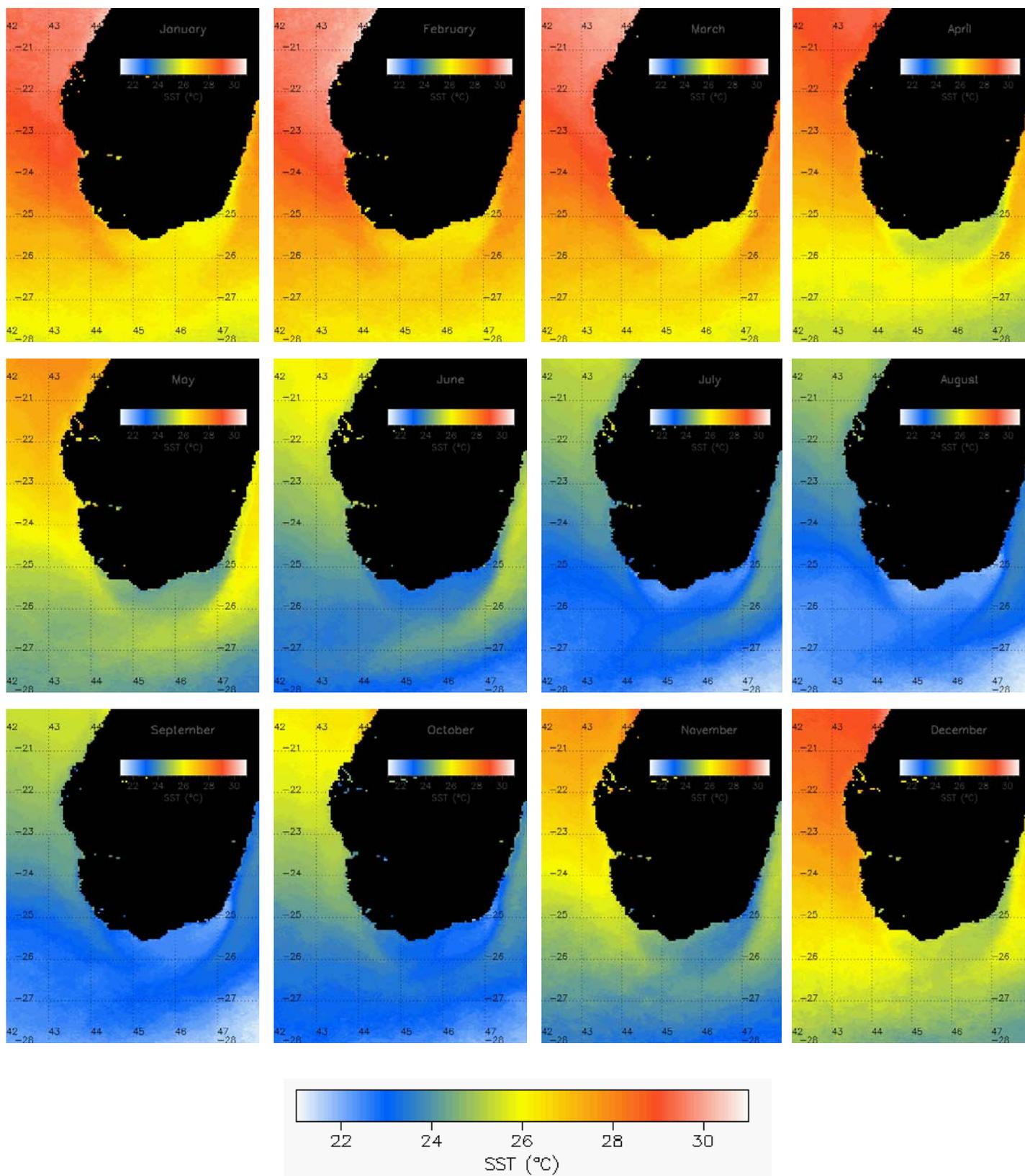
Three scales of changes are observed in terms of environmental dynamics and abundance of resources: monthly, annually and decadal. The first one is interpreted from the perspective of the availability of the stock to local fishery and fishing tactics. Annual and decadal changes are assessed as result of dynamic of the exploitation and the variability of the environment parameters. The upwelling of south of Madagascar is permanent and its intensity is variable. Enrichment of surrounding areas in which anchovy stock grow up is influenced by mean term (annually) climatic variability.

Abstract soumis et accepté pour présentation orale au 5^e Symposium WIOMSA, Durban Octobre 2005.

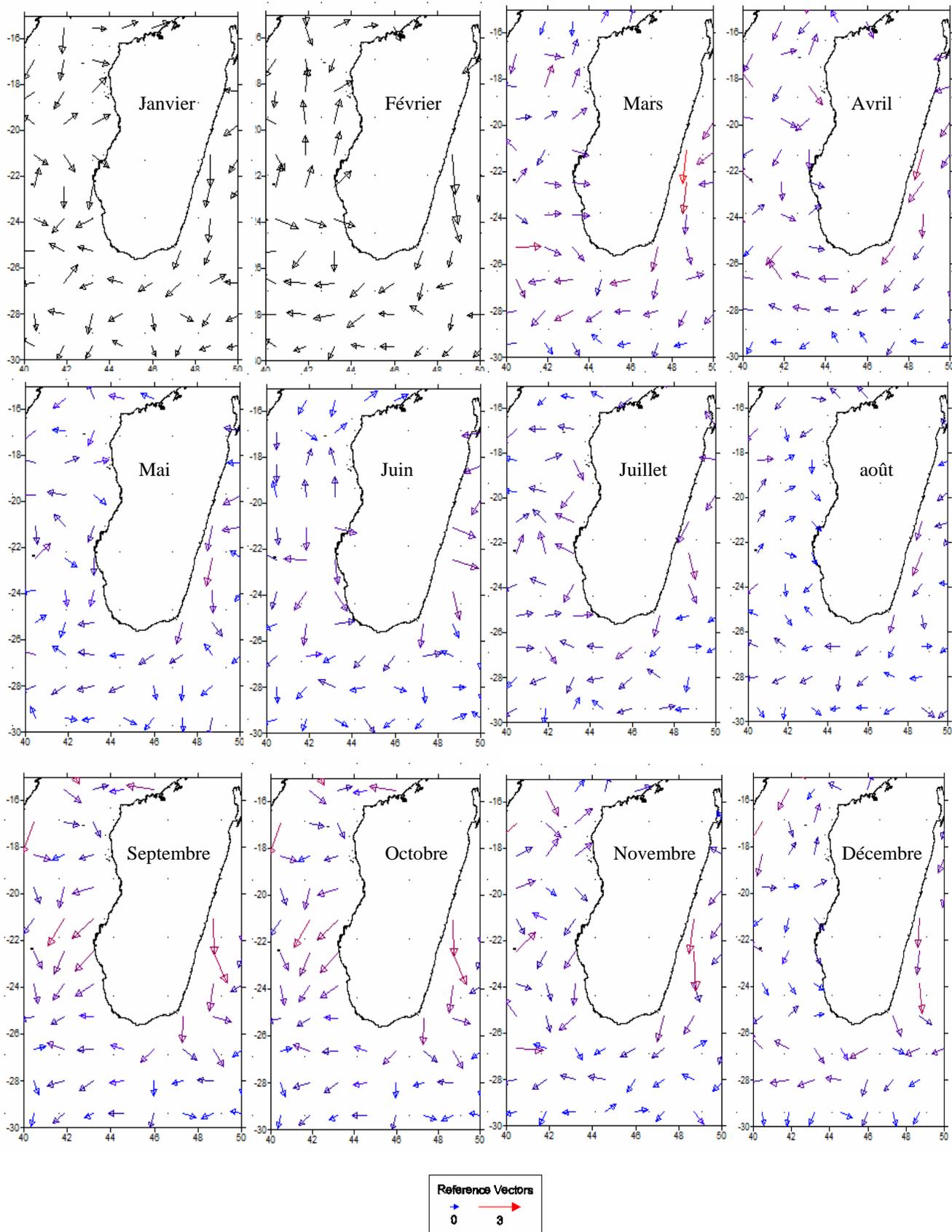
Annexe I: Cartes des moyennes mensuelles climatologique de la production primaire (Chlorophylle-*a* de SeaWifs) du sud et sud-ouest de Madagascar sur la période 1997-2006. La concentration est mesurée en $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$.



