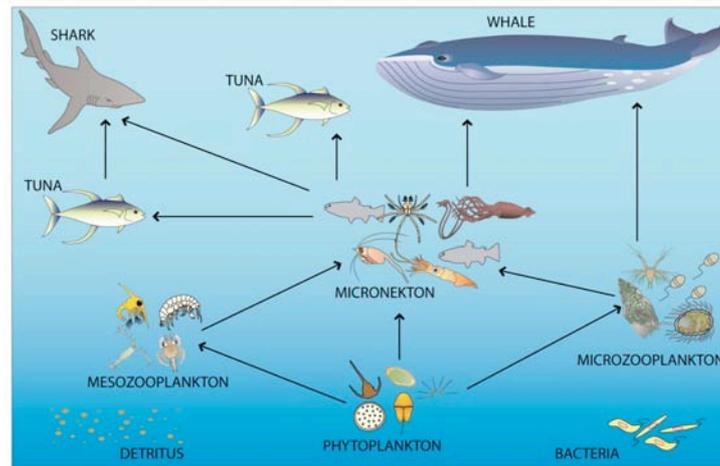


---

## Le thon germon dans la zone économique calédonienne : observer et modéliser son habitat et ses migrations pour mieux comprendre sa distribution.

---



Structure schématique du réseau trophique pélagique (source : SPC, par C. Collier)

**ORGANISMES** : Institut de Recherche pour le Développement (IRD) & Secrétariat General de la Communauté de Pacifique (CPS).

**RESPONSABLE DU PROJET** : Christophe Eugène Raoul Menkes (IRD)

**COLLABORATEURS DIRECTS** : Andres Vega (Adécal), Valérie Allain (CPS), Karine Briand (CPS), Simon Nicol (CPS), Ashley Williams (CPS), Jesus Jurado-Molina (CPS), Erwan Josse (IRD), Anne Lebourges-Dhaussy (IRD) Martine Rodier (IRD) , Housseem Smeti (IRD), Marc Pagano (IRD), M-H. Radenac (IRD), Elodie Kestenare, (IRD), Francis Gallois (IRD), Elodie Vourey (CPS), Cyndie Dupoux (CPS), Jeff Dubosc (CPS), Charles Cuewapuru (CPS), Hugues Gossuin (CPS), Morgan Mangeas (IRD).

**COLLABORATEURS EXPERTS** : P Lehodey (CLS) ; Inna Senina (CLS).

**MOTS CLES** : Thon germon, hydrodynamique, phytoplancton, zooplancton, micronecton, marquage, acoustique, contenu stomacal, modèles numériques et statistiques, campagnes à la mer, ENSO, variabilité climatique.

<b>PREAMBULE</b> .....	<b>5</b>
<b>RESUME</b> .....	<b>7</b>
<b>FICHE 1 : LES CAMPAGNES NECTALIS: ETUDE DU MICRONECTON</b> .....	<b>14</b>
<b>Les objectifs principaux des campagnes et les méthodes d'observation</b> .....	<b>15</b>
<b>Résultats principaux</b> .....	<b>18</b>
Comparaison entre les sondeurs ER60 et l'ADCP.....	23
Utilisation de l'ADCP en vue de valider SEAPODYM.....	26
<b>Conclusions sur les campagnes Nectalis 1 et 2</b> .....	<b>28</b>
<b>Perspectives en terme d'observations avec le navire océanographique ALIS</b> .....	<b>29</b>
<b>FICHE 2 : ETUDE DU REGIME ALIMENTAIRE DU THON GERMON</b> .....	<b>31</b>
<b>Objectifs de l'étude</b> .....	<b>32</b>
<b>Echantillonnage</b> .....	<b>32</b>
<b>Taux de remplissage des estomacs</b> .....	<b>35</b>
<b>Diversité des proies</b> .....	<b>37</b>
<b>Composition par catégories de proies</b> .....	<b>37</b>
<b>Composition par groupes écologiques de proies</b> .....	<b>40</b>
<b>Composition en proies par taxons</b> .....	<b>44</b>
<b>Taille des proies ingérées</b> .....	<b>55</b>
<b>Résumé des résultats</b> .....	<b>57</b>
<b>Bilan et perspectives</b> .....	<b>59</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>62</b>
<b>Annexe</b> .....	<b>63</b>

<b>FICHE 3 : LE COMPORTEMENT DU THON BLANC</b> .....	<b>71</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>72</b>
<b>Méthodes</b> .....	<b>72</b>
<b>Résultats</b> .....	<b>75</b>
<b>Discussion</b> .....	<b>82</b>
<b>Conclusions</b> .....	<b>85</b>
<b>Perspectives</b> .....	<b>85</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>86</b>
<b>FICHE 4 : LA VARIABILITE DE LA CPUE DU THON BLANC EN RELATION AVEC EL NINO/LA NINA.</b> .....	<b>87</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>88</b>
<b>Analyses</b> .....	<b>89</b>
<b>Résultats : ENSO et la capturabilité des thons blancs</b> .....	<b>94</b>
<b>Conclusion</b> .....	<b>95</b>
<b>Perspectives</b> .....	<b>96</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>97</b>
<b>FICHE 5 : Inter-comparaison des simulations de dynamique des populations du thon germon SEAPODYM-NCEP et SEAPODYM-SODA</b> .....	<b>98</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>99</b>
<b>Résultats</b> .....	<b>100</b>
<b>Conclusions</b> .....	<b>107</b>
<b>Perspectives</b> .....	<b>108</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>108</b>

<b>FICHE 6 : Variabilité saisonnière dans la ZEE de Nouvelle-Calédonie. Simulation SEAPODYM-SODA 1997-2007 .....</b>	<b>110</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>111</b>
<b>Résultats .....</b>	<b>111</b>
La Température.....	116
La production primaire.....	117
Biomasse de proies .....	118
Densité de thon germon.....	120
<b>Conclusions .....</b>	<b>123</b>
<b>Perspectives.....</b>	<b>124</b>
<b>FICHE 7 : Variabilité interannuelle dans le Pacifique Sud. Simulation SEAPODYM-SODA 1997-2007 .....</b>	<b>126</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>127</b>
<b>Contexte général : les phénomènes El Niño et La Niña.....</b>	<b>127</b>
<b>Résultats .....</b>	<b>130</b>
<b>Conclusions .....</b>	<b>137</b>
<b>Perspectives.....</b>	<b>137</b>
<b>FICHE 8 : Analyses et tendances des stocks régionaux présentes et futures avec SEAPODYM .....</b>	<b>139</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>140</b>
<b>Méthodologie employée pour les projections.....</b>	<b>140</b>
<b>Résultats .....</b>	<b>141</b>
<b>Conclusions .....</b>	<b>147</b>
<b>Perspectives.....</b>	<b>147</b>
<b>CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>149</b>

---

## PREAMBULE

---

Ce projet a été construit sur l'ensemble des projets financés par ZoNéCo de Vega et al. (2004-2006), Briand (2005) et Marchesiello et al. (2009). Nous sommes partis du constat que nous ne possédions pas réellement les moyens de comprendre la distribution saisonnière et interannuelle des thons germans dans le Pacifique Sud (Marchesiello et al., 2009) de part les nombreuses incertitudes sur le comportement des poissons, leur régime alimentaire, la distribution des proies et les modèles à notre disposition. Au cours de notre projet (2010-2012), nous avons mis en place les outils d'observations et de modélisation pour réduire ces incertitudes et ainsi :

- comprendre le comportement horizontal et vertical des thons germans et de leurs proies dans la ZEE calédonienne,
- comprendre la distribution spatiale des thons en fonction des saisons mais aussi en fonction des grandes variations interannuelles telles qu'ENSO,
- combler le manque flagrant de connaissance sur le mésozooplancton et le micronecton dans la zone économique calédonienne via les sondeurs acoustiques embarqués et des mesures *in situ*.
- améliorer notre modélisation des proies et du thon germon pour montrer qu'il est possible de modéliser la structure spatiale et le comportement saisonnier à interannuel des proies et des thons germans en Nouvelle Calédonie et dans le Pacifique Sud.

Pour atteindre ces objectifs, nous avons proposé les actions suivantes :

1. Compléter et accroître les analyses des contenus stomacaux des germans dans la ZEE pour déterminer les espèces préférentielles de proies des thons.
2. Mettre en place une stratégie d'échantillonnage *in situ* du zooplancton et du micronecton et de validation des données acoustiques du N/O Alis. Il s'agit là d'être capable d'estimer un équivalent de biomasse mésoplanctonique-micronectonique grâce à des données acoustiques facilement accessibles.

3. Reprendre, en utilisant les résultats précédents, les observations historiques des ~12 ans de la base de données acoustiques issues de l'ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) du N/O Alis (1996-2008) augmentée de quelques autres campagnes ponctuelles pour essayer d'en déduire une distribution spatiale du zooplancton et du micronecton dans la ZEE.
4. Utiliser l'ensemble de ces données pour modifier et mieux contraindre le modèle de micronecton utilisé dans les projets ZoNéCo de Briand et al. (2005) et Marchesiello et al. (2009).
5. Marquer des thons dans la ZEE, pour déterminer le caractère migrant de l'espèce.
6. Proposer enfin de combiner les méthodes statistiques de Briand et al. (2005), les simulations du système de Marchesiello et al. (2009) et les nouvelles données de migration des thons pour mieux comprendre la distribution moyenne, saisonnière à interannuelle des germans dans la ZEE. – ce qui est le but ultime du projet.

Ce rapport présente les avancées effectuées dans chacune de ces actions et les nouvelles questions soulevées par les résultats fournis.

---

## RESUME

---

Dans l'étude du thon blanc, on se heurte à une somme d'inconnues, que ce soit sur l'animal, sur ses proies ou sur les habitats qu'il occupe. Chaque action effectuée a voulu explorer une partie de ces incertitudes. Dans la suite, on utilise indifféremment thon blanc ou thon germon.

### LES CAMPAGNES NECTALIS : ETUDE DU MICRONECTON (FICHE 1).

Au cours du projet, nous avons effectué deux campagnes à la mer NECTALIS sur le navire océanographique ALIS dédiées à la compréhension du micronecton et de l'habitat pélagique.

- En été, la chlorophylle de surface ne reflète pas les structures de la température en surface ni de l'écosystème de subsurface. Ceci a des implications concernant les produits typiquement disponibles pour l'industrie thonière : en été, l'information chlorophylle de surface n'est sans doute pas d'une grande utilité pour détecter les zones de pêche propices.
- Le sondeur acoustique EK60 multifréquence embarqué sur les navires constitue le meilleur moyen d'observer et de caractériser la biomasse micronectonique dans la colonne d'eau.
- De plus, les mesures du sondeur « courantométrique » ADCP embarqué sont très bien corrélées aux mesures du sondeur acoustique EK60 dédié à la pêche sur les 150 premiers mètres. Cependant, en l'absence de calibration correcte nous ne pouvons pas estimer une biomasse absolue.
- Les données acoustiques de l'EK60 et de l'ADCP nous indiquent une biomasse de proies supérieure dans le sud dans les eaux plus froides mais aussi une biomasse de proies supérieure à l'ouest de la Grande Terre par rapport à l'est durant les deux saisons été-hiver échantillonnées.
- Le modèle de proies de SEAPODYM, présente la même structure spatiale que ces observations acoustiques ponctuelles, même si le modèle nous indique une zone

encore bien plus riche au sud de la zone échantillonnée durant Nectalis au sud de 22°S.

## ETUDE DU REGIME ALIMENTAIRE DU THON GERMON (FICHE 2).

Avec pour objectif d'obtenir des informations accrues sur le régime alimentaire des thons germans en Nouvelle-Calédonie, le projet se proposait d'augmenter la collection de contenus stomacaux de cette espèce en Nouvelle-Calédonie, de réaliser l'examen des estomacs et d'analyser les données en détail pour fournir une description qualitative et quantitative du régime alimentaire des thons avec une dimension spatio-temporelle en fonction des échantillons récoltés.

- 335 estomacs de thons germans ont été prélevés en 2010-2011 pendant le programme ZONECO augmentant la collection pour la Nouvelle-Calédonie qui atteint désormais 435 échantillons.
- Le thon germon est un prédateur opportuniste consommant une grande diversité de proies (205 proies différentes identifiées pour l'ensemble de l'échantillon) de taille inférieure à 5 cm.
- Le thon germon a un régime alimentaire assez équilibré entre 3 grandes catégories de proies : les poissons (40% en poids), les crustacés (29%) et les mollusques (27%). L'importante quantité de crustacés est remarquable par rapport aux autres espèces de thons qui en mangent peu et qui consomment plus de poissons.
- C'est un prédateur qui consomme de petites quantités probablement souvent et qui se nourrit principalement dans la couche de surface (0-200 m, 30% de l'alimentation) mais aussi dans les couches plus profondes jusqu'à 500 m.
- A la taille de 85cm au moment du ralentissement de la croissance et de l'acquisition de la maturité sexuelle, l'alimentation semble changer avec une diminution des quantités et la consommation de proies différentes.
- Des variations de régime alimentaire sont également observées en fonction de la saison et des zones, cependant un échantillonnage peu représentatif, des difficultés d'identification des proies et le manque de connaissance sur ces proies limitent les conclusions.

## LE COMPORTEMENT DU THON BLANC (FICHE 3).

Afin de pallier notre manque de données sur les mouvements des germons, nous avons monté un projet dont l'objectif était d'équiper un nombre total de 30 germons permettant de quantifier les caractéristiques des déplacements horizontaux et verticaux du germon. Ces marques ont été posées sur des germons capturés en Nouvelle-Calédonie, en Nouvelle-Zélande et aux Tonga.

- Nous n'avons pu déterminer le schéma migratoire des animaux marqués mais nous avons acquis des données uniques sur leur comportement vertical et leur habitat préférentiel de profondeur/température.
- La mortalité de la quasi-totalité des poissons avant le largage de la marque semble indiquer que la marque ou son implantation est en grande partie responsable de la mort des germons.
- Le germon peut circuler dans une zone de 300 à 400 km<sup>2</sup> sur une période allant de deux jours à plusieurs semaines, et il est également capable de parcourir de vastes distances (>1 000 km) au-delà des limites des ZEE en plusieurs semaines.
- Les poissons s'aventurent rarement dans des eaux d'une température inférieure à 14°C ce qui limite leur déplacement en profondeur
- En Nouvelle-Calédonie, la profondeur optimale est située entre 100m (la nuit) et 200m (de jour) et dans un habitat où les températures sont supérieures à 20°C (en profondeur) et inférieures à 26°C quand ils sont en surface.

## LA VARIABILITE DES CPUE DU THON BLANC EN RELATION AVEC EL NINO/LA NINA (FICHE 4).

Le manque de données homogènes sur les CPUE du thon germon, ses capacités migratoires ainsi que son large spectre d'habitats rendent la mesure de l'impact d'ENSO sur le thon blanc à priori plus difficile à déceler que pour les espèces tropicales comme le skipjack (bonite à ventre rayée) et c'est probablement pourquoi il n'existait pas jusqu'à présent d'étude compréhensive sur le sujet dans le Pacifique Sud. Nous présentons ici les résultats de nos analyses sur l'impact de la variabilité d'ENSO sur les CPUE dans le Pacifique Sud. Les analyses montrent que l'influence d'ENSO sur la dynamique du thon blanc est plus complexe qu'on ne le pensait jusqu'alors.

- Nous avons rassemblé un jeu de données de CPUE spécifique au thon blanc sur la période 1970-2007, jeu de données qui n'existait pas et qui permet d'examiner l'influence du climat avec confiance.
- Durant El Niño, nous avons démontré que la CPUE augmente dans l'ouest du Pacifique, incluant la ZEE calédonienne et diminue durant La Niña de manière significative alors que c'est l'inverse à l'est de la ligne de changement de date. Cet effet est probablement dû à la modification de la capturabilité des thons blancs avec un habitat qui se resserre vers la surface durant El Niño et qui s'approfondit durant La Niña dans le Pacifique ouest (et vice versa dans le Pacifique central-est, à l'est de la ligne de changement de date).

Ces informations nous permettent d'évaluer la capacité des modèles à reproduire la réalité. Les simulations effectuées au cours de ce projet sont explicitées dans ce qui suit.

## **LE MODELE DE PROIES DES THONS ET DE DYNAMIQUE DES THONS : SEAPODYM (FICHES 5 à 8)**

SEAPODYM (Spatial Ecosystem and Population Dynamics Model) est un modèle de dynamique des populations qui a été développé pour améliorer les connaissances biologiques et écologiques des thons et évaluer la réponse de ces espèces aux forçages environnementaux. Il est potentiellement un outil permettant de mieux comprendre la variabilité du stock aux échelles régionales et sa modification dans le futur.

### **Inter-comparaison des simulations de dynamique des populations du thon germon SEAPODYM-NCEP et SEAPODYM-SODA**

Deux nouvelles simulations de dynamique des populations du thon germon, SEAPODYM-NCEP et SEAPODYM-SODA, ont été récemment réalisées à échelle du Pacifique Sud pour mieux comprendre la dynamique de population du thon germon et de leurs proies. Une comparaison entre ces deux simulations est effectuée. L'avantage de NCEP est que le forçage environnemental couvre une longue période (1970-2003) mais est de moins bonne qualité que le forçage SODA qui lui ne couvre que 1998-2007

- Les simulations S-SODA et S-NCEP sont très différentes du point de vue de l'hydrodynamique, de la production primaire et de la distribution des proies.
- La simulation S-SODA semble bien meilleure pour la production primaire et les proies mais est de bien plus courte durée.
- Par contre, en ce qui concerne la biomasse des thons blancs simulée, la structure de la distribution saisonnière est similaire entre les deux simulations. En été austral les adultes se situent dans la zone sub-tropicale (10°S – 30°S) au centre et à l'ouest du bassin tandis qu'en hiver les thons se concentrent au nord de la Nouvelle-Zélande (30°S-35°S).
- La saisonnalité de la biomasse des thons simulée en Nouvelle-Calédonie répond directement aux migrations saisonnières à grande échelle imposées dans le modèle. Cependant la résolution du modèle ne permet pas de détecter de migration qui serait liée aux variations locales de l'habitat d'alimentation. Or cette migration saisonnière reste mal observée par absence de données de marquage

#### Variabilité saisonnière dans la ZEE de Nouvelle-Calédonie. Simulation SEAPODYM-SODA 1997-2007

Nous explorons les variations spécifiques dans la ZEE calédonienne en utilisant la meilleure simulation, SODA qui ne couvre que 1997-2007.

- En moyenne, la production primaire observée est maximale au sud de la zone et minimale au nord où les eaux sont plus chaudes. Elle est maximale en août et minimale en janvier
- Les productions maximales de phytoplancton et de proies simulées sont décalées de 3-5 mois dans le temps. Ce qui correspond, dans le modèle à une estimation du développement des proies qui reste mal connue dans la réalité pour cet ensemble de proies hétérogènes.
- En moyenne, la biomasse de proies simulée présente la même structure nord-sud que le phytoplancton : minimale au nord et maximale au sud. Le modèle de proies montre aussi un contraste est-ouest avec des valeurs plus élevées à l'ouest de la Grande Terre. Ces simulations sont conformes aux observations des campagnes Nectalis1 et 2.

