

**Stratégies de pêche et exploitation des thonidés
tropicaux: Du comportement des pêcheurs à
l'aménagement des pêcheries. MÉMOIRE D'HDR
Université de Montpellier 2**

Daniel Gaertner

► **To cite this version:**

Daniel Gaertner. Stratégies de pêche et exploitation des thonidés tropicaux: Du comportement des pêcheurs à l'aménagement des pêcheries. MÉMOIRE D'HDR Université de Montpellier 2. Sciences et techniques des pêches. Université de Montpellier 2, 2012. <tel-01616239>

HAL Id: tel-01616239

<http://hal.ird.fr/tel-01616239>

Submitted on 13 Oct 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MÉMOIRE D'HDR

Daniel Gaertner

Chargé de Recherche à l'IRD

IRD - Département Environnement et Ressources
Unité de Recherche 212 EME
« Ecosystèmes Marins Exploités »
(IRD / Ifremer / Université Montpellier 2)

CRH
Centre de Recherche Halieutique Méditerranéenne et Tropicale
Av Jean Monnet - BP 171
34203 Sète Cedex

Stratégies de pêche et exploitation des thonidés tropicaux: Du comportement des pêcheurs à l'aménagement des pêcheries.

Résumé : La méconnaissance des stratégies de pêches développées par les pêcheurs thoniers à la senne (utilisation de nouvelles technologies, changement d'espèces cibles, choix des zones de pêche) rend incertaine la quantification de l'effort de pêche effectif utilisable dans l'évaluation des stocks et ne permet pas d'anticiper l'efficacité des mesures spatio-temporelles de gestion des stocks. Nos travaux ont montré que le concept de capture par unité d'effort rend compte de plusieurs activités de pêche successives (recherche des zones de concentrations des bancs, détection visuelle d'un banc de thons, réalisation et succès de la calée, etc.) au cours desquelles interagissent les décisions prises par les pêcheurs et les progrès technologiques introduits à bord. En l'absence d'estimation directe de l'abondance due à la nature de la pêche thonière, nous avons utilisé des données de marquage-recapture comme source additionnelle d'information pour mieux évaluer, dans une approche plurispécifique, les interactions entre ressource et exploitation. Nos travaux s'effectuent en coopération avec les partenaires du Sud (affectations, encadrements, missions de soutien) et dans un contexte de restitution des connaissances sous forme d'expertise auprès des Commissions thonières internationales et des administrations des pêches nationales ou européennes.

Soutenance

Jeudi 5 juillet 2012 à 14h à l'Université de Montpellier 2

Jury

| | | |
|-------------------|--|--------------|
| Paulet Yves-Marie | Professeur Université de Bretagne Occidentale. Brest. (Directeur de l'IUEM) | Rapporteur |
| Laé Raymond | Directeur de Recherche IRD | Rapporteur |
| Compean Guillermo | Professeur UANL, Monterrey, Mexique (Directeur de l'IATTC San Diego USA) | Rapporteur |
| Aliaume Catherine | Professeur Université de Montpellier 2 | Examinatrice |
| Antoine Loic | Cadre de Recherche IFREMER | Examineur |
| Laloé Francis | Directeur de Recherche IRD | Examineur |

Introduction

La rédaction puis la soutenance d'une habilitation à diriger des recherches est devenue incontournable ces dernières années dans les instituts de recherche. On peut s'interroger sur l'adéquation de cette action individuelle, par ailleurs assez chronophage, avec des tâches plus collectives qui sont en accord avec les missions spécifiques d'un institut de recherche en coopération. Gageons que ce travail m'aura au moins permis de prendre un peu de recul et de mettre noir sur blanc ma vision de la recherche appliquée aux écosystèmes marins exploités et son articulation avec la restitution des connaissances sous forme de participation aux travaux d'expertise et dans le soutien aux partenaires du Sud. Le productivisme scientifique étant peu compatible avec ces deux dernières activités, il y a de moins en moins de volontaires pour accepter de s'investir dans ce type de mission et il faut lutter au quotidien pour maintenir ces spécificités au sein de l'IRD et de mon UMR en particulier. J'espère que ce message apparaîtra aux lecteurs de ce mémoire et aux jeunes collègues qui entrent dans nos équipes. J'ai eu la chance, au cours de mes affectations ou des réunions auxquelles j'ai pu participer, de connaître de nombreux chercheurs et techniciens qui m'ont toujours motivé dans cette direction. Je les remercie pour m'avoir laissé participer à cette communauté de pensée. Il me semble aujourd'hui que c'est un peu à mon tour, par l'intermédiaire de ce mémoire, de transmettre le relai.

Ce mémoire est organisé de la manière suivante :

| | | |
|------|---|-------|
| I. | Curriculum Vitae | p. 4 |
| II. | Responsabilités et encadrement de la recherche | p. 5 |
| III. | Activités de formation-enseignement-encadrement | p. 7 |
| IV. | Titres et travaux | p. 11 |
| V. | Liste des publications | p. 24 |
| VI. | Perspectives | p. 34 |

*Nous fûmes alors témoins d'un trait que nous croyons devoir consigner ici, comme digne de mémoire. Devant la porte de la ville était un Gaulois, à qui l'on passait de main en main des boules de suif et de poix, qu'il lançait dans le feu du haut d'une tour. Un trait de scorpion lui perce le flanc droit ; il tombe mort. Un de ses plus proches voisins passe par-dessus le cadavre et remplit la même tâche ; il est atteint à son tour et tué de la même manière ; un troisième lui succède ; à celui-ci un quatrième ; et le poste n'est abandonné que lorsque le feu de la terrasse est éteint et que la retraite des ennemis partout repoussés a mis fin au combat.
César, La guerre des Gaules, Livre VII.*

I. Curriculum Vitae

I.1 Données personnelles

Daniel GAERTNER
Né le 27 Juin 1956 à Nîmes (Gard)
Nationalité: Française.
Marié, 2 enfants.

Adresse professionnelle: Centre Halieutique Méditerranéen et Tropical
IRD (UMR 212), Avenue Jean Monnet, BP 171
34203 Sète Cedex, France
e-mail : daniel.gaertner@ird.fr
Tel : (33) 4 99 57 32 31
Fax : (33) 4 99 57 32 95

I.2 Formation universitaire

DEUG "Sciences Naturelles" Université des Sciences et Techniques du Languedoc (USTL).
Montpellier 1977
Maîtrise "Biologie Animale" U.S.T.L. Montpellier 1979
DEA "Océanographie Biologique" Université de Bretagne Occidentale (UBO). Brest 1980
Doctorat 3^{ème} cycle "Océanographie Biologique" U.B.O. Brest 1985

I.3 Parcours professionnel dans la recherche

Recrutement à l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre Mer (ORSTOM, devenu depuis l'Institut de Recherches pour le Développement: IRD) le 01/10/81, en tant qu'élève-ORSTOM, section océanographie biologique (pêcheries démersales des stocks profonds).

Recherches en coopération développées entre 1981 et 1994:

Thèmes :

Mise en place de programme de recherches, développement de systèmes de collecte de données (livres de bord, échantillonnages au port), analyse des données dans les domaines suivants : Pêche chalutière (France, Sénégal), Pêche exploratoire au casier (Sénégal), Pêche sportive des poissons porte-épée (Venezuela, Honduras), Pêche exploratoire de l'espadon à la palangre (Venezuela), Pêcheries thonières de surface (Venezuela, Atlantique Ouest).

Affectations :

- 01/10/81 au 15/02/82: Centre ORSTOM auprès du CNEXO de Brest
- 16/02/82 au 30/03/85: Centre de Recherches de Dakar-Thiaroye (CRODT) de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA), Dakar (Sénégal), Programme de recherche sur les Stocks Profonds « *Pêche exploratoire du crabe rouge des profondeurs (Geryons spp.) au moyen de casiers* »,
- 10/06/85 au 29/07/94 au Venezuela: sur l'île Margarita 1985-1987 ; convention Fundación La Salle (FLASA)-IRD, puis à Cumaná ; Programme « *Exploitation des grands poissons pélagiques au Venezuela* » 1987-1994, conventions Universidad de Oriente (UDO)-IRD et Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (FONAIAP)-IRD dans le cadre de la convention Générale entre le Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICYT) et l'IRD,

Recherches développées depuis 1994:

Analyse des tactiques et des stratégies de pêches des thoniers senneurs. Modélisation du comportement des pêcheurs. Analyse de l'accroissement des puissances de pêche des senneurs.

Analyse de la capturabilité de la palangre. Modélisation des données de marquage-recapture (déplacements, croissance, mortalité, piège écologique).

Affectations :

- 1994 - 2001: laboratoire d'Halieutique et d'Ecologie Aquatique (HEA-IRD Montpellier): UR 1K, puis UR 15, Grand Programme « *Dynamique des systèmes d'exploitation et pratiques de gestion* », puis Programme « *Productivité, Exploitation et Gestion des Ecosystèmes Hauturiers* » (PREGEHA),
- 2001- 2008: Centre de Recherche Halieutique Méditerranéen et Tropical (CRHMT) de Sète: UR Thétis 1 (thème 2: « *Stratégies d'exploitation* »), et UR Thétis 2 (thème 3 « *Interactions Ressource-Exploitation* »),
- depuis 2009, UMR Ecosystèmes Marins Exploités (thèmes 1 « *Habitat et Dynamique des Ressources* » et 3 « *Exploitation, filières et gouvernance* »).

II. Responsabilités et encadrement de la recherche

Le problème, c'est que très peu de penseurs nous disent ce qui les a fait penser, et il y en a encore moins qui se sont souciés de décrire et d'examiner leur expérience de penser. Devant cette difficulté, comme nous ne désirons pas nous fier à nos propres expériences en raison du risque évident d'arbitraire, je propose de considérer un modèle comme un exemple qui, à la différence des « penseurs professionnels », pourrait représenter le « tout un chacun », c'est-à-dire envisager un homme qui se situerait lui-même ni parmi la multitude ni parmi les élus - une distinction au moins aussi ancienne que Pythagore ; un homme qui n'aspirait pas à gouverner des cités et ne prétendait pas non plus savoir comment prendre soin de l'âme des citoyens et l'embellir ; qui ne croyait pas que les hommes puissent être sages, n'enviait pas aux dieux leur divine sagesse, à supposer qu'ils dussent en posséder une ; et qui donc n'a même pas été tenté de rédiger une doctrine qui pût être enseignée et étudiée. En bref, je propose d'utiliser comme modèle un homme qui pensait, sans pour autant être devenu un philosophe ; un citoyen parmi les citoyens, qui ne faisait rien, ne prétendait rien qui à ses yeux ne pût et ne dût être aussi soutenu par chacun des citoyens. Vous aurez deviné que je m'apprete à discuter de Socrate, et j'espère que personne n'argumentera sérieusement que mon choix doive historiquement se justifier.

Hannah Arendt, (1996) Considérations morales. (Ed. Payot et Rivages) p. 40-41

II.1 Participation et responsabilités dans les projets de recherche

- Responsable du volet « *Pêche exploratoire aux casiers des crabes rouges des profondeurs* » du programme « *Stocks profonds* » du CRODT (ISRA), Dakar Sénégal, 1982-1984,
- Responsable du projet « *Stratégie d'exploitation d'une ressource grégaire: l'exemple de la pêche thonière vénézuélienne* » (action incitative « *Dynamique et Usage des Ressources Renouvelables* » de l'ORSTOM), 1990-1992,
- Co-Responsable, avec J. Ariz (Instituto Español de Oceanografía - IEO) du projet de recherche de l'Union Européenne n° 96/028: « *A study of the causes of the increase in the catches of bigeye tuna* », (1.443.000 euros sur 24 mois; 16 chercheurs et techniciens IRD/IEO), 1997-1999,
- Responsable du volet « *Pêche sportive* » du projet « *Manejo Ambiental de las Islas de la Bahia* » (Honduras), Safège-Ifremer, 1998-2000,
- Co-Responsable, avec P. Pallares (IEO) du projet de recherche de l'Union Européenne n° 98/061 « *Efficacité des Senneurs Thoniers et Efforts Réels (ESTHER)* », (992.000 euros sur 30 mois, 27 chercheurs et techniciens IRD/IEO), 1998-2002,
- Participations à plusieurs projets de recherches Européens « *Echantillonnage Thonier (ET)* » 1994-1996, « *Framework For The Evaluation Of Management Strategies (FEMS)* » 2003-2006, « *Catch, Effort and Discard Estimates in Real time (CEDER)* », 2007-2009,

- Participation au projet « *Performance of Longline Catchability Models in Assessments of Pacific Highly Migratory Species* » (Pelagic Fisheries Research Program du Joint Institute for Marine and Atmospheric Research - PFRP-JIMAR, Hawaii, USA), 2007-2008,
- Co-coordonateur avec M. Linné (Instituto Nacional de la Pesca du Mexique - INAPESCA) du thème 6 « *Evaluation des ressources* » de l'Observatoire Franco-Mexicain des mers et du littoral, 2009-

II.2 Responsabilités institutionnelle et évaluation de la recherche

- Responsable du thème 2 « *Stratégies d'exploitation de la ressource hauturière* » UR Thétis 1, 2001-2004,
- Responsable du thème 3 « *Interactions Ressource-Exploitation* » UR Thétis 2, 2005-2008,
- Responsable du pôle Expertise de l'UMR EME, 2009-
- Membre de la Commission des bourses doctorales de l'IFREMER, 2001-2006,
- Membre de la Commission des bourses doctorales du Département Soutien Formation (DSF) de l'IRD, 2004-2007,
- Membre du Comité éditorial de Ciencias Marinas (UABC Ensenada, Mexique), 2011-
- Peer-review pour les revues scientifiques : Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, Transactions of the American Fisheries Society, Fishery Bulletin US, Aquatic Living Resource, ICES Journal of Marine Sciences, New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, Fisheries Research, Marine and Freshwater Research, Ciencias Marinas, Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, Journal Ivoirien d'océanologie et de limnologie, Scientia Marina, Actes du Symposium International de l'ICCAT, Actes du colloque international « Pêche thonière et DCP ».

II.3 Expertise scientifique

- Conseiller scientifique en pêche thonière de plusieurs institutions vénézuéliennes: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológica (CONICYT), Dirección General Sectorial de Pesca y Acuicultura du Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage (DGSPA-MAC), Dirección de Fronteras Marítimas y Terrestres du Ministère des Relations Extérieures (MRE), 1987-1994,
- Rapporteur pour le thon listao du Standing Committee on Research and Statistics (SCRS) de la Commission Internationale pour la Conservation des Thonidés de l'Atlantique (ICCAT) depuis 2004,
- Participations aux réunions annuelles du SCRS, et rapporteur de différentes parties du rapport final lors de divers groupes de travail *ad hoc* (Méthodes, Marquage, etc.) ou sur les évaluations des stocks de l'ICCAT depuis 1985,
- Conseiller scientifique de la délégation française (1994-1996) et de la délégation de l'Union Européenne (2011) aux réunions de la Commission de l'ICCAT,
- Participations à divers groupes de travail scientifiques d'autres Organisations Régionales des Pêches: Indian Ocean Tuna Commission (IOTC), Inter-American Tropical Tuna Commission (IATTC), Commission des Pêches de l'Atlantique Centre Occidental (COPACO-FAO), ou d'instances administratives : Direction des Pêches Maritimes et de l'Aquaculture (DPMA), Direction Générale des Pêches de l'Union Européenne (DG Mare),
- Expert invité lors du groupe de travail « Marquage » de l'IOTC en 2008,
- Corédacteur avec A. Forrest (IFREMER) du rapport sur l'expertise IRD/IFREMER (bilan, spécificités institutionnelles et complémentarité) en 2008,
- Participations aux Assises de la Pêche (volet Pêches lointaines) en 2009 et 2011, Grenelle de la Mer (Aires Marines Protégées) et Tableau de bord des Mers Françaises (TBMF) en 2010,
- Participations aux séminaires de l'Observatoire franco-mexicain des Mers et du littoral « J.-Y. Cousteau » 2009-2010 et de son extension centro-américaine (2011).

III. Activités de formation-enseignement-encadrement

III.1 Enseignements

- Cours (18h/an) « *Métodos de análisis en biología pesquera* » au Master Sciences en biologie des pêches de l'Instituto Oceanográfico du Venezuela (IOV) de la Universidad de Oriente (UDO) en 1988 et en 1991,
- Conférence (1h :30) « *Influence du comportement des pêcheurs sur la capturabilité des thons dans la Mer des Caraïbes* », au Module « Usage et fonctionnement des écosystèmes aquatiques » de l'Institut des Sciences de l'Ingénieur de Montpellier II (ISIM), 1998,
- Cours (1h :30) « *Introduction aux statistiques Bayésiennes* » à l'Université d'été « Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Rennes (ENSAR)-IRD », Rennes, 1998,
- Cours (2h) « *Estimates of tag shedding* » et « *Analysis of growth rates study with tagging data* » dans le cadre du Workshop on Tagging Data Analysis du Regional Tuna Tagging Program de l'océan Indien (RTTP-IO) organisé par l'IOTC pour les chercheurs des principaux pays de l'océan Indien, 2008,
- Cours (1h :30) « *Quelques exemples autour de l'analyse du comportement des flottilles thonnières à la senne* » (Bayesian model averaging, Méthode de Monte Carlo, réseaux neuronaux) au module d'enseignement doctoral organisé par le CRH pour les étudiants de master 2 des universités Montpellier 2, Paris VI, Aix-Marseille, Dakar, 2008,

III.2 Thèses de doctorat

a) Encadrements

Co-encadrement avec J. Rivoirard (MinesParisTech) et N. Bez (IRD) de la thèse doctorale d'Emily Walker (MinesParisTech) « *Analysis of Vessel Monitoring System (VMS) data for a better estimation of fishing effort* » 2007-2010; stage post-doctoral à l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) d'Avignon.