Annexe II: Cartes des moyennes mensuelles climatologique de la température de surface de la mer (TSM de NOAA Pathfinder v.5) du sud et sud-ouest de Madagascar sur la période 1997-2006. L'unité de mesure est exprimée en $^{\circ}\text{C}$.

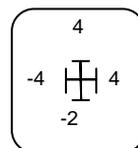
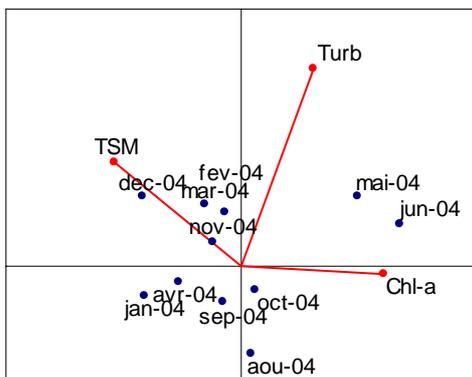
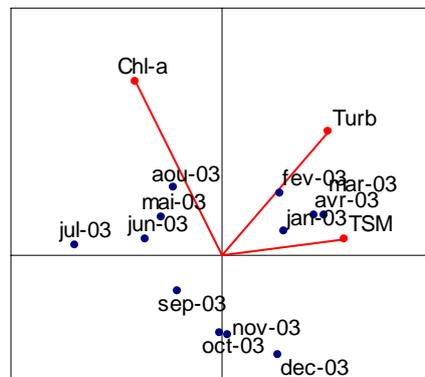
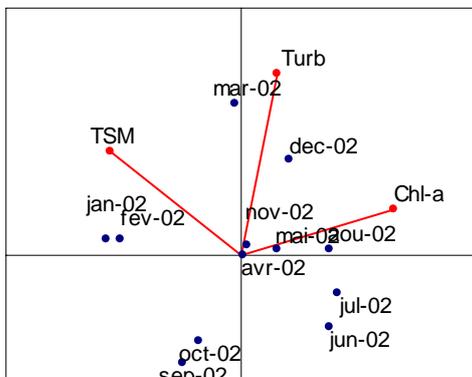
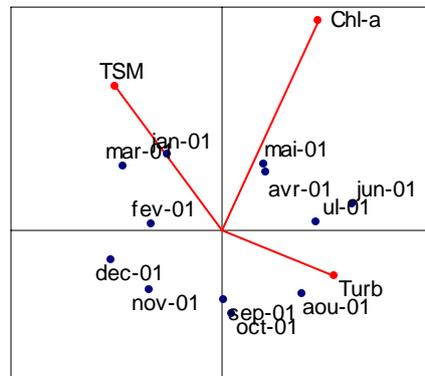
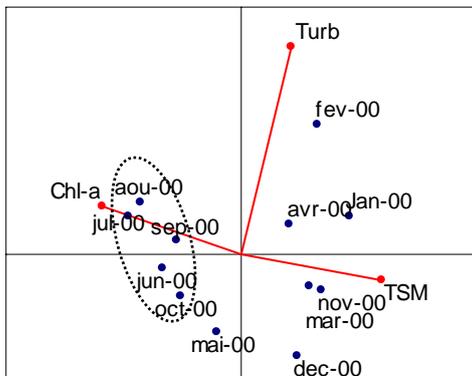
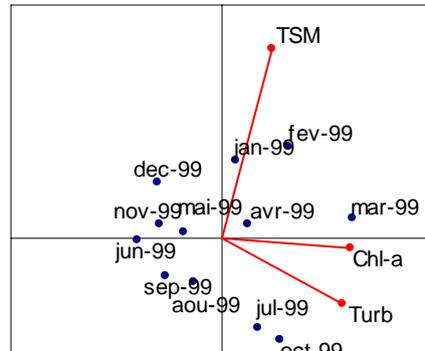
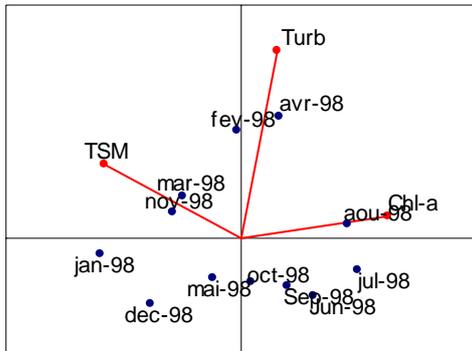


Annexe III: Cartes de la circulation de surface des eaux côtières du sud et sud ouest de Madagascar. Les vecteurs vitesses moyennes de courant de surface sont calculés à partir de données de *NOAA Navy Shipdrift* sur la période 1970-2005. L'unité est exprimée en $m.s^{-1}$.