- Par contre, la biomasse de thons simulée présente une distribution spatiale par saison qui n'est pas bien corrélée à l'habitat d'alimentation.
- Les CPUE observées présentent deux maxima saisonniers, l'un en août et l'autre en décembre et deux minima en mars et en octobre mais la biomasse de thons simulée ne possède pas cette même structure à deux pics, elle présente un maximum en décembre et un minimum en août.
- La procédure d'ajustement du modèle aux observations pose des problèmes localement ce qui explique une partie des différences entre modèle et observation.

### Variabilité interannuelle dans la ZEE de Nouvelle-Calédonie. Simulation SEAPODYM-SODA 1997-2007

Nous analysons l'effet des phénomènes El Niño et La Niña sur l'environnement du thon blanc selon les sorties du modèle S-SODA (1997-2007). L'objet principal de cette section est de présenter le contexte El Niño/La Niña et d'étudier la variabilité interannuelle de la température, de la production primaire, de la biomasse de proies et de la densité de thons germes.

- Durant El Niño on observe une structure asymétrique avec un refroidissement à l'ouest (5S-20S et 150E-180E) et un réchauffement au centre (5°S-20°S et 160°W-130°W) des températures de surface
- La production primaire durant El Niño est inversement corrélée à la température de surface : plus la température est élevée, moins la production primaire est élevée.
- Dans la zone calédonienne, l'effet d'ENSO sur la production primaire et les proies n'est pas symétrique, à savoir :
  - La production primaire est globalement neutre durant La Niña mais est significativement augmentée durant El Niño.
  - La région Nouvelle-Calédonie se caractérise par une diminution moyenne de la biomasse des proies durant les événements La Niña et des conditions globalement neutres durant El Niño.
- Les situations simulées ne reflètent pas les observations exposées dans l'analyse plus globale du Pacifique sud (fiche 4) avec des variations opposées de la CPUE pendant El Niño/La Niña et entre les zones ouest et est.

- Que ce soit durant El Niño ou La Niña, les simulations indiquent que les thons se situent préférentiellement dans les régions où les anomalies de température sont positives et dans les zones frontières (où le front thermique est important). Ainsi, dans le modèle, durant El Niño les thons adultes se situent préférentiellement dans la région subtropicale au nord de 24°S et durant La Niña les thons se distribuent plutôt dans les régions tempérées, au sud de 15°S, et à l'extrême ouest du bassin.

### Analyses et tendances des stocks régionaux avec SEAPODYM

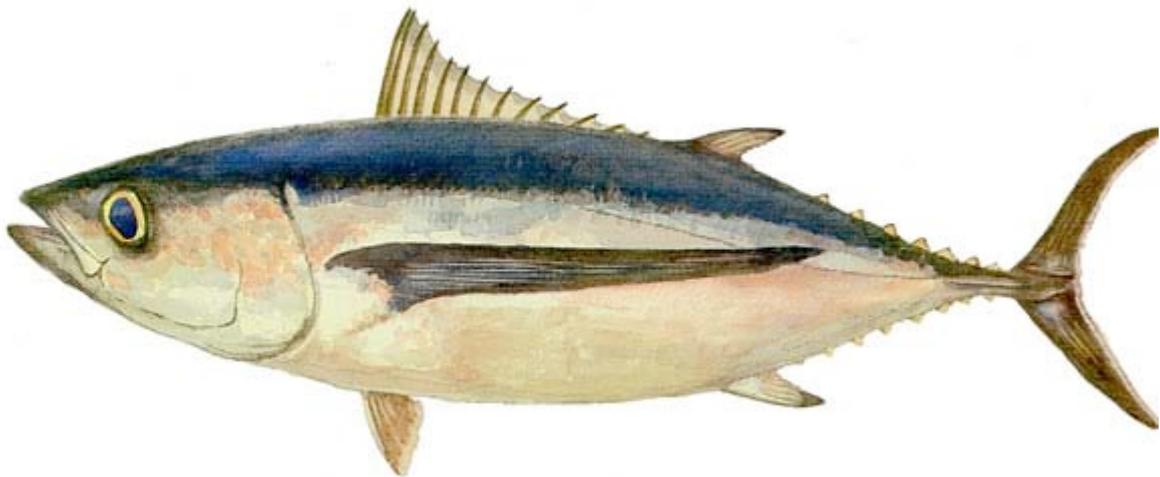
Dans cette partie, nous utilisons le potentiel de SEAPODYM à spatialiser l'estimation des stocks. Nous avons utilisé les simulations S-NCEP pour déterminer les tendances régionales des stocks et du recrutement. Nous avons vu que la simulation NCEP n'était sans doute pas la meilleure mais c'est la seule qui couvre une période suffisante pour tirer des conclusions sur de telles tendances.

- Les tendances et les niveaux de stocks simulés dans SEAPODYM sont cohérents avec ceux estimés dans MULTIFAN-CL à l'échelle du Pacifique Sud : la tendance est à la décroissance forte du stock sur les 20 dernières années, à savoir, une diminution de l'ordre de 40% en 20 ans.
- Une des avancées qui justifie, en particulier, l'utilisation de SEAPODYM est l'estimation régionale des stocks en l'absence d'un modèle régional de type MULTIFAN-CL. La biomasse de thon blanc représenterait environ 2,5% de la biomasse totale du Pacifique Sud. De même que pour La région entière, le stock dans la ZEE baisse au même taux, 40% en 20 ans depuis les années 1980.
- En projection sur le futur, le stock continuerait de baisser sur les 20 prochaines années dans le Pacifique Sud Ouest et dans la ZEE calédonienne. Il faut évidemment prendre ces résultats avec les précautions qui s'imposent car la simulation NCEP n'est pas la meilleure d'une part et, d'autre part, tous les champs d'environnement ont été gardé constants pour les projections, on ne tient donc pas compte de la variabilité environnementale.

---

## FICHE 1 : LES CAMPAGNES NECTALIS: ETUDE DU MICRONECTON

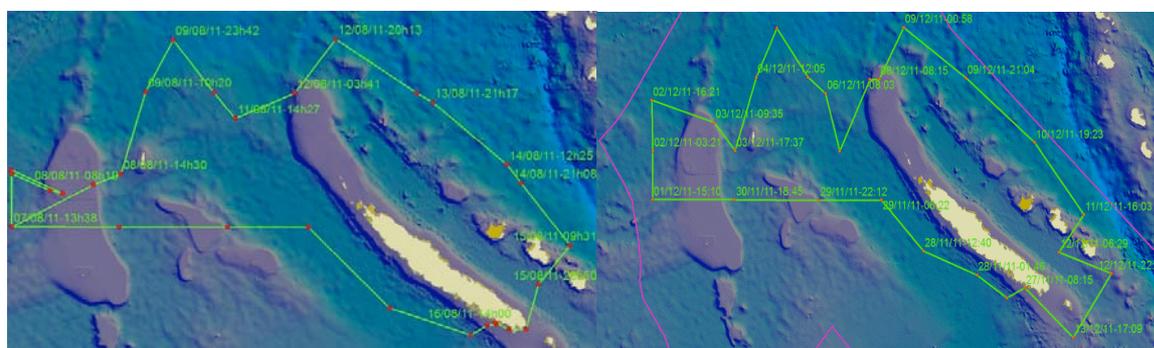
---



<b>Les objectifs principaux des campagnes et les méthodes d'observation.....</b>	<b>15</b>
<b>Résultats principaux.....</b>	<b>18</b>
<b>Situation générale des deux campagnes.....</b>	<b>18</b>
<b>Structure verticale .....</b>	<b>19</b>
<b>Acoustique du zooplancton.....</b>	<b>21</b>
<b>Acoustique du micronecton .....</b>	<b>23</b>
Comparaison entre les sondeurs ER60 et l'ADCP.....	23
Utilisation de l'ADCP en vue de valider SEAPODYM.....	26
<b>Conclusions sur les campagnes Nectalis 1 et 2 .....</b>	<b>28</b>
<b>Perspectives en terme d'observations avec le navire océanographique ALIS.....</b>	<b>29</b>

## *Les objectifs principaux des campagnes et les méthodes d'observation*

En complément du programme ZONECO, un projet national LEFE-CYBER a financé (50 k€ de matériel + 300 k€ de bateau) deux campagnes à la mer Nectalis 1 et 2 sur le navire océanographique de l'IRD, le N/O Alis. NECTALIS est une série de campagnes à la mer menées conjointement par la CPS et l'IRD dont le but est d'étudier, à travers des mesures à la mer, les niveaux trophiques intermédiaires de l'écosystème pélagique (de haute mer), c'est à dire le zooplancton et le micronecton (petits poissons, crevettes et calamars) qui constituent la nourriture des thons (figure 1).

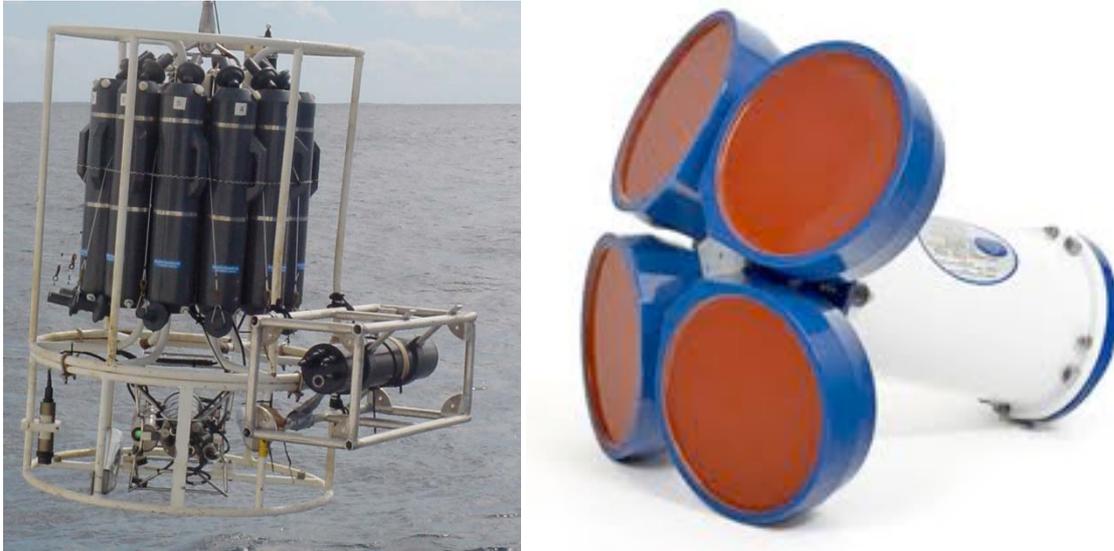


*Figure 1 : Les deux campagnes Nectalis (1, à droite, du 29/07/2011 au 16/08/2011 et 2, à gauche, du 26/11/2011 au 14/12/2011) aux pics des deux saisons de pêche les plus importantes.*

Pour décrire les caractéristiques physiques et chimiques du milieu, ainsi que la production primaire de phytoplancton, nous avons mesuré la température, la salinité, l'oxygène, la fluorescence, la lumière, les courants, les éléments nutritifs (nitrates, phosphates...) les pigments de photosynthèse, la quantité de phytoplancton, la production primaire et la composition du phytoplancton. Les échelons secondaires (zooplancton et micronecton) sont mesurés par acoustique (TAPS, S-ADCP, L-ADCP, SIMRAD) et par échantillonnage avec des filets à zooplancton et à micronecton.

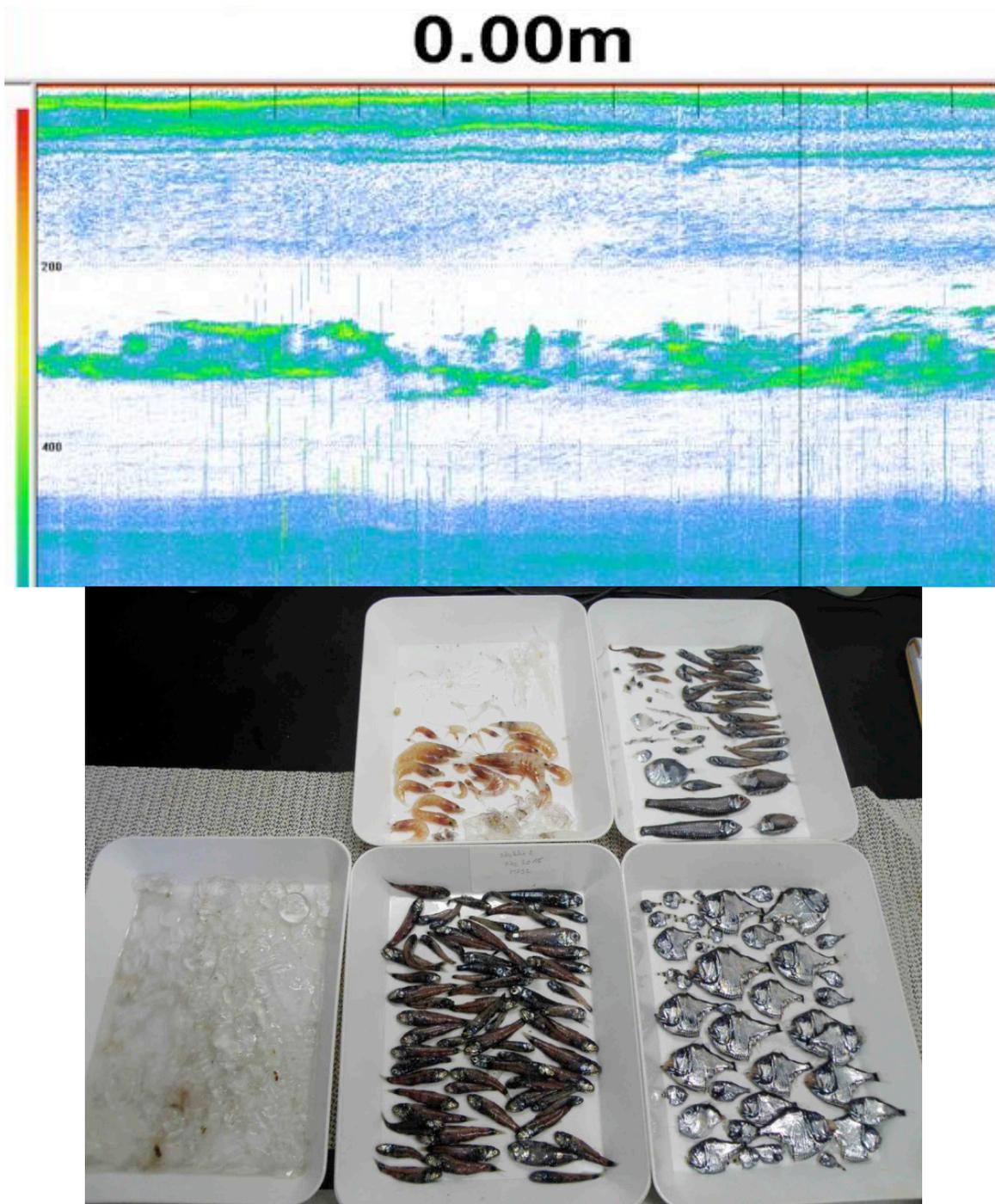
Un effort particulier a été développé pour comprendre l'apport des engins acoustiques embarqués. Citons, notamment les sondeurs scientifiques de pêche à 4 fréquences (38kHz, 70kHz, 120kHz et 200kHz) SIMRAD-EK60 (Figure 3), l'ADCP à 150kHz de coque (Figure 2) qui mesure les courants océaniques sur 200m et qui

peuvent aussi servir à approximer la biomasse de micronecton (voir suite), le sondeur multifréquence TAPS (Figure 2) dédié à l'étude du zooplancton. Les mesures par ces engins ont été complétées par les échantillonnages *in situ* de la biomasse et des espèces de zooplancton et de micronecton par filets (Figure 3).



*Figure 2 : Gauche : rosette de prélèvements d'eau par bouteilles sur 12 profondeurs, avec sur la droite du cadre, le TAPS. Droite : le S-ADCP à poste sous la coque du bateau.*

Sur la figure 3 qui représente la colonne d'eau jusqu'à 700m vue par la fréquence 38 kHz qui voit le plus profond, on voit les organismes structurés en couches homogènes et bien définies à diverses profondeurs. Ces différentes couches sont majoritairement associées à des espèces particulières que nous identifions grâce aux coups de chalut à micronecton (figure 3).



*Figure 3 : Haut : une copie d'écran des observations par le SIMRAD EK60 embarqué sur le navire océanographique ALIS ; Bas : micronecton provenant d'un chalutage pélagique montrant poisson hachette, organismes gélatineux, crevettes, myctophidés etc.*

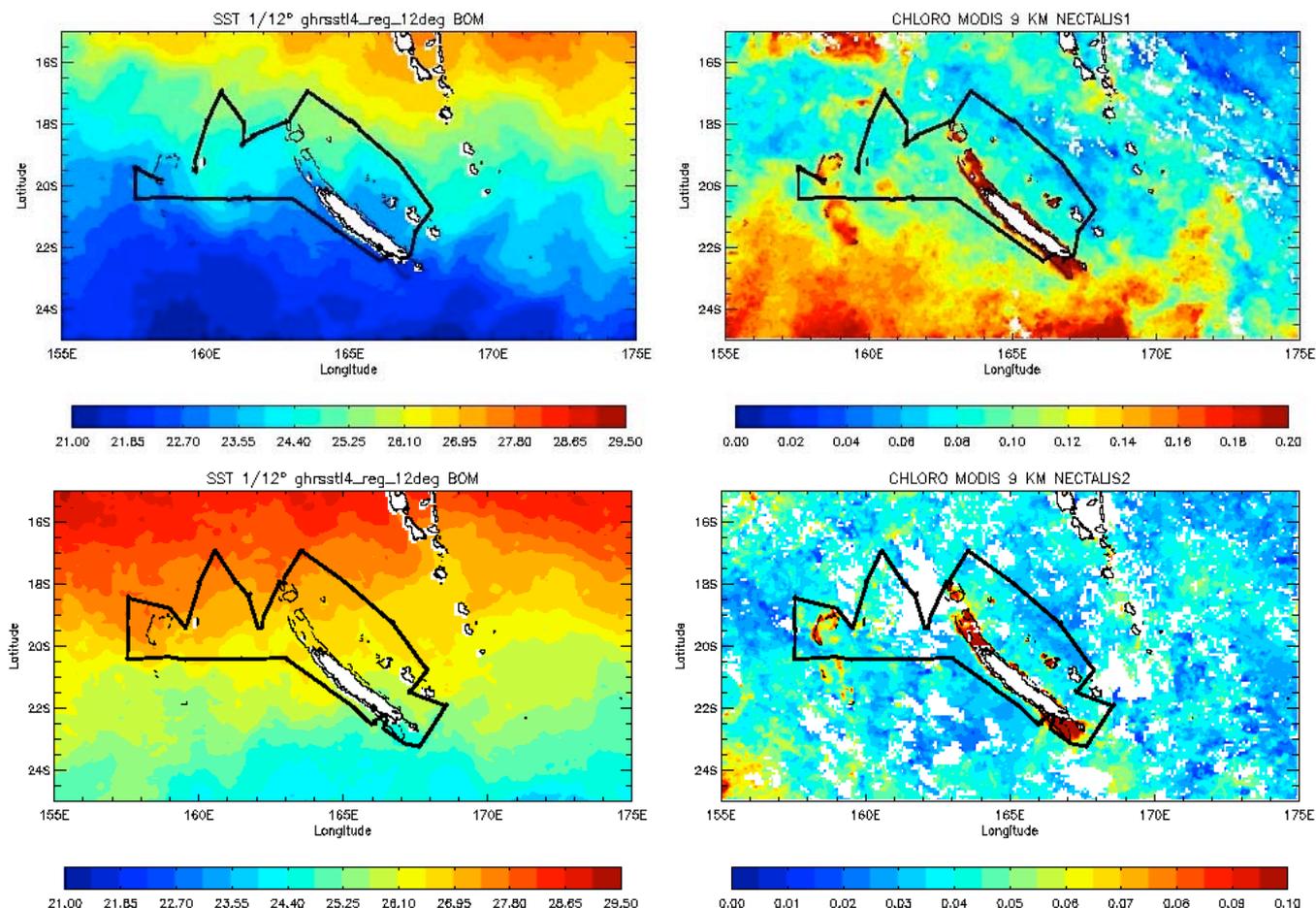
La composition des espèces durant les campagnes Nectalis est en cours de traitement mais ces espèces sont typiquement retrouvées dans les estomacs de thons blancs (voir fiche 2 sur l'alimentation des thons).