L'objectif de cette thèse était d'analyser les trajectoires individuelles des senneurs tropicaux afin d'identifier les différentes activités d'un navire et par là même, la proportion du temps de mer dédiée à la recherche active des bancs qui peut être utilisée pour calculer l'effort de pêche réellement exercé. Cette analyse est basée principalement sur la détermination des différents états d'un navire au cours d'une campagne de pêche (recherche des bancs, arrêt pour faire la calée, route) à l'aide de données VMS. Un modèle stochastique à états latents (« state-space model ») appliqués aux données de vitesse et de changement d'angles observés au cours d'une marée pour les positions de jour a permis d'estimer dans un cadre Bayésien la probabilité que le navire soit en « arrêt », en « recherche » ou en « route ». Bien que dans l'état actuel de formulation de ce modèle il ne soit pas possible de discriminer l'effort dirigé sur banc libre de celui dirigé un DCP instrumenté, son application permet une cartographie des zones où la présence des bancs est certaine (validée par la présence des calées), des zones de présence potentielle (les zones de concentrations de bancs caractérisées par de fréquents changements de directions des senneurs) et des zones d'absence (du moins de non détection) ou les navires font route (longues trajectoires rectilignes avec peu de changement de direction).

Co-encadrement avec M. Dreyfus (Instituto Nacional de la Pesca, INAPESCA, Mexique) de la thèse doctorale d'Edgar Torres (Université Montpellier II ; ED Sibaghe) « *Effects of the fishing strategies developed by purse seine fleets on tropical tunas and on associated fauna in the Eastern Atlantic and Eastern Pacific Oceans* », 2009-2012.

Cette thèse avait pour but d'étudier l'évolution au cours du temps des stratégies de pêche adoptées par les thonnières senneurs à la suite de l'introduction de nouvelles technologies à bord ou face aux réglementations spatio-temporelles de type moratoire sous DCP. A l'aide de quelques indicateurs du comportement des flottilles ce travail a montré que la modernisation de la flotte

française de senneurs a peu modifié la saisonnalité des strates fréquentées en cours d'année en ce qui concerne le mode de pêche sur bancs libres mais a joué sur l'augmentation des puissances de pêche individuelle des navires. Par contre l'introduction de nouvelles technologies et les mesures de régulation spatio-temporelles ont modifié à la fois les stratégies de pêche et l'efficacité des navires pour la pêche sous DCP. D'une manière générale, on a constaté que les pêcheurs s'adaptaient aux régulations de type fermeture en réduisant les temps de débarquements au quai (cas des senneurs mexicains dans le Pacifique Est) ou en redéployant partiellement l'effort de pêche au voisinage de la zone protégée (cas des senneurs européens lors du moratoire sur DCP dans l'Atlantique Est). Enfin, sur les bases de données collectées lors de deux programmes d'observateurs dans l'Atlantique Est, une comparaison des espèces associées aux captures de thonidés a montré que la richesse spécifique des requins avait chuté entre le milieu des années 90 et le milieu des années 2000 mais que le nombre total d'espèces associées reste comparable entre les deux modes de pêches principaux.

Co-encadrement avec J.M. Fromentin (IFREMER) et M.P. Etienne (Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts-ENGREF) de la thèse doctorale de Maximilien Simon (ENGREF-AgroParisTech-Université Montpellier II; ED Sibaghe) « *Évolution de la capturabilité de 2 espèces de thonidés, influence sur la viabilité des stocks halieutiques* », 2009-2012.

L'objectif principal de la thèse est de quantifier l'évolution spatio-temporelle de la capturabilité du thon rouge (*Thunnus thynnus*) et de l'albacore dans l'Atlantique (*Thunnus albacares*) et d'explorer les hypothèses pouvant permettre de comprendre la forte baisse initiale des CPUE des palangriers (hyperdéplétion) ciblant ces 2 espèces ainsi que la stabilité apparente des CPUE des senneurs au cours du temps (hyperstabilité). L'intégration des traits de vie de ces espèces de thons (en particulier la fécondité et la mortalité larvaire) dans la construction de priors pour les paramètres fondamentaux (r et K) des modèles Bayésien de production excédentaire sont également un des produits attendus de cette étude.

Co-encadrement avec F. Marsac (IRD) de la thèse doctorale de Beenesh Motah (Université de Cap Town, UCT, Afrique du Sud) « *Multi-specific approach of the spatial dynamics of Indian Ocean tropical tunas: contribution of the tagging-recapture data* » 2010-2013.

A l'aide des données de marquage-recapture récoltées lors du très grand programme de marquage conduit récemment dans l'Océan Indien (plus de 168.000 thons marqués entre 2005 et 2009), et en privilégiant l'approche multispécifique, le premier objectif sera d'analyser les mouvements des thons en fonction de l'environnement, de l'espèce et de la taille des individus marqués, des périodes et des zones au marquage et à la recapture. La variabilité interannuelle des échanges entre zones pourra être prise en compte en raison des conditions environnementales très contrastées entre certaines années (productivité anormalement élevée en 2005 et anormalement faible en 2007 en relation avec un événement de type dipole-ENSO). Ces informations seront utiles pour juger de l'efficacité potentielle de mesures de régulation spatio-temporelles visant à réduire la mortalité due à la pêche sur les juvéniles, pour corriger les estimations d'abondance à l'aide d'« habitat-based models » qui prennent en compte les préférences écologiques des différentes espèces/tailles et pour comprendre les modifications potentielles induites par l'utilisation massive des DCP dérivants sur les migrations et la biologie des thons tropicaux (concept de piège écologique).

Co-encadrement avec E. Chassot (IRD) de la thèse doctorale d'Emmanuelle Dortel (Université Montpellier II; ED Sibaghe; Bourse de thèse CIFRE – Orthongel-DPMA) « *Croissance et mortalité des thons tropicaux de l'océan indien* » 2011-2014.

En apportant de l'information sur les principaux paramètres démographiques et biologiques gouvernant la dynamique des populations de thons (croissance, mortalités naturelle et due à la pêche, mouvements entre zones et structure des stocks), les données de marquage-recapture (près de 30.000 thons ont été récupérés sur les 170.000 marqués) récoltées lors du grand programme de

marquage de l'Océan Indien (financé à hauteur de 14 millions d'euros par l'Union Européenne) permettront d'améliorer considérablement les diagnostics scientifiques rendus sur l'état d'exploitation des stocks de thonidés tropicaux par la Commission Thonière de l'Océan Indien (CTOI). Ils seront particulièrement utiles pour améliorer les résultats des modèles d'évaluation des stocks intégrés de type Multifan-CL ou SS3, très sensibles à la qualité des informations utilisées. A ce titre les professionnels français de la pêche thonière à la senne, réunis au sein de l'organisation des producteurs de thon congelé (Orthongel), et la Direction des Pêches Maritimes et de l'Aquaculture (DPMA) participent au financement de cette thèse (projet Cifre). Parmi les divers aspects traités par cette étude, celui de la modélisation de la croissance à 2 phases de l'albacore sera analysé.

b) *Comités de thèses*

- Sophie Bertrand « *Interactions des stratégies d'occupation de l'espace du poisson et du pêcheur: La pêcherie d'anchois (*Engraulis ringens*) du Pérou* ». (ENSAR, Rennes), 2002-2005; S. Bertrand a été recrutée comme chercheuse à l'IRD,
- Carmen Monroy « *Estrategias de pesca y asignacion del esfuerzo: Implicaciones en el manejo. Como caso de estudio: La flota mayor del estado de Yucatán* » (Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional-CINVESTAV-IPN, Merida, Mexique), 2005-2011; C. Monroy est chercheuse à l'Institut des Pêches du Mexique (INAPESCA),
- Niriniony Rabehagaso « *Traits de vie et écologie trophique de deux populations de requins (le requin peau bleu, *Prionace glauca* et le requin soyeux, *Carcharhinus falciformis*) de la région Sud-Ouest de l'Océan Indien* » (Université de la Réunion), 2009-
- Justin Amade, (bourse IRD/DSF) « *Caractérisation et déterminisme des captures accessoires et des rejets de la pêcherie thonière tropicale à la senne dans les océans Indien et Atlantique. Analyse comparative et exploration des effets de mesures d'aménagement de la pêche thonière sur la faune associée* » (U. Montpellier II-Université d'Abidjan, Cote d'Ivoire), 2009-
- Liliana Roa Pascuali « *Relation entre la structuration à mesoéchelle de l'environnement et la présence des thonidés tropicaux dans différents systèmes marins* », (U. Montpellier II) 2011-

c) *Jury de thèses*

- Examineur de la thèse de Laurent Millischer (ENSAR, Rennes, Dir. D. Gascuel, ENSAR) en 2000 « *Modélisation individu centrée des comportements de recherche des navires de pêche. Approche générique spatialement explicite par systèmes multi-agents. Intérêts pour l'analyse des stratégies et des puissances de pêche* »; activité actuelle inconnue,
- Examineur de la thèse de Youen Vermard (Agrocampus-Ouest, Rennes, Dir. D. Gascuel, ENSAR et P. Marchal, IFREMER) en 2009 « *Comportement de pêche et gestion: l'exemple de la pêcherie pélagique du Golfe de Gascogne* »; chercheur recruté à l'IFREMER Boulogne,
- Examineur (co-encadrement mais examinateur invité pour des questions de quotas dans la composition du jury) de la thèse d'Emily Walker (ParisTech, Dir. J. Rivoirard, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris - ParisTech et N. Bez, IRD) en 2010 « *Analysis of Vessel Monitoring System (VMS) data for a better estimation of fishing effort* »; post-doc en cours à l'INRA d'Avignon.
- Examineur de la thèse de Carmen Monroy (CINVESTAV, Merida, Mexique; Dir. S. Salas CINVESTAV) en 2011, « *Estrategias de Pesca y Asignación del Esfuerzo de Pesca de la Flota Mayor de Yucatán: implicaciones en el Manejo* »; chercheuse de l'INAPESCA Progreso, Yucatan.

III.3 DEA/DAA/Masters

a) *Encadrements*

- Encadrement du master de Mauricio Pagavino (IOV-UDO) « *Pesca atunera de la flota venezolana de superficie y crecimiento del atún Aleta amarilla (Thunnus albacares) en el Atlántico Oeste* » 1990-1991; M. Pagavino a créé un bureau d'études à Cumana (Venezuela),
- Encadrement du master de Nora Eslava (IOV-UDO) « *La pesca venezolana del atún con palangre en el Atlántico Oeste* » 1990-1991; N. Eslava a été recrutée comme chercheuse-enseignante par l'Instituto de Investigaciones Científicas (IIC-UDO) de Boca de Rio (Venezuela),
- Co-encadrement avec F. Laloé (IRD) et R. Sabatier (Université Montpellier II) du diplôme d'études supérieures spécialisées (DESS) d'Abigail Vaysse (Université Montpellier II) en 1998: « *Estimation des puissances de pêche locales des thoniers senneurs Français de l'océan Atlantique: Méthode et contraintes* »; A. Vaysse a travaillé pour une ONG en Bolivie,
- Participation à l'encadrement du diplôme d'Agronomie Approfondie (DAA) de Myriam Morin (ENSAR, Rennes, Dir. A. Fonteneau, IRD) en 1998: « *Evaluation de l'état des stocks des marlins bleus et des marlins blancs de l'Atlantique* »; M. Morin a travaillé pour Océanic Développement,
- Co-encadrement avec J. Sacchi (Ifremer) du stage 2eme année de Paul Juan (ISIM Université Montpellier II) en 1999, « *Analyse fonctionnelle des différentes phases du coup de senne chez les senneurs tropicaux et leurs implications dans le calcul de l'effort de pêche* »,
- Co-encadrement avec F. Laloé (IRD) et R. Sabatier (Université Montpellier II) du DEA de Thomas Cavalier (Université Montpellier II) en 2000: « *Analyse du comportement spatio-temporel d'unités de pêche* »,
- Co-encadrement avec F. Ménard (IRD) du DEA de Carole Develter (Université Paris VI) en 2000: « *Etude de la faune associée aux captures de thons à la senne dans l'Atlantique tropical Est* »; C. Develter a travaillé pour une ONG à Madagascar,
- Co-encadrement avec E. Josse (IRD) du stage 2eme année en école d'ingénieur de Jérôme Bourjea (ENSAR, Rennes) en 2001: « *Embarquement pour une marée sur le Kersaint de Coetnempren (COBRECAF), thonier senneur de l'océan Indien* »; J. Bourjea est actuellement chercheur à l'IFREMER (La Réunion),
- Participation à l'encadrement du DAA d'Emmanuel Chassot (ENSAR, Rennes, Dir. O. Maury, IRD) en 2001: « *Le modèle Procean (PROduction Catch Effort ANALysis): un cadre d'étude pour estimer les tendances de capturabilité et les dynamiques de pêche dans un contexte Bayésien* »; E. Chassot est actuellement chercheur à l'IRD,
- Participation à l'encadrement du Master 2 de Justin Amade (Agrocampus-Ouest, Rennes, Dir. P. Chavance) en 2007: « *Estimation des prises accessoires et des rejets dans la pêcherie thonière tropicale française: cas de l'océan Indien* »; thèse en cours.
- Co-encadrement avec P. Chavance (IRD) du Master 2 de Marion Panhéleux (Université Montpellier II) en 2011: « *Analyse des activités de pêche des thoniers senneurs à l'aide de programmes d'observateurs scientifiques et comparaison avec les données des livres de bord* ».

b) *Jury de thèse de Master:*

- Thèses du Master Sciences en biologie des pêches à l'Institut Océanographique du Venezuela (IOV-UDO) 1987-1994 : Freddy Arocha (IOV-UDO), Mauricio Pagavino (IOV-UDO), Nora Eslava (IIC-UDO), Gabriel Gomez (FONAIAP), Luis Marcano (FONAIAP), Asdrubal Larez (FONAIAP), Jesus Marcano (FONAIAP), Tania Ramirez (FONAIAP).

III.4 Jury d'avancement professionnel

- Changement de catégorie (professeur agrégé des universités, Venezuela): German Robaina (IIC-UDO), 1992.

III.5 Bilan des articles scientifiques publiés avec les étudiants et doctorants

- Mauricio Pagavino B-5, B-8, B-10, C-50, C-53, C-62, C-63, D-19, D-20, E-11
- Nora Eslava A-21, C-60
- Carol Develter A-15
- Emily Walker A-2, C-7, C-8, D-4, D-7, D-8

- Justin Amade A-4, C-15
- Edgar Torres A-1, C-6, D-1, D-2, D-3, E-1
- Maximilien Simon C-5
- Autres (poursuite de collaborations après l'encadrement) A-14, A-20, A-22

IV Titres et travaux

IV.1 Bref historique des activités de recherche

a) DEA et Thèse (1980-1985)

Après avoir effectué les quatre premières années d'études universitaires à l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc (USTL) de Montpellier, où j'ai fini 1^{er} au certificat d'Océanographie, ma première approche de la recherche a eu lieu lors de mon DEA réalisé en 1979-1980 sous la direction de C. Deniel, Maître de Conférences à l'Université de Bretagne Occidentale (UBO) de Brest. Au cours de ce stage, dont le sujet portait sur l'« *Etude biométrique des deux morphes de Solea lascaris (Risso 1810) en baie de Douarnenez* », j'ai pu m'initier à l'écologie numérique et en particulier aux analyses multivariées (publication A-28).

Etant sorti major de ma promotion de DEA j'ai obtenu une bourse DGRST qui m'a permis de commencer une thèse de doctorat de 3^{ème} cycle, intitulée « *Etude de la Biologie et de l'Exploitation des Baudroies Lophius piscatorius, Linne et L. budegassa, Spinola dans la Mer Celtique* », sous la direction de Mme J. Lahaye, Professeur à l'UBO de Brest. La thèse comprenait divers aspects de la biologie de ces 2 espèces (croissance, alimentation, reproduction, écologie) et de leur exploitation par la pêche chalutière (structure en tailles des captures, tendance et dé-saisonnalisation des CPUE, etc.). Outre l'initiation à la programmation informatique et au traitement statistique des données, ce travail a contribué à ma formation dans le domaine de la collecte des données biologiques (échantillonnage des fréquences de tailles à la criée de Concarneau et en mer lors d'un embarquement à bord d'un chalutier du Guilvinec) et dans l'exploitation des livres de bord recueillis par l'Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes (ISTPM) de Lorient. Ayant été recruté comme élève IRD (ex-ORSTOM) en septembre 1981, puis affecté au Sénégal en février 1982, j'ai mené de pair mes activités professionnelles et mon travail de thèse, que j'ai pu soutenir en 1985 grâce au soutien logistique de mon directeur de thèse (publications A-27, E-14).

b) Sénégal (1982-1985)

J'ai été affecté dans la section Pêche démersale du CRODT de Dakar dans le cadre des accords de coopérations entre l'ISRA et l'ORSTOM pour mener à bien une étude de pêche exploratoire aux casiers des crabes rouges des profondeurs (*Geryons spp.*) de la pente continentale du Sénégal. Cette étude, qui s'est déroulée entre juillet 1982 et décembre 1984, était un des volets du grand programme " *Stocks profonds* " mené en coopération avec l'Instituto Español de Oceanografía (IEO) et avait pour objectif l'évaluation des ressources de la pente continentale sénégalaise comme alternative à la forte exploitation du plateau continental. L'étude de la biologie des Geryons se faisait en parallèle de l'évaluation de leur abondance dans les secteurs non-chalutables. Ce programme a permis de connaître la distribution spatio-temporelle des mâles et des femelles en fonction de la bathymétrie, la période de reproduction et la taille à première maturité sexuelle. Une deuxième espèce de Géryon a été recensée pour la première fois dans le nord du Sénégal (publications A-23, A-24, A-25, A-26, E-13).

c) Venezuela (1985-1994)

Mon affectation au Venezuela avait pour cadre le programme intitulé « *Etude des stocks des grands poissons pélagiques de l'Atlantique Ouest Tropical* ». La justification de ce programme, qui tenait plus d'une mission de coopération que d'une activité de recherche, tenait au fait que le Venezuela, nouvelle puissance thonière et nouveau membre de la Commission Internationale pour la

Conservation du Thon Atlantique (ICCAT), ne disposait pas de techniciens et de chercheurs formés pour fournir des statistiques fiables et pour participer aux travaux sur les évaluations des stocks réalisés annuellement par le Comité Permanent pour la Recherche et les Statistiques (SCRS) de cette Commission. En effet, avec une production de l'ordre de 40.000 tonnes en 1983 le Venezuela s'était hissé en moins de 4 ans au 3^{ème} rang des pays thoniers de l'Atlantique. Mon affectation initiale a eu pour support logistique une institution privée : La Fundacion La Salle, basée sur l'île Margarita et donc très éloignée des lieux de débarquements thoniers situés sur le continent au port de Cumaná. Malgré ce début très difficile, le déménagement à Cumaná dès 1986 et l'établissement en 1987 d'accords de coopération dans le cadre de la convention générale ORSTOM-CONICIT avec des institutions gouvernementales habilitées à représenter le Venezuela à l'ICCAT : le FONAIAP du Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage, et la Universidad de Oriente (UDO) a permis le développement de 3 grands programmes de recherches: (1) l'étude des pêcheries thonières de l'Atlantique Ouest (en coopération avec le FONAIAP et l'IOV-UDO), (2) l'étude de la pêche sportive des poissons porte-épée au Venezuela (avec le FONAIAP) et (3) l'étude des potentialités de la ZEE vénézuélienne en prises d'espadon et en espèces accompagnatrices (avec l'IIC-UDO).