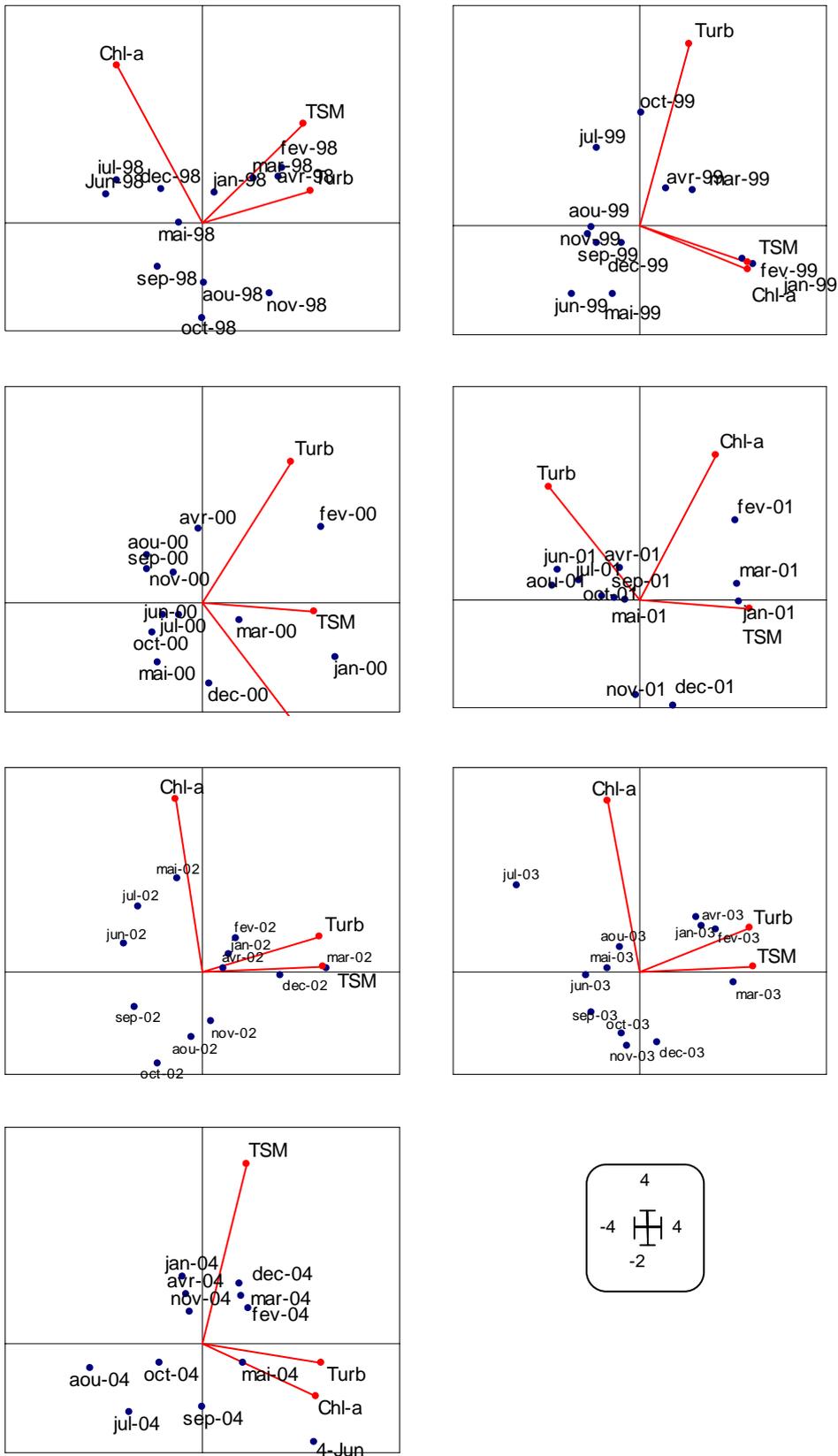
Annexe IV – Résultats des ACP mensuelles avec les données environnementales

Zone 2 : Cap Andriamanao



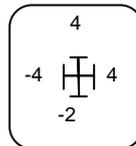
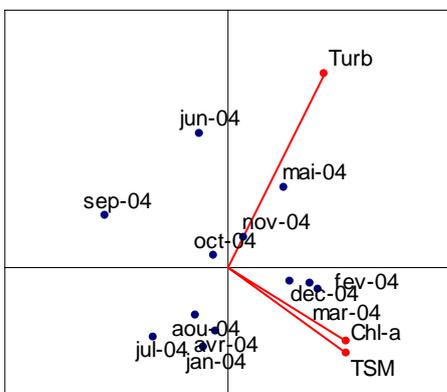
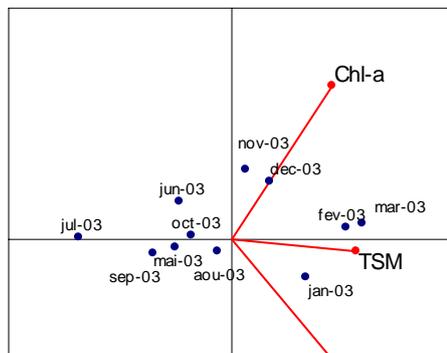
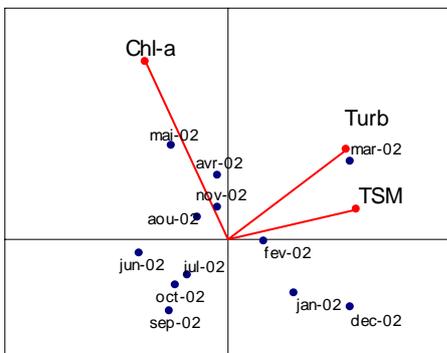
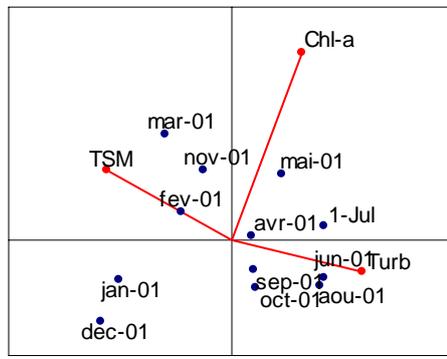
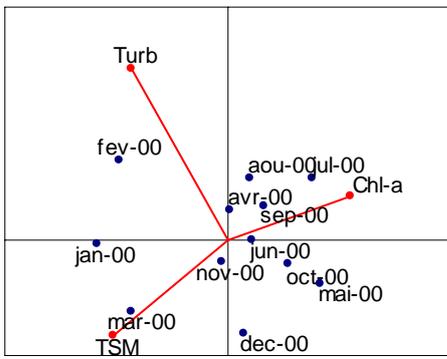
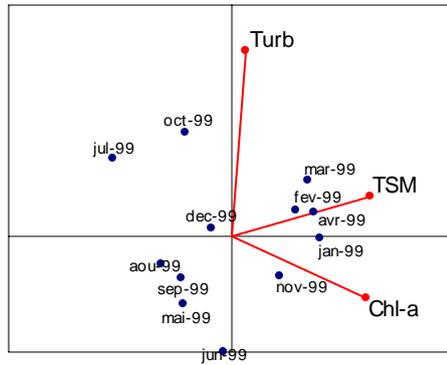
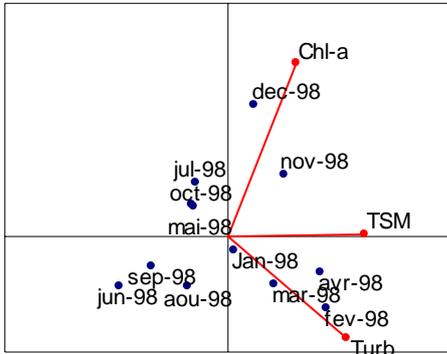
Annexe IV – Résultats des ACP mensuelles avec les données environnementales