Un des buts de l'analyse des campagnes à la mer est d'être capable « d'inverser » le signal acoustique (Figure 3) pour estimer une biomasse par type d'espèce sur la colonne d'eau. Un deuxième objectif important que nous nous étions fixé concernait la comparaison entre le signal acoustique issu de l'ADCP de coque (Figure 2) et celui du sondeur (Figure 3). Notons à nouveau qu'avec les limitations de l'ADCP de coque, nous n'avons pu effectuer cette comparaison que jusqu'à 200m mais un nouvel ADCP 75kHz sera installé sur l'ALIS et qui permettra de descendre à plus de 700m.

## ***Résultats principaux.***

### **Situation générale des deux campagnes**

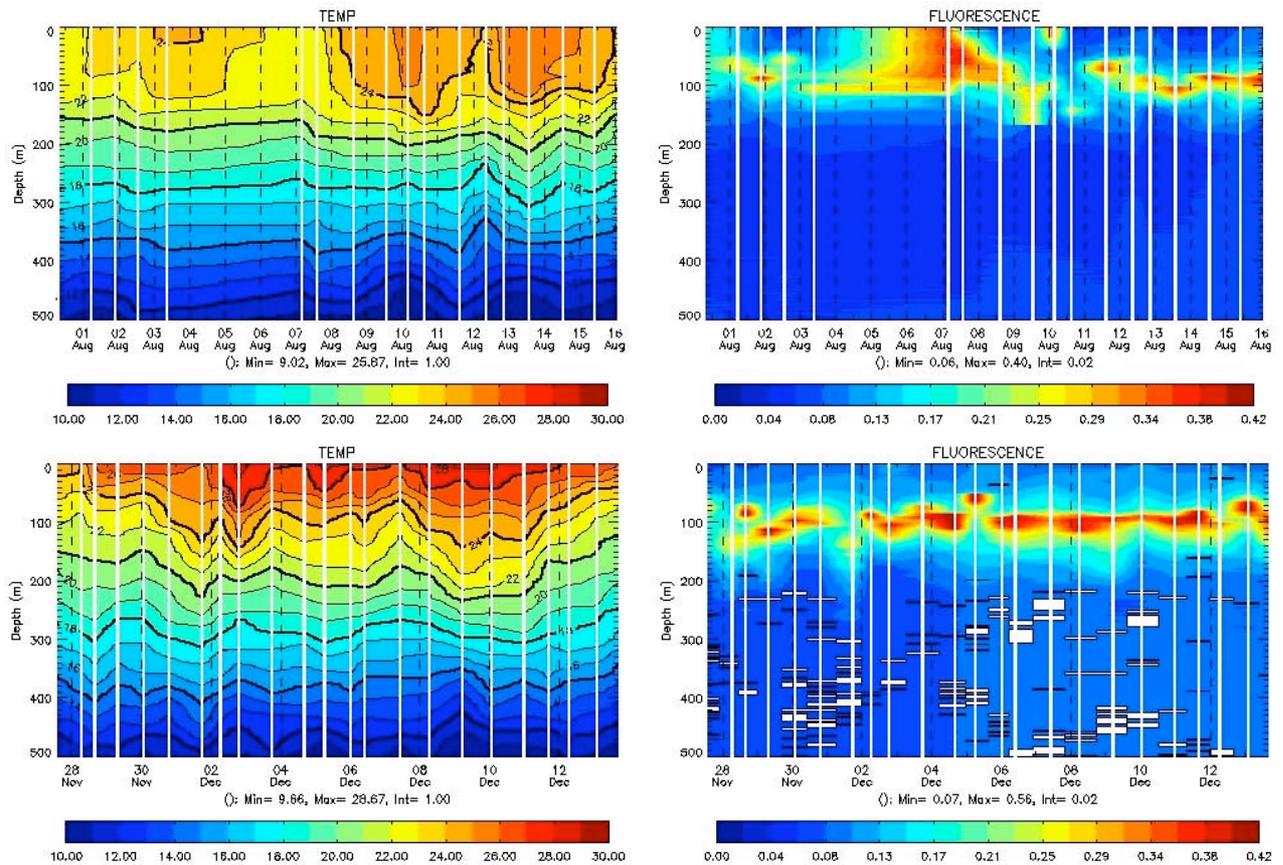
La figure 4 illustre les deux saisons de Nectalis 1 et 2. Durant Nectalis1, en hiver, le front subtropical remonte du sud avec des eaux inférieures à 22°C et des eaux à plus de 26°C vers le nord. La chlorophylle calque ces températures, avec, dans les eaux froides, des eaux plus riches en terme de chlorophylle ( $> 0.2 \text{ mg Chl/m}^3$ ) et des eaux plus pauvres au nord. En été, durant Nectalis2, les eaux sont en moyenne plus chaudes de 3°C partout mais l'ensemble de la zone est globalement plus pauvre (voir aussi chapitre sur la variabilité saisonnière du thon blanc). En été, la carte de la chlorophylle de surface ne reflète pas celle de la température contrairement à ce que l'on voit en hiver. Cette situation de surface traduit une différence de structure verticale comme illustrée en Figure 5.



**Figure 4 :** en haut NECTALIS1 pendant l'hiver austral (gauche température de surface moyenne à 9km vue par satellite et à droite, chlorophylle de surface satellite). En bas, NECTALIS2 pendant l'été austral.

## Structure verticale

En hiver, la thermocline (zone de gradient de température maximum dans la colonne d'eau) est plus faible et la couche « mélangée » (où la température est globalement constante sur la verticale) plus profonde qu'en été (Figure 5). Ceci traduit une dynamique plus vigoureuse et des éléments nutritifs qui peuvent remonter plus près de la surface alimentant la croissance des plantes en surface en hiver. En effet, on voit que la chlorophylle maximale se situe entre 0 et 100m en moyenne en hiver. En été par contre, la thermocline est plus proche de la surface mais aussi plus marquée et les nutritifs sont moins aptes à remonter des profondeurs. Ceci contraint le phytoplancton à pousser entre 75 et 150 mètres alors que la surface est presque toujours dépourvue de phytoplancton comme illustré aussi en Figure 4.



**Figure 5 : en haut NECTALIS1 en hiver (gauche température sur 500m de profondeur, droite : chlorophylle sur 500m de profondeur). En bas, NECTALIS2 en été pour ces mêmes variables. Les données sont issues de la sonde CTD. Ces coupes verticales sont effectuées le long du trajet de la campagne (Figure 1).**

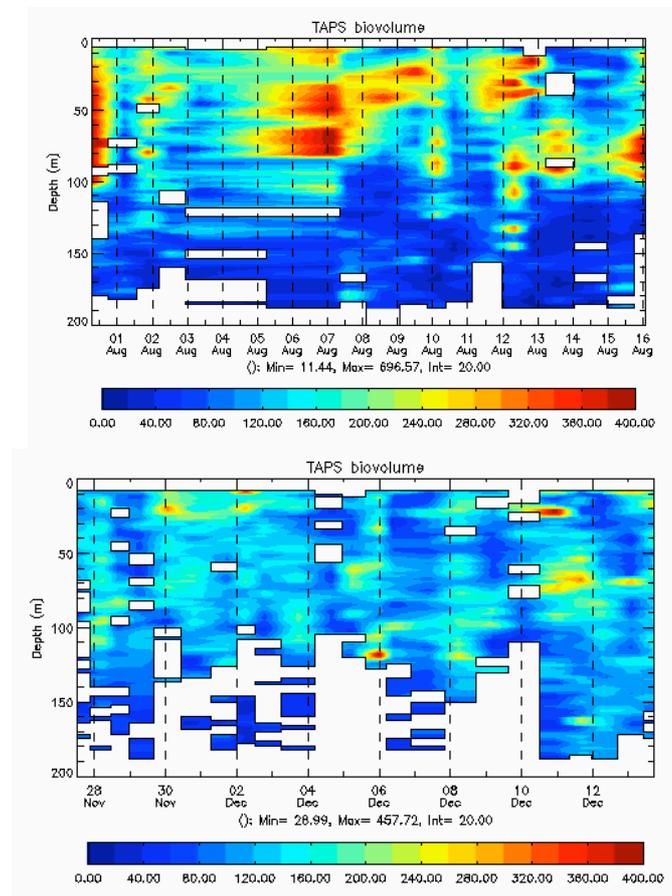
Ces figures illustrent déjà la complexité du système. En effet, s'il est vrai qu'en hiver la chlorophylle de surface et ses fronts sont intimement couplés aux variations de fronts de température, en été, par contre, la chlorophylle de surface ne rend pas compte de l'organisation de la chlorophylle sur la colonne. Ainsi, en été contrairement à l'hiver, il est peu probable que l'utilisation de données satellites de couleur de l'eau puisse rendre compte de la position des fronts et de la biomasse dans la colonne.

On peut rapprocher ces structures des données de marquage des thons (voir fiche 3 sur le comportement des thons). En Nouvelle Calédonie les thons ont été marqués en hiver, comme pour Nectalis1, et ont été observés entre 19° et 26°C (moyenne 23.8°C). Les données de marquage et de température des capteurs sont compatibles avec la situation d'hiver où cet habitat de température se situe entre 250m

et la surface. Basé sur ces quelques données, les thons durant l'hiver se situent dans la partie haute de la colonne d'eau (> 300m) en moyenne. Si on extrapole l'habitat à l'été, on s'aperçoit que cet habitat de température ne varie pas beaucoup sur la verticale, sous la couche homogène. Ainsi, par extrapolation, il est probable que les thonidés en été aussi se situent principalement au dessus de 300m.

## Acoustique du zooplancton

En La structure verticale du zooplancton vue par l'acoustique multifréquence TAPS (5 fréquences) sur les 200 premiers mètres est complexe et illustrée en Figure 6.



**Figure 6 : à gauche NECTALIS1 en hiver : biovolume de « zooplancton » vu par l'engin acoustique TAPS. A droite, NECTALIS2 en été.**

D'après les premières analyses, nous voyons donc que la situation d'hiver de Nectalis1 serait plus « riche » en zooplancton que la situation d'été, durant nectalis2, ce

qui est conforme aux cartes précédentes de chlorophylle. Par contre, la relation entre le phytoplancton (Figure 5) et le zooplancton (Figure 6) est complexe et il n'y a pas d'association claire entre les structures les plus riches en phytoplancton et les structures les plus riches en zooplancton sur la verticale, surtout en été quand le zooplancton est réparti de manière diffuse sur la colonne. Notons enfin que nous avons échantillonné le zooplancton directement par filet et ces mesures sont en cours d'analyse. Alors, nous serons en mesure de comprendre si l'échantillonnage direct du zooplancton est conforme à l'estimation par acoustique.

Une mesure indirecte de la biomasse des organismes micronectoniques et zooplanctoniques est donnée par l'instrument habituellement dédié aux courants, l'ADCP. Un des objectifs du projet ZONECO et du projet LEFE-CYBER était d'être capable de montrer l'utilité dans un cadre biologique de cette mesure courante en océanographie physique. En effet, si les mesures acoustiques par le TAPS et l'EK60 sont généralement peu fréquentes et effectuées durant des missions spécifiques, les mesures d'ADCP sont maintenant routinières durant toutes les missions océanographiques et des bases de données mondiales et conséquentes commencent à être disponibles. Par exemple, dans la ZEE calédonienne, l'accumulation des campagnes océanographiques sur les dernières années (1999-2012) permet maintenant d'obtenir une bonne couverture spatiale (Figure 7).

On voit que l'immense majorité des campagnes a échantillonné la zone située entre le Vanuatu et la Grande Terre. Cependant, malgré ces disparités spatiales, cette base de données est unique et on s'attache dans la suite de ce rapport à exposer la cohérence entre les données ADCP et les données de micronecton évaluée à partir du sondeur dédié EK60 durant les campagnes Nectalis.

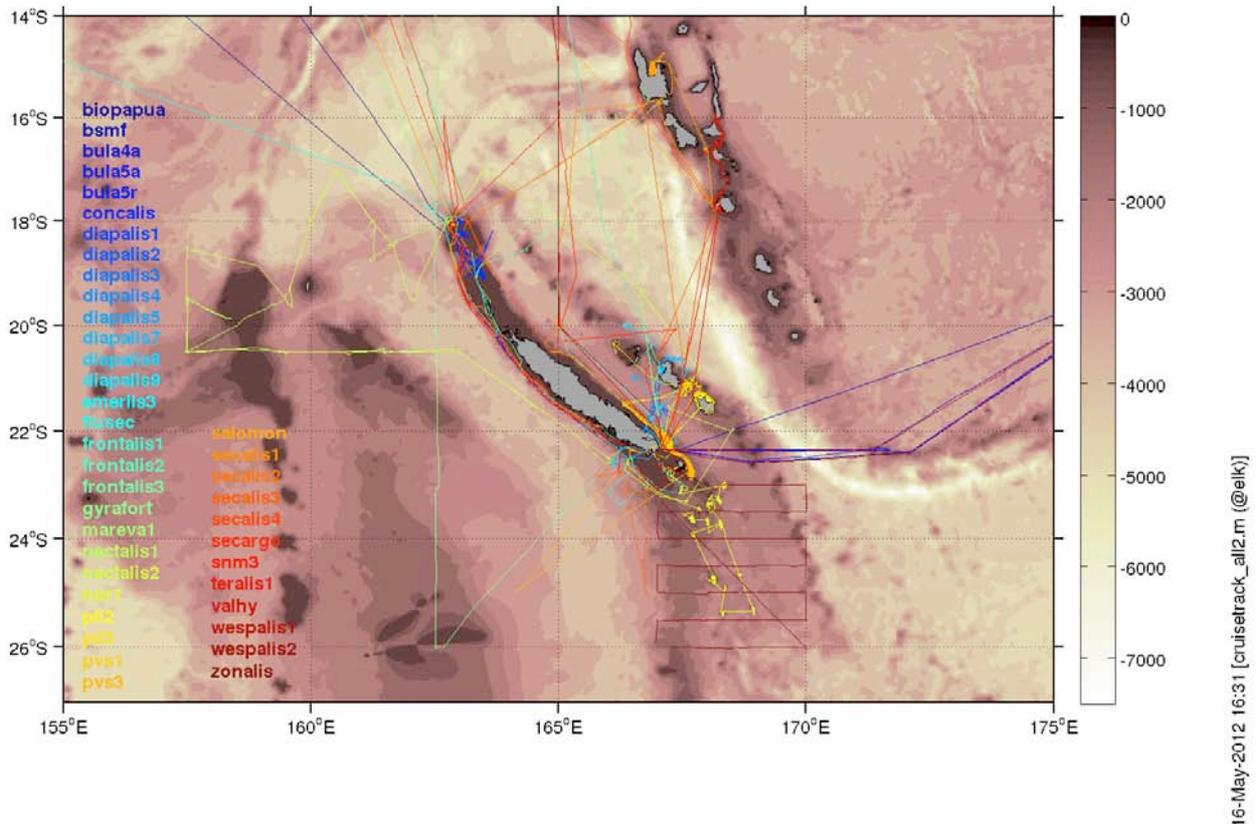


Figure 7 : tracés des campagnes océanographiques des années 1999-2012.

## Acoustique du micronecton

### Comparaison entre les sondeurs ER60 et l'ADCP

A partir de l'écho réfléchi de l'ADCP, on peut, comme pour le sondeur SIMRAD ou le TAPS, calculer un biovolume (Sv). Ceux-ci sont présentés pour Nectalis 1 et 2 sur la figure 8.

La portée de l'instrument (150m de profondeur) ne permet pas de voir les mouvements verticaux journaliers des espèces migrantes mais on constate quand même un cycle jour/nuit marqué par une augmentation du Sv la nuit et une diminution de jour, cohérent avec la migration verticale des organismes. Si on examine une coupe identique sur les sondeurs acoustiques EK60, nous obtenons la Figure 9.

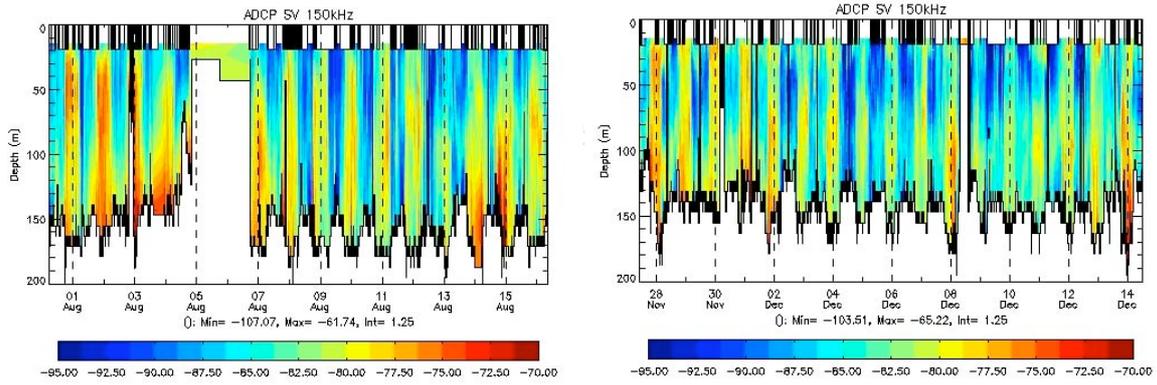


Figure 8 : Biovolume (Sv) de l'ADCP de Nectalis1 (gauche) et nectalis2 (droite) le long du trajet des campagnes.