Ma mission au Venezuela consistait à mettre en place un système de collecte et de saisie informatique des livres de bord des thoniers, à réviser le plan d'échantillonnage réalisé au port de débarquement pour corriger la composition multispécifique et la structure en tailles des captures, à former chercheurs et techniciens aux analyses statistiques des données biologiques dans le cadre des travaux d'évaluation des stocks de thons menés par l'ICCAT. Seul chercheur de l'IRD à Cumana, il est évident que pour mener à bien cette mission de recherche en coopération j'étais amené à produire des documents scientifiques en espagnol en partenariat avec les chercheurs locaux (il n'était pas question de publier dans des revues de rang A), afin de créer une dynamique de recherche orientée vers l'expertise. Le système de collecte des statistiques de pêche mis en place au Venezuela est toujours opérationnel malgré les aléas économiques ou politiques qui affectent ce pays. Au cours de ce séjour, nous avons mobilisé une équipe de 13 chercheurs et techniciens et produit 18 documents scientifiques. Quelques travaux ont pu être valorisés dans les actes de symposiums avec comité de lecture (B-7, B-8, B-9, B-10).

d) Montpellier-Sète (1994- ?)

Les premières années passées aux laboratoires Hydrobiologie et Océanographie Tropicale (HOT) puis Halieutique et Ecologie Aquatique (HEA) de l'IRD à Montpellier ont été consacrées à une remise à niveau des connaissances en dynamique des populations exploitées (universités d'été organisées par l'ENSAR, Rennes) et à la valorisation de travaux réalisées en coopération au Venezuela: (A-20, A-21, A-22; B-4, B-5, B-6).

J'ai rapidement intégré plusieurs projets de recherche européens (DG XIV Pêche), dont ceux sur le thon obèse et sur l'efficacité de pêche des senneurs que j'ai co-dirigés ou dirigés (cf. chapitre II.1 « Participation et responsabilités dans les projets de recherche »). J'ai aussi encadré des étudiants de plusieurs DEA/DESS/Master (« Biostatistique », Montpellier 2; « Méthodes statistiques des industries agronomiques agroalimentaires et pharmaceutiques », Montpellier 2; « ISIM », Montpellier 2; « Océanologie biologique et environnement marin », ENSAR-Paris 6; « Halieutique », ENSAR) et je me suis orienté vers des thématiques de recherche sur les stratégies de pêche et sur les méthodes de marquage-recapture en vue d'évaluer les conséquences des modalités d'application de l'effort de pêche à l'origine de l'augmentation de l'efficacité des navires.

IV.2 Thèmes de recherche principaux

Cette liberté de douter est de la plus haute importance dans les sciences, et elle l'est également, je crois, dans d'autres champs. Elle est née d'un combat : il a fallu se battre pour conquérir le droit de douter, de ne pas être sûr de soi. Pour ma part, je ne voudrais surtout pas que nous oublions l'importance de ce combat et laissons tout aller à vau-l'eau par défaut. En tant que scientifique qui connaît la valeur du doute et

sait à quel point il a pu favoriser des progrès qui fructifièrent sur le seul terreau de la liberté de pensée, j'ai le sentiment qu'une responsabilité m'incombe : je me sens tenu de proclamer la valeur de cette liberté et d'enseigner que le doute ne doit pas être craint, mais qu'il doit être accueilli, au contraire, comme la condition même de possibilité de l'éclosion d'innombrables potentiels humains. Seul celui qui sait qu'il ne peut être sûr de rien, me semble-t-il, a une chance d'améliorer telle ou telle situation ; et je revendique cette liberté pour les générations futures.
Richard P. Feynman. (2007) Vous y comprenez quelque chose, Monsieur Feynman ? p. 45, Ed. O. Jacob, Paris

a) Contexte général

Les diagnostics sur l'état de santé d'un stock exploité sont basés en grande partie sur l'analyse de la tendance des rendements au cours du temps. Ces rendements, exprimés sous forme de capture par unité d'effort (CPUE), sont censés représenter l'évolution de l'abondance en réponse à la pression de pêche qui est exercée. Mon thème de recherche porte donc principalement sur l'étude des relations entre l'abondance et les rendements chez les thonidés tropicaux. L'analyse de cette relation de dépendance (la capturabilité) comporte des aspects liés aux stratégies de pêches développées par les pêcheurs à la senne ainsi qu'à l'augmentation de la puissance de pêche des navires qui découle de l'introduction à bord de nouvelles technologies. En l'absence d'estimation directe de la ressource thonière (ex., campagnes de prospections scientifiques à l'aide de navires de recherche), je fais appel aux méthodes d'estimation indirecte de l'accroissement de la mortalité par pêche à l'aide de données de marquage-recapture (modèles de Brownie ou connus sous le nom de « tag-attribution models »).

Pour mener à bien ces travaux, j'utilise des méthodes propres à l'écologie numérique qui prennent en compte la variabilité (les effets aléatoires non-réductibles caractéristiques du monde vivant) et l'incertitude épistémique (manque de connaissances liée au modèle utilisé ou aux données) des phénomènes étudiés. On n'aborde pas en effet l'étude des phénomènes écologiques de la même façon que l'on le fait dans le domaine de l'océanographie physique. Dans le premier cas, on essaiera de prendre en compte la dimension stochastique inhérente aux données biologiques, alors que dans le second on s'appuie plus en général sur la modélisation des processus par une approche déterministe. Parmi les nombreuses méthodes d'analyses numériques, le fait de ne sélectionner que quelques unes d'entre elles reflète un certain positionnement dans la manière d'aborder les questions que l'on se pose. Bien que dans l'itinéraire d'un chercheur, il soit difficile de choisir une étude particulière qui soit plus représentative qu'une autre des thèmes ou des champs disciplinaires abordés, les quelques exemples présentés ci-après ont pour but de donner une idée de ce cheminement personnel.

En effet, tout au long de mon parcours de chercheur j'ai privilégié une approche qui à partir de questionnements simples débute par l'observation de phénomènes particuliers pour essayer de construire une théorie plus générale. Cette démarche, que l'on peut qualifier d'holistico-inductive, vise à étudier en profondeur le processus d'intérêt dans son environnement général. Elle ne s'interdit donc pas d'utiliser toute sorte d'information utile, quitte à éliminer par la suite les variables « candidates » peu structurantes ou à moyenner les estimations des paramètres fournies par différents modèles afin de prendre en compte l'incertitude dans la représentation des connaissances. Cela diffère donc de l'approche hypothético-déductive stricte où les processus généraux décrits par un jeu limité de variables explicatives sont supposés connus *a priori* et visent à être vérifiés dans des conditions particulières. Même si dans la pratique il existe des positions intermédiaires entre ces deux conceptions opposées de la recherche, et sans sombrer dans l'inductivisme naïf, un des reproches que l'on peut faire aux tenants de la vision hypothético-déductive est de bâtir des théories sur la seule base du critère de falsificationnisme qui amène à retenir les conjectures les plus spéculatives pourvu qu'elles soient falsifiables. Une fois les processus écologiques mis en évidence, en combinant méthodes statistiques traditionnelles (estimation des paramètres par maximum de vraisemblance) et approches Bayésiennes, j'ai utilisé des méthodes informatiques de calcul intensif

afin de prendre en compte la variabilité propre à tout phénomène biologique et, en l'absence de données issues de l'observation, j'ai fait appel à des méthodes de simulation. Toutefois, malgré la puissance croissante des moyens de calcul informatique j'ai toujours opté pour l'utilisation de modèles parcimonieux, plus robustes et plus généralisables que des modèles surparamétrés ; quitte à considérer l'incertitude dans le choix même du modèle par des méthodes dites de « Bayesian model averaging ». Toujours dans cet esprit de parcimonie, j'ai essayé également de combiner l'analyse de plusieurs jeux de données partageant des paramètres communs afin de réduire le nombre de paramètres à estimer et d'améliorer ainsi la précision de leur estimation. Dans le même ordre d'idée, au lieu d'estimer séparément les paramètres décrivant des processus biologiques ou écologiques complémentaires, j'ai employé des méthodes permettant d'intégrer dans une fonction de vraisemblance combinée l'estimation simultanée de ces paramètres afin d'éviter une perte d'information.

b) Analyse des stratégies de pêche

La capture n'étant que le résultat final de l'activité « Pêche » il est nécessaire d'étudier les moyens mis en œuvre pour parvenir à ce résultat; à savoir les stratégies et les tactiques de pêches développées par les pêcheurs pour exploiter au mieux les ressources qu'ils ciblent (changement ou modification de l'engin de pêche, changement de secteur de pêche, etc.). A titre d'exemple, dans le cas de la pêche thonière à la senne, la même quantité d'effort de pêche nominal peut être utilisée pour rechercher des bancs libres de gros albacores, ou au contraire être mise à profit pour pêcher sur des Dispositifs de Concentration de Poissons (DCP) qui agrègent des bancs multispécifiques, composés de listaos et de thons juvéniles d'albacores et de patudos.

Ce volet est abordé de 3 manières différentes qui vont de l'analyse statistique des données aux modèles de simulation par calcul intensif ou par des méthodes issues de l'intelligence artificielle: (1) une grande partie du travail porte sur l'analyse statistique des données relatives à l'effort de pêche des senneurs (ex., standardisation des CPUE, modélisation par des modèles linéaires généralisés des différentes activités de pêche d'un thonier). L'utilisation de ce type de modèle sur la capturabilité de la ressource a été étendue récemment à la pêche palangrière (impact des facteurs environnementaux et de la stratégie de pêche sur la profondeur de pose des hameçons dans le but de définir une probabilité de présence pour chaque espèce/catégorie de taille en fonction de facteurs écologiques; « habitat-models »), (2) nous avons également combiné connaissances des processus mis en lumière par les analyses statistiques et simulations de Monte Carlo par tirage dans des distributions de probabilité observées afin d'évaluer les conséquences de divers scénarios portants sur les changements de stratégies sur les captures ou sur les prises accessoires, enfin (3) en l'absence d'observations fiables, ou lorsqu'elles sont confidentielles (ex., échange d'information entre groupes de pêcheurs), les processus décisionnels mis en œuvre pour changer de zone de pêche ont été abordés grâce à l'intelligence artificielle via l'utilisation de réseaux de neurones.

La modélisation des activités de pêche d'un thonier senneur.

A partir de données issues d'un programme d'observateurs scientifiques mis en place au Venezuela nous avons modélisé les différentes phases d'activités d'un senneur: la probabilité de poursuite d'un banc, la probabilité de tenter un coup de senne et le taux de réussite de la calée à l'aide de modèles linéaires généralisés (GLM). Un GLM se caractérise par 3 composantes: (a) une composante aléatoire, représentée par des observations indépendantes dont la fonction de densité appartient à la famille des fonctions exponentielles, (b) une composante structurelle qui spécifie quelles sont les variables explicatives qui interagissent avec la réponse, et (c) une fonction de lien qui connecte linéairement les deux composantes précédentes. Dans le cas où la réponse est une probabilité π , la relation non linéaire entre cette probabilité et les variables explicatives X_i est décrite par une régression logistique :

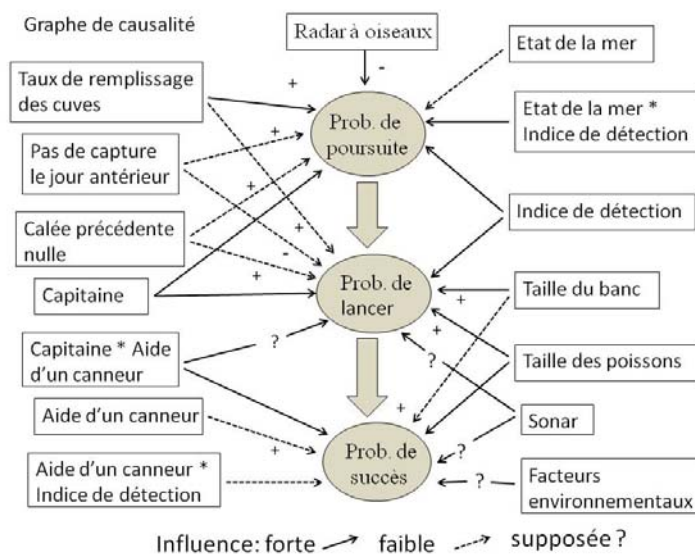
$$\pi = \frac{e^{\beta_0 + \sum \beta_i X_i}}{1 + e^{\beta_0 + \sum \beta_i X_i}}$$

On utilise la transformation logit pour avoir une forme linéaire: $\text{Log}(\pi / (1 - \pi)) = \beta_0 + \sum \beta_i X_i$

Plusieurs modèles candidats (au sens de la procédure de sélection des modèles), différents structurellement par le choix des variables explicatives qui les composent, peuvent être testés et comparés dans une approche de parcimonie afin de dégager un compromis entre un modèle trop paramétré, à forte variance et peu généralisable à d'autres jeux de données, et un modèle sous-paramétré, potentiellement biaisé par manque de structure explicative. Fondé sur la théorie informatique (distance de Kullback-Leibler), le critère d'information d'Akaike (AIC) ou Bayésien de Schwartz (BIC), ou leurs dérivés pour les petits échantillons ou en cas de sur-dispersion des données, remplissent cet objectif de compromis entre la qualité de l'ajustement (la 1^{ère} partie de l'équation) et l'interprétabilité du modèle (la 2^{ème} partie) :

$\text{AIC} = -2\text{Ln}(L(\theta/y)) + 2k$, ou $\text{BIC} = -2 \text{Ln}(L(\theta/y)) + k \text{Ln}(n)$,
avec $L(\theta/y) = \max$ de vraisemblance (paramètres/données), $k = \text{nb}$ de paramètres, $n = \text{nombre}$ d'observations .

L'analyse statistique menée sur les données obtenues au Venezuela a permis de relier les décisions des pêcheurs, telles que la poursuite du banc et le coup de senne, (i) au savoir-faire du capitaine, (ii) à l'utilisation de certains équipements technologiques (par ex., le radar à oiseaux), (iii) aux caractéristiques du banc de thons et (iv) à quelques facteurs environnementaux (par ex., l'état de la mer). Les relations entre les processus décisionnels impliqués dans la pêche et ces facteurs ont été synthétisées à l'aide d'un réseau causal.



Réseau causal d'activités d'un thonier senneur montrant l'influence de quelques facteurs explicatifs sur les décisions prises par le capitaine durant la pêche (d'après Gaertner et al. (1999), *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 56 :394-406).

Dans ce travail on a mis en évidence que les bancs (i) composés d'individus de moins de 2 kg et (ii) de biomasse inférieure à 5 tonnes étaient délaissés par les pêcheurs. L'existence de ce type de seuil dans la décision de tenter la calée signifie que les modifications du comportement du pêcheur au cours du temps (changement d'espèce/catégorie commerciale ciblée) peuvent introduire de sérieux biais dans l'analyse des relations entre les rendements et l'abondance. La décomposition de l'activité journalière d'un senneur met en évidence la proportion de temps dévolue à la recherche du poisson et à sa capture et souligne le rôle des nouveaux équipements technologiques dans l'augmentation des puissances de pêche des senneurs (A-20).

Approche fréquentiste par simulation de Monte Carlo

Cette approche combine analyse statistique des données et simulation par la méthode de Monte Carlo. L'estimation d'un paramètre d'une population à partir d'observations faites sur une partie de cette population peut se faire (i) soit à l'aide de la modélisation statistique des processus qui expliquent la caractéristique d'intérêt (une abondance, une proportion, etc.), (ii) soit par une approche fréquentiste qui consiste à tirer au hasard un grand nombre d'événements dans la loi de probabilité de leur réalisation afin de reconstituer le processus qui génère la caractéristique étudiée. A la différence de la construction de l'arbre de décision, où chaque conséquence moyenne est pondérée par les probabilités associées aux différents événements, la méthode de Monte Carlo permet d'obtenir un grand nombre de réalisations possibles et donc d'estimer l'incertitude associée à la moyenne de cet événement. Nous avons utilisé cette approche pour comparer les gains potentiels résultant des stratégies de pêche adoptées par les pêcheurs vénézuéliens à la senne. Ces derniers peuvent, en consentant le partage d'une partie de la capture, travailler en association avec des canneurs pour augmenter la probabilité de succès de la calée (A-22). Pour chaque zone géographique où domine un mode de pêche spécifique (bancs associés soit à des baleines, soit à des requins-baleine, soit non-associés), la méthode consiste à simuler les événements conduisant à une opération de pêche grâce aux différentes probabilités calculées à l'aide d'un GLM. En d'autres termes, (a) pour chaque mode de pêche, (b) avec/sans l'aide d'un canneur, (c) en tenant compte de la probabilité de faire un coup de senne positif, (d) du fait que le banc soit composé majoritairement d'albacores/ou au contraire de listaos, (e) qu'il s'agisse de gros, ou au contraire de petits individus (conditionnellement à l'espèce dominante dans le banc), on réalise un tirage dans l'univers statistique (l'histogramme) des captures par calée correspondant à cet événement.