Zone 3 : Toliara

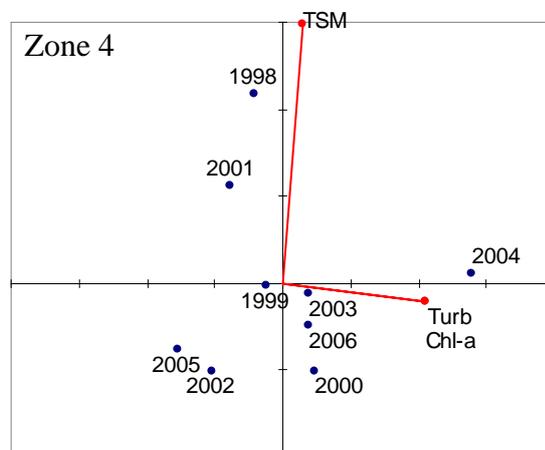
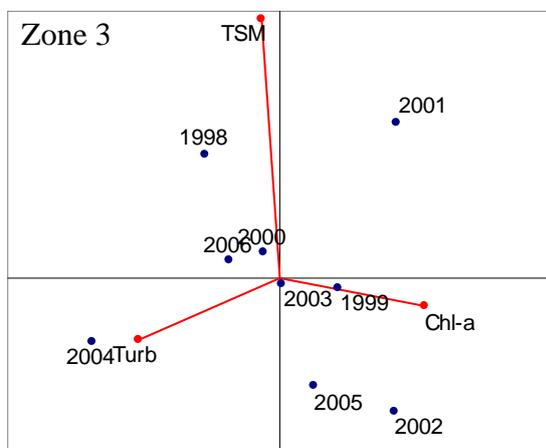
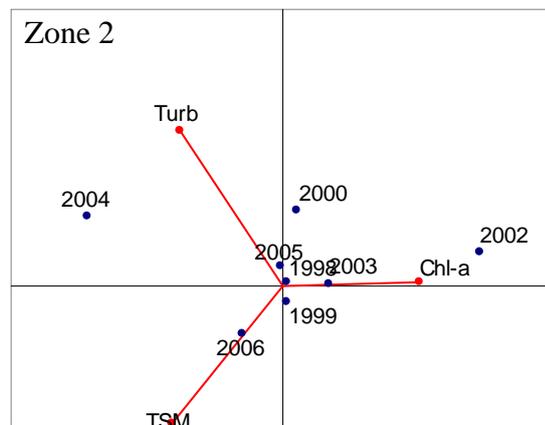
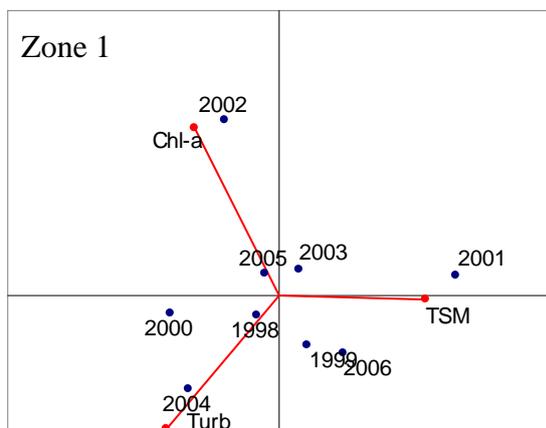


Annexe IV – Résultats des ACP mensuelles avec les données environnementales

Zone 4: **Morombe**



Annexe V – Résultats des ACP annuelles avec les données environnementales



Annexe VI: Paramètres du modèle retenu

Variable climatique : Chlorophylle-a (Chl-a)

1. ANCHOIS

Number of observed data years: 13

Number of significantly exploited year-classes: 2

Environmental influence: both

Age at recruitment: 1

Age at the beginning of environmental influence: 0

Age at the end of environmental influence: 3

Relation between CPUE and E: Linear

Relation between CPUE and V: Quadratic

Selected model: $CPUE = a.V^{(1+b)} + c.V^{(2+b)} + d.V^{(2.b)}.E$

Number of years used to fit the model: 11

Number of degrees of freedom: 7

Parameters	Actual value	Initial value
a	3565649.753787	-3.437762
b	12.889408	0.000000
c	-6831515.843620	8.158314
d	-16769137.616539	0.000707