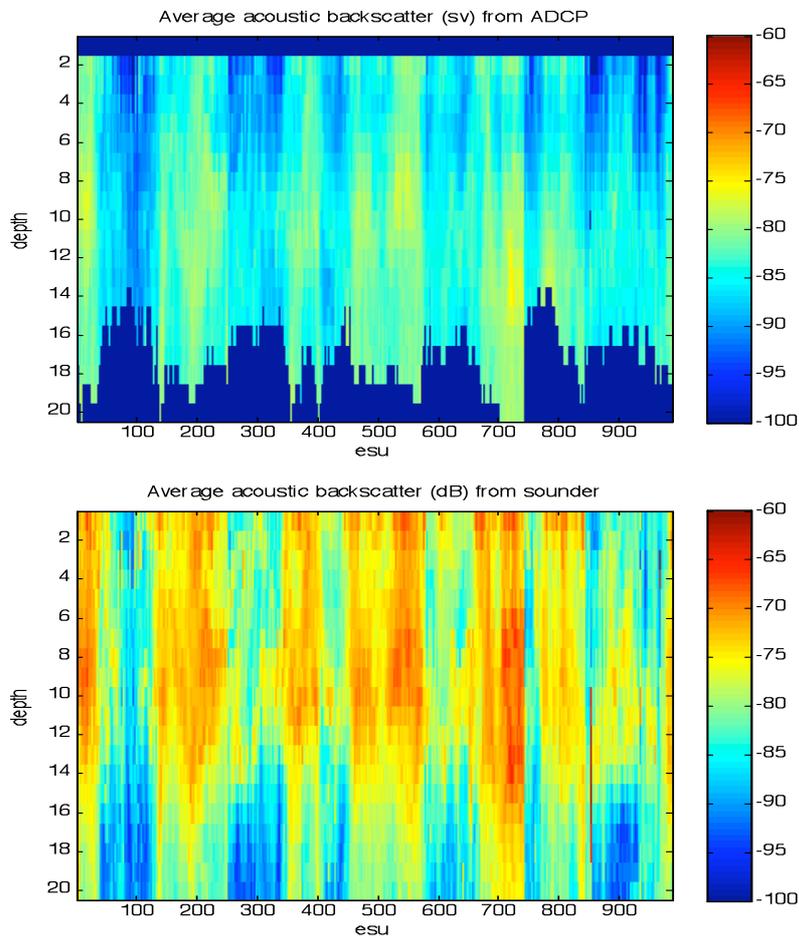
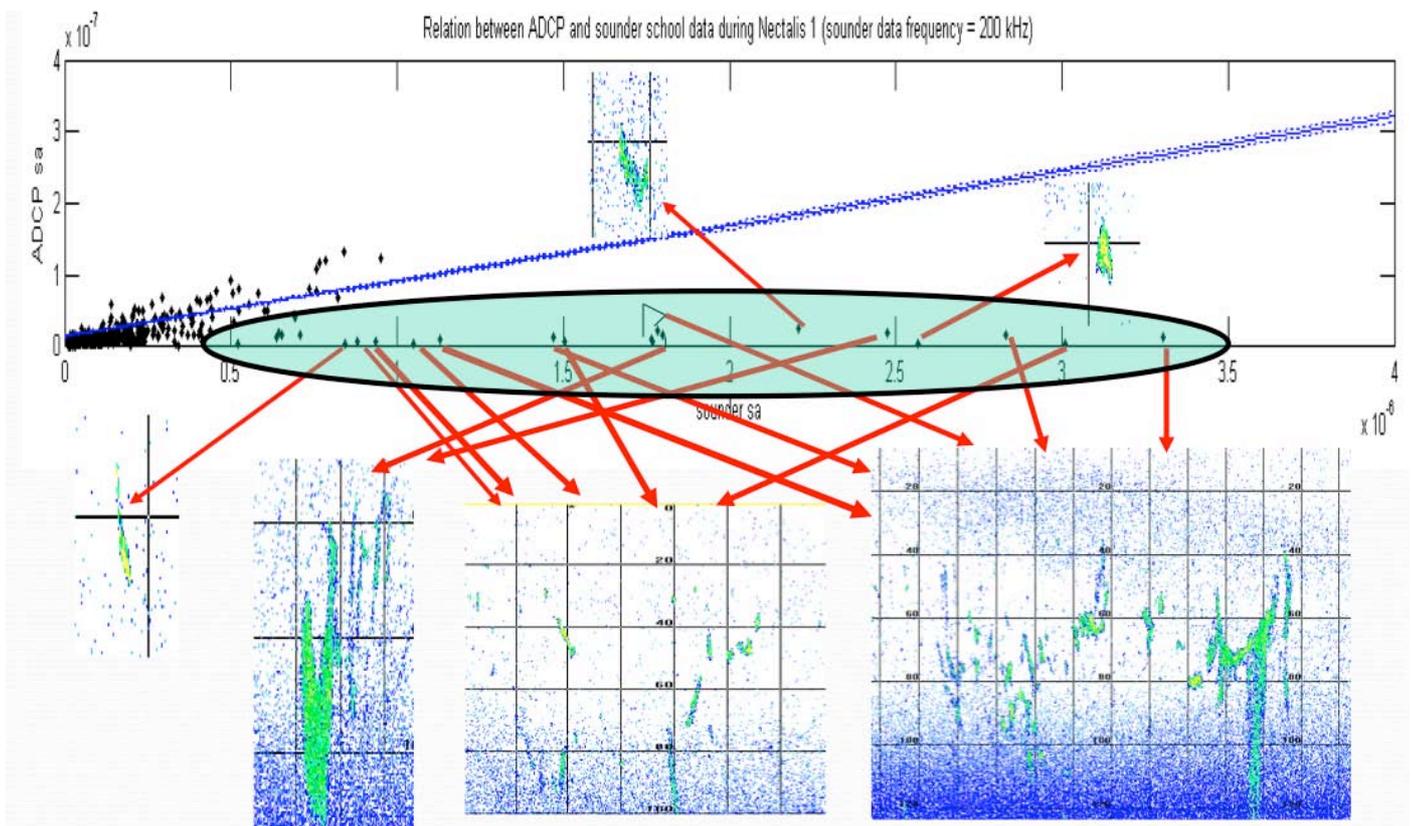


Figure 9 : Haut : coupe verticale sur 200m (échelle verticale à multiplier par 10) sur quelques jours (288 esu correspondent à 24 heures) du Sv de l'ADCP de Nectalis 2 (extrait de la figure 8). Bas : coupe verticale sur 200m (échelle verticale à multiplier par 10) sur quelques jours du Sv de l'échosondeur EK60 de Nectalis 2 aux mêmes dates.

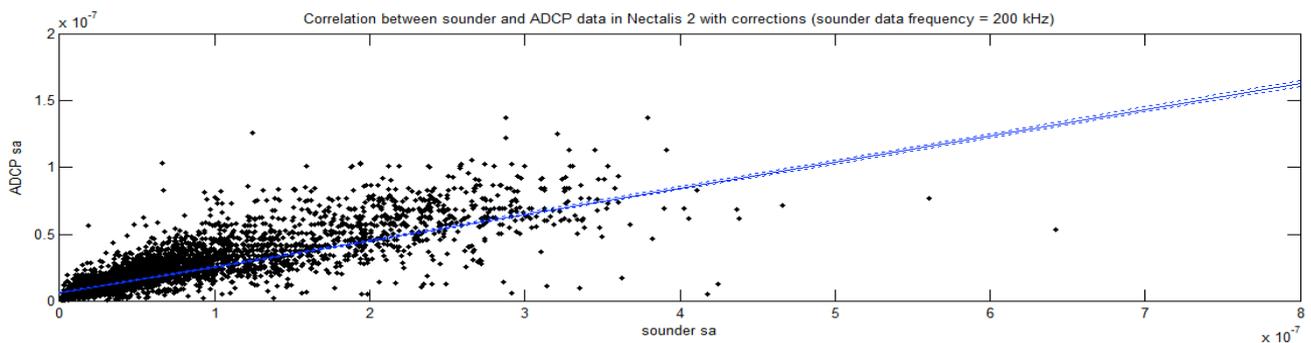
La comparaison entre ADCP et l'instrument acoustique dédié à la mesure des organismes (EK60, Figure 9) met en évidence une différence d'amplitude absolue entre les deux instruments. L'EK60 est calibré précisément et les valeurs absolues qu'il indique sont directement en rapport avec les biovolumes observés. Par contraste, l'ADCP n'est pas calibré a priori et le recalcul du Sv par l'ADCP pose un certain nombre de problèmes notamment lié à cette absence de calibration. Ainsi, il n'est pas possible dans l'immédiat de comparer les valeurs absolues des deux instruments.

Par contre, nous voyons que les variations temporelles et sur la verticale sont cohérentes entre l'ADCP et l'EK60. Pour illustrer précisément cet aspect fondamental de notre projet, nous avons tracé en Figure 10 le diagramme de tous les points de l'EK60 sur les 150 premiers mètres et ceux de l'ADCP durant Nectalis1 (Nectalis2 est en cours de traitement à la date de rédaction de ce rapport).



**Figure 10 : Comparaison brute entre l'ADCP et l'EK60 sur le panneau du haut. La corrélation entre les deux instruments est de 0.33. Certains points sortent du lot et sont indiqués par des flèches sur le diagramme. Ces points, entourés par l'ellipse verte sont associés à des images du sondeur EK60 montrant des structures acoustiques particulières de bancs.**

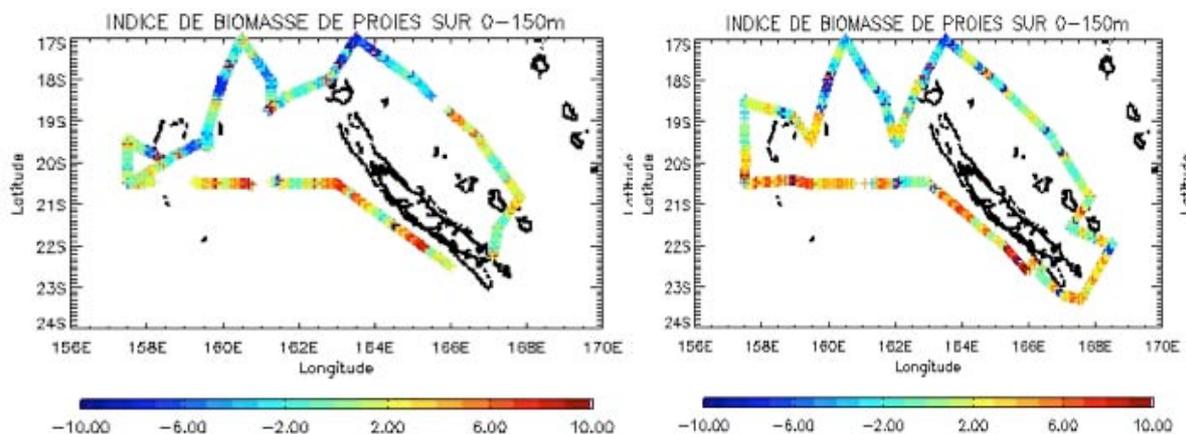
La relation brute entre l'ADCP et l'EK60 est relativement mauvaise sur l'ensemble de Nectalis1 (une corrélation de 0.33). Mais on s'aperçoit que la relation est surtout mauvaise du fait de points faisant état d'un écosystème micronectonique organisé en bancs. Durant ces épisodes, l'ADCP est incapable de « voir » le signal alors qu'il est naturellement détecté par l'EK60. C'est durant ces organisations que la biomasse est la plus élevée ponctuellement. Si on ne considère maintenant que les structures diffuses, en excluant ces points particuliers de « bancs », alors la relation entre l'ADCP et l'EK60 devient excellente avec une corrélation de 0.88 (Figure 11).



**Figure 11 : Comparaison entre l'ADCP et l'EK60 comme sur la Figure 9 mais en excluant les structures en bancs. La corrélation entre les deux instruments est alors de 0.88.**

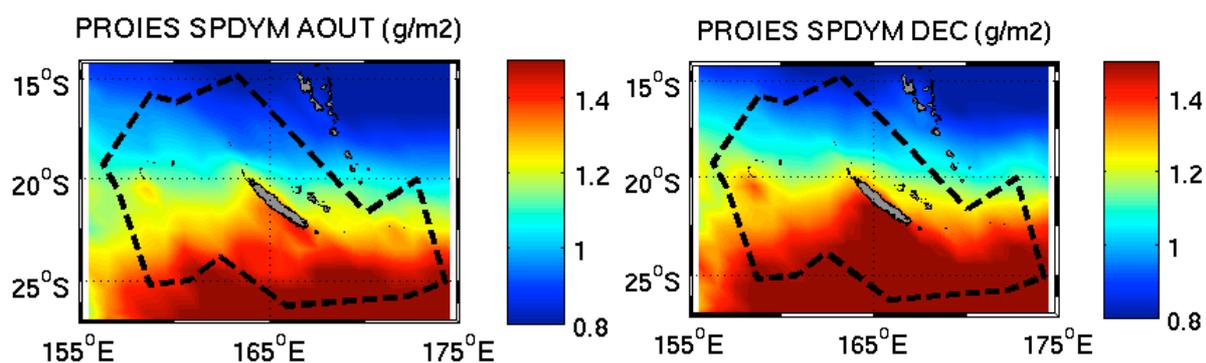
### Utilisation de l'ADCP en vue de valider SEAPODYM

Nous avons montré qu'il était possible d'utiliser l'ADCP embarqué comme un indice de biomasse micronectonique. La figure 12 montre maintenant la distribution spatiale des mesures de l'ADCP sur les 150 premiers mètres durant l'hiver austral 2011 (Nectalis1) et l'été 2011-12 (Nectalis2). Nous voyons qu'il n'est pas possible sur la base de ces quelques données de décider quelle situation d'été ou d'hiver est la plus riche. Par contre, il apparaît clairement qu'il existe un contraste nord-sud où la biomasse micronectonique est plus forte dans les eaux « froides » du sud et moins forte dans les eaux chaudes du nord. En plus de ce contraste nord-sud, un contraste est-ouest semble apparaître avec des eaux plus riches en proies des thons à l'ouest de la Grande Terre qu'à l'est de la Grande Terre. On peut comparer cette situation à une situation climatologique type simulée par le modèle de proies de SEAPODYM (Figure 13):



*Figure 12 : moyenne de l'ADCP sur 0-150 mètres durant NECTALIS1 en hiver (gauche) et Nectalis 2 en été (droite). Le rouge indique plus de biomasse.*

La figure 13 montre les mêmes contrastes que la Figure 12, à savoir, une biomasse de proies très supérieure au sud de 20°S mais aussi une biomasse de proie supérieure à l'ouest de la Grande Terre par rapport à l'est. Enfin, le modèle indique que la zone échantillonnée, de Nouméa vers le nord, est une zone où le contraste entre l'été et l'hiver est faible et subtil. C'est en effet ce qu'il apparaît sur la Figure 12. Il s'agira donc de poursuivre les observations en ce sens en allant échantillonner les zones plus Sud.



*Figure 13 : Biomasse de proies des thons en août (gauche) et décembre (droite) de la simulation SEAPODYM.*

## *Conclusions sur les campagnes Nectalis 1 et 2*

Bien que les données soient encore en cours de traitement, sur la base de ces 2 campagnes à la mer de 3 semaines en hiver (août) et en été (décembre), on peut résumer les résultats ainsi :

- Durant les deux saisons de pêche principale du thon blanc, les situations de surface en température et en chlorophylle sont contrastées ce qui correspond à la situation climatologique connue et typique (rapport ZONECO de Vega et al. et Briand et al., 2006, et fiche 6 sur la variabilité saisonnière du présent rapport)
- En été, la ZEE est pauvre en surface quelque soit la gamme de température de surface. Par contre, en hiver, la chlorophylle de surface et la température de surface sont corrélées (eau froide, chlorophylle plus abondante dans le sud de la ZEE et vice versa). Cette situation observée durant Nectalis 1 et 2 est aussi décrite dans la fiche saisonnière plus généralement.
- La situation d'hiver est plus « riche » en terme de phytoplancton, et possiblement en terme de zooplancton. Par contre, la biomasse en micronecton est du même ordre de grandeur en été et en hiver avec des valeurs plus importantes au sud, alors que la production est soit faible (en été) soit forte (en hiver).
- Ceci a des implications concernant les produits typiquement disponibles pour l'industrie thonière : elle indique qu'en été, l'information sur la chlorophylle (typiquement à partir des images satellites) n'est pas un indicateur direct de la richesse des échelons trophiques supérieurs.
- Le sondeur acoustique EK60 multifréquence embarqué sur les navires constitue le meilleur moyen d'observer et de caractériser la biomasse micronectonique dans la colonne d'eau. On doit pouvoir caractériser la biomasse par groupe d'espèce si on lui adjoint des mesures d'espèces *in situ* par filet à micronecton. Les analyses des données d'espèces sont en cours et fourniront des mesures de la distribution des espèces durant Nectalis 1 et 2 qui seront mises en relation avec l'acoustique.
- Les mesures du sondeur « courantométrique » ADCP embarqué sur le navire océanographique ALIS sont très bien corrélées aux mesures du sondeur acoustique EK60 dédié à la pêche sur les 150 premiers mètres mais en l'absence de calibration, il

n'est pas possible d'estimer une biomasse absolue, seule la variabilité d'une région à l'autre peut être identifiée.

- Les données acoustiques de l'EK60 et de l'ADCP nous indiquent une biomasse de proies supérieure au sud dans les eaux plus froides en été et en hiver mais aussi une biomasse de proies supérieure à l'ouest de la Grande Terre par rapport à l'est.
- Les données récoltées permettent, pour la première fois dans la ZEE de valider une partie du comportement du modèle de proies de SEAPODYM, c'est à dire un contraste nord-sud et est-ouest de distribution des proies, même si le modèle nous indique une zone avec des valeurs encore très supérieure au sud de la zone échantillonnée durant Nectalis au sud de 22°S.

## *Perspectives en terme d'observations avec le navire océanographique ALIS*

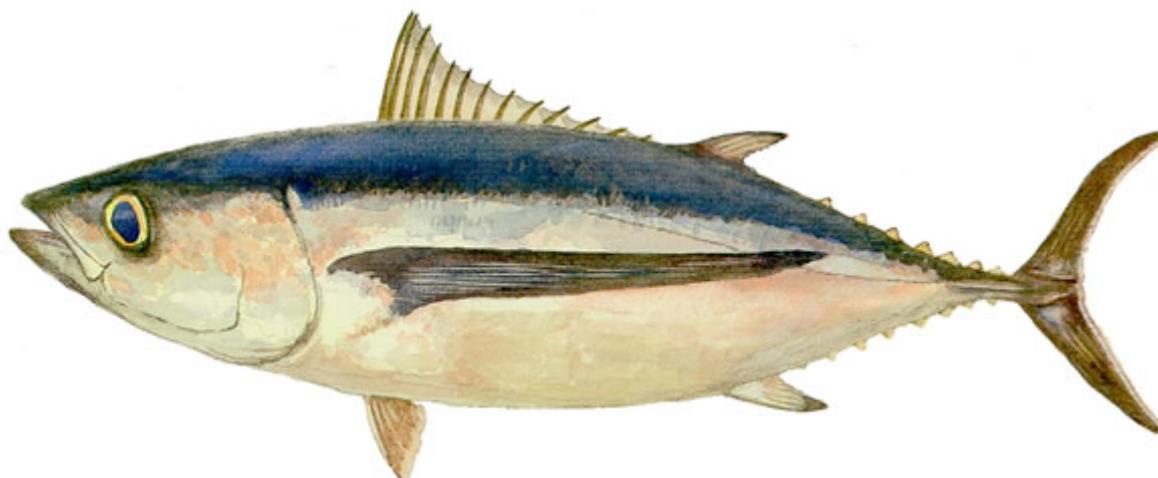
- Pour mieux comprendre les relations entre température, chlorophylle de surface et niveau de la mer par exemple, une étude spécifique doit être entreprise sur les 15 ans de données satellitaires disponibles. Elle doit permettre de comprendre quelles données de surface sont vraiment pertinentes, notamment en été où la surface ne reflète pas nécessairement ce qui se passe sous la surface.
- Un nouveau sondeur ADCP à portée plus profonde (700m) a été installé en 2012 sur le navire ALIS et il s'agira de comprendre si les relations entre sondeur de courants et échosondeur sont encore valables et quelles espèces ou quelle gamme de taille l'ADCP est susceptible d'observer.
- Nous sommes aussi en train de comprendre comment dépasser le problème de calibration de cet instrument pour pouvoir l'utiliser pour comparer situations été et hiver quantitativement et estimer ainsi quelle est la période la plus riche en micronecton.