Cette approche non-paramétrique a aussi été employée pour quantifier les conséquences sur les captures de marlins et de voiliers d'une régulation de type moratoire sur les dispositifs de concentration de poissons (DCP); mesure prise pour protéger les thonidés juvéniles dans l'Atlantique Est (A-15). En supposant que la capture accessoire de marlins (ou de voiliers) reportée par des observateurs scientifiques sur une portion de la flotte est proportionnelle à la capture de thons, la capture accessoire totale pour ce groupe d'istiophoridés peut être estimée à l'aide d'un facteur d'extrapolation RF_{sijk} qui tient compte de la capture totale de thons pour l'ensemble de la flotte des thoniers senneurs de la manière suivante:

$$TBC_s = \sum_k \sum_j \sum_i RF_{sijk} BC_{sijk},$$

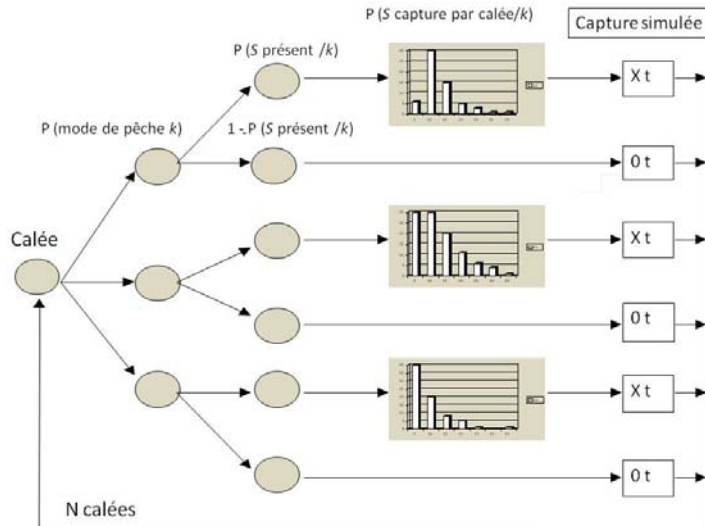
avec TBC_s = Capture accessoire totale pour le groupe s au cours de l'année étudiée,

RF_{sijk} = Capture totale de thons reportée par l'ensemble des senneurs ijk / Capture de thons observée par les senneurs ayant des observateurs embarqués ijk

BC_{sijk} = Capture accessoire observée pour le groupe s , dans la zone i , le trimestre j et le mode de pêche k .

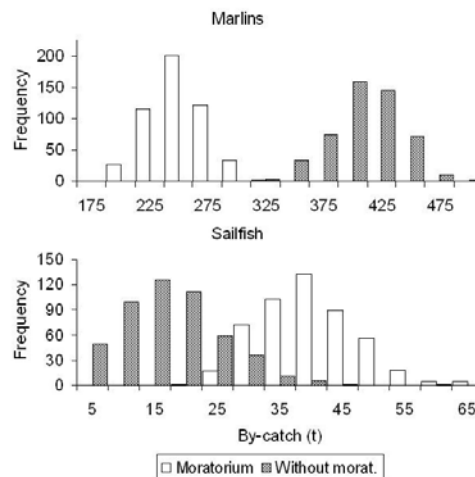
avec: $i = 1,2$; $j = 1,2,3,4$; $k =$ banc non-associé, sur un DCP, sur un mont sous-marin.

Toutefois plusieurs sources d'incertitudes peuvent affecter l'estimation de la capture accessoire de chaque groupe d'istiophoridés comme: (1) la probabilité de choisir le mode de pêche k (lié à des changements dans les stratégies de pêche en cours d'année), (2) la probabilité conditionnelle pour le groupe s d'istiophoridés d'être présent dans le coup de senne réalisé pour le mode de pêche de type k , et (3) la probabilité d'en capturer x tonnes.



Représentation de la simulation de Monte Carlo utilisée pour estimer les prises accessoires de poissons porte épée par la flotte de thonier senneurs européens en présence ou non d'un moratoire des coups de senne sur objet flottant dérivant (d'après Gaertner et al, (2003); *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 55(2): 502-510).

En utilisant cette méthode nous avons simulé le processus conduisant à une opération de pêche en combinant les probabilités observées pour chaque événement, tout en modifiant la probabilité de capture pour le mode de pêche « DCP » dans la strate du moratoire. Les résultats de la simulation montrent que l'effet d'un moratoire sous-objet flottant dérivant sur les istiophoridés varie selon le groupe considéré et donc n'est pas forcément bénéfique pour certaines de ces espèces (A-15, C-26).



Résultats par simulation de Monte Carlo des captures accessoires annuelles de marlins (en haut) et de voiliers (en bas) pour les thoniers senneurs européens, en présence ou en l'absence d'un moratoire des coups de sennes sur objets flottants dérivants (moratoire établi de novembre à janvier de l'année suivante pour un vaste secteur de l'Atlantique Est ; d'après Gaertner et al. (2002); *Fish. Bull. US*, 100: 683-689)

Analyse de l'échange d'information entre navires sur les stratégies de pêche à l'aide de réseaux neuronaux

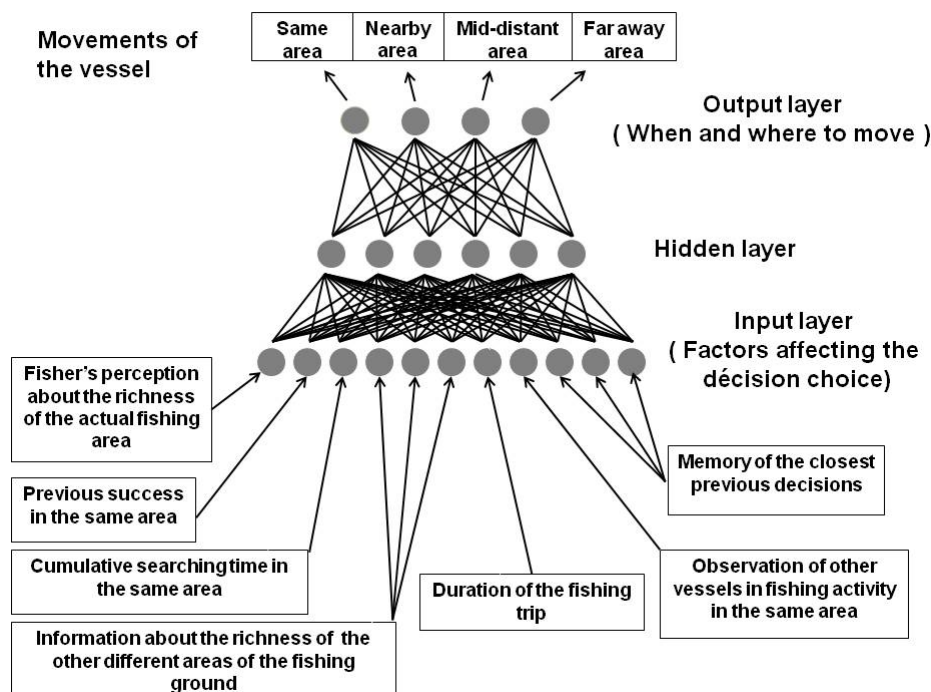
En l'absence d'information fiable sur les groupes formés entre pêcheurs, l'impact de la coopération entre pêcheurs d'un même groupe sur les rendements a été analysé par simulation du comportement

en pêche à l'aide de réseaux neuronaux. Pour simplifier, un réseau de neurones à rétro-propagation consiste en une couche initiale, une couche cachée et une couche de sortie. Chaque neurone est connecté avec un neurone de la couche supérieure et la somme de tous les inputs sera filtrée par une fonction d'activation qui transmettra, ou non, le signal à la couche supérieure. Un réseau de neurones artificiels peut être formulé de la manière suivante :

$$y_k = \varphi_0 \left\{ \beta_k + \sum_j w_{jk} \varphi_h \left(\beta_j + \sum_i w_{ij} x_i \right) \right\}$$

avec y_k = signaux de sortie ; x_i = signaux d'entrée ; w_{ij} = poids entre le neurone d'entrée i et le neurone de la couche cachée j ; w_{jk} = poids entre le neurone de la couche cachée j et le neurone de la couche de sortie k ; β_j et β_k biais respectivement pour la couche cachée et la couche de sortie ; φ_h et φ_0 fonctions d'activation respectivement pour la couche cachée et celle de sortie.

Malgré un modèle structurel relativement simple (le propos n'étant pas de modéliser de manière fine le comportement décisionnel du pêcheur à la senne, mais d'identifier quelques attributs déterminants dans le processus de prise de décision), la simulation du comportement à l'origine des déplacements des navires à l'aide de ce réseau neuronal permet de reconstituer des phénomènes de saturation-déplétion qui sont observés dans la réalité.



Réseau de neurones artificiels utilisé pour simuler la prise de décision du pêcheur vis-à-vis d'un changement de zone de pêche (d'après Dreyfus et Gaertner (2006), *Ecological Modelling* 195: 30-36).

La comparaison de l'évolution temporelle des rendements des pêcheurs individuels et de ceux qui travaillent en groupe montre que le bénéfice dû à l'échange d'information est dépendant de la variabilité du milieu artificiel. D'une manière générale, l'écart entre les rendements augmente de pair avec la variabilité environnementale, même si l'efficacité due à l'échange d'information diminue au delà d'une certaine taille du groupe. Un des biais entre abondance et CPUE est lié au fait que les pêcheurs choisissent les strates les plus riches. Là aussi, de manière assez prévisible on observe que les pêcheurs qui échangent des informations sont capables de mieux exploiter les strates les plus riches, y compris celles qui sont éloignées du port, que les pêcheurs qui travaillent individuellement (A-9). Nous avons ainsi démontré que la forme d'hyperstabilité de la relation non-linéaire entre CPUE et abondance (caractéristique des pêcheries à la senne) était non seulement une conséquence

du caractère agrégé de la ressource thonière (le fait que les bancs de thons se concentrent dans certaines strates spatio-temporelles) mais également de la capacité des navires travaillant en groupes à retrouver rapidement les meilleures concentrations de thons (A-10).

c) Utilisation des données de marquage-recapture

Les évaluations des stocks reposent en grande partie sur la relation de proportionnalité entre les taux de captures (CPUE) et le produit de la capturabilité (q) par la biomasse (B_t), soit: $CPUE_t = q \cdot B_t$. La CPUE est la seule variable observée et cette relation n'est valable qu'au prix d'hypothèses très fortes sur la constance dans le temps de la capturabilité. En l'absence d'estimation directe de la biomasse par campagnes de prospection scientifique, la recherche thonière s'appuie sur les données de marquage-recapture pour tenter de mesurer l'évolution de la mortalité par pêche (F_t) qui s'exerce sur le stock étudié (C-22). Cela permet ensuite d'en déduire les modifications de la capturabilité liées aux innovations technologiques par le biais de la relation liant cette mortalité à l'effort de pêche ($F_t = q_t \cdot f_t$). L'utilisation de données de marquage-recapture suppose au préalable des estimations sur les taux de perte des marques (C-9, C-16, C-18) et de la mortalité induite par certains types de marques (A-12, A-13, C-28). Ces données sont également mises à profit pour améliorer les paramètres biologiques des espèces (migrations, croissance, écologie ; A-7, A-8, C-2, C-6, C-10, C-21, C-27).

Comparaison des taux de perte des marques: Approche Bayésienne et simulations.

Lors du grand programme marquage-recapture de l'ICCAT sur le thon obèse, un nouveau type de marques (dites BETYP) provenant de la pêche sportive des istiophoridés a été utilisé en parallèle aux marques traditionnelles de type « spaghetti ». Dans le but de comparer le taux de recapture de chaque type de marques, des informations obtenues lors de campagnes de marquage précédentes ont été prises en compte pour calculer le taux de recapture *a priori* des marques conventionnelles dans une approche probabiliste Bayésienne. En omettant le dénominateur qui intervient comme facteur de normalisation afin que la somme des probabilités *a posteriori* soit égale à 1, on a une relation de la forme : *distribution a posteriori des paramètres sachant les données* $Pr(\theta/data) \propto$ *vraisemblance des données sachant les paramètres* $Pr(data/\theta) \times$ *distribution a priori des paramètres* $Pr(\theta)$, ou \propto signifie égal à la constante de proportionnalité près, soit:

$$Pr(\theta/data) \propto Pr(data/\theta) Pr(\theta)$$

Dans le cas de données de marquage-recapture, la vraisemblance d'obtenir r recaptures sur m poissons marqués suit une loi binomiale :

$$Pr(data/\theta) = \left[\frac{m!}{r! (m-r)!} \right] \theta^r (1-\theta)^{m-r}$$

Pour combiner l'ensemble des connaissances que l'on a sur les valeurs des paramètres *a priori* avec le résultat des nouvelles opérations de marquage-recapture, on peut utiliser une distribution conjuguée de la loi binomiale qui est la loi Béta:

$$Pr(\theta) \propto \theta^{\alpha-1} (1-\theta)^{\beta-1}$$

L'avantage étant que la distribution à posteriori sera également une loi Béta, soit:

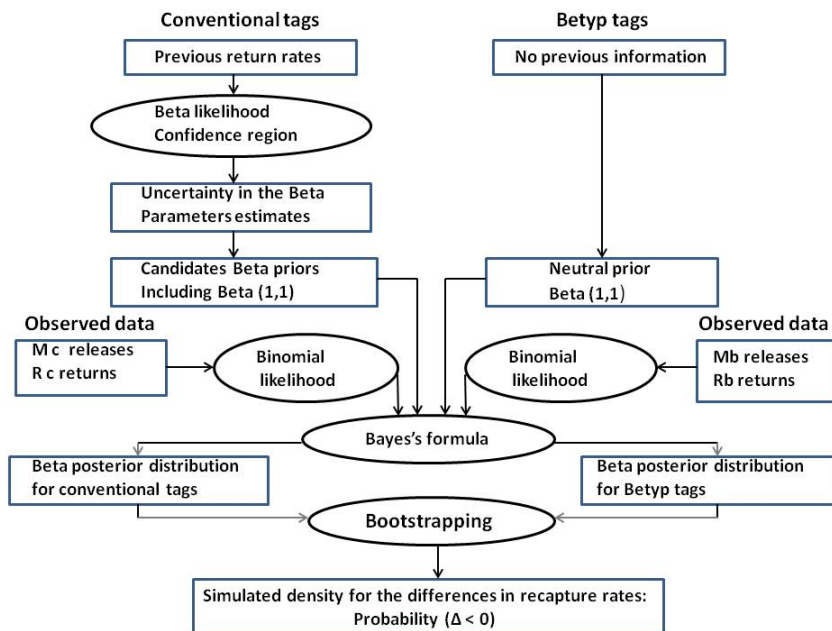
$$Pr(\theta/data) \propto \theta^{r+\alpha-1} (1-\theta)^{m-r+\beta-1}$$

A partir des connaissances empiriques d'experts, ou d'études antérieures réalisées dans des conditions similaires, il existe plusieurs méthodes pour construire des distributions *a priori*. En l'absence de connaissances spécifiques pour les nouvelles marques BETYP, un « prior plat » (équiprobable, ou « non informatif ») est utilisé (soit, $\alpha = \beta = 1$). Au contraire, pour les marques traditionnelles « spaghetti », les taux de captures p_i observés lors de campagnes de marquage précédentes peuvent être utilisés dans une approche dite « Empirical Bayes analysis » afin d'estimer les hyperparamètres α et β par maximisation de la vraisemblance de la loi Béta:

$$L(\alpha, \beta / p) = \prod_i \frac{p_i^{\alpha-1} (1-p_i)^{\beta-1}}{\frac{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)}{\Gamma(\alpha+\beta)}}$$

Afin de prendre en compte l'incertitude sur les estimations de α et β , un bootstrap paramétrique permet de générer des répliques de p_i qui à leur tour sont utilisés pour construire les distributions de probabilité des 2 hyperparamètres. La distribution des différences entre les taux de recaptures des 2 types de marques est calculée ensuite à l'aide d'une simulation par tirage dans chacune des 2 distributions *a posteriori*.

Cette étude a montré (1) comment la variabilité des taux de recapture observés au cours des campagnes précédentes pouvait être intégrée lors de la construction de la distribution *a priori* des hyperparamètres de la loi Beta à l'aide d'une méthode basée sur le maximum de vraisemblance, et (2) comment construire la fonction de distribution de la différence entre les taux de recaptures *a posteriori* à l'aide d'une méthode de simulation (A-13).



Représentation de la procédure de calcul de la différence entre les taux de recaptures des poissons marqués avec les marques traditionnelles de type « spaghetti » et les marques de type BETYP, combinant approche Bayésienne et bootstrapping (d'après Gaertner et Hallier, (2004) ; *Aquat. Living Resour.* 17: 175-183).

Les modèles dits de « Brownie band-recoveries » ou de « tag-attribution »

Les modèles de marquage-attribution offrent un cadre général pour l'analyse des données d'opérations de marquage-recapture. Leur formulation intègre plusieurs processus (perte de marque au moment du marquage et perte en continu, probabilité de recapture en fonction de l'intensité de pêche, etc.) qui permettent de répondre à de nombreuses questions sur la dynamique de la population étudiée. Nous avons utilisé ce type de modèle pour comparer les taux de recaptures des marques BETYP et des marques « spaghetti » (en particulier pour vérifier si la mortalité différentielle causée par cette nouvelle marque se faisait de manière instantanée lors de l'opération de marquage ou au contraire en continu; A-12). Nous avons également utilisé cette méthode pour tester l'hypothèse selon laquelle les juvéniles des 3 espèces de thons pourraient avoir la même mortalité naturelle dans la mesure où ils vivent dans les mêmes conditions environnementales (on teste en réalité le taux d'attrition qui représente la somme de la mortalité naturelle et des migrations vers l'extérieur de la zone de pêche).