R² 0.83

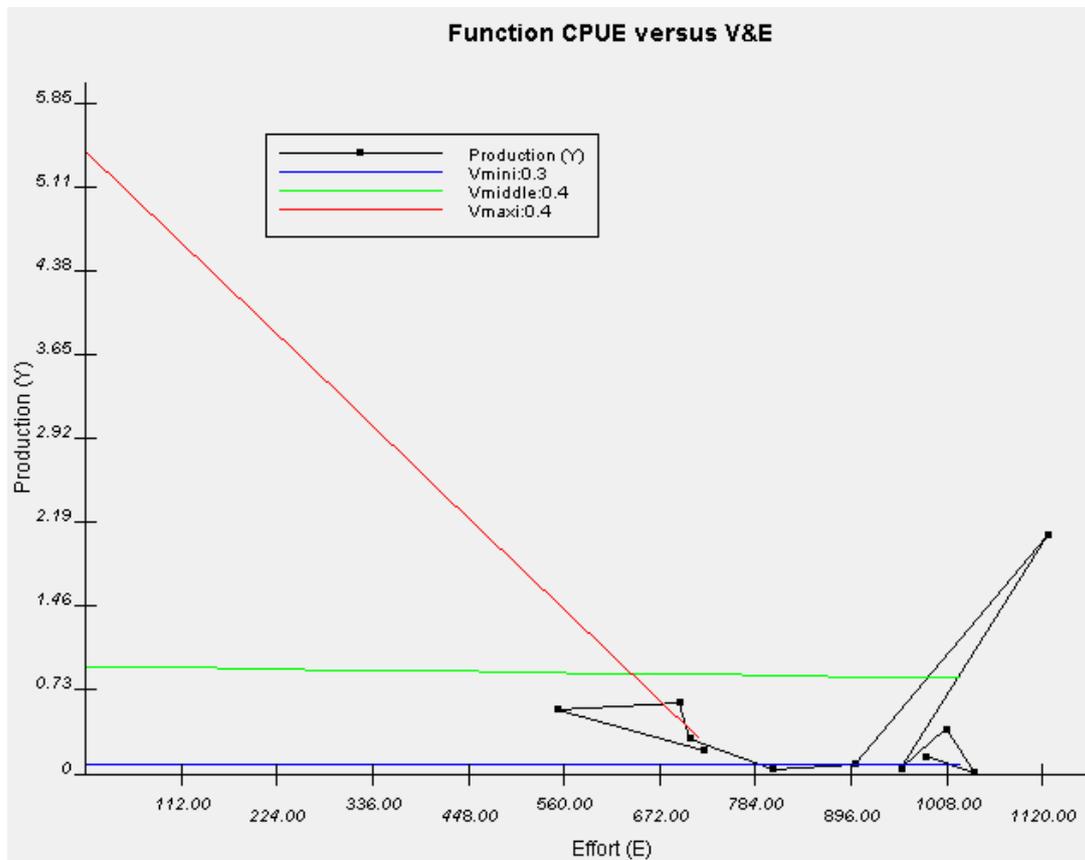
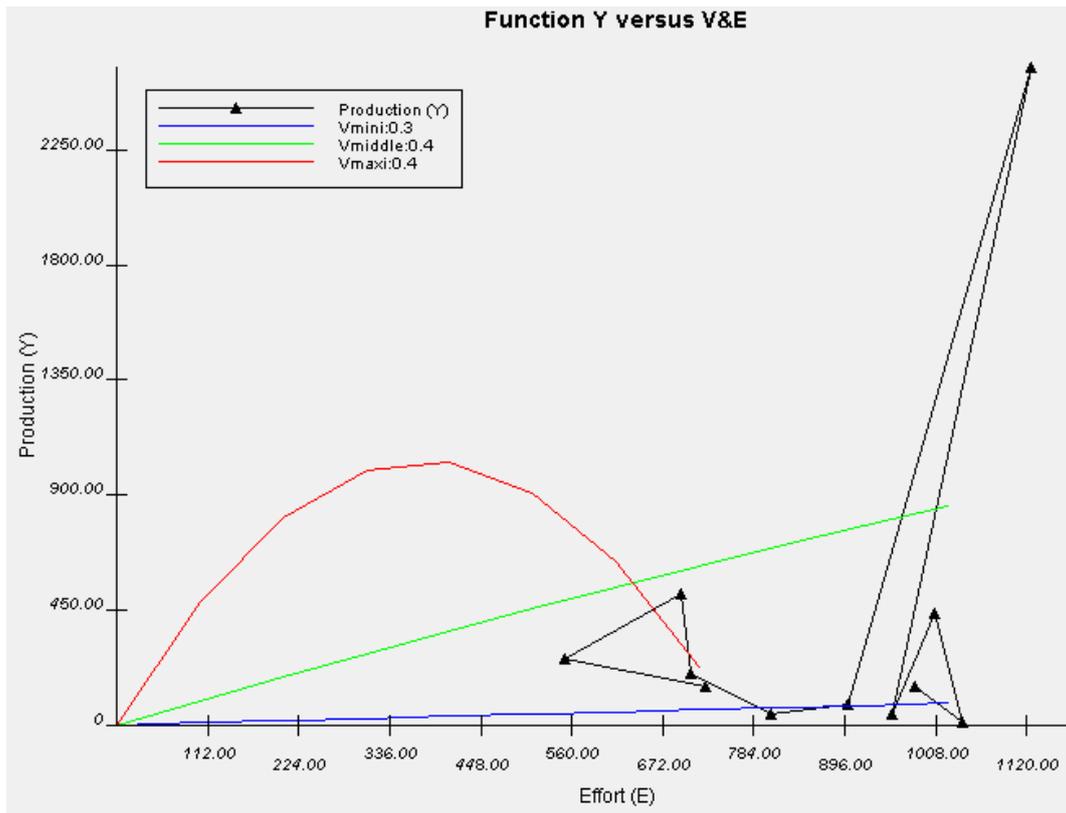
Variance 0.320054

Residual Variance 0.055691

Jackknife coefficient of determination R²: 0.51

T_Jackknife: good

Years Observed	Cpue	Fitted Cpue	Residuals
1996.0	0.201617	0.261495	-0.059877
1997.0	0.561556	0.677360	-0.115804
1998.0	0.626005	0.186397	0.439608
1999.0	0.309055	0.079191	0.229864
2000.0	0.043983	0.295659	-0.251676
2001.0	0.087033	0.132902	-0.045869
2002.0	2.083731	1.909389	0.174342
2003.0	0.048497	0.377291	-0.328794
2004.0	0.392083	0.286707	0.105376
2005.0	0.008979	0.375862	-0.366883
2006.0	0.153320	0.101418	0.051902



Climprod : Results tables (model fitted : $CPUE = a \cdot V^{(1+b)} + c \cdot V^{(2+b)} + d \cdot V^{(2 \cdot b) \cdot E}$)

Modelisation Validation

Final Jackknife results

Parameters	Value	Jackknife Stan...	Jackknife t-ratio
a	3565649.7537...	90656.009249	39.331643
b	12.889408	0.212456	60.668671
c	-6831515.843...	11485.529367	-594.793294
d	-16769137.61...	42967.199690	-390.277648
Conventional R ²	0.83		
Jackknife R ²	0.51		
T_Jackknife	good		

Intermediate Jackknife results

Years	a (%)	b (%)	c (%)	d (%)	R ²
1996	98.44	99.42	100.14	99.82	99.95
1997	100.13	99.82	99.99	100.01	100.48
1998	99.75	100.05	100.02	99.97	106.61
1999	99.90	99.96	100.02	99.99	101.87
2000	100.10	99.83	100.00	100.00	101.54
2001	99.95	99.93	100.01	99.99	99.48
2002	97.42	101.66	100.16	99.75	0.00
2003	100.21	99.77	100.00	100.02	103.27
2004	99.87	99.98	100.02	99.99	100.50
2005	100.23	99.75	99.99	100.02	104.09
2006	99.93	99.94	100.02	99.99	99.77

Remarquable values for MS_E

Remarquables...	MS_E Lower li...	MS_E Central ...	MS_E Upper li...
Mean: 0.34	29609.99	33825.43	38040.86
Median: 0.33	45449.05	52301.66	59154.28
Minimum: 0.30	209139.61	247093.22	285046.83
Maximum: 0.43	786.20	858.57	930.94

Remarquable values for MS_Y

Remarquables...	MS_Y Lower li...	MS_Y Central ...	MS_Y Upper li...
Mean: 0.34	-7398.09	-6723.50	-6048.91
Median: 0.33	-8748.81	-7990.81	-7232.81
Minimum: 0.30	-14546.32	-13470.12	-12393.93
Maximum: 0.43	-848.06	-705.81	-563.56