- A l'heure actuelle en effet, l'instrument semble dériver d'une campagne à l'autre et nous n'avons donc pas trouvé le moyen d'homogénéiser les données sur l'ensemble de la période 1999-2012.
- L'échantillonnage NECTALIS donne des premières données sur la diversité des proies des thons (voir fiche 2 régime alimentaire du thon) mais il s'agit aussi d'échantillonner la ZEE dans les conditions de faible capture thonière c'est à dire aux deux saisons non échantillonnées durant Nectalis. Il faut également étendre notre exploration aux zones de la ZEE non couverte où la pêche est aussi abondante, puisque nous n'avons couvert qu'une zone infime de la ZEE ; il faudra notamment échantillonner le sud de la zone.
- En perspective donc, il nous faut mettre en place une vraie systématique d'observations saisonnières au-delà de quelques campagnes parcellaires pour pouvoir déterminer les variabilités saisonnières de base de l'écosystème zooplancton-micronecton qui nous permettront de comprendre les deux pics saisonniers de pêche de thons blancs dans la ZEE calédonienne.

---

## FICHE 2 : ETUDE DU REGIME ALIMENTAIRE DU THON GERMON

---



<b>Objectifs de l'étude .....</b>	<b>32</b>
<b>Echantillonnage .....</b>	<b>32</b>
<b>Taux de remplissage des estomacs .....</b>	<b>35</b>
<b>Diversité des proies .....</b>	<b>37</b>
<b>Composition par catégories de proies .....</b>	<b>37</b>
<b>Composition par groupes écologiques de proies .....</b>	<b>40</b>
<b>Composition en proies par taxons .....</b>	<b>44</b>
<b>Taille des proies ingérées .....</b>	<b>55</b>
<b>Résumé des résultats .....</b>	<b>57</b>
<b>Bilan et perspectives .....</b>	<b>59</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>62</b>
<b>Annexe .....</b>	<b>63</b>

## *Objectifs de l'étude*

Avec pour objectif l'obtention d'informations accrues sur le régime alimentaire des thons germans en Nouvelle-Calédonie, le projet se proposait d'augmenter la collection de contenus stomacaux de cette espèce en Nouvelle-Calédonie, de réaliser l'examen des estomacs et d'analyser les données en détail pour fournir une description qualitative et quantitative du régime alimentaire des thons avec une dimension spatio-temporelle en fonction des échantillons récoltés.

## *Echantillonnage*

Un total de 435 estomacs de thons germans provenant de la zone économique exclusive (ZEE) de Nouvelle-Calédonie a été examiné, dont 335 ont été prélevés en 2010-2011 par le programme national des observateurs pendant le projet ZONECO, le reste provenant d'échantillonnages plus anciens (2001-2009).

Le nombre d'échantillons récoltés par mois en 2010 permettra d'analyser la variabilité saisonnière sur une année entière, sauf l'été austral (janvier, novembre et décembre), sans interférence de la variabilité interannuelle (Figure 1). Les échantillons sont répartis dans l'ensemble de la ZEE sauf dans l'extrême nord et le sud-est (Figure 2). Il ne sera pas possible de différencier l'effet de la saison de l'effet du lieu de capture étant donné que les 2 facteurs sont liés ; il n'a pas été possible d'échantillonner toutes les zones chaque mois (Figure 3). Les poissons échantillonnés mesurent entre 73 et 106 cm pour une longueur moyenne de 91.4 cm (médiane = 92 cm). La taille des poissons varie en fonction du mois de l'année avec l'apparition dans la pêcherie de thons plus petits en avril-mai-juin et des poissons de plus grande taille en octobre, janvier et février (Figure 4).

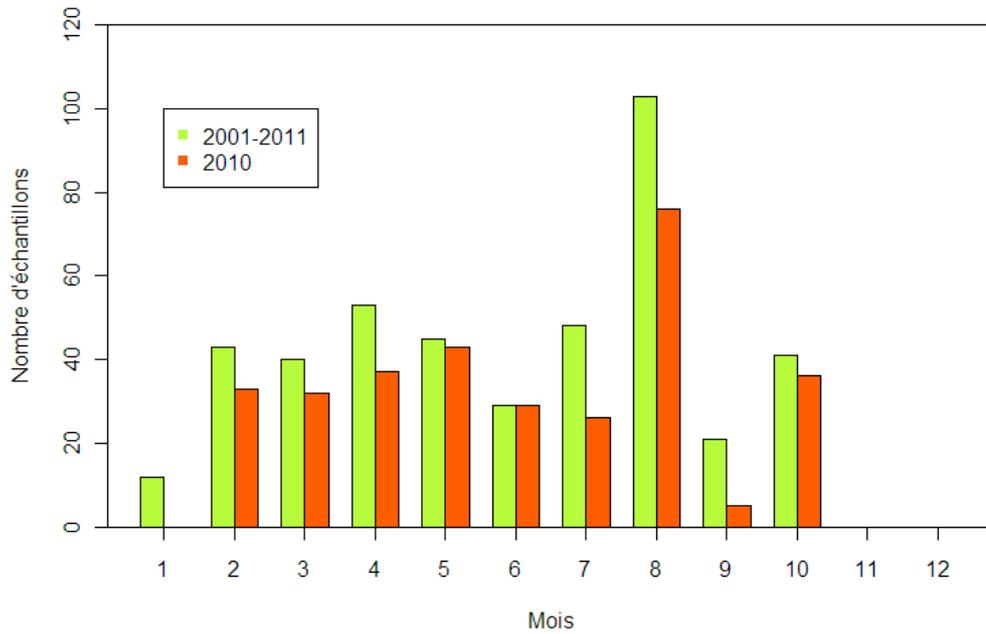


Figure 1. Nombre d'estomacs de thons germons échantillonnés dans la ZEE de Nouvelle-Calédonie par mois, pour l'ensemble des années (2001 à 2011) et pour l'année 2010.

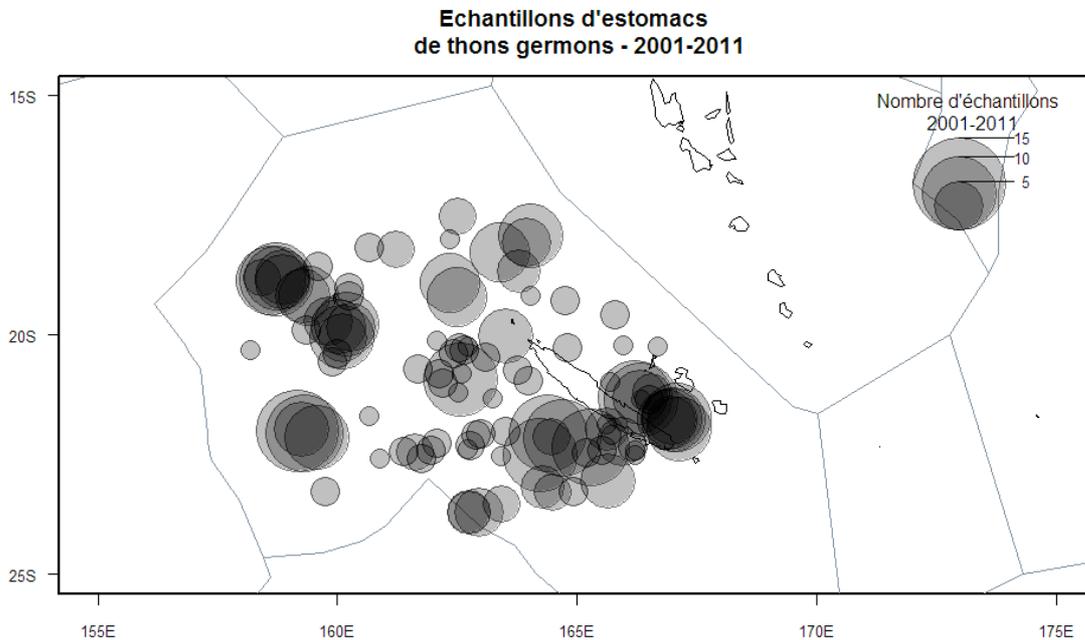
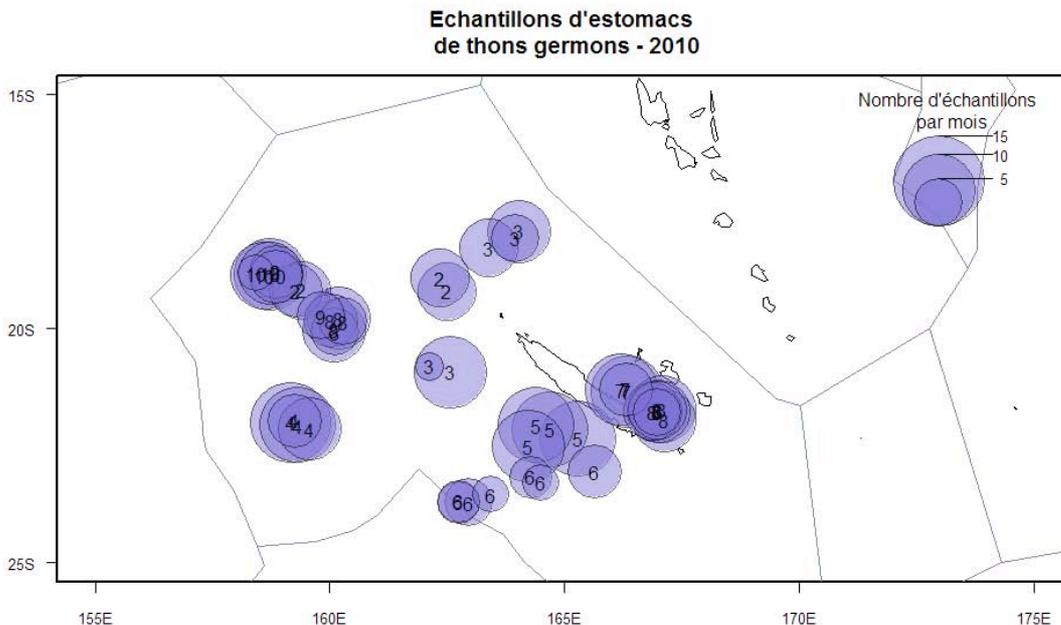
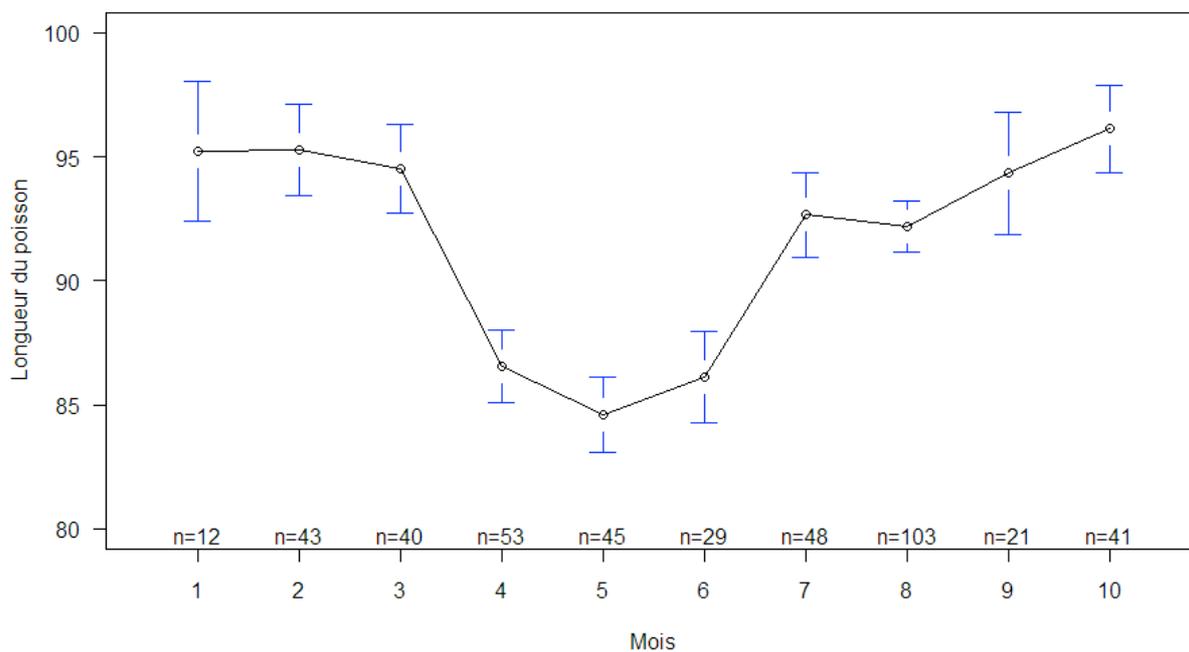


Figure 2. Répartition géographique du nombre d'estomacs de thons germons échantillonnés dans la ZEE de Nouvelle-Calédonie, pour l'ensemble des années (2001 à 2011).



**Figure 3. Répartition géographique du nombre d'estomacs de thons germons échantillonnés dans la ZEE de Nouvelle-Calédonie en 2010. Les chiffres indiquent le mois échantillonné, de février (2) à octobre (10).**

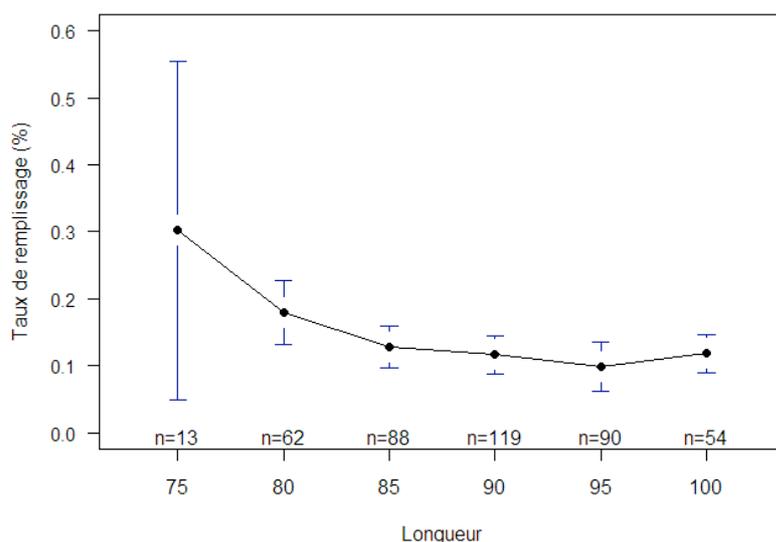


**Figure 4. Longueur moyenne (et intervalle de confiance) par mois des thons germons échantillonnés dans la ZEE de Nouvelle-Calédonie, pour l'ensemble des années (2001 à 2011). « n= » indique le nombre d'échantillons.**

## Taux de remplissage des estomacs

Sur les 435 estomacs examinés, seuls 5 étaient vides et 25 ne contenaient que des restes anciens de proies (stade de digestion 4).

Le taux de remplissage des estomacs contenant de la nourriture est faible. La valeur maximale est de 1.5% (soit 15 g de nourriture par kg de prédateur), c'est-à-dire que ce poisson qui mesurait 78 cm pour un poids calculé de 9.2 kg avait ingéré 141.1g de nourriture. La majorité des estomacs (350 sur 430) ont un taux de remplissage inférieur à 0.2%.

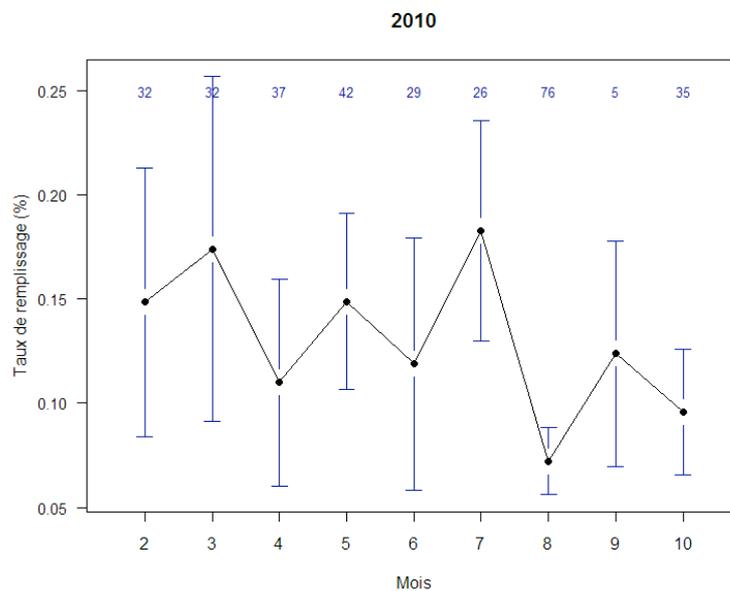


**Figure 5. Evolution du taux de remplissage (%) moyen des estomacs en fonction de la longueur des thons germons échantillonnés dans la ZEE de Nouvelle-Calédonie, pour l'ensemble des années (2001 à 2011). Les barres indiquent l'intervalle de confiance à 95%. « n » indique le nombre d'échantillons par classe de taille. Les classes de taille 70 et 105 ne sont pas incluses ; elles contiennent respectivement 1 et 2 échantillons avec des valeurs extrêmes qui perturbent la tendance ; ces valeurs sont considérées comme non représentatives.**

Le taux de remplissage des estomacs a tendance à diminuer quand la taille du poisson augmente (Figure 5). Le taux de remplissage moyen des poissons plus petits que 85 cm (0.20%) est statistiquement plus élevé que celui des poissons plus grands que 85 cm (0.11%)

( $p < 0.05$ ). Les thons germons atteignent leur maturité sexuelle entre 85 et 90 cm et c'est aussi dans cette gamme de taille que leur croissance se ralentit. L'hypothèse la plus communément évoquée pour expliquer la décroissance du taux de remplissage avec la taille des poissons est la diminution des besoins énergétiques liée à une diminution du taux de croissance. Cette tendance a également été observée en Atlantique où les germons de plus de 85 cm ont un taux de remplissage d'environ 0.4% alors que les poissons de taille inférieure ont un taux plus élevé qui atteint 1.5% pour des poissons de 45 cm ont un taux de (Goñi 2011).

Le taux de remplissage des estomacs varie d'un mois à l'autre au cours de l'année avec une forte variabilité (Figure 6). En 2010, les moyennes extrêmes étaient de 0.18% en juillet pour le maximum, et de 0.07% en août pour le minimum. Le taux de remplissage semble plus important pendant la première partie de l'année (de février à juillet), cependant l'absence de données en novembre et décembre ne permet pas de confirmer la tendance. Etant donné la forte variabilité, les tests statistiques ne démontrent une différence significative que entre les mois de mai et août d'une part et entre les mois de juillet et août d'autre part ; il n'y a pas de différence significative entre les moyennes des autres mois.