Dans ces deux types d'études, l'idée générale est de combiner différents jeux de données qui peuvent être décrits par des processus communs afin d'améliorer la précision de l'estimation des paramètres restants (sans éluder le risque de biais potentiel). Si on prend l'exemple de l'étude sur les juvéniles des 3 espèces de thons, le modèle dit de Tag-attribution peut être formulé de la façon suivante :

$$\hat{r}_{ijpl} = \left(1 - \alpha_{ipl}\right) T_{ipl} \frac{F_{ijpl}}{Z_{ijpl}} \left[1 - \exp\left(-Z_{ijpl} \Delta_t\right)\right] \exp\left(-\sum_{k=1}^{j-1} Z_{ikpl} \Delta_t\right)$$

Avec : \hat{r}_{ijpl} = recaptures prédites pour l'espèce i , au mois j , pour la période p et pour la zone l ,

α_{ipl} = perte de marques de type-1 (somme de la mortalité instantanée ou de la perte de marque lors du relâcher et des non reports des poissons recapturés avec marques) pour l'espèce i , pour la période p et pour la zone l ,

T_{ipl} = nombre total de poissons marqués pour l'espèce i , pour la période p et pour la zone l ,

$Z_{ijpl} = A_i + F_{ijpl} + \lambda$ = taux instantané de mortalité totale pour l'espèce i , au mois j , pour la période p et pour la zone l ,

A_i = taux d'attrition (supposé constant au cours des années et égal à la somme du taux instantané de mortalité naturelle et de l'émigration permanente en dehors de la zone d'étude), pour l'espèce i ,

F_{ijpl} = taux instantané de mortalité due à la pêche pour l'espèce i , au mois j , pour la période p et pour la zone l ,

λ = taux continue de perte des marques de type-2 (supposé négligeable dans cette analyse),

Δ_t = l'unité de temps relative aux unités des taux instantanés (i.e., 1 mois).

Pour le modèle le plus complet, stipulant que l'attrition A et la mortalité due à la pêche F (supposée suivre l'évolution saisonnière de l'effort de pêche) variaient en fonction de l'espèce, on a :

$$Z_{ijpl} = A_i + F_{ijpl} \text{ et } F_{ijpl} = F_{ip} \left[1 + k_{ipl} \sin(\omega t + \varphi_{ipl})\right];$$

Les autres modèles plus simples, postulaient des processus communs, à savoir entre autres : soit un taux d'attrition, soit un taux de mortalité due à la pêche identique quelle que soit l'espèce.

Pour relier le nombre de recaptures observé r_{ijpl} au nombre prédit \hat{r}_{ijpl} on peut utiliser une fonction de vraisemblance multinomiale, en posant

$$p_{ijpl} = \frac{\hat{r}_{ijpl}}{T_{ipl}}$$

la probabilité qu'une marque posée sur l'espèce i , dans la zone l au cours de la période p soit recapturée le mois j , et

$$1 - \frac{\sum_j \hat{r}_{ijpl}}{T_{ipl}}$$

la probabilité qu'elle ne soit pas retournée. Les paramètres du modèle de tag-attribution sont estimés en minimisant le logarithme négatif de la vraisemblance:

$$-\sum_p \sum_l \sum_i \left[\left(T_{ipl} - \sum_j r_{ijpl} \right) \ln \left(1 - \frac{\sum_j \hat{r}_{ijpl}}{T_{ipl}} \right) + \sum_j r_{ijpl} \ln \left(\frac{\hat{r}_{ijpl}}{T_{ipl}} \right) \right]$$

Pour la comparaison des différents modèles, bien que privilégiant toujours l'approche parcimonieuse, nous avons pris en compte cette fois-ci l'incertitude entre les modèles (le choix du modèle parcimonieux pouvant être lié aux aléas du jeu de données utilisé et non au fait que le modèle choisi selon ce critère soit réellement le meilleur). Le degré de plausibilité du modèle parcimonieux (celui qui possède le plus faible critère d'Akaike) peut être évalué par rapport aux modèles les plus proches à l'aide de l'approche dite de « Bayesian model averaging ». Eventuellement les paramètres et les variances des modèles jugés tout autant crédibles peuvent être moyennés afin de prendre en compte l'incertitude dans la procédure de sélection du modèle. En tenant compte de la possibilité de surdispersion due à la nature des données de marquage, le critère d'Akaike corrigé pour les petits échantillons est de la forme :

$$QAICc = - \left\{ 2 \log \left[\ell \left(\hat{\theta} \right) / \hat{c} \right] + 2K + \frac{2K(K+1)}{n-K-1} \right\}$$

Avec n = nombre de strates (i.e., combinant mois, espèces, périodes et zones); K = nombre de paramètres; $\hat{c} = \chi^2 / df$ = facteur d'inflation de la variance.

Le degré d'évidence d'un modèle par rapport aux autres modèles candidats se fait par le calcul du facteur de poids d'Akaike (W_i), tel que:

$$W_i = \left[\exp \left(\frac{-\Delta QAICc_i}{2} \right) \right] / \sum_i \left[\exp \left(\frac{-\Delta QAICc_i}{2} \right) \right]$$

Ou: $\Delta QAICc_i = QAICc_i - \min QAICc$

Le facteur de poids d'Akaike est également le facteur de pondération à appliquer aux estimations des paramètres de ce modèle si on désire les moyennier avec ceux des modèles les plus proches. Dans le cas de l'étude multispécifique faite dans l'Atlantique, le jeu de données utilisé n'a pas permis de corroborer l'hypothèse d'une attrition identique (et donc d'une mortalité naturelle identique) pour les juvéniles des 3 espèces de thonidés tropicaux (C-22).

Les DCP et le piège écologique

Les producteurs japonais de listao séché (le « katsuwobushi ») avaient remarqué depuis longtemps que les individus capturés sous des objets flottants avaient une chair moins grasse, qui convenait mieux pour l'élaboration du thon séché, que ceux pêchés en banc libre. A la suite de cette observation, et de l'hypothèse émise par plusieurs collègues de notre équipe concernant le bouleversement que pouvait induire l'utilisation massive des DCP dérivants sur le comportement des thons (concept du piège écologique, qui n'a jamais été démontré jusqu'à présent sur des espèces marines), nous avons analysé des données portant sur différents indicateurs biologiques pour valider cette hypothèse. Le piège écologique, sous-entend une action négative d'origine anthropique qui modifie de façon soudaine le comportement des individus et qui affecte négativement le taux de croissance de la population (en les attirant par exemple dans des secteurs peu propices à leur survie). A partir de données d'observateurs à bord, nous avons donc comparé pour des individus capturés sous DCP ou en banc libre: leur embonpoint, le taux de remplissage des estomacs, et grâce à des données de marquage-recapture, le taux de croissance et les déplacements des thons (angles de dispersion et taux de déplacement). Bien qu'il soit difficile de conclure à une altération de l'ensemble du cycle de vie de l'albacore et du listao (ne pouvant directement tester cet effet sur la mortalité et sur la fécondité), la majorité des analyses statistiques (GLM, statistiques circulaires, tests de randomisation) indiquent des résultats significatifs qui renforcent l'hypothèse selon laquelle l'utilisation massive de DCP peut modifier la biologie ou l'écologie des thons (A-8). Il est vraisemblable toutefois que les conséquences du piège écologique sur les populations de thons

tropicaux dépendent du niveau d'exploitation de ces espèces, ainsi que du nombre et de la localisation des objets flottants dérivants.

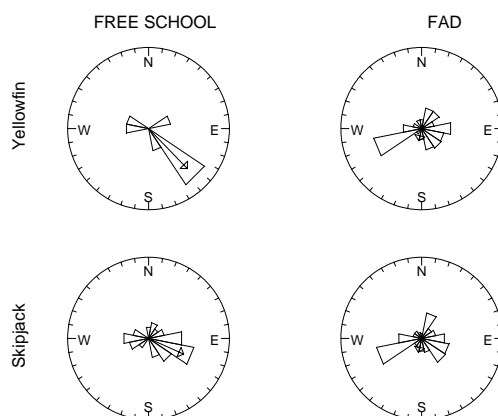


Diagramme comparatif entre les angles de déplacement des albacores et des listaos marqués et recapturés en banc libre ou associés à des objets flottants dérivants (d'après Hallier et Gaertner (2008), *Marine Ecology Progress Series* 353: 255-264).

La croissance du listao

Le listao est capable de se reproduire à peu près toute l'année dans de grands secteurs de l'océan, et donc en l'absence de cohortes bien établies il est pratiquement impossible d'étudier sa croissance (qui de plus varie en fonction du secteur géographique) à l'aide des méthodes traditionnelles telles que les progressions modales, ou la lecture des pièces dures. L'utilisation de données de marquage-recapture pour estimer les paramètres K et L_{∞} de l'équation de croissance de Von Bertalanffy est donc une alternative qui pose cependant plusieurs problèmes. La précision des estimations dépend de la taille des poissons observés (l'accroissement de croissance observé sur des petits individus fournira une bonne estimation de K mais elle sera moins précise pour L_{∞} et inversement si l'échantillon ne contient que des grands individus). D'une manière plus générale, il est admis que ces 2 paramètres sont négativement corrélés entre eux. Pour résoudre ce problème, nous avons fait l'hypothèse que cette dépendance, vraisemblablement d'origine bioénergétique, pouvait être décrite par une relation du type: $L_{\infty} = C K^{-h}$; C et h étant des paramètres de métabolisme et de croissance.

Pour valider cette hypothèse nous avons adopté une méthodologie proche de la méta-analyse qui a consisté à compiler les estimations des paramètres de croissance faites sur différents stocks de listao dans l'océan mondial (au total, 29 études) ; ceci en supposant que ces estimations recueillies dans la littérature scientifique reflétaient la forme et la variabilité de la relation fonctionnelle entre les 2 paramètres de croissance.

Si on substitue maintenant L_{∞} par cette fonction de K dans l'équation de Von Bertalanffy, adapté par Fabens aux données de type marquage-recapture, on obtient :

$$\Delta L = L_{t+\Delta t} - L_t = (L_{\infty} - L_t)(1 - e^{-K\Delta t}) = ((C K^{-h}) - L_t)(1 - e^{-K\Delta t})$$

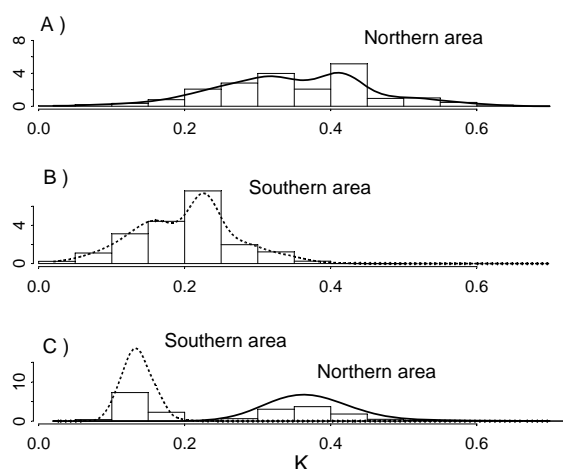
qui exprime l'accroissement en longueur ΔL comme étant la différence entre la longueur à la recapture $L_{t+\Delta t}$ et la longueur au marquage L_t durant le temps de liberté Δt ,

En supposant que les lois de distributions des variables expliquées soient connues et sous l'hypothèse d'indépendance entre ces variables, l'approche intégrée présente l'avantage de conserver toute la variabilité des jeux de données sans perte d'information. Dans le cas de la croissance du listao, les composantes de l'analyse consistaient en 2 jeux de données de marquage-recapture (les

données ont été séparées au niveau de la latitude 10°N en une zone Nord-est et une zone Sud-est Atlantique) et un 3^{ème} jeu représentant les estimations faites par divers auteurs sur les paramètres de croissance du listao dans l'océan mondial. Au lieu donc d'ajuster séparément chaque jeu de données, nous avons minimisé une seule fonction de log-vraisemblance de la forme :

$$LL = - \left[\sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^{n_j} \text{Ln} \left(\frac{1}{\sigma_j \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\Delta L_{ij} - \Delta \hat{L}_{ij})^2}{2 \sigma_j^2}} \right) + \sum_{l=1}^{n_k} \text{Ln} \left(\frac{1}{\sigma_k \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(L_{\infty l} - \hat{L}_{\infty l})^2}{2 \sigma_k^2}} \right) \right]$$

L'estimation de L_{∞} peut être obtenue par la suite grâce aux estimations de C et de h dans la relation fonctionnelle avec K. Les résultats obtenus par la combinaison des vraisemblances des différents jeux de données accentuent la différence entre les taux de croissance des zones Nord et Sud de l'Atlantique Est par rapport à un ajustement qui serait fait pour chaque jeu de données et évite la perte d'information entre les différents processus analysés. On confirme donc bien ici une différence de croissance du listao en fonction de la latitude (A-7).



Estimation par bootstrap du paramètre K de l'équation de croissance du listao de l'Atlantique, faite séparément pour chaque jeu de données de marquage à partir de l'équation de traditionnelle de Von Bertalanffy-Fabens (parties A et B) et à partir d'un maximum de vraisemblance intégrant une équation modifiée appliquée à l'ensemble des données de marquage et à une relation fonctionnelle entre les estimations historiques faites sur K et L_{∞} dans l'océan mondial (partie C); (d'après Gaertner et al., (2008); *Aquat Living Resour.* 21: 349-356).

V Liste des publications

V.1 Note introductive

Il est important de rappeler la situation particulière propre aux chercheurs en halieutique qui doivent souvent œuvrer dans le cadre des organisations régionales des pêches (ORGP) ou des organisations halieutiques internationales, telles que les commissions thonnières internationales (ICCAT, IOTC IATTC, etc.), qui ont pour mission de proposer/coordonner les recherches sur l'évaluation de l'état des stocks des espèces sous leur juridiction. La production de documents scientifiques qui sont présentés lors des groupes de travail de ces Commissions rentre dans le cadre statutaire de la mission d'expertise demandée à l'IRD par la Direction des Pêches Maritimes et de l'Aquaculture du Ministère de Tutelle. A l'exception des symposiums relatifs aux grands programmes internationaux, ces documents scientifiques et techniques ne sont pas soumis à une procédure de révision par des arbitres anonymes. Toutefois, ces documents scientifiques sont discutés lors des Groupes de Travail (GT) auxquels participent de nombreux scientifiques de renom (ex. R. Hilborn, M. Maunder, A. Punt, V. Restrepo) mandatés par leurs gouvernements (USA, Canada, Japon, Australie, etc.) pour les représenter et leur validation permettra, ou non, d'alimenter les évaluations sur l'état d'exploitation

des stocks et/ou des ressources. Les résultats et conclusions des GT internationaux sont ensuite utilisés comme « aide à la décision » en matière de régulation de la pêche dans un cadre national ou communautaire. Pour mémoire, on rappellera que de très nombreux modèles de dynamique des populations utilisés dans les évaluations des stocks et publiés par ailleurs dans des revues de rang A ont été présentés et testés sur des stocks de thonidés lors de Groupes de Travail de ces Commissions (pour ne citer que quelques exemples : ASPIC, Multifan-CL, SS3). La mission de l'IRD est également de participer à la « formation à la recherche par la recherche » des étudiants et des chercheurs partenaires des pays du Sud. Dans ce contexte, la production de publications dites de rang A, en particulier lors des phases d'expatriation dans les pays du Sud, est difficilement conciliable avec les objectifs de cette mission. Malgré ces contraintes, et sans négliger pour autant les publications dans des revues locales ou les documents scientifiques destinés aux ORGP, le rôle du chercheur de l'IRD est également de permettre aux chercheurs partenaires de valoriser leurs travaux dans des revues nationales et internationales. Le tableau récapitulatif ci-dessous prend en compte ces particularités.