2. CALMAR

Number of observed data years: 13

Number of significantly exploited year-classes: 2

Environmental influence: both

Age at recruitment: 1

Age at the begining of environmental influence: 0

Age at the end of environmental influence: 3

Relation between CPUE and E: Exponential

Relation between CPUE and V: Quadratic

Selected model: $CPUE=(a.V^{(1+b)}+c.V^{(2+b)}).exp(d.V^b.E)$

Number of years used to fit the model: 11

Number of degrees of freedom: 7

Parameters	Actual value	Initial value
a	468.129949	2.633337
b	2.808349	0.000000
c	-2.370570	-2.370570
d	-0.100559	0.000000

R² 0.61

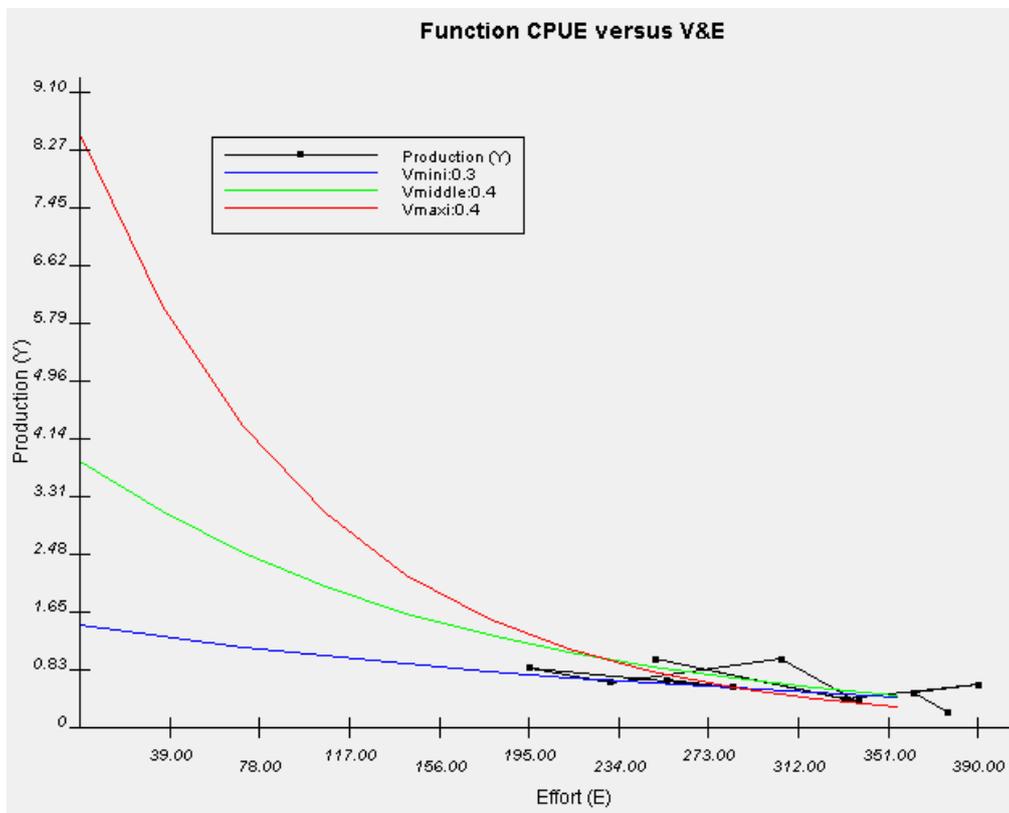
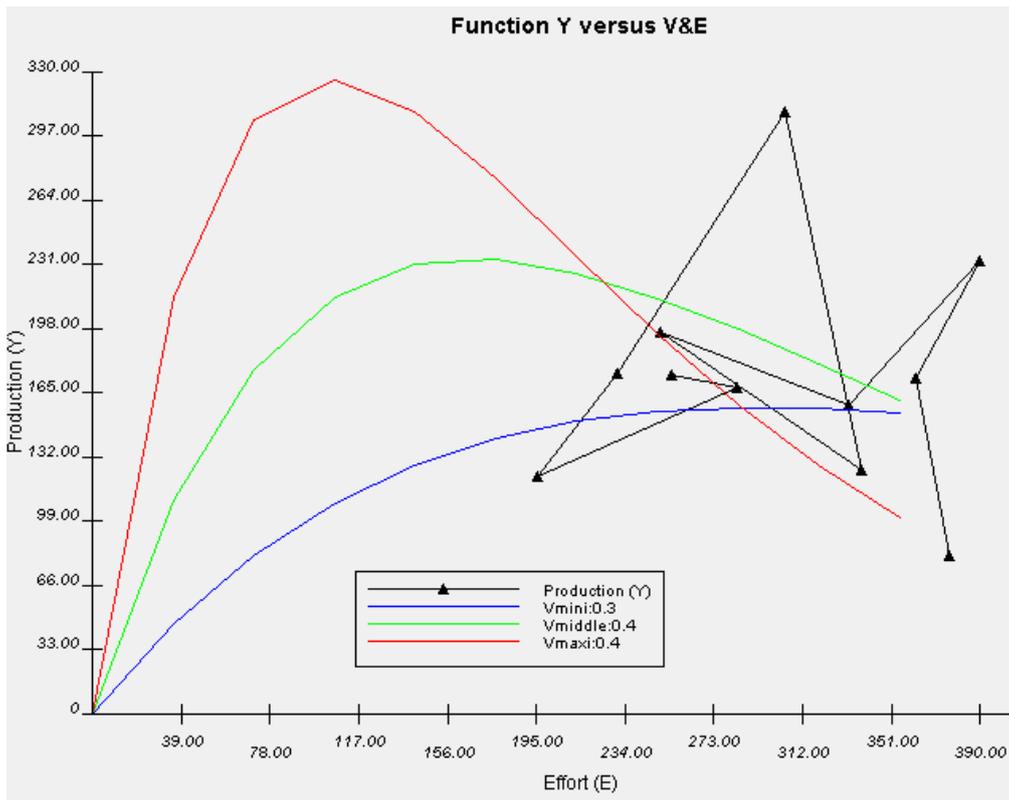
Variance 0.054940

Residual Variance 0.021693

Jackknife coefficient of determination R²: 0.22

T_Jackknife: bad

Years	Observed Cpue	Fitted Cpue	Residuals
1996	0.675636	0.738651	-0.063016
1997	0.564581	0.492637	0.071944
1998	0.839683	0.844897	-0.005214
1999	0.638919	0.639376	-0.000456
2000	0.965875	0.64058	0.325295
2001	0.359986	0.470444	-0.110459
2002	0.976204	1.10819	-0.131986
2003	0.397357	0.480189	-0.082833
2004	0.60215	0.351264	0.250886
2005	0.493517	0.46616	0.027357
2006	0.207154	0.360326	-0.153172