**Figure 6. Evolution mensuelle du taux de remplissage (%) moyen des estomacs de thons germons échantillonnés dans la ZEE de Nouvelle-Calédonie en 2010. Les barres indiquent l'intervalle de confiance à 95% et les chiffres en haut de la figure indiquent le nombre d'échantillons.**

Le taux de remplissage a été examiné pour les prédateurs situés au nord et au sud de 20°S sans qu'aucune différence statistique ne soit observée. A cette échelle aucune différence spatiale n'est détectée. L'examen par bandes latitudinales se justifie par les observations océanographiques qui montrent clairement que la ZEE est divisée latitudinalement en ce qui concerne la température et la salinité (voir la fiche 1 sur les campagnes NECTALIS).

## *Diversité des proies*

Le nombre de taxons<sup>1</sup> de proies identifiées dans l'ensemble des estomacs de germons était de 205 et de 172 pour les estomacs prélevés en 2010. La liste des proies est fournie en annexe (Annexe 1). En moyenne, les thons germons contiennent plus de 9 espèces de proies différentes dans leur estomac (min=1, max=32) démontrant un régime alimentaire très diversifié. Cette diversité ne varie pas de manière significative au cours de l'année, entre les classes de taille ou entre le nord et le sud de la zone d'étude.

## *Composition par catégories de proies*

Les thons germons consomment principalement 3 grandes catégories de proies qui sont, pour l'ensemble des échantillons et par ordre décroissant (en poids) : les poissons, les crustacés et les mollusques (Table 1). Le régime alimentaire du thon germon est très particulier par rapport à celui des autres espèces de thons. En effet, il est assez équilibré entre les 3 catégories principales, et les crustacés représentent près du tiers de l'alimentation. Pour

---

<sup>1</sup> Dans le meilleur des cas les proies sont identifiées au niveau de l'espèce. Cependant les proies sont plus ou moins digérées et l'identification au niveau de l'espèce n'est pas toujours possible ; les proies peuvent donc être identifiées au niveau du genre, de la famille ou même à des niveaux taxonomiques encore moins précis. Ainsi nous n'utilisons pas le terme « espèce » puisque tous les individus ne sont pas identifiés au niveau de l'espèce, mais nous utilisons le terme de « taxon » qui désigne tous les groupes d'individus identiques quelque soit leur niveau taxonomique d'identification.

le thon jaune et le thon obèse les poissons représentent une proportion du régime alimentaire beaucoup plus importante, les mollusques viennent en deuxième place et les crustacés sont minoritaires.

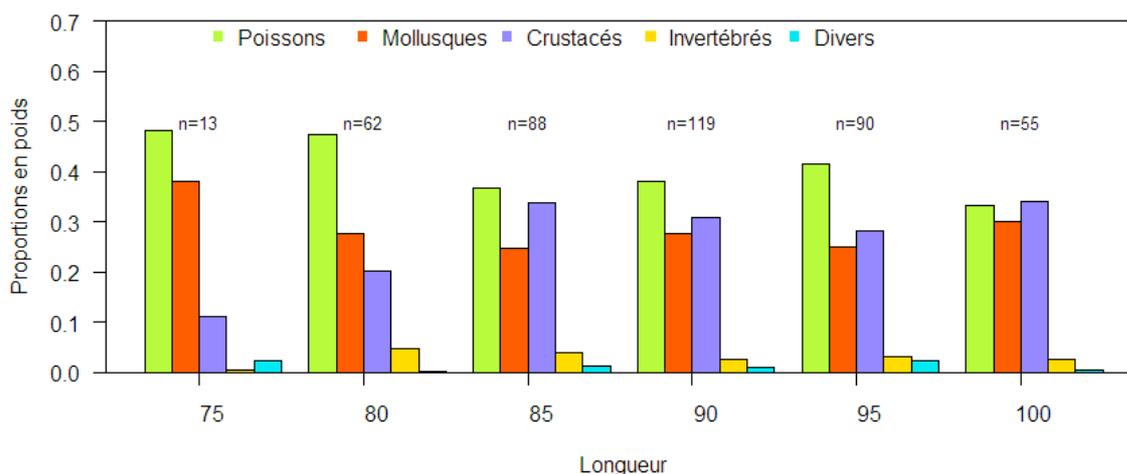
Un examen de ces proportions par classe de taille semble indiquer que les thons de taille supérieure à 85 cm ont un comportement alimentaire similaire qui serait différent de celui des thons de taille inférieure à 85 cm (Figure 7). En effet les thons plus petits consomment plus de poissons et moins de crustacés que les thons de grande taille.

**Table 1. Proportion moyenne en poids des 8 catégories de proies ingérées par l'ensemble des thons germons échantillonnés dans la ZEE de Nouvelle-Calédonie entre 2001 et 2011.**

Catégorie de proies	Proportion en poids
Poissons	0.397
Crustacés	0.290
Mollusques	0.270
Invertébrés	0.031
Non reconnaissable	0.008
Minéral*	0.002
Végétal	0.001
Déchets anthropiques**	0.00005

\* pierres volcaniques flottantes

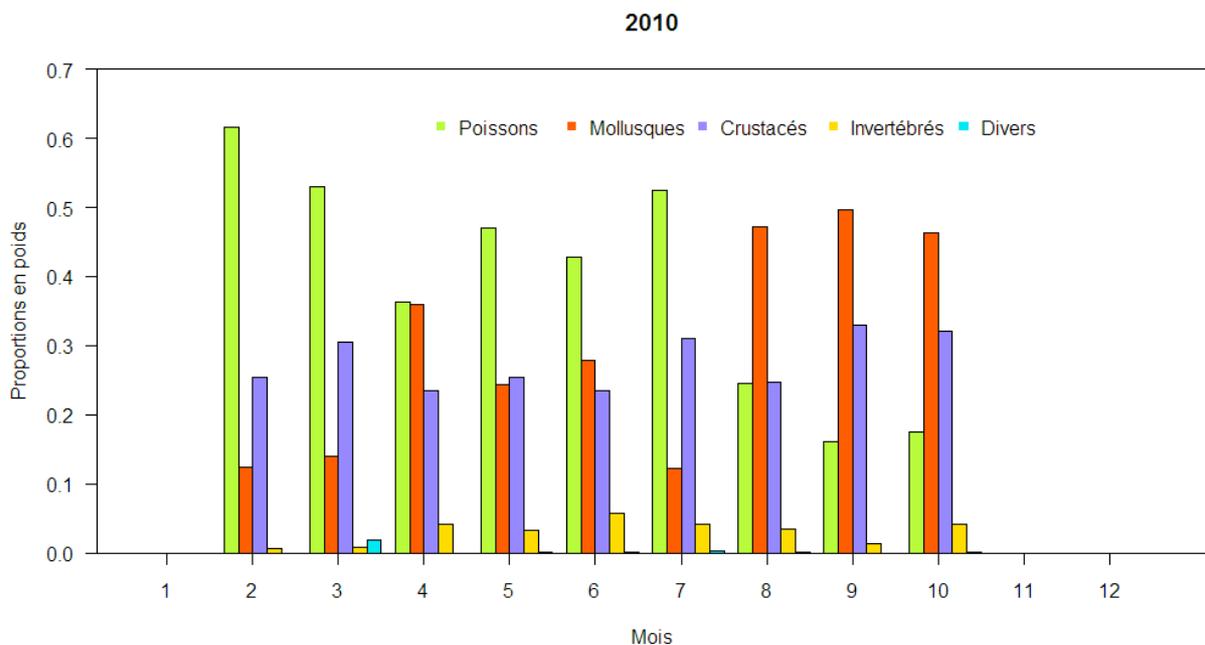
\*\* déchets plastiques



**Figure 7. Evolution par classe de taille du prédateur de la proportion moyenne en poids des 5 catégories de proies ingérées par les thons germons échantillonnés dans la ZEE de Nouvelle-Calédonie entre 2001 et 2011. La catégorie « Divers » regroupe les catégories « Végétal », « Minéral », « Déchets anthropiques », « Non reconnaissable ». « n= » indique le nombre d'échantillons.**

L'évolution mensuelle de ces proportions a été examinée pour l'année 2010 et elle montre une variation des proportions au cours de l'année. De février à octobre la proportion de poissons tend à diminuer alors que celle des mollusques augmente. Si les tendances sur l'ensemble de l'année restent discutables et pourraient ne pas être significatives à cause des variations importantes, en revanche on note une diminution importante de la proportion de poissons pour les mois d'août à octobre au profit des mollusques. Les proportions en crustacés restent similaires pour tous les mois échantillonnés (Figure 8).

Aucune variation n'est observée dans les proportions des grandes catégories de proies entre les prédateurs capturés au nord et au sud de 20°S.



*Figure 8. Evolution mensuelle de la proportion moyenne en poids des 5 catégories de proies ingérées par les thons germes échantillonnés dans la ZEE de Nouvelle-Calédonie en 2010. La catégorie « Divers » regroupe les catégories « Végétal », « Minéral », « Déchets anthropiques », « Non reconnaissable ».*

## *Composition par groupes écologiques de proies*

Les proies peuvent être classées selon leur appartenance à des groupes écologiques qui sont définis en fonction de la profondeur à laquelle les organismes vivent et de leur comportement de migration verticale journalier. De plus, les organismes de la surface peuvent être divisés en 2 classes : ceux dont la totalité du cycle de vie se passe au large, et ceux dont la phase larvaire se passe au large alors que la phase adulte s'effectue près des côtes et/ou des récifs (comme les poissons chirurgiens ou les squilles) et qui sont appelés « d'origine récifale ». Basées sur des recherches bibliographiques, 7 classes ont été définies ainsi qu'une classe « Indéterminé » qui regroupe les organismes qui n'ont pas pu être identifiés assez précisément pour leur attribuer un groupe écologique.

La classe « Indéterminé » représente 53% du contenu des estomacs ce qui rend les résultats très incertains pour les autres classes (Table 2). Cependant pour le reste des proies, 21% proviennent de la couche de surface (0-200m), 8% proviennent de la couche de surface et sont d'origine récifale, 8% sont de la couche mesopélagique (200-500m), 5% sont de la couche mesopélagique qui migre en surface, 2% proviennent de la couche profonde (>500m) et 1% proviennent de la couche profonde qui migre en surface (Table 2). Le thon germon s'alimente donc principalement dans la couche de surface mais les proies profondes, en particulier mesopélagiques, ne sont pas négligeables dans son alimentation.

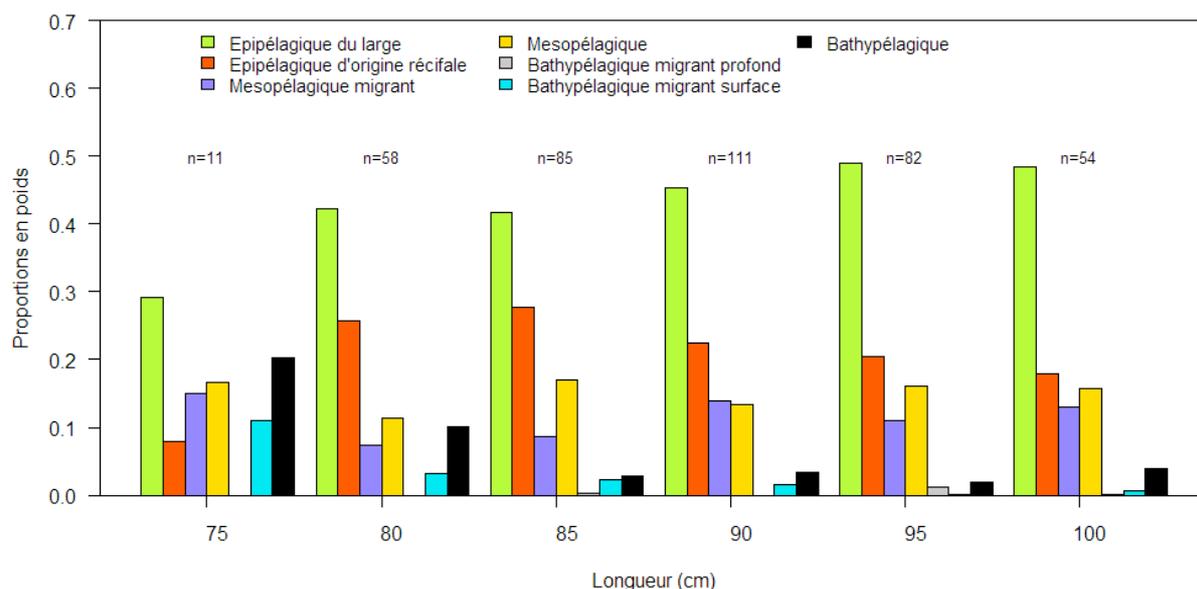
Afin d'analyser les variations des proportions des groupes écologiques, le groupe « Indéterminé » a été supprimé des données pour mieux observer les différences dans les autres groupes. Il faut cependant garder à l'esprit que le groupe « Indéterminé » représente en général plus de 50% des proies.

Comme pour les catégories de proies (Poissons, Mollusques...), le comportement alimentaire décrit par les groupes écologiques semble différent pour les thons plus petits et plus grands que 85 cm (Figure 9). De manière assez surprenante les prédateurs les plus petits consomment plus de proies profondes (bathypélagiques) que les grands prédateurs pour lesquels l'alimentation semble se faire plus en surface (proies épipélagiques). Comme il sera démontré dans le paragraphe suivant sur les taxons, la principale espèce bathypélagique consommée par les thons les plus petits est le Scopelarchidae (yeux perlés). Cette famille de poissons est considérée comme vivant à des profondeurs supérieures à 500 m et serait non

migrante. Cependant, au moins une espèce de cette famille migre en surface et pour certaines espèces la phase juvénile s'effectue également en surface. Il est donc possible que, bien que classés en bathypélagiques, les Scopelarchidae consommés par les thons les plus petits fassent partie d'une espèce migrante ou soient des juvéniles (selon les espèces la taille des juvéniles est très variable). Les poissons de cette famille sont très fragiles, ils sont rapidement digérés et il n'est pas possible de les identifier au niveau de l'espèce ; de plus il y a peu d'information dans la littérature sur ces espèces dont la biologie est mal connue. Ainsi il est possible que l'apparente consommation plus élevée de proies bathypélagiques soit en fait un artefact dû aux problèmes d'identification des espèces de proies et aux faibles connaissances sur ces espèces. Les proies mesopélagiques migrantes et non migrantes sont consommées de manière assez similaire par toutes les classes de taille. La proportion de proies épipélagiques d'origine récifale varie d'une classe de taille à l'autre sans montrer de tendance particulière.

**Table 2. Proportion moyenne en poids des 8 groupes écologiques de proies ingérées par l'ensemble des thons germons échantillonnés dans la ZEE de Nouvelle-Calédonie entre 2001 et 2011.**

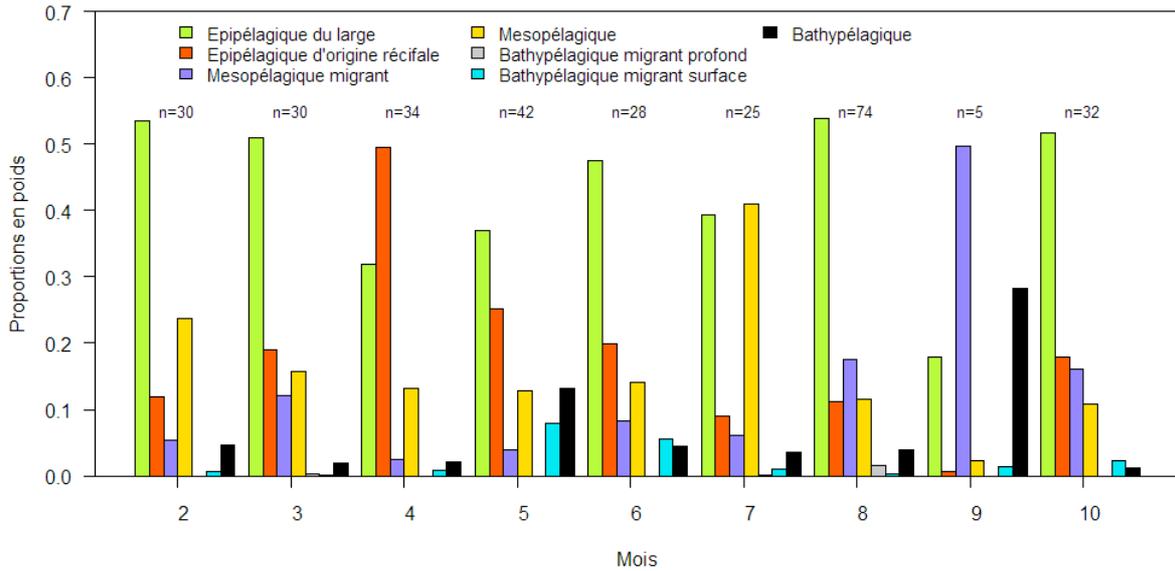
Groupes écologiques de proies	Définition	Proportion en poids
Epipélagique du large	Non migrant, entre 0 et 200m de profondeur, exclusivement au large	0.211
Epipélagique d'origine récifale	Non migrant, entre 0 et 200m de profondeur, d'origine récifale (phase larvaire au large, phase adulte près des côtes)	0.083
Mesopélagique migrant	Migrant, entre 200 et 500m de profondeur de jour et entre 0 et 200m de profondeur la nuit	0.055
Mesopélagique	Non migrant, entre 200 et 500m de profondeur	0.081
Bathypélagique profond migrant	Migrant, plus profond que 500m de jour et entre 200 et 500m de profondeur la nuit	0.003
Bathypélagique surface migrant	Migrant, plus profond que 500m de jour et entre 0 et 200m de profondeur la nuit	0.011
Bathypélagique Indéterminé	Non migrant, plus profond que 500m	0.025
		0.530



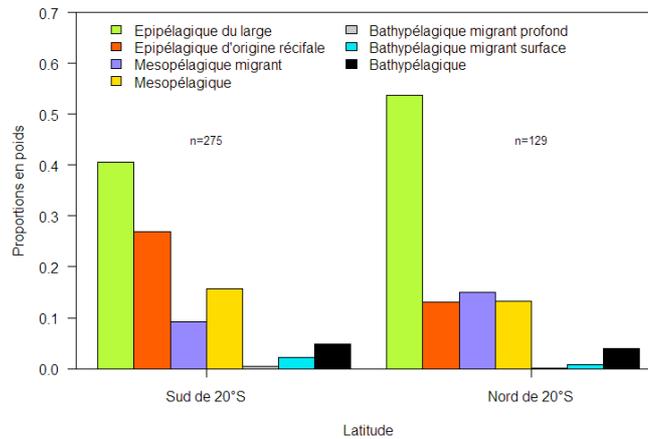
**Figure 9.** Evolution par classe de taille du prédateur de la proportion moyenne en poids des 7 groupes écologiques de proies ingérées par les thons germons échantillonnés dans la ZEE de Nouvelle-Calédonie entre 2001 et 2011. Le groupe écologique « Indéterminé » n'est pas inclus dans les calculs de proportion pour cette figure. « n= » indique le nombre d'échantillons.