V.2 Bilan des articles scientifiques publiés entre 1981 et 2011.

| Type de publication | Nombre total d'articles par revue | En tant que 1 ^{er} auteur | Avec un chercheur du Sud |
|---|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| <i>Revue internationale avec comité de lecture</i> | 24 | 12 | 10 |
| Aquatic Living Resources (IF: 1,227) | 9 | 5 | 3 |
| Fisheries Research (IF: 1,531) | 2 | 1 | 1 |
| Oceanologica Acta (IF: 0,871) | 2 | 2 | |
| ICES Journal of Marine Sciences (IF : 1,920) | 2 | 1 | 1 |
| Fish and Fisheries (IF: 4,489) | 1 | | 1 |
| Marine Ecology Progress Series (IF: 2,630) | 1 | | |
| Ecological Modelling (IF: 1,871) | 1 | | 1 |
| Fishery Bulletin U.S. (IF: 1,489) | 1 | 1 | |
| Canadian Jour. Fisheries Aquatic Sciences (IF: 2,276) | 2 | 1 | 1 |
| Cybiurn (IF: 0,403) | 1 | 1 | |
| Revista de Biología Tropical (IF: 0,274) | 1 | | 1 |
| Revista de Biología Marina y Oceanografía (IF: 0,577) | 1 | | 1 |
| | | | |
| <i>Revue nationale avec comité de lecture</i> | 4 | 3 | 1 |
| Documents Scientifiques du CRODT Dakar | 2 | 2 | 1 |
| Océanographie tropicale (ORSTOM) | 1 | 1 | |
| Journal de la Société Française de Statistique | 1 | | |
| | | | |
| <i>Symposium internationaux avec actes</i> | 10 | 5 | 7 |
| | | | |
| <i>Documents scientifiques des GT des Commissions thonières internationales sans comité de lecture</i> | 66 | 34 | 21 |
| | | | |
| <i>Communications à des colloques scientifiques</i> | 21 | 6 | 10 |
| | | | |
| <i>Conférences et valorisation</i> | 14 | 12 | 3 |

V.3 Publications dans des revues avec arbitrage :

- A-1. Torres-Irineo, E., **Gaertner, D.**, Delgado de Molina, A., and Ariz, J. (2011). Effects of time-area closure on tropical tuna purse-seine fleet dynamics through some fishery indicators. *Aquat. Living Resour.* 24: 337-350.
- A-2. Bez, N., Walker, N., **Gaertner, D.**, Rivoirard, J. and Gaspar, P. (2011). Fishing activity of tuna purse seiners estimated from VMS data. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 68:(11) 1998-2010
- A-3. Arrizabalaga, H., de Bruyn, P., Diaz, G. A., Murua, H., Chavance, P., Delgado de Molina, A., **Gaertner, D.**, Ariz, J., Ruiz, J., and Kell, L. T. (2011) Ecological Risk Assessment for species caught in Atlantic tuna fisheries. *Aquat. Living Resour.* 24(1): 1-12
- A-4. Amande, J. M., Ariz, J., Chassot, E., Delgado de Molina, A., **Gaertner, D.**, Murua, H., Pianet, R., Ruiz, J., and Chavance, P. (2010) Bycatch and discards of the European purse seine tuna fishery in the Atlantic ocean. Estimation and characteristics for the 2003-2007 period. *Aquat. Living Resour.* 23, 353–362
- A-5. **Gaertner, D.** (2010) Estimates of Historic Changes in Total Mortality and Selectivity for Eastern Atlantic Skipjack (*Katsuwonus pelamis*) from Length Composition Data. *Aquat. Living Resour.* 23: 3-11
- A-6. Bach, P., **Gaertner, D.**, Menkes, C., Romanov, E., and Travassos, P. (2009) Effects of the gear deployment strategy and current shear on pelagic longline shoaling. *Fisheries Research* 95: 55-64
- A-7. **Gaertner, D.**, Delgado de Molina, A., Ariz, J., Pianet, R., and Hallier, J.-P. (2008) Variability of the growth parameters of the skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) among areas in the eastern Atlantic: Analysis from tagging data within a meta-analysis approach. *Aquat Living Resour.* 21: 349-356
- A-8. Hallier, J.P., and **Gaertner, D.** (2008) Drifting fish aggregation devices could act as an ecological trap for tropical tunas. *Marine Ecology Progress Series* 353: 255-264.
- A-9. Dreyfus-Leon, M. and **Gaertner, D.** (2006) Modeling performance and information exchange between fishing vessels with artificial neural networks. *Ecological Modelling* 195: 30-36.
- A-10. **Gaertner, D.**, and Dreyfus-Leon, M. (2004) Analysis of nonlinear relationships between catch per unit of effort and abundance in a tuna purse seine fishery simulated with artificial neural networks. *ICES Journal of Marine Science*, 61: 812-820.
- A-11. Salas, S., and **Gaertner, D.** (2004) The behavioural dynamics of fishers: management implications. *Fish and fisheries*, 5: 153-167
- A-12. **Gaertner, D.**, Hallier, J. P., and Maunder, M. N. (2004) A tag attrition model as a means to estimate the efficiency of two types of tags used in tropical tuna fisheries. *Fishery Research*, 69: 171-180
- A-13. **Gaertner, D.**, and Hallier, J. P. (2004) Combining Bayesian and simulation approaches to compare the efficiency of two types of tags used in tropical tuna fisheries. *Aquat. Living Resour.* 17: 175-183
- A-14. Eslava, N., Gonzalez L. W., and **Gaertner, D.** (2003) Association of the abundance and vertical distribution of tuna and beakfish in the southeast of the Caribbean sea. *Rev. Biol. Trop.*, 51 (1): 213-219.
- A-15. **Gaertner, D.**, Menard, F., Develter, C., Ariz, J., and Delgado de Molina, A. (2002) By-catch of billfishes by the European tuna purse seine fishery in the Atlantic Ocean. *Fish. Bull. U.S.* 100: 683-689
- A-16. Laloé, F., **Gaertner, D.**, and Ménard, F. (2002) Modèles mixtes et données halieutiques. in “Modèles Mixtes et Biométrie”. *Journ. Soc. Fr. Stat.* 143, (1-2): 131-138
- A-17. **Gaertner D.**, Fonteneau A., and Laloé F. (2001) Approximate estimate of the maximum sustainable yield from catch data without detailed effort information: application to tuna fisheries. *Aquat. Living Resour.* 14: 1-9.
- A-18. Menard, F., Fonteneau A., **Gaertner D.**, Nordstrom V., Stequert, B., and Marchal, E. (2000) Exploitation of small tunas by a purse-seine fishery with fish aggregating devices and their feeding ecology in an Eastern tropical Atlantic ecosystem. *ICES Journal of Marine Science*, 57: 525-530.

- A-19. Fonteneau, A., Ariz, J., **Gaertner, D.**, Nordstrom, V., and Pallares, P. (2000) Observed changes in the species composition of tuna schools in the Gulf of Guinea between 1981 and 1999, in relation with the fishing aggregating device fishery. *Aquat. Living Resour.* 13: 1-5.
- A-20. **Gaertner, D.**, Pagavino, M. & Marcano, J. (1999) Influence of fisher's behaviour on the catchability of surface tuna schools in the Venezuelan purse-seiner fishery in the Caribbean Sea. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 56 :394-406.
- A-21. Eslava, N., and **Gaertner, D.** (1998) Indices de abundancia y concentracion de tres tunidos mayores de la pesqueria atunera palangrera venezolana. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.* 33(2): 251-263.
- A-22. **Gaertner, D.**, Pagavino, M. & Marcano, J. (1996) Utilisation de modèles linéaires généralisés pour évaluer les stratégies de pêche thonière à la senne en présence d'espèces associées dans l'Atlantique Ouest. *Aquat. Living Resour.* 9: 305-323.
- A-23. **Gaertner, D.**, et Laloe, F. (1986) Etude Biométrique de la Taille à Première Maturité Sexuelle de *Geryon maritae*, Manning et Holthuis, 1981 du Sénégal. *Oceanol. Acta* 9 (4) : 479-487.
- A-24. **Gaertner, D.**, et Laloe, F. (1985) Relations entre les fluctuations spatio-temporelles des Captures aux Casiers des Crabes Rouges des Profondeurs (*Geryon spp*), de la Pente Continentale du Sénégal et quelques éléments de leur Biologie. *Oceanogr. Trop.*, 20(2): 95-115.
- A-25. **Gaertner, D.**, Le Hir, Y. et Sylla, A. (1985) Analyse des Campagnes Exploratoires de Pêches aux Casiers des Crabes Rouges (*Geryon maritae*, Manning et Holthuis, 1981 et *G. affinis*, Milne Edwards et Bouvier, 1894) du Talus Continental Sénégalais. *Doc. Sc. CRODT Dakar*, 96: 1-44.
- A-26. **Gaertner, D.**, et Laloe, F. (1985) Présence de *Geryon affinis* (Milne Edwards et Bouvier, 1894) dans les eaux Sénégalaises. Comparaison Biométrique avec *G. maritae* (Manning et Holthuis, 1981). *Doc. Sc. CRODT Dakar*, 97: 1-20. (IF ?)
- A-27. **Gaertner, D.** (1984) Contribution à l'étude du Stock de Lottes (*Lophius piscatorius* L. 1758, et de *L. budegassa* Spinola 1807) du Plateau Celtique. *Oceanol. Acta* 7(2): 241-249.
- A-28. **Gaertner, D.** (1982) Analyse biométrique de *Solea lascaris* (Risso, 1810) en Baie de Douarnenez (Finistere). *Cybiurn 3er ser.* 6(2): 15-33.

V.4 Publications dans des actes de symposium avec arbitrage:

- B-1. Pallares, P., Soto, M., Die, D., **Gaertner, D.**, Mosqueira, I., and Kell, L.T. (2005) The development of an operational model and simulation procedure for testing uncertainties in the Atlantic Bigeye (*Thunnus obesus*) stock assessment. *2nd World Meeting on Bigeye tuna, Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 57(2): 162-176.
- B-2. Dreyfus-Leon, M., and **Gaertner D.** (2002) Fleet dynamics and information exchange simulation modeling with artificial neural network. in "*From animals to animats 7*", *Proceeding of the 7th International Conference on Simulation of Adaptive Behavior (ed. by B. Hallam, D. Floreano, G. Hayes, J.-A. Meyer, and J. Hallam) pp. 397-398, ISAB, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, USA.*
- B-3. Romany, B., Menard, F., Dewals, P., **Gaertner D.**, N'Goran, N. (2000) Le « faux-poisson » d'Abidjan et la pêche sous DCP dérivants dans l'Atlantique tropical Est: circuit de commercialisation et rôle socio-économique. In : *Pêche thonière et dispositifs de concentration de poisons. Le Gall J.Y., Cayré P., Taquet M. (eds). Ed. Ifremer, Actes Colloq.*, 28, 634-652.
- B-4. **Gaertner, D.**, and Medina-Gaertner, M. (1999) An overview of the relationship between tunas and floating objects in the south of Caribbean Sea. in *Proceedings of the International Workshop on Fishing for Tunas associated with floating objects (Compiled by M.D. Scott, W.H. Bayliff, C.E. Lennert-Cody, and K.M. Schaefer). IATTC La Jolla Special Report* 11: 66-86.
- B-5. **Gaertner, D.**, Gaertner, J.C., Marcano, J. & Pagavino, M. (1998) Multivariate analyses of tuna catches and fishing strategies relationships. Application to the venezuelan purse seiners in the caribbean sea. In *ICCAT Tuna Symposium (Ed. by J.S. Beckett). Ponta Delgada, Sao Miguel, Acores (Portugal), ICCAT. Coll. Vol. Sci. Pap.* 50(2): 623-636.

- B-6. **Gaertner, D.**, and Alio, J. (1998) Trends in the recreational Billfish fishery cpue off Playa Grande (1961-1995), central venezuelan coast. *Third ICCAT Billfish Workgroup. ICCAT. Coll. Vol. Sci. Pap.* 47: 289-300.
- B-7. **Gaertner, D.**, & Alio, J. (1994) Changes in the apparent abundance indices of billfishes in the Venezuelan recreational fishery off Playa Grande (1961-1990), Central Venezuelan coast. *In. Report of the Billfish Year Program. ICCAT. Coll. Vol. Sci. Pap.* 41: 473-489.
- B-8. **Gaertner, D.**, et Pagavino, M. (1991) Observations sur la croissance de l'albacore (*Thunnus albacares*) dans l'Atlantique Ouest. *In. Report of the Yellowfin Year Program. ICCAT. Coll. Vol. Sci. Pap.* 36: 479-505.
- B-9. Medina-Gaertner, M., y **Gaertner, D.** (1991) Factores ambientales y pesca atunera de superficie en el mar Caribe. *In. Report of the Yellowfin Year Program. ICCAT. Coll. Vol. Sci. Pap.* 36: 523-550.
- B-10. Pagavino, M., **Gaertner, D.**, Salazar, H., Astudillo, L. y Castillo, C. (1991) Composición de las capturas atuneras de superficie de Venezuela deducida a partir de muestreos multiespecíficos en puerto. *In. Report of the Yellowfin Year Program. ICCAT. Coll. Vol. Sci. Pap.* 36: 551-563.

V.5 Documents scientifiques des Groupes de Travail des Commissions thonières internationales

- C-1. Monteiro, V., **Gaertner, D.**, Pianet, R. (2011) Application d'un modèle indicatif pour l'obtention d'une valeur approchée de la production maximale équilibrée du Serra (*Acanthocybium solandri*, Cuvier, 1831) de l'archipel du Cap-Vert. ICCAT-SCRS/2011/194.
- C-2. **Gaertner, D.**, Hallier, J-P., Dortel, E., Chassot, E. and Fonteneau, A. (2011) An update of the Indian Ocean skipjack growth curve parameters with tagging data. Some new evidences on area-specific growth rates. IOTC 2011-WPTT13
- C-3. Chassot, E., Fonteneau, A., **Gaertner, D.** and Laurec, A. (2011) Changes in fishing power of the French purse seiners of the Indian Ocean: Back to the basics . IOTC-2011-WPTT13-21
- C-4. Fonteneau, A., Ariz, J., Chassot, E., Lucas, V., Delgado de Molina, A., Murua, H., and **Gaertner, D.** (2011) Note on the 1983–2010 skipjack activities of EU purse seiners in the Indian Ocean. . IOTC-2011-WPTT13-27-Rev1
- C-5. Simon, M., Fromentin, J.-M., Bonhommeau, S., **Gaertner, D.**, and Etienne, M.-P. (2010) Investigating the performances of a Bayesian biomass dynamic model with informative priors on Atlantic Bluefin Tuna. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 66(2): 811-828
- C-6. **Gaertner, D.**, Delgado, A., Ariz, A., Hallier, J-P. and Torres, E. (2011) Exploratory analysis of tagging data to evaluate the benefits of a closure area for tropical tunas. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 66(5): 1979-1987
- C-7. Bez, N., Walker, E., Gaspar, Ph., **Gaertner, D.**, Rivoirard, J. (2010) From VMS data to tuna distribution maps. *IOTC-2010-WPTT-21*
- C-8. Walker, E., **Gaertner, D.**, Gaspar, P. and Bez, N. (2010) Fishing activity of tuna purse-seiners estimated from VMS data and validated by observers' data. *Col. Vol. Sc. Pap. ICCAT*, 65(6): 2376-2391
- C-9. **Gaertner, D.**, and Hallier, J-P. (2009) An Updated Analysis of Tag-Shedding by Tropical Tunas in the Indian Ocean. *IOTC-2009-WPTT-34*
- C-10. **Gaertner, D.**, Chassot, E., Fonteneau, A., Hallier, J-P., Marsac, F. (2009) Estimate of the non-linear growth rate of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the Atlantic and in the Indian Ocean from tagging data. *Col. Vol. Sc. Pap. ICCAT*, 65(2): 683-694
- C-11. **Gaertner, D.** (2010) Common trends model in catch per unit of effort for the tropical tunas. *Col. Vol. Sc. Pap. ICCAT*, 65(2): 417-429
- C-12. Chassot, E., Walter III, J. F., **Gaertner, D.** (2009) Application of the Procean Model to the Eastern Atlantic Skipjack (*Katsuwonus pelamis*) tuna fishery. *Col. Vol. Sc. Pap. ICCAT*, 64(4): 1272-1290
- C-13. Soto, M., Pallarés, P., Delgado de Molina, A., **Gaertner, D.** (2009a) Actualización de la CPUE estandarizada de rabil de la flota de cerco tropical en el océano Atlántico de 1980 a 2006. *Col. Vol. Sc. Pap. ICCAT*, 64(4): 1032-1043

- C-14. Soto, M, Pallarés, P. , Delgado de Molina A., and **Gaertner, D.** (2009b) Standardized CPUE for juvenile Atlantic yellowfin and bigeye and skipjack tunas caught by the purse seine fleet fishing with FADs. *Col. Vol. Sc. Pap. ICCAT*, 64(4): 1044-1053
- C-15. Amade, J., Ariz, J., Chassot, E., Chavance, P., Delgado de Molina, A., **Gaertner, D.**, Murua, H., Pianet, R., and Ruiz, J. (2008) By-catch and discards of the European purse seine tuna fishery in the Indian Ocean. Estimation and characteristics for the 2003-2007 period. *IOTC-2008-WPEB-12*
- C-16. **Gaertner, D.**, and Hallier, J-P. (2008) Tag Shedding by Tropical Tunas in the Indian Ocean: explanatory analyses and first results. *IOTC-2008-WPDTA-01*
- C-17. Romanov, E., **Gaertner, D.**, Bach, P., and Romanova, N. (2007) Depredation on pelagic longlines in the Indian Ocean: an analysis of the Soviet historical database (1961-1989) on tuna research. *in: Workshop on the depredation in the tuna longline fisheries in the Indian Ocean. IOTC-2007-DWS-A1-11*
- C-18. **Gaertner, D.**, Kebe, P. and Palma, C. (2008) Effects of release factors affecting the recovery rates of tagged tunas: Application to bigeye tuna. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 62(6): 2029-2036
- C-19. **Gaertner, D.**, Kebe, P. and Palma, C. (2007) Some clues for correcting the tagging data base of tropical tunas. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 60(1): 185-189.
- C-20. Soto, M., Mosqueira, I. , Die, D., **Gaertner, D.**, and Pallarés, P., (2006) Multi-species stock assessment of tunas in the tropical Atlantic purse seine fishery: sensitivity of production models to biases in reported catches. *Col. Vol. Sc. Pap. ICCAT*, (59)2: 546-554
- C-21. Hallier, J.P., and **Gaertner, D.** (2006) Estimated growth rate of the Skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) from tagging surveys conducted in the Senegalese area (1996-1999) within a meta-analysis framework. *Col. Vol. Sc. Pap. ICCAT*, 59(2): 411-420
- C-22. **Gaertner, D.**, Bard, F-X., and Hallier, J.P. (2006) Are natural and fishing mortalities comparable for tropical tunas ? : A multispecies approach with tagging data. *Col. Vol. Sc. Pap. ICCAT*, 59(2): 421-430
- C-23. Bach, P., Travassos, P., and **Gaertner, D.** (2006) Why the number of hooks per basket (HPB) is not a good proxy indicator of the maximum fishing depth in drifting longline fisheries ? *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 59(2): 701-715
- C-24. Soto, M., **Gaertner, D.**, Fonteneau, A., Dorizo, J., Pallarés, P., Delgado de Molina, A., and Ariz, J. (2005) Standardized catch rates for yellowfin (*Thunnus albacares*) for the European purse seine fleets (1982-2003) IOTC-2005-WPTT-1.
- C-25. Soto, M., Pallarés, P., **Gaertner, D.**, Ariz, J., y Delgado de Molina, A. (2004) Cpues estandarizadas de rabile de la flota de cerco tropical. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 56(2): 704-710
- C-26. **Gaertner, D.**, Pianet, R., Ariz, J., Delgado de Molina, A., and Pallares, P. (2003) Estimates of incidental catches of billfishes taken by the European tuna purse seine fishery in the Atlantic Ocean (1991-2000). *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 55(2): 502-510
- C-27. **Gaertner, D.**, and Hallier, J-P. (2003) Estimate of natural mortality of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the Eastern Atlantic from a tag attrition model. *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 55(5): 1868-1879
- C-28. Hallier, J-P., and **Gaertner, D.** (2002) Comparative efficiency between Betyt tags and Conventional tags. *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 54(1): 17-32.
- C-29. **Gaertner, D.**, and Pallares P. (2002) Efficacité des Senneurs Thoniers et Effort Réels (ESTHER). *Progr. 98/061. Union Européenne, DG "Fisheries" (DG XIV), Bruxelles, (Belgique). Rapport Scientifique 187 p.*
- C-30. **Gaertner, D.**, and Pallares, P. (2002) The European Union Research Project, Efficiency of Tuna Purse-Seiners and Effective Effort (ESTHER): Scientific report of project. *Doc. SCTB15-FTWG-3.*
- C-31. **Gaertner, D.**, and Pallares, P. (2002) The European Union Research Project, Efficiency of Tuna Purse Seiners and Effective Effort (ESTHER): Scientific documents. *Doc. SCTB15-FTWG-4.*
- C-32. Fonteneau, A., and **Gaertner, D.** (2002) Analysis of trend of total yearly catches of yellowfin tuna (*Thunnus albacores*) in the Indian Ocean and status of stock. *IOTC Working Party on Tropical Tunas. WPTT/02/17.*