Climprod : Results tables (model fitted : $CPUE=(a.V^{(1+b)}+c.V^{(2+b)}).exp(d.V^b.E)$)									
Modelisation			Validation						
Final Jackknife results			Intermediate Jackknife results						
Parameters	Value	Jackknife Stan...	Jackknife t-ratio	Years	a (%)	b (%)	c (%)	d (%)	R ²
a	468.129949	719.460056	0.650668	1996	73.90	93.93	-1974.41	75.84	102.69
b	2.808349	0.914360	3.071382	1997	111.43	102.63	1020.48	110.70	101.64
c	-2.370570	323.790016	-0.007321	1998	98.92	99.23	-14.71	98.46	93.15
d	-0.100559	0.132207	-0.760621	1999	100.02	99.99	100.19	100.00	99.91
Conventional R ²	0.61			2000	68.00	90.48	-2152.52	73.95	124.51
Jackknife R ²	0.22			2001	104.96	101.01	434.86	103.32	95.55
T_Jackknife	bad			2002	267.23	133.55	15149.17	242.48	96.96
				2003	102.45	101.49	308.96	102.32	96.33
				2004	92.34	93.65	-670.64	90.54	118.85
				2005	97.91	98.99	-77.41	97.93	98.55
				2006	103.94	101.51	388.46	103.11	81.91
Remarquable values for MS_E									
Remarquables...	MS_E Lower li...	MS_E Central ...	MS_E Upper li...						
Mean: 0.34	179.99	201.83	223.68						
Median: 0.33	193.10	219.61	246.12						
Minimum: 0.30	244.83	298.81	352.79						
Maximum: 0.43	92.26	104.78	117.30						
Remarquable values for MS_Y									
Remarquables...	MS_Y Lower li...	MS_Y Central ...	MS_Y Upper li...						
Mean: 0.34	191.82	207.14	222.47						
Median: 0.33	180.96	195.37	209.79						
Minimum: 0.30	146.40	157.93	169.47						
Maximum: 0.43	302.41	327.05	351.68						

3. POULPE

Number of observed data years: 13

Number of significantly exploited year-classes: 2

Environmental influence: both

Age at recruitment: 1

Age at the begining of environmental influence: 0

Age at the end of environmental influence: 3

Relation between CPUE and E: Exponential

Relation between CPUE and V: Quadratic

Selected model: $CPUE=(a.V^{(1+b)}+c.V^{(2+b)}).exp(d.V^b.E)$

Number of years used to fit the model: 11

Number of degrees of freedom: 7

Parameters	Actual value	Initial value
a	211.693805	1.692107
b	2.926324	0.000000
c	0.835169	0.835169
d	-0.016282	0.000000