Cette même analyse par mois pour l'année 2010 montre une variation des proportions des groupes écologiques de proies (Figure 10). Il est difficile de discerner des tendances dont la validité serait remise en cause par la forte proportion (souvent plus de 50%) de proies du groupe « Indéterminé ». Cependant une oscillation est notable pour les proportions de proies épipelagiques d'origine récifale avec un maximum en avril et un minimum en juillet-août-septembre (voir les explications dans le paragraphe sur les taxons). Il est à noter que les valeurs très différentes de septembre sont sans doute une anomalie non représentative de la réalité, liée au faible nombre d'échantillons.

Peu de variations sont observées spatialement entre le nord et le sud de la zone (Figure 11) avec seulement une plus forte proportion de proies épipelagiques du large dans le nord et plus de proies épipelagique d'origine récifale dans le sud. Comme il sera détaillé par la suite, la plus forte proportion de proies d'origine récifale dans le sud est due à la plus forte consommation de larves de crustacés et notamment de squilles.



**Figure 10.** Evolution mensuelle de la proportion moyenne en poids des 7 groupes écologiques de proies ingérées par les thons germons échantillonnés dans la ZEE de Nouvelle-Calédonie en 2010. Le groupe écologique « Indéterminé » n'est pas inclus dans les calculs de proportion pour cette figure. « n= » indique le nombre d'échantillons.



**Figure 11.** Variation latitudinale de la proportion moyenne en poids des 7 groupes écologiques de proies ingérées par les thons germons échantillonnés dans la ZEE de Nouvelle-Calédonie entre 2001 et 2011. Le groupe écologique « Indéterminé » n'est pas inclus dans les calculs de proportion pour cette figure. « n= » indique le nombre d'échantillons.

## *Composition en proies par taxons<sup>2</sup>*

Parmi les 205 taxons identifiés, seuls 22 ont une proportion moyenne supérieure à 1%, pour l'ensemble des thons germons. Il s'agit, dans l'ordre décroissant des groupes non identifiés car trop digérés tels que les poissons, les crustacés, les becs de céphalopodes et les céphalopodes (Table 3). En dehors de ces grands groupes, les crustacés occupent le haut du tableau avec les larves de squilles (Stomatopoda), les tonneliers de mer (*Phronima sp.*) et les petites crevettes *Thalassocaris sp.* (Annexe 2). En crustacés on trouve également des larves de langoustes et de popinées (Palinuroidea) et des Phrosinidae qui font partie du zooplancton. Parmi les mollusques beaucoup restent non identifiés et il est seulement possible de les définir en tant que calamars (Teuthida, Oegopsida). Certaines familles ou espèces de calamars sont cependant reconnaissables et font partie des proies les plus consommées comme *Onychoteuthis sp.* ou l'encornet à bande violette *Sthenoteuthis oualaniensis*. Enfin, pour les poissons la proportion non identifiée est très importante (22%) ; pour les taxons identifiés, les plus consommés en moyenne sont les lussions (Paralepididae), les escoliers (Gempylidae) et les yeux perlés (Scopelarchidae) qui sont des poissons mesopélagiques, les anchois (Engraulidae) et la brème *Pterycombus petersii* qui sont des poissons de la couche de surface.

Pour les taxons qui représentent en moyenne au moins 5% du contenu des estomacs d'une classe de taille, on note des variations de proportions en fonction de la taille du prédateur. Il est difficile de discerner des tendances marquées (Figure 12). Cependant, parmi les crustacés, la petite crevette *Thalassocaris sp.* semble être plus consommée par les prédateurs de grande taille alors que les tonneliers de mer *Phronima sp.* sont consommés en quantités similaires par toutes les classes de taille ; il en est de même pour les Salpidae ce petit invertébré qui est utilisé par le tonnelier pour s'abriter et protéger sa ponte. En ce qui concerne les mollusques, si on regroupe Onychoteuthidae et *Onychoteuthis sp.* qui sont des calamars de la même famille, ils sont consommés en proportions importantes par toutes les classes de taille avec des proportions supérieures à 5% pour les thons de moins de 85 cm et

---

<sup>2</sup> Voir la note de bas de page 1 à la page 37.

des proportions inférieures à 5% pour les thons de plus grande taille. La même tendance est observée pour l'encornet à bande violette (*Sthenoteuthis oualaniensis*) qui est consommé en plus grande quantité par les thons de moins de 85 cm. Pour les poissons, les yeux perlés (Scopelarchidae) et les poissons lancettes (Alepisauridae) sont plutôt consommés par les prédateurs de petite taille (voir détails dans le paragraphe précédent sur les groupes écologiques). Les lussions (Paralepididae) sont consommés par toutes les classes de taille.

**Table 3. Proportion moyenne en poids des proies identifiées dans les estomacs des thons germons échantillonnés dans la ZEE de Nouvelle-Calédonie entre 2001 et 2011. Ordre et famille correspondent à la classification taxonomique. Le taxon représente le niveau d'identification atteint le plus détaillé : l'espèce dans le meilleur des cas mais ce peut être le genre, la famille ou tout autre niveau taxonomique.**

Taxon	Catégorie	Famille	Ordre	Groupe écologique	Proportion moyenne (en poids)
Unidentified fish	Poisson			Indeterminé	0.223
Unidentified crustacea	Crustacé			Indeterminé	0.101
Cephalopod beak	Mollusque			Indeterminé	0.075
Unidentified cephalopoda	Mollusque			Indeterminé	0.051
Stomatopoda	Crustacé		Stomatopoda	Epipelagique d'origine récifale	0.034
Phronima sp.	Crustacé	Phronimidae	Amphipoda	Epipelagique du large	0.029
Salpidae	Invertébré	Salpidae	Salpida	Epipelagique du large	0.029
Thalassocaris sp.	Crustacé	Thalassocarididae	Decapoda	Epipelagique du large	0.027
Paralepididae	Poisson	Paralepididae	Aulopiformes	Mesopélagique	0.027
Onychoteuthis sp.	Mollusque	Onychoteuthidae	Teuthida	Epipelagique du large	0.026
Oegopsida	Mollusque		Teuthida	Indeterminé	0.024
Teuthida	Mollusque		Teuthida	Indeterminé	0.019
Palinuroidea	Crustacé		Decapoda	Epipelagique d'origine récifale	0.019
Onychoteuthidae	Mollusque	Onychoteuthidae	Teuthida	Epipelagique du large	0.015
Engraulidae	Poisson	Engraulidae	Clupeiformes	Epipelagique du large	0.014
Trichiuridae/Gempylidae	Poisson		Perciformes	Mesopélagique	0.014
Sthenoteuthis oualaniensis	Mollusque	Ommastrephidae	Teuthida	Mesopélagique migrant	0.013
Phrosinidae	Crustacé	Phrosinidae	Amphipoda	Mesopélagique migrant	0.012
Scopelarchidae	Poisson	Scopelarchidae	Aulopiformes	Bathypélagique	0.011
Gempylidae	Poisson	Gempylidae	Perciformes	Mesopélagique migrant	0.011
Pterycombus petersii	Poisson	Bramidae	Perciformes	Epipelagique du large	0.011
Phrosina semilunata	Crustacé	Phrosinidae	Amphipoda	Mesopélagique migrant	0.010

Les proportions des principaux taxons varient en fonction des mois. Peu de tendances claires sont discernées. Les pics de proportions observés pour le mois de septembre ne peuvent pas être pris en compte étant donné le faible nombre d'échantillons (5). Les larves de langoustes/popinées (Palinuroidea) semblent montrer une saisonnalité marquée avec des proportions importantes en avril-mai-juin qui correspond au maximum observé pour les

proies récifales (Figure 13). Les larves de squilles (Stomatopoda), un autre crustacé d'origine récifale, montrent également un pic en avril. Il est possible que ces maxima soient liés à une saisonnalité dans la ponte des langoustes/popiniées et des squilles qui se répercuterait sur une saisonnalité dans la présence des larves en milieu océanique quelques mois plus tard. Des travaux réalisés en Nouvelle-Calédonie indiquent que 2 espèces de langoustes sont grainées pendant la saison chaude (Coutures 2000) et des travaux sur les squilles au Japon indiquent un période de reproduction au printemps-été (Kodama 2009). Les larves de ces crustacés passent plusieurs mois en pleine mer (jusqu'à un an et plus) et il est possible que le pic de ponte en saison chaude soit détecté quelques mois plus tard, en avril, au niveau des larves pélagiques. A l'opposé les petites crevettes *Thalassocaris sp.* sont plutôt présentes en plus grandes proportions de juillet à octobre. Les tonneliers de mer et les Salpidae ne semblent pas montrer de saisonnalité marquée. Pour les mollusques il ne semble pas y avoir de saisonnalité importante dans les proportions ingérées. Pour les poissons on observe un pic de la proportion d'anchois (Engraulidae) en février, un pic en mai pour les Scopelarchidae et un fort pic en juillet pour les Paralepididae. Ces pics isolés, au moins pour ces deux dernières espèces, laissent à penser qu'il s'agit de biais liés à l'échantillonnage plutôt qu'une tendance réelle.

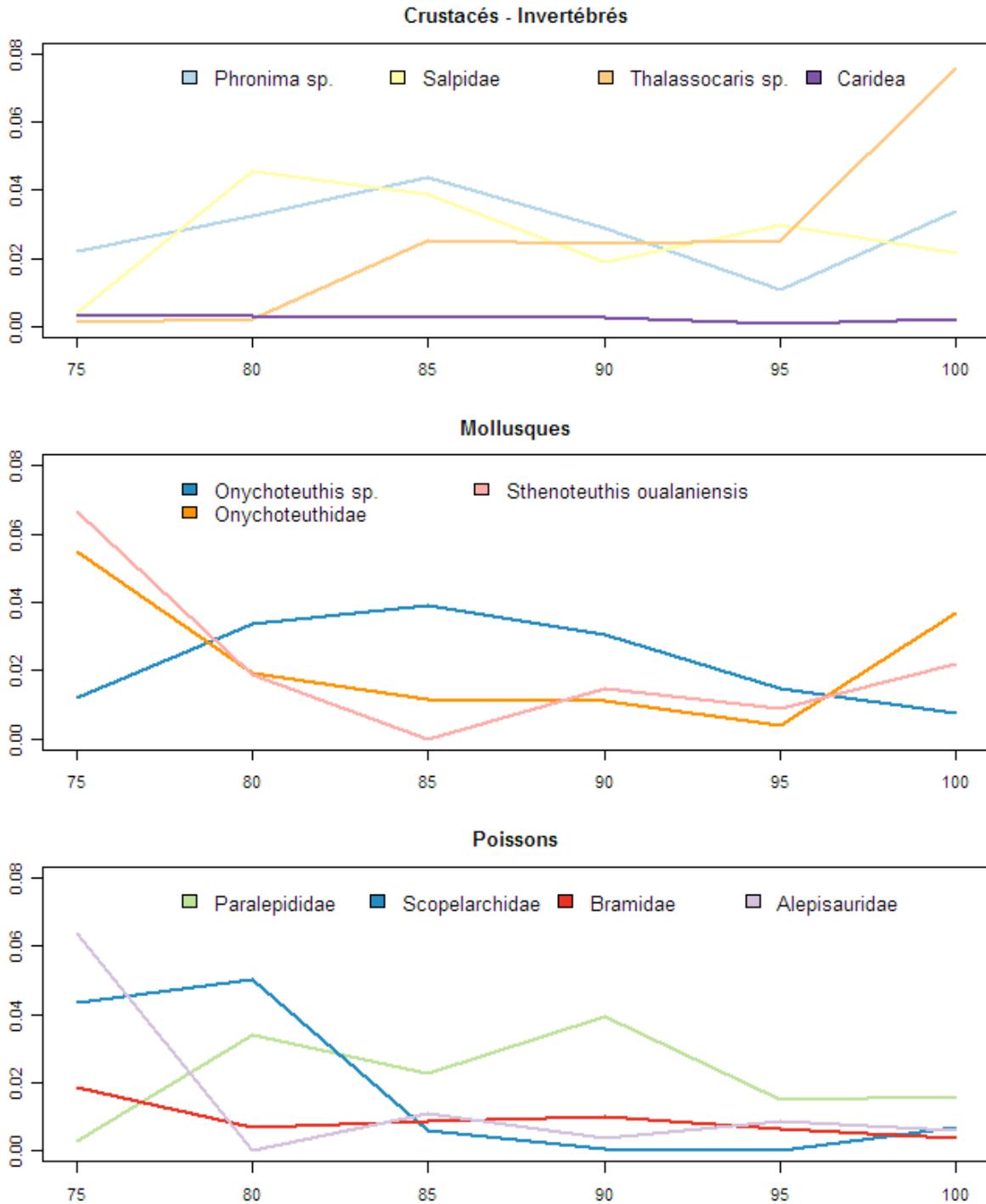


Figure 12. Evolution par classe de taille du prédateur (cm) de la proportion moyenne en poids des proies dont la proportion dans au moins l'une des classes de taille dépasse les 5%. Les données incluent les thons germons échantillonnés dans la ZEE de Nouvelle-Calédonie entre 2001 et 2011. Ne sont pas montrées les classes de taille 70 et 105 cm pour lesquelles, respectivement, seulement 1 et 2 estomacs ont été examinés ce qui n'est pas jugé suffisant pour être représentatif.

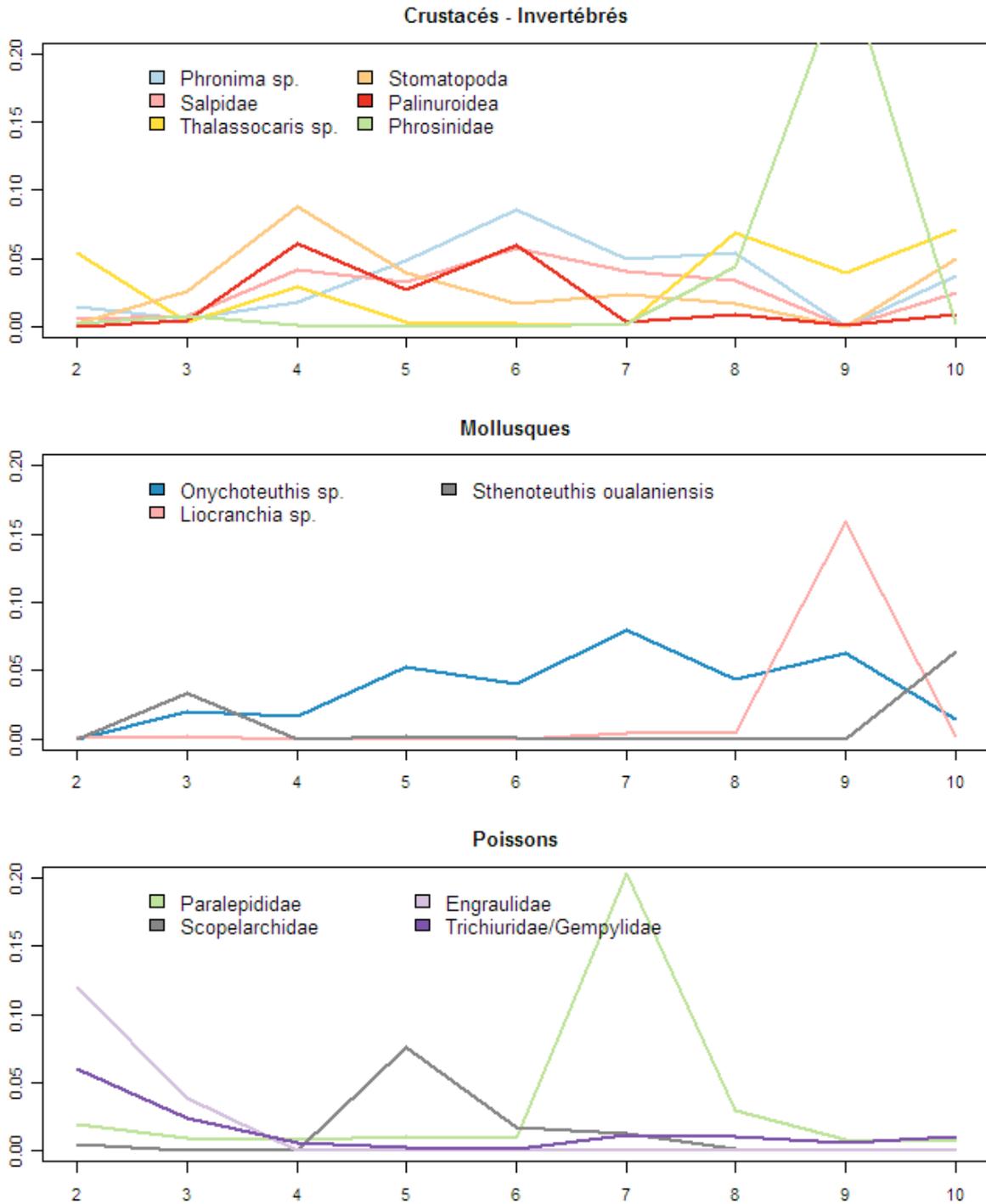
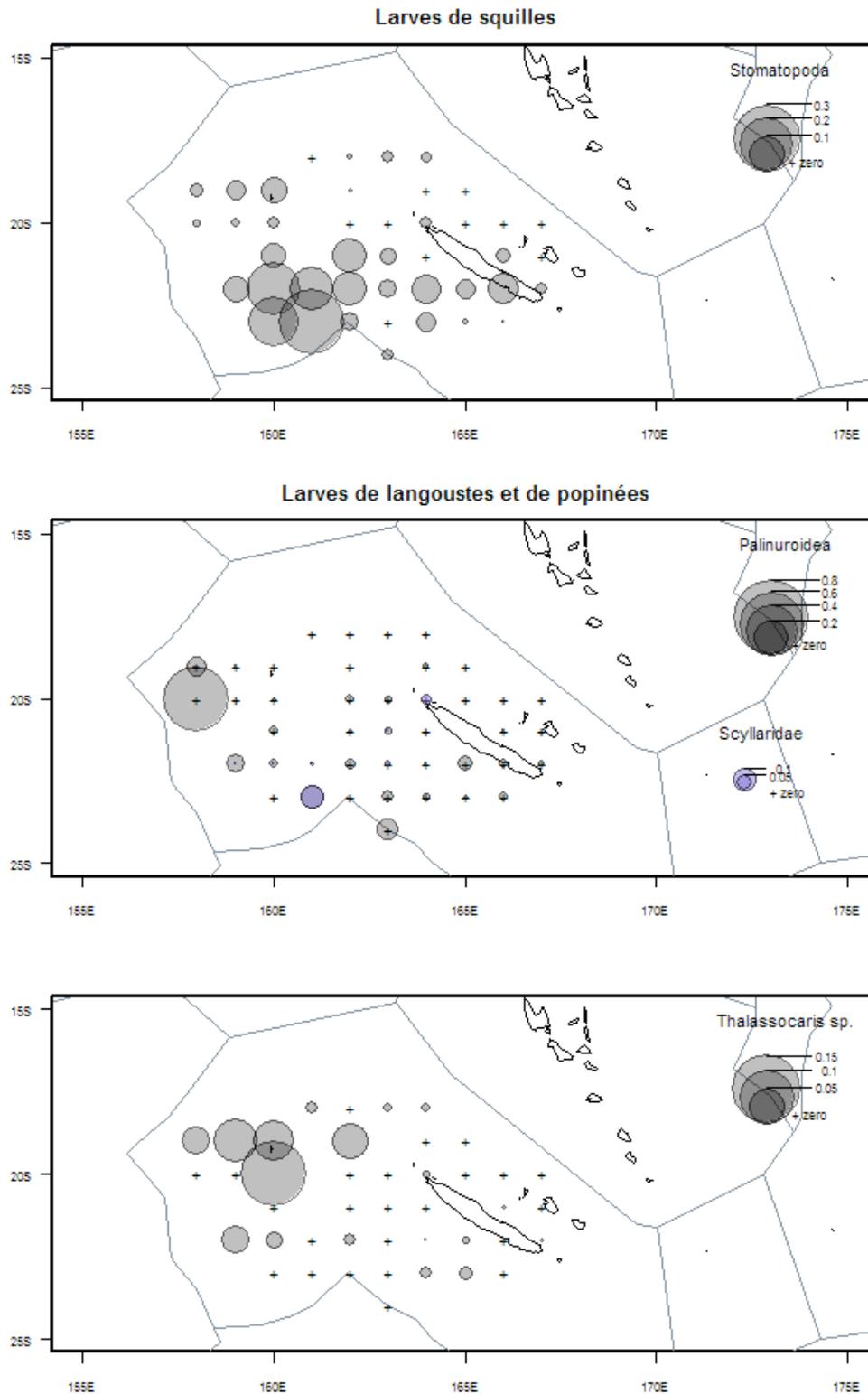