- C-33. Soto, M., Pallares, P., **Gaertner, D.**, Delgado de Molina, A., and Ariz, J. (2002) Estandarizacion del esfuerzo de las flotas de cerco tropical por medio de modelos lineales generalizados. *IOTC Working Party on Tropical Tunas WPTT/02/26*.
- C-34. Ariz, J., and Gaertner, D., Delgado de Molina, A., Pallarés, P., y Santana, J. C. (2002) Algunas relaciones entre el comportamiento de los cerqueros europeos de túnidos tropicales y las capturas obtenidas. *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 54(1): 91-95
- C-35. Pallarés, P., **Gaertner, D.**, Soto, M., Delgado de Molina, A., y Ariz, J. (2002) Estandarización del esfuerzo de las flotas de cerco tropical por medio de modelos lineales generalizados. *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 54(1): 107-118
- C-36. Santana, J. C., Delgado de Molina, A., Ariz, J., Pallares, P., y **Gaertner, D.** (2002) Algunos datos sobre la profundidad que alcanza el arte de cerco en la pesquería atunera tropical. *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 54 (1): 157-171.
- C-37. Ariz, J., Pallares, P., Delgado de Molina, A., Santana, J. C., y **Gaertner, D.** (2000) Distribucion de las capturas y rendimientos de las flotas de cerco tropical por estratos espacio temporales y tipos de asociación, en el oceano Atlantico. *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 51 (1): 330-342.
- C-38. Delgado de Molina, A., Ariz, J., **Gaertner, D.**, y Santana, J. C. (2000) Estimacion de la importancia de las capturas de especies accesorias y de descartes en la pesquería de cerco de tunidos tropicales en el océano Atlantico oriental. *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 51(6): 1859-1874.
- C-39. **Gaertner, D.**, Pallares, P., Ariz J., Delgado de Molina, A., et Nordstrom-Fonteneau, V. (2000) Estimation de la durée des calées chez les senneurs français et espagnols opérant dans l'océan Atlantique, à partir des observations scientifiques du programme européen sur le patudo (1997-1999). *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 51: 402-415
- C-40. **Gaertner, D.**, Ariz J., Hallier J.P., et Herrera Armas, M.A. (2000) Le point de vue des pêcheurs thoniers à la senne sur l'augmentation des prises de patudo dans l'Atlantique Est et sur les conditions d'utilisation du sonar. *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 51: 553- 570
- C-41. **Gaertner, D.**, et Sacchi, J. (2000) Observations sur l'évolution de la dimension des sennes utilisées par la flottille française de senneurs tropicaux opérant dans l'océan Atlantique. *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 51: 571-580
- C-42. **Gaertner, D.**, and Marsac, F. (1999) Comparative analysis of the exploitation of bigeye tuna in the Indian and Eastern Atlantic oceans with emphasis on purse seine fisheries. In: *IOTC proceedings. Victoria, CTOI*, p. 158-171.
- C-43. Ariz J., **Gaertner D.**, Nordstrom, V., Delgado de Molina, A., Santana, J. C., y Pallares, P. (1999) Informe de las actividades de los observadores en las flottas europeas de cerco en le oceano Atlantico (junio 1997 a agosto 1998). Proyecto de investigacion europeo sobre le Patudo. *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 49 (3): 295-308.
- C-44. Fonteneau, A., **Gaertner, D.**, and Nordstrom, V. (1999) An overview of problems in the catch per unit of effort and abundance relationship for the tropical purse seine fisheries. *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 49 (3): 258-278.
- C-45. **Gaertner, D.**, Dewals, P., & Marsac, F. (1999) Relations biométriques utilisables dans les études sur l'échappement des juvéniles de thonidés tropicaux dans les sennes. *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 49 (3): 323-332.
- C-46. **Gaertner, D.**, Ariz, J., et Nordstrom-Fonteneau, V. (1999) Remarques sur le calcul de l'effort de pêche des thoniers senneurs: temps de recherche, temps de pêche diurne effectif et proportion de temps pris par les calées nocturnes. *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 49 (3): 432-436
- C-47. **Gaertner, D.**, Ariz, J., Nordstrom-Fonteneau, V. (1998) Spatial changes in the purse-seiners' activities in the Eastern Atlantic Ocean from 1991 to 1995. *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 48 (3): 322-330.
- C-48. Ariz, J., y **Gaertner, D.** (1998) Proyecto de investigacion europeo sobre le patudo. Estado actual de las investigaciones. *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 48(2): 209-212.
- C-49. **Gaertner, D.**, Marcano, J., Salazar, H., y Astudillo, L. (1996) El problema de las correcciones multiespecificas de las capturas atuneras. Aplicacion de un modelo Log-lineal iterativo a las capturas venezolanas de superficie (1987-1993). *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 45(3): 116-125.

- C-50. Pagavino, M., y **Gaertner, D.** (1995) Ajuste de una curva de crecimiento a frecuencias de tallas de atun listado (*Katsuwonus pelamis*) pescado en el mar Caribe suroriental. *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 44(2): 303-309.
- C-51. **Gaertner, D.**, Marcano, J. S., et Salazar, H. (1994) Réévaluation des paramètres de la relation Longueur-Poids de l'Albacore (*Thunnus albacares*) dans l'Atlantique Ouest. *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 42 (2): 222-228.
- C-52. **Gaertner, D.**, y Medina-Gaertner, M. (1994) Análisis de la estructura del stock de atún aleta amarilla por medio de las frecuencias de tallas. *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 42 (2): 290-299.
- C-53. Pagavino, M., y **Gaertner, D.** (1994) Variación espacio-temporal de las capturas de atunes Aleta amarilla y Listado, realizadas por la flota venezolana de superficie en el Mar Caribe, entre 1988 y 1992. *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 42 (2): 314-318
- C-54. **Gaertner, D.**, Castillo, C., Gutierrez, X., Salazar H., Rodriguez, O., y Astudillo, L. (1992) Nota sobre los sesgos entre las bitacoras y los muestreos multiespecíficos de la flota atunera venezolana de superficie. *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 38: 254-261
- C-55. **Gaertner, D.**, Salazar, H., Rodriguez, O., Astudillo, L., y Castillo, C. (1992) Relación Longitud-peso para el atún aleta amarilla en el Atlántico Oeste. *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 38: 262-265
- C-56. **Gaertner, D.** (1992) Etat d'exploitation de l'albacore (*Thunnus albacares*) à partir des données de la flotte vénézuélienne, au 31/12/90. *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 38: 266-271.
- C-57. Gonzalez, L.W., y **Gaertner, D.** (1992) Analisis preliminar de las campanas de pesca exploratoria del pez espada en la ZEE de Venezuela. *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 39 (3): 643-656
- C-58. **Gaertner, D.** (1991) Evolution des indices d'abondance de l'albacore (*Thunnus albacares*) et du listao (*Katsuwonus pelamis*) de la flotte venezuelienne et extrapolation à l'ensemble de l'Atlantique Ouest. *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 35(1): 39-46.
- C-59. **Gaertner, D.**, Alio, J., y Arocha, F. (1991) Alcance de los estudios sobre la pesca deportiva de los Istiophoridae en Venezuela. *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 35(1): 89-95.
- C-60. Eslava, de G. N., y **Gaertner, D.** (1990) Distribución vertical de los atunes y especies de pico, y su abundancia en el mar caribe. *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 32(2): 39-47.
- C-61. **Gaertner, D.**, Alio, J., y Garcia de los salmones, R. (1989) La pesca deportiva de los peces de pico en Venezuela. Análisis de los datos del club de Playa Granda (1961-1987). *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 30 (2): 382-391.
- C-62. **Gaertner, D.**, Medina-Gaertner, M., y Pagavino, M. (1989) Distribución de las capturas de superficie de Venezuela y evaluación de las potencialidades de captura del atún aleta amarilla, en el Atlántico Oeste. *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 30 (1): 150-158.
- C-63. Pagavino, M., **Gaertner, D.**, y Castillo, C. (1989) Resultados preliminares sobre el crecimiento de *Thunnus albacares* en el Mar Caribe. *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 30 (1): 159-163.
- C-64. **Gaertner, D.**, y Gaertner-Medina, M. (1988) Observaciones sobre los lances realizados por los cerqueros venezolanos. *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 28: 141-146.
- C-65. **Gaertner, D.**, Gaertner-Medina, M., Castillo, C., y Martinez, L. (1988) Instalación de un sistema de bitácoras para la pesca atunera de superficie en Venezuela y análisis de los primeros resultados. *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 28: 130-140.
- C-66. **Gaertner, D.**, Martinez, L., y Salazar H. (1987) Estudio de la pesca atunera venezolana en el mar Caribe y en el Atlántico Oeste, durante 1983-1984. *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 26(1): 216-227.

V.6 Communications à des colloques scientifiques:

- D-1. Chassot E., Torres E., Kaplan D.M., **Gaertner D.**, Morales M., Delgado A., Ariz J. (2011) Effects of high seas MPAs on commercial fisheries: Examples from the Atlantic and Indian Oceans' tuna fleets. *Marine Protected Areas on the high seas – symposium. London, UK.* Février 3-4.
- D-2. Kaplan D.M., Chassot E., Torres E., **Gaertner D.**, Morales M., Delgado A., Ariz J. (2011) Effects of high seas MPAs on commercial fisheries: Examples from the Atlantic and Indian

- Oceans' tuna fleets. *2nd International Marine Conservation Congress. Victoria, BC, Canada.* Mai 14-19. Poster.
- D-3. Torres-Irriego E., **Gaertner D.**, Delgado de Molina A., and Ariz J. (2011). Effets des fermetures spatio-temporelles sur la dynamique des flotilles de senneurs européens à travers différents indicateurs. *Colloque scientifique aires marines protégés. Paris, France.* Novembre 22-24. Poster.
- D-4. Bez, N., Walker, E., Gaspar, Ph., **Gaertner, D.**, Rivoirard.J, (2010) De la trajectoire des prédateurs (thoniers senneurs) à la cartographie de leurs proies (thons tropicaux) *Ecologie 2010, Montpellier* 1-4 septembre 2010
- D-5. **Gaertner, D.** y Linné, M. (2010) Contribución a la creación de una red de información sobre la pesca en el Observatorio del Mar y las Zonas Costeras. Tema 6-Pesca y Acuicultura. *Segundo seminario del Observatorio Cousteau del mar y las zonas costeras de México* (26-28 de abril de 2010)
- D-6. Pelletier, D., Kaplan, D., et **Gaertner, D.** (2010) Les AMP comme moyen de gestion des ressources halieutiques. *Note Ifremer-IRD au groupe de travail « Aires Marines Protégées » du Grenelle de la Mer.* Paris, 31/03/2010.
- D-7. Walker, E., **Gaertner, D.**, Gaspar, Ph., Mortier, F., Pianet, R., Bez, N. (2008) Estimation of nominal fishing effort of tropical tuna purse seiners, with a Bayesian approach, in: *Fishing Capacity, effort and fishing mortality—the understanding of fishery dynamics and their links to management, ICES CM 2008/I, Halifax (Canada)*, 22-26 Sept. 2008.
- D-8. Walker, E., Bez, N., **Gaertner, D.**, and Pianet, R. (2007) Tuna fisheries in the Indian Ocean : VMS data from French purse-seiners. *Meeting CEDER project, Reykjavik (Iceland)*, 3-4 July 2007
- D-9. Bach, P., and **Gaertner, D.** (2007) Pelagic longline fishing depth: Confronting catenary theory data with depth observations from monitored longline fishing experiments. *Workshop “Pelagic longline catch rate standardizations”, Hawaii, (USA)* 12–16 Feb. 2007
- D-10. **Gaertner, D.**, and Fromentin, J.M. (2005) Comparative analysis of tuna CPUE time series: First results. *5th Working Group of the FEMS project. San Sebastian (Spain)* 28/02 – 04/03/05.
- D-11. Soto, M., Mosqueira, I., Die, D., **Gaertner, D.** and Pallares, P. (2005) Multi-species assessment of tunas caught in the tropical Atlantic purse seine fishery. *5th Working Group of the FEMS project. San Sebastian (Spain)* 28/02 – 04/03/05.
- D-12. Dreyfus-Leon, M., and **Gaertner, D.** (2004) Exchange of information between fishing vessels: consequences on CPUE as an index of abundance. *Workshop on developing indices of abundance from purse seine catch and effort data. IATTC, La Jolla (USA)* 03/11-05/11/04.
- D-13. **Gaertner, D.**, and Fromentin, J.M. (2004) Comparison of tuna catches and CPUE time series. Objectives and methods. *4th Working Group of the FEMS project. Sao Miguel (Portugal)* September 2004.
- D-14. **Gaertner, D.**, (2002) Eficiencia de pesca y esfuerzo real. *Conferencia Internacional de Ciencia Pesquera, INAPESCA-SAGARPA, Aquamar internacional 2002, Cancun (Mexique)*, 03/09-06/09/02
- D-15. Dreyfus-Leon, M., and **Gaertner, D.** (2002) Performance and information exchange simulation modeling between fishing vessels with artificial neural networks. in *Conference of the International Society of Ecological Informatics. Roma (Italy)* 24-27 August 2002
- D-16. Dreyfus-Leon, M., and **Gaertner, D.** (2001) An artificial neural network model of fishermen search behavior. *52nd Annual Tuna Conference, Lake Arrowhead (USA)* 21 May 2001
- D-17. Dreyfus, M., and Gaertner, D., (2000) Simulation des strategies de pêche des thoniers senneurs à l'aide de réseaux neuronaux. In *La programmation par réseau de neurones appliquée au domaine aquatique. Intérêts, limites et exemples d'application. Laboratoire HEA, IRD Montpellier*, 14 septembre 2000.
- D-18. Ménard, F., Ravier, C., Fonteneau, A., **Gaertner, D.**, and Marchal, E. (2000) Une pêcherie saisonnière de thons à la senne dans une zone hauturière de l'Atlantique équatorial. In *Gascuel, D., Chavance, D., Bez, N., Biseau, A. (Eds.) Les espaces de l'halieutimétrie. IRD Paris* p. 292-293 (colloques et séminaires). Forum halieumétrique.

- D-19. **Gaertner, D.**, Medina-Gaertner, M. y Pagavino, M. (1989) Influencia de los factores ambientales sobre la capturabilidad de los atunes en el mar Caribe. In *III Congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar (Colacmar) Cumana-Venezuela* 9 al 13/10/89.
- D-20. Pagavino, M., Medina-Gaertner, M., y **Gaertner, D.** (1988) Evolución reciente de la pesquería atunera de superficie de Venezuela. *38ava. Convención Anual de la ASOVAC, U.C.V.-Maracay*, 20-25/11/1988.
- D-21. **Gaertner, D.** (1987) Caracterización Física del Habitat del atún aleta amarilla y del listado en el Océano Atlántico. Implicaciones sobre su pesquería en el margen sur del Mar Caribe. En *jornadas de trabajo sobre "Cambios climáticos y oceánicos en el Mar Caribe y áreas adyacentes. Impacto ambiental sobre le margen costero venezolano"*. Comisión Nacional de Oceanología CONICYT - U.D.O., Cumaná (Sucre) 12 y 13 de Diciembre de 1987.