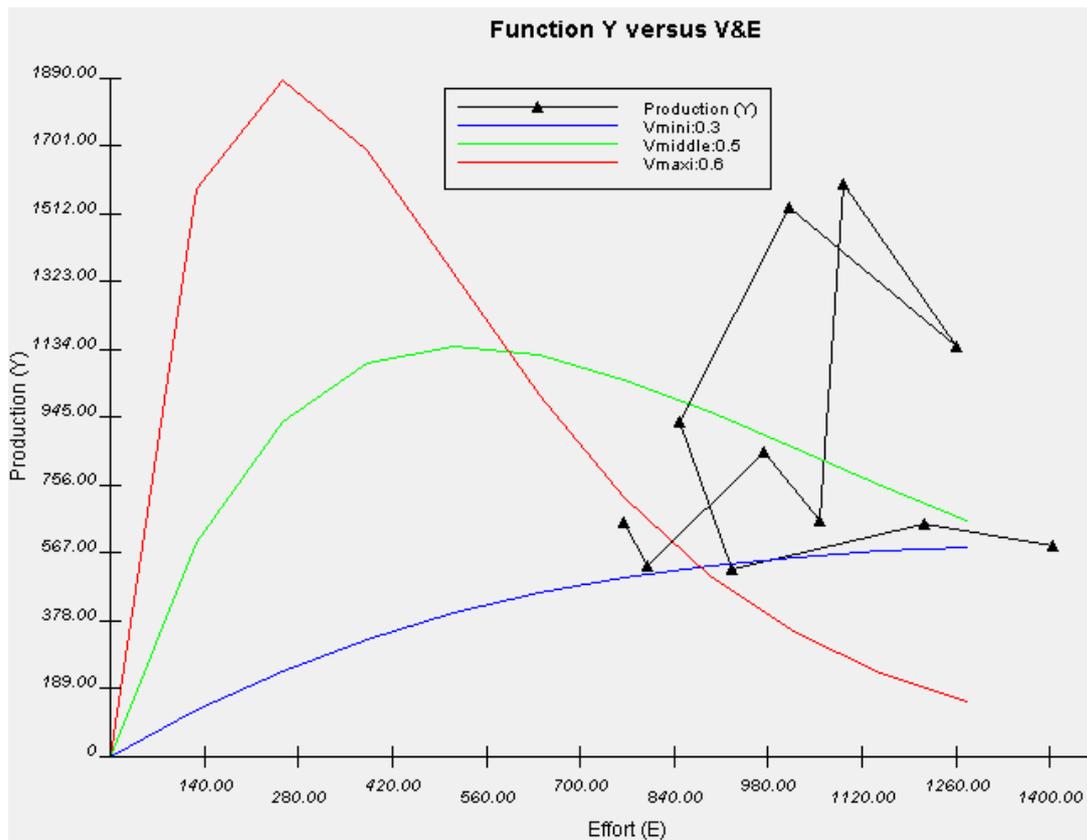
R² 0.59

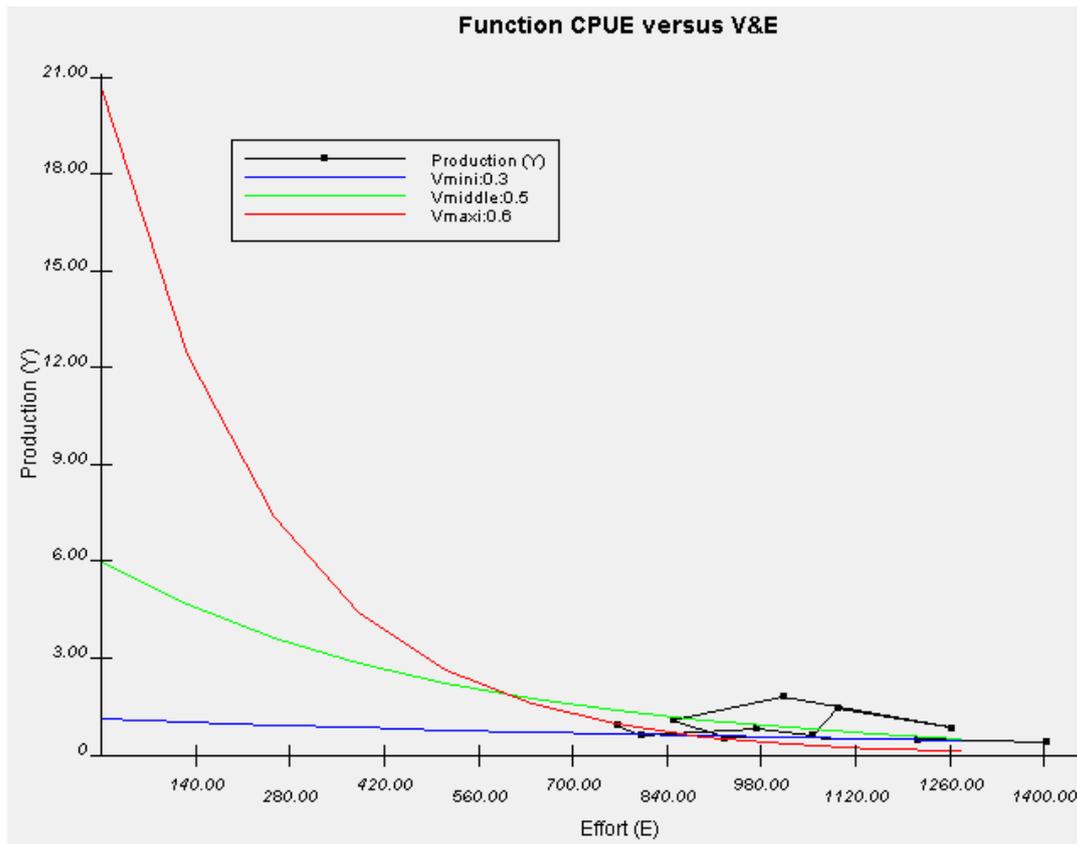
Variance 0.168282
Residual Variance 0.068214

Jackknife coefficient of determination R^2 : 0.21
T_Jackknife: bad

Ajustement

Years	Observed Cpue	Fitted Cpue	Residuals
1996.0	0.931256	1.204689	-0.273434
1997.0	0.622339	0.787392	-0.165053
1998.0	0.818055	0.982185	-0.164130
1999.0	0.611769	0.492482	0.119287
2000.0	1.442845	0.846068	0.596777
2001.0	0.853207	0.511060	0.342147
2002.0	1.800706	1.801655	-0.000948
2003.0	1.093518	0.885819	0.207699
2004.0	0.539121	0.643597	-0.104475
2005.0	0.483250	0.763115	-0.279865
2006.0	0.408403	0.448354	-0.039951





Climprod : Results tables (model fitted : $CPUE = (a \cdot V^{(1+b)} + c \cdot V^{(2+b)}) \cdot \exp(d \cdot V^{(b \cdot E)})$)

Modelisation Validation

Final Jackknife results

Parameters	Value	Jackknife Stan...	Jackknife t-ratio
a	211.693805	679.071820	0.311740
b	2.926324	1.402888	2.085928
c	0.835169	324.821649	0.002571
d	-0.016282	0.047763	-0.340892
Conventional R ²	0.59		
Jackknife R ²	0.21		
T_Jackknife	bad		

Intermediate Jackknife results

Years	a (%)	b (%)	c (%)	d (%)	R ²
1996	138.98	102.10	-3394.57	120.29	110.37
1997	104.57	97.63	-27.51	99.36	100.63
1998	125.90	104.41	-2353.37	118.51	103.10
1999	100.17	101.33	-57.01	101.81	98.57
2000	50.13	88.08	4661.52	59.02	132.52
2001	94.02	100.35	515.48	97.70	111.07
2002	99.98	100.08	99.97	100.01	28.69
2003	461.05	151.96	-44039.15	430.99	111.41
2004	83.89	94.20	1980.55	84.25	96.58
2005	91.13	98.30	1091.01	91.26	101.87
2006	96.94	99.26	431.74	97.26	90.15

Remarquable values for MS_E

Remarquables...	MS_E Lower li...	MS_E Central ...	MS_E Upper li...
Mean: 0.43	556.50	708.93	861.35
Median: 0.43	568.53	721.08	873.63
Minimum: 0.34	1210.29	1449.16	1688.03
Maximum: 0.62	138.12	244.31	350.50

Remarquable values for MS_Y

Remarquables...	MS_Y Lower li...	MS_Y Central ...	MS_Y Upper li...
Mean: 0.43	816.32	937.11	1057.90
Median: 0.43	807.31	926.68	1046.06
Minimum: 0.34	514.49	588.07	661.64
Maximum: 0.62	1651.88	1906.04	2160.19

RESUME

L'anchois (*Stolephorus indicus*), le calmar (*Loligo sp.*) et le poulpe (*Octopus cyanea*) font partie des principales ressources halieutiques exploitées dans la région sud-ouest de Madagascar. Les variations importantes interannuelles de leur abondance (notamment d'anchois) peuvent affecter les captures et avoir de lourdes conséquences économiques des communautés locales. L'analyse des fluctuations environnementales annuelles [upwelling : processus d'enrichissement (Chl-*a*), température de surface, turbulence] a permis d'expliquer en partie la variabilité saisonnière et interannuelle des indices d'abondance d'anchois, de calmars, de poulpes le long de la côte sud-ouest ainsi que leur stratégie saisonnière de reproduction. La fluctuation saisonnière du milieu peut d'une certaine manière être prise en compte par ces espèces qui développent une stratégie de reproduction adaptée au cycle saisonnier environnemental. Les résultats obtenus durant cette étude donnent une première idée des facteurs et des relations dans la dynamique des pêcheries traditionnelles d'anchois, de calmars et de poulpes qu'il faudrait prendre en compte dans leur gestion. Les effets combinés des facteurs climatiques ont été abordés par une approche multivariée, et l'utilisation de modèle de surplus de production simple (CLIMPROD) qui pourrait être amélioré et utilisé comme outil de gestion de pêche intégrant l'environnement et les ressources.

ABSTRACT

Anchovy (*Stolephorus indicus*), squid (*Loligo sp.*) and octopus (*Octopus cyanea*) are among the main exploited halieutic resources in the south western region of Madagascar. Important year to year changes of their abundance (e.g. anchovy) could have drastic consequences on catches as well as for the economy of the local communities. Yearly environmental changes analysis on enrichment process in upwelling area (Chl-*a*), sea surface temperature, winds permitted to explain annual and seasonal variability of anchovy, squid and octopus abundance index as well as their seasonal reproduction strategy. Seasonally environmental cycle is taken in account by species for their reproduction strategy development. Results from this study show the first idea of factors and relations of the traditional fishery dynamic of anchovy, squid and octopus. These factors and their relations should be considered while managing these fisheries. Combined effects of climatic factors were addressed by means of multivariate approach and the use of the simple production surplus method (CLIMPROD) which can be improved and used as tools for fishery management combining resources and environment.

MOTS CLES : *Stolephorus indicus*, *Loligo sp.*, *Octopus cyanea*, pêche traditionnelle, dynamique, environnement, upwelling, facteur climatique, gestion, ressources halieutiques.