V.7 Conférences et Vulgarisation scientifique

- E-1. Torres-Irineo E., **Gaertner D.** (2011). Efectos de la introducción de tecnología a bordo de la dinámica de la flota de cerco en el Océano Atlántico tropical oriental. *XIV Foro Nacional sobre el Atún. Mazatlán, México*. Noviembre 23-25. **Visioconférence**.
- E-2. **Gaertner, D.**, (2011) Are tropical tunas affected by the massive use of drifting FADs ? Some clues on the ecological trap hypothesis *Conférence au CINVESTAV de Merida (Mexique)* 04/02/11
- E-3. **Gaertner, D.**, et Chavance, P., (2010) Réflexion sur les grands défis scientifiques dans le domaine de la pêche thonière tropicale *J. Sci. Hal. Aquat.*, 1, 33-38
- E-4. Fiche Actualité scientifique IRD n°291 Mars 2008 (avec G. Flechet). « La pêche sous objets flottants dérivants: Un danger pour la survie des thons tropicaux? » (<http://www.ird.fr/fr/actualites/fiches/2008/fas291.pdf>)
- E-5. Interview par Mme S. Krauze pour la Radio de Cologne (Deutschlandfunk; Forschung aktuell): « Thunfisch in der Ökofalle ». Emission diffusée le 07/04/2008 (<http://www.dradio.de/dlf/sendungen/forschak/765835/>)
- E-6. Sciences au Sud N°44 Avril 2008. « Les thons tropicaux en danger? » (avec O. Blot) (http://www.ird.fr/fr/actualites/journal/44/sas44_actualites.pdf)
- E-7. **Gaertner, D.**, (2002) Eficiencia de pesca y esfuerzo real. *Conférence invitada al CINVESTAV de Merida (Mexique)* 10/09/02
- E-8. **Gaertner, D.** (1995).- Le point sur la pêche aux thons dans le Pacifique Oriental. *La Pêche Maritime*. 1386: 84-87.
- E-9. **Gaertner, D.** (1993).- Bilan des connaissances sur la pêche des poissons porte-épée (Istiophoridae) dans l'Atlantique Nord-Ouest. *La Pêche Maritime*. 1371: 36-41
- E-10. **Gaertner, D.** (1992).- Quelques données sur les pêches et l'aquaculture en Colombie. *La Pêche Maritime*. 1368: 465-469
- E-11. **Gaertner, D.**, Medina-Gaertner, M. y Pagavino, M. (1989).- La pêche thonière vénézuélienne: Caractéristiques et évolution. *La Pêche Maritime*, 1331: 322-328.
- E-12. Alio, J. y **Gaertner, D.** (1988).- Se acaban los peces vela en Venezuela ? Programa internacional de investigación sobre los peces de pico (Istiophoridae). *Caza y Pesca*, 298: 45-47.
- E-13. **Gaertner, D.** (1985).- Evaluation de la Richesse en Crabes Rouges des Profondeurs (Geryon spp) de la Pente Continentale Sénégalaise au Moyen de Casiers. *La Pêche Maritime* 1284: 163-171.
- E-14. **Gaertner, D.** (1983).- Etude des Débarquements de Lottes et de leur importance économique dans la Pêche Chalutière Démersale des Ports de Bretagne Sud. *La Pêche Maritime*, Novembre 1983: 622-628.

VI Perspectives

Le réel n'est jamais ce que nous pourrions croire, il est toujours ce que nous aurions du penser. (Gaston Bachelard)

Les modèles ne représentent qu'une simplification des processus observés et comportent diverses sources d'incertitudes dues principalement aux erreurs de mesures, de formulation du modèle et de détermination des paramètres. Les effets de ces erreurs sur la qualité de ces modèles en termes de prédiction ou en tant qu'outils de simulation sont souvent mal évalués, même si la restitution des sorties d'un modèle à l'aide d'analyse de sensibilité, ou sous forme de distributions de probabilité par la méthode de Monte Carlo, donne une vision de l'incertitude globale attachée à la réalisation des processus étudiés. Toutefois, la variance totale de ces processus peut être décomposée d'une part en une incertitude épistémique réductible (littéralement liée à l'épistémè ou représentation des connaissances) qui englobe les erreurs de mesures et le manque de connaissance (structuration incomplète du modèle, choix entre plusieurs modèles candidats, précision des paramètres) et d'autre part en une variabilité ontique irréductible qui représente l'hétérogénéité spatiale et temporelle du système étudié et des éléments qui le composent. Il est donc important d'évaluer les contributions relatives de ces deux composantes sur les sorties des modèles afin de juger si, pour des coûts de recherche raisonnables, l'incertitude peut être réduite par une meilleure connaissance du processus étudié et par l'amélioration de sa représentation ou si au contraire la variabilité spatio-temporelle naturelle est supérieure à l'incertitude liée au manque de connaissance.

Plusieurs méthodes allant de l'approche Bayésienne à certaines méthodes fréquentistes, comme le « data cloning », peuvent fournir un cadre conceptuel pour répondre à cette problématique. A titre d'exemple, le fait que le grand programme de marquage réalisé dans l'Océan Indien se soit déroulé sur plusieurs années (2005-2009) peut être mis à profit pour quantifier la part de variabilité interannuelle de certains processus écologiques (taux d'échanges entre zones par exemple) afin de la comparer à l'incertitude intrinsèque aux modèles de marquage-recapture de type « Brownie band-recoveries models » utilisées traditionnellement pour décrire la distribution des recaptures au cours du temps.

Un autre axe de recherche qui me semble important concerne l'identification de l'enveloppe spatio-temporelle environnementale la plus probable couverte par les espèces au cours de leur cycle d'exploitation (juvéniles, reproducteurs). Ces connaissances peuvent être utilisées au niveau du diagnostic sur l'état des stocks (prise en compte de l'habitat dans les modèles de standardisation des CPUE), au niveau de l'aménagement des pêcheries (définition des aires spatio-temporelles de protection de certains stades de vie), ou encore dans l'élaboration de modèles prédictifs sur la redistribution des espèces ou de leur stades de vie à cause du changement climatique. Toutefois, compte tenu de la dimension de l'échelle de distribution des thonidés tropicaux, et du fait donc que la majorité des observations sont dépendantes des pêcheries (captures commerciales, marquages conventionnels), les individus ne sont pas exposés à l'échantillonnage de la même manière (i.e., la capturabilité au sens large). En conséquence, le taux d'occupation d'une espèce dans une région donnée ne peut pas être basé uniquement sur des critères de présence/absence mais doit être estimé conjointement à la probabilité de détection des individus (en d'autres termes, les zéros observés étant un mélange d'absence réelle et de non-détection); ces deux paramètres pouvant par ailleurs être modélisés en fonction de plusieurs covariables environnementales ou technologiques.

Concrètement, je compte continuer ou m'investir dans les thèmes suivants :

Analyse de l'effet des innovations technologiques introduites à bord des senneurs sur la mortalité due à la pêche et de leurs conséquences en termes d'estimation de l'effort de pêche.

La continuité de ce travail, qui englobe celui de la thèse doctorale d'Edgar Torres sur l'impact des nouvelles technologies de pêche sur la ressource thonière et sur la dynamique des flottilles de senneurs, s'orientera vers l'utilisation d'informations additionnelles, comme celles provenant des

données de marquage-recapture. Cela a déjà été mentionné à maintes reprises mais il est bon de rappeler que ce type d'étude doit se faire dans un cadre multi spécifique, lié à la nature de la pêche thonière tropicale de surface. Bien qu'il soit difficile d'estimer la mortalité naturelle par classe d'âges/de tailles et a fortiori sa variabilité, il sera important d'estimer à l'aide des modèles de marquage-recapture l'évolution au cours des ans de la mortalité due à la pêche par grands stades du cycle de vie des espèces étudiées (thématique en partie contenue dans la thèse d'Emmanuelle Dortel). Il est en effet vraisemblable que l'évolution de la puissance de pêche des senneurs au cours du temps a eu des effets différents sur la mortalité due à la pêche des juvéniles et des adultes, dans la mesure où les stratégies de pêche sur DCP ou sur bancs libres reposent sur l'usage d'innovations technologiques spécifiques pour cibler au mieux chacune de ces deux catégories commerciales.

Entre la conséquence de l'action de pêche sur les populations de thons (le coefficient F de mortalité due à la pêche) et les moyens mis en œuvre par le pêcheur (le f de l'effort nominal) il existe tout un lot de concepts intermédiaires dont ceux d'effort effectif et de capturabilité. Comme nous l'avons initié lors du programme Européen de recherche ESTHER, la décomposition des différentes phases des opérations de pêche d'un senneur (recherche de concentrations, recherche de bancs libres ou de DCP, coup de senne) permettrait de hiérarchiser la contribution relative de chaque nouvelle technologie dans l'évolution du vecteur F , et d'apporter des éléments de réponses en termes de gestion, notamment en termes de surcapacité des flottilles. L'utilisation des données VMS pour analyser les trajectoires individuelles des navires, déjà abordée dans le cadre de la thèse d'Emily Walker, est une voie qui mérite d'être approfondie. Dans le même ordre d'idée, mais par une approche différente, signalons que la construction de priors des paramètres des modèles Bayésien de production excédentaire basée sur des considérations biologiques afin de relâcher l'hypothèse de constance de la capturabilité au cours du temps (en particulier, pour prendre en compte les phénomènes d'hyperstabilité des CPUE des senneurs et d'hyperdéplétion des CPUE des palangriers) fait l'objet de la thèse de Maximilien Simon. Bien qu'on se place qu'ici dans une approche d'amélioration du diagnostic sur l'état d'exploitation de la ressource, sans chercher implicitement les facteurs technologiques explicatifs au changement de puissance de pêche, on reste dans une analyse de la relation de dépendance entre l'abondance et les taux de capture.

L'impact potentiel du changement climatique sur l'habitat des thons tropicaux et sur leur comportement migratoire

Comme indiqué dans le paragraphe introductif à cette partie prospective, une partie de la variabilité des phénomènes observés (l'hétérogénéité spatio-temporelle naturelle) est propre au système étudié. Dans le cadre du changement climatique, les habitats respectifs des 3 espèces de thons et en particulier des juvéniles ou des reproducteurs, ont pu être modifiés au cours du temps. Il en est de même pour ce qui est des facteurs à l'origine des migrations.

Dans ce contexte, les données de marquages-recaptures peuvent être utilisées pour estimer la variabilité interannuelle des habitats et la variabilité de la périodicité saisonnière des phénomènes migratoires (phénologie). Ces données doivent cependant être couplées à des données de capture/effort pour tenir compte de l'évolution de la distribution spatio-temporelle des flottilles de pêche (probabilité de recapture) et des modifications dans les pratiques de pêche qui peuvent affecter la disponibilité de la ressource (ex l'utilisation des DCP, ou encore la pêche sur matre associée, en ce qui concerne le piège écologique). D'une manière générale, la présence/absence de poissons marqués par strate spatio-temporelle doit être estimée à l'aide de modèles statistiques appropriés (par exemple les modèles zéro-inflats prenant en compte la détectabilité des poissons marqués).

Bien que l'objectif initial portera sur l'analyse des données historiques des comportements migratoires, il n'est pas exclu à la lumière des connaissances acquises d'établir des scénarios sur l'impact potentiel du changement climatique sur les zones de concentrations des juvéniles, ou des reproducteurs, et sur l'altération des schémas migratoires. Il sera prudent toutefois de considérer que les modèles sont calés sur des jeux de données observées rendant compte du climat passé ou actuel,

supposant une certaine stationnarité, et que l'établissement de scénario climatique génère une incertitude additionnelle sur la réalisation d'évènements non-observés.

Temps de résidence et utilisation d'aires marines protégées (AMP).

Sous la pression de certaines organisations environnementalistes l'utilisation d'AMP pour gérer les stocks halieutiques semble devenue une solution incontournable. Au-delà des effets d'annonces médiatiques qui reposent rarement sur des arguments scientifiques, il est difficile dans l'état actuel des connaissances d'évaluer l'efficacité de ce type de régulation spatio-temporelle dans la mesure où les objectifs recherchés et les indicateurs de contrôle restent souvent assez flous. En dehors de quelques espèces exploitées dont la biologie se prête à ce type de régulation, l'efficacité des AMP sur le plan halieutique dépend de nombreux facteurs allant du niveau d'exploitation de la ressource à protéger (ce qui s'oppose a priori à l'optique de pérennisation, ou de réserve marine excluant toute activité humaine, souhaitée par certaines organisations), de la prise en compte des mesures de régulation existantes (au risque de provoquer un effet inverse à celui recherché), du temps de résidence des individus à protéger dans l'AMP et de leur degré de diffusion vers les secteurs en accès libre à l'exploitation, etc. Il est à noter que le choix qui consiste à ne protéger qu'une seule espèce pose le problème d'une approche écosystémique des pêches par rapport aux espèces qui ne bénéficient pas de ce plan de protection. D'une manière générale, le non-respect ou la difficulté de mettre en œuvre les mesures de régulation traditionnelles ne doit pas donner l'illusion que les AMP restent une alternative thaumaturgique à la gestion des stocks, encore moins pour justifier *a priori* la sanctuarisation de l'espace maritime ou l'homme serait exclu.

A l'inverse, à défaut d'être automatiquement parmi les mesures de régulation des stocks les plus appropriées, outre leurs effets a priori positifs sur le plan de la conservation de la biodiversité (en termes de sous-populations, d'espèces et d'habitats) et en termes de mitigation des conflits entre usagers du domaine maritime, les AMP peuvent être des outils de gouvernance plus faciles à implémenter que les mesures traditionnelles de régulation des stocks. En effet, dépassant le cadre de la seule activité halieutique, elles s'inscrivent dans une optique de gestion collective et participative de l'environnement. Il serait donc regrettable que les AMP ne deviennent qu'un enjeu politique entre acteurs de l'espace maritime et qu'une mauvaise définition des objectifs, une planification hâtive des sites et périodes favorables ou l'utilisation d'indicateurs peu adaptés pour évaluer leurs effets, puissent discréditer leur usage. Dans le cas des grands poissons migrateurs comme les thons tropicaux, ou on encourage la protection des juvéniles et de certaines espèces de la faune associée tout en laissant libre accès à l'exploitation d'autres espèces, cela suppose une meilleure connaissance des strates de concentration des thonidés juvéniles et des espèces associées vulnérables, de leur variabilité interannuelle, et du temps de résidence des individus par secteur en fonction des conditions environnementales. La connaissance de l'utilisation de l'habitat hauturier permettrait de mieux définir les limites de ces strates de protection, y compris éventuellement d'aborder le concept d'AMP mobiles en cours de saison ou d'année. Les données de marquage-recapture peuvent contribuer à l'étude de cette problématique pour autant que leur couverture spatio-temporelle soit suffisante qualitativement et quantitativement.

L'analyse du piège écologique.

A la lumière des résultats obtenus sur ce thème, il semble que certains aspects de la biologie et de l'écologie des juvéniles de thons sont modifiés par la présence massive de DCP. En effet, même si les thons tropicaux sont attirés naturellement par des objets flottants dérivants, l'instrumentalisation par les pêcheurs d'une grande quantité de DCP a considérablement modifié quantitativement et qualitativement la nature de ce stimulus. Les premières analyses sur le taux de déplacement des thons semblent montrer cependant des différences notables entre l'océan Atlantique et l'océan Indien et il conviendra de procéder à une analyse comparative entre les conditions environnementales associées aux pêches sous DCP et en bancs libres dans les deux océans afin entre autre de tester l'impact potentiel des DCP en termes de modification d'habitat. Ce travail fait en partie l'objet d'un des thèmes de recherche abordés dans la thèse doctorale de Beenesh Motah. Dans le même ordre

d'idée du piège écologique résultant de l'utilisation massive de DCP dérivants, la très forte association des thons aux canneurs dans certains secteurs de l'océan (cas de la pêche dite à la matie associée, ou le canneur maintient sous sa coque le banc de thons qu'il exploite tout au long de la saison de pêche), pose le problème du déterminisme de cette association et sur la perte apparente de comportement migratoire des thons présents dans ces secteurs. Les aspects qui touchent à l'identification et à la caractérisation des conditions environnementales à l'origine de cette pratique de pêche entrent dans un des volets de la thèse doctorale de Liliana Roa Pascuali.

Dans ce contexte général, je souhaite continuer et développer mes activités de recherche pour le développement par :

- l'encadrement de stages d'étudiants et de propositions de sujets de thèse ;
- des actions de recherche en coopération dans un contexte international avec nos partenaires du Sud,
- la fourniture de connaissances dans l'aide à la prise de décision grâce aux participations et aux responsabilités dans les groupes de travail sur les évaluations des stocks des ORGP thonières ou en fonction des thématiques à d'autres taches d'expertise,
- l'animation d'axes de recherche appliquée au sein de l'UMR EME de l'IRD ou auprès de divers partenaires du Sud

Et pendant ce temps là, ou va la Recherche ?

« Mais alors pourquoi ne pas faire quelque chose pour retarder le progrès scientifique ?

- cela me plairait beaucoup, dit Mark Gable, mais comment m'y prendre ?

- Eh bien, dis-je, je crois que ce ne serait pas très difficile. Ce serait même très facile en fait. Vous pourriez créer une Fondation, dotée de trente millions de dollars par an. Les chercheurs impécunieux pourraient demander une subvention, à condition que leurs arguments soient convaincants. Organisez dix comités, composés chacun de douze savants, et donnez-leur pour tâche de transmettre ces demandes. Enlevez à leurs laboratoires les savants les plus actifs et nommez-les membres de ces comités. Prenez les plus grands savants du moment et faites-en des présidents aux honoraires de cinquante mille dollars par an. Fondez vingt prix de cent mille dollars à attribuer aux meilleures publications scientifiques de l'année. [...] D'abord, les meilleurs savants seraient enlevés à leurs laboratoires, et passeraient leurs temps dans les comités à transmettre les demandes de subvention. Ensuite, les travailleurs scientifiques impécunieux s'appliqueraient à résoudre des problèmes fructueux qui leur permettraient presque certainement d'arriver à des résultats publiables. Il est possible que la production scientifique s'accroisse énormément pendant quelques années. Mais en ne recherchant que l'évident, la science serait bientôt tarie. Elle deviendrait quelque chose comme un jeu de société. Certains sujets seraient considérés comme intéressants, d'autres non. il y aurait des modes. Ceux qui suivraient la mode recevraient des subventions, les autres, non. Et ils apprendraient bien vite à suivre la mode.

Léo Szilard. (1962) La fondation Mark Gable in La voix des dauphins (Ed. Denoel).

(Traduction de Nicolas Witkowski dans Une histoire sentimentale des sciences, Le Seuil collection Point sciences, 2005.)