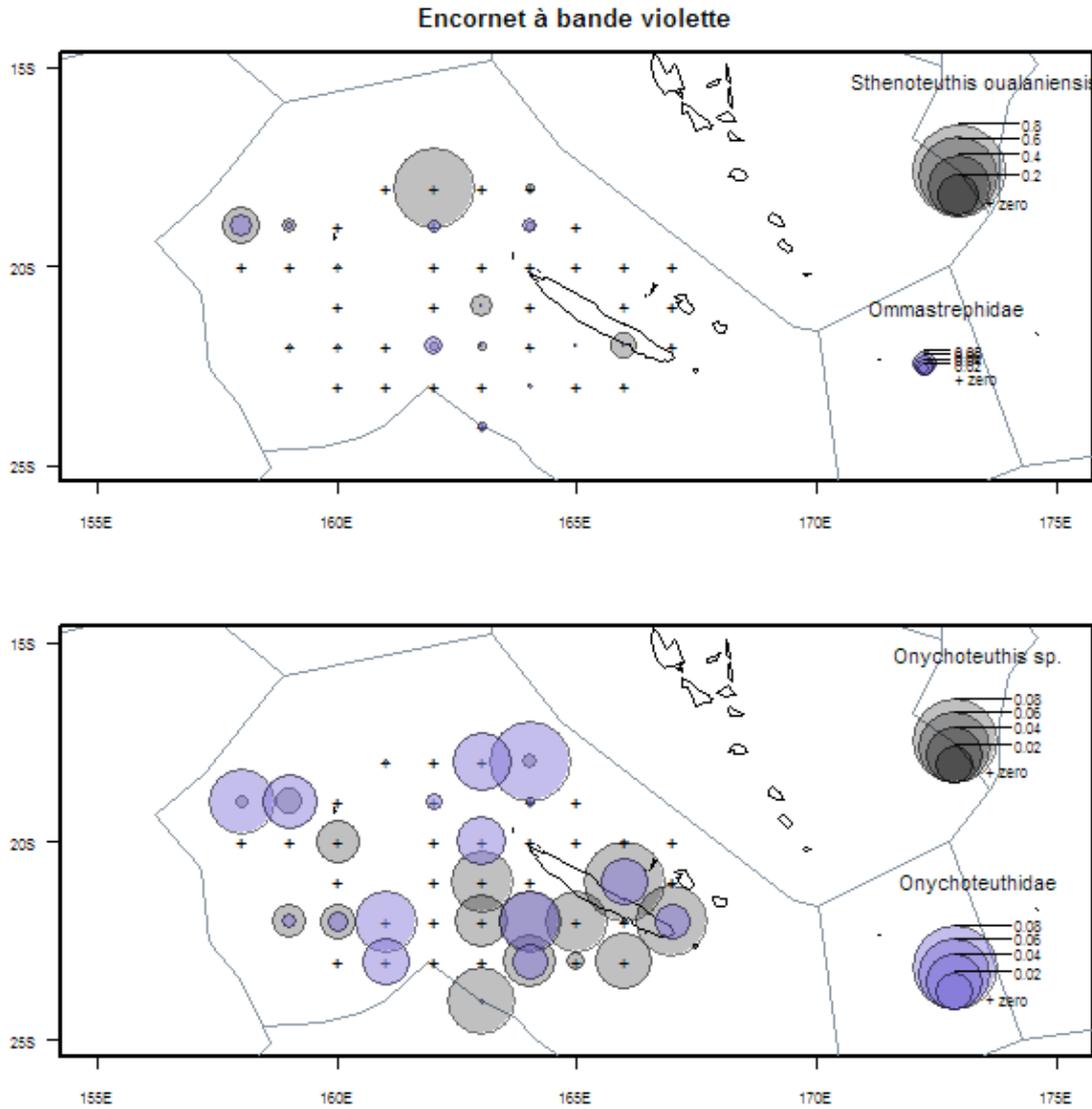
Figure 13. Evolution par mois de la proportion moyenne en poids des proies dont la proportion pour au moins l'un des mois dépasse les 5%. Les données incluent les thons germons échantillonnés dans la ZEE de Nouvelle-Calédonie en 2010. Il est à noter que pour le mois de septembre (9), seuls 5 estomacs ont été examinés ce qui n'est pas jugé suffisant pour être représentatif. Dans le premier graphe la valeur des Phrosinidae en septembre (9) atteint 0.263.

Les distributions spatiales de la proportion des proies dans l'alimentation varient en fonction des taxons avec pour certains comme les mollusques Onychoteuthidae une distribution sur l'ensemble de la zone (Figure 15) ou des distributions plus parcellaires comme pour la plupart des autres taxons (Figure 14, Figure 15, Figure 16, Figure 17). Pour les crustacés, les larves de squille sont majoritairement consommées dans le sud ouest de la zone (Figure 14) ce qui correspond à une zone d'accumulation de larves d'après les simulations réalisées (Figure 18). Les *Thalassocaris sp.* sont plutôt observées dans l'alimentation des prédateurs qui sont vers le nord et plus particulièrement autour des Chesterfield (Figure 14) ; certaines espèces de ce genre peuvent être associées au plateau continental cependant d'autres espèces peuvent vivre en pleine eau au-dessus de fonds de 4000 m. Pour les larves de langoustes et popinées, elles sont consommées en petites proportions sur tout le sud de la zone avec une importante proportion autour des Chesterfield (Figure 14) qui pourrait s'expliquer par une forte production de larves provenant de ces récifs ou par une accumulation/rétention des larves dans cette zone. Les encornets à bande violette et les autres calamars de cette famille (Ommastrephidae) sont consommés en petites proportions un peu partout dans la zone avec une forte proportion observée tout au nord alors que les Onychoteuthidae et *Onychoteuthis sp.* sont consommés partout dans des proportions assez similaires (Figure 15). Les *Onychoteuthis sp.* sont plutôt au sud mais il est probable que les Onychoteuthidae observés au nord soient aussi de la même espèce. Pour les poissons, les yeux perlés (Scopelarchidae) sont consommés en grandes proportions dans 2 zones, au sud-ouest de la Grande Terre et dans le nord (Figure 16) ; aucune information n'existe sur la distribution de ces poissons profonds pour expliquer nos observations. Les anchois (Engraulidae) sont consommés en grandes proportions principalement dans le nord, cependant une proportion non-négligeable d'anchois océanique (*Encrasicholina punctifer*) est observée dans le sud ; là encore le manque d'informations sur la distribution de cette espèce de surface ne permet pas d'expliquer les observations. Pour les lussions qui sont des poissons de profondeur, de fortes proportions sont observées un peu partout dans la zone avec la présence dans l'alimentation des prédateurs de l'espèce *Lestidium sp.* particulièrement autour des Chesterfield (Figure 16). Pour les autres poissons de profondeur (Figure 17), les Chiasmodontidae sont majoritairement dans le nord de la zone, les Myctophidae sont plutôt dans le sud à l'ouest de la Grande Terre ainsi que les poissons hachettes (Sternoptychidae) ; il est à noter une forte proportion de Sternoptychidae au niveau des Chesterfield (Figure 17). Pour cette famille, les observations des campagnes à la mer Nectalis (voir la fiche NECTALIS) laissent à penser que de fortes concentrations de poissons de cette famille

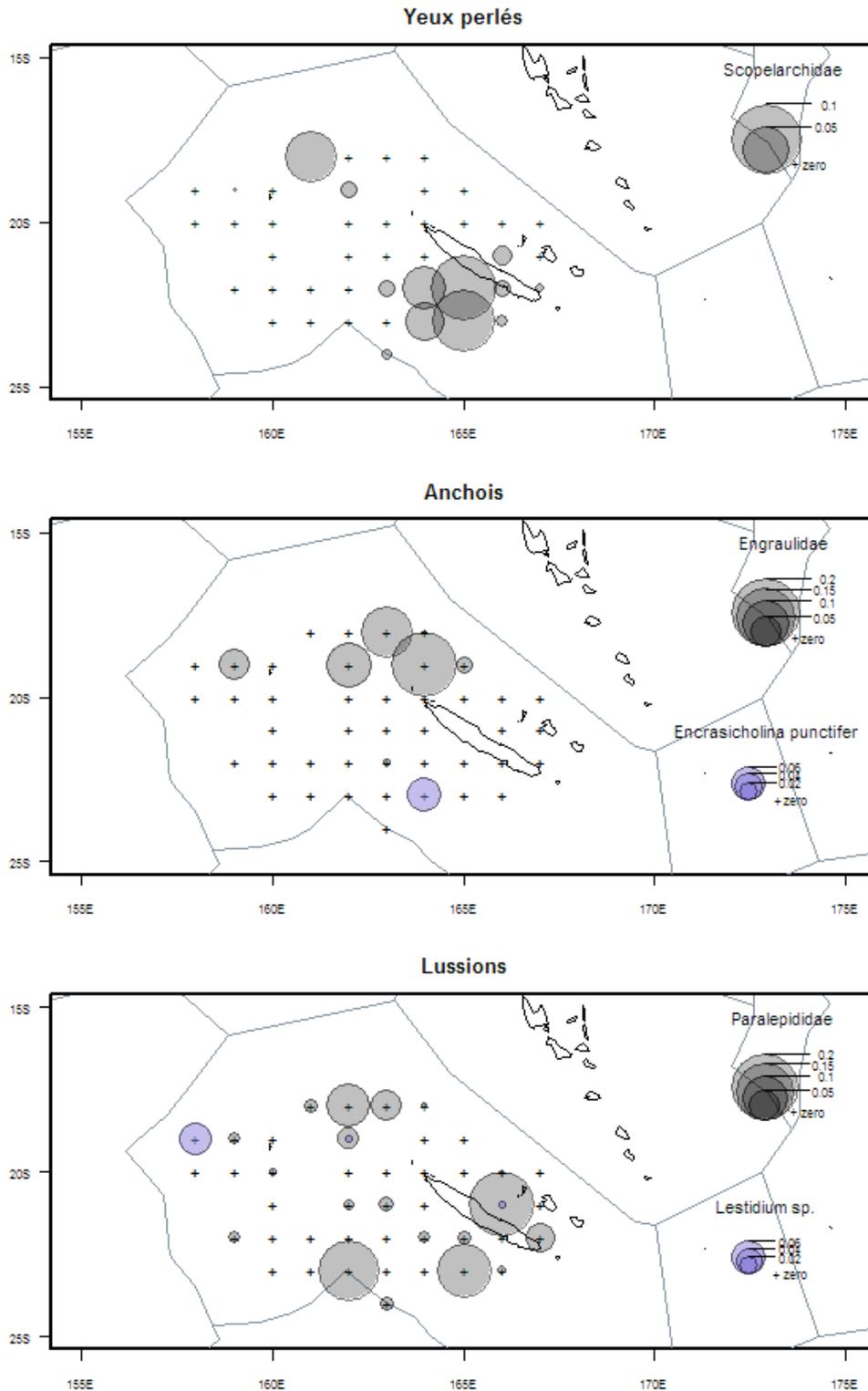
pourraient exister sur les pentes des Chesterfield. Enfin, les larves de poissons de récif : poissons chirurgiens, papillons et anges montrent une distribution relativement commune et concentrée dans un couloir vertical entre 162 et 164°E, entre l'ouest de la Grande Terre et l'est des Chesterfield (Figure 17) ; les chirurgiens montrant une distribution plus étendue spatialement. Cette zone de forte consommation de larves de poissons de récif correspond à une zone d'accumulation d'après les simulations de dérive des larves (Figure 18).



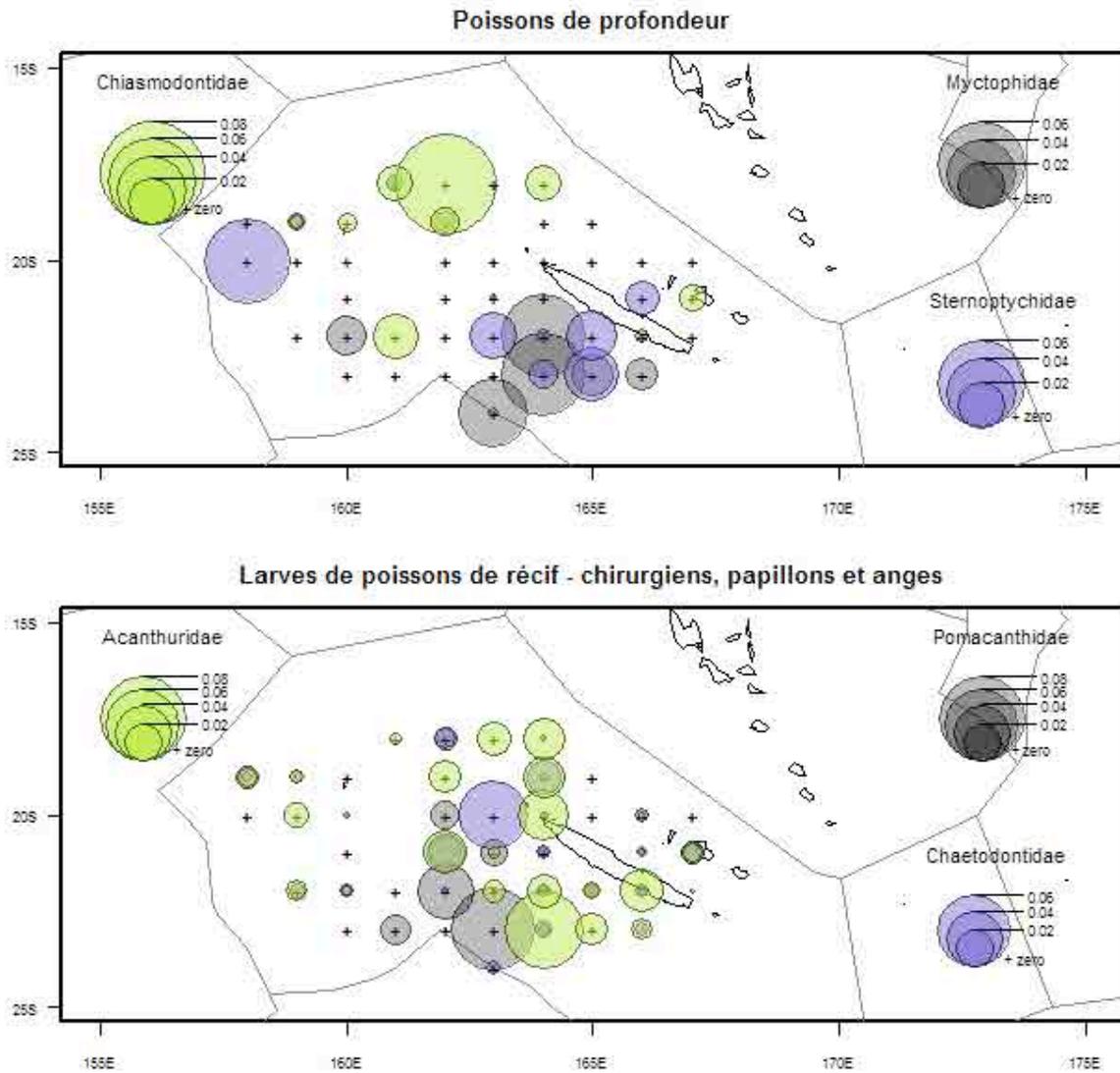
*Figure 14. Distribution spatiale par carrés de 1° de côté des crustacés les plus consommés, en proportion moyenne de poids. Les données incluent les thons germons échantillonnés dans la ZEE de Nouvelle-Calédonie entre 2001 et 2011.*



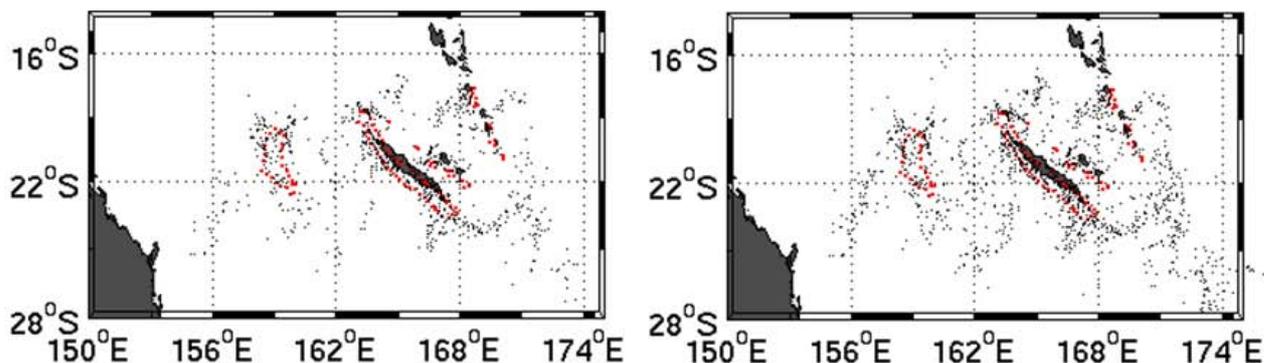
*Figure 15. Distribution spatiale par carrés de 1° de côté des mollusques les plus consommés, en proportion moyenne de poids. Les données incluent les thons germons échantillonnés dans la ZEE de Nouvelle-Calédonie entre 2001 et 2011.*



*Figure 16. Distribution spatiale par carrés de 1° de côté des poissons les plus consommés, en proportion moyenne de poids. Les données incluent les thons germons échantillonnés dans la ZEE de Nouvelle-Calédonie entre 2001 et 2011.*



*Figure 17. Distribution spatiale par carrés de 1° de côté des poissons les plus consommés, en proportion moyenne de poids. Les données incluent les thons germons échantillonnés dans la ZEE de Nouvelle-Calédonie entre 2001 et 2011.*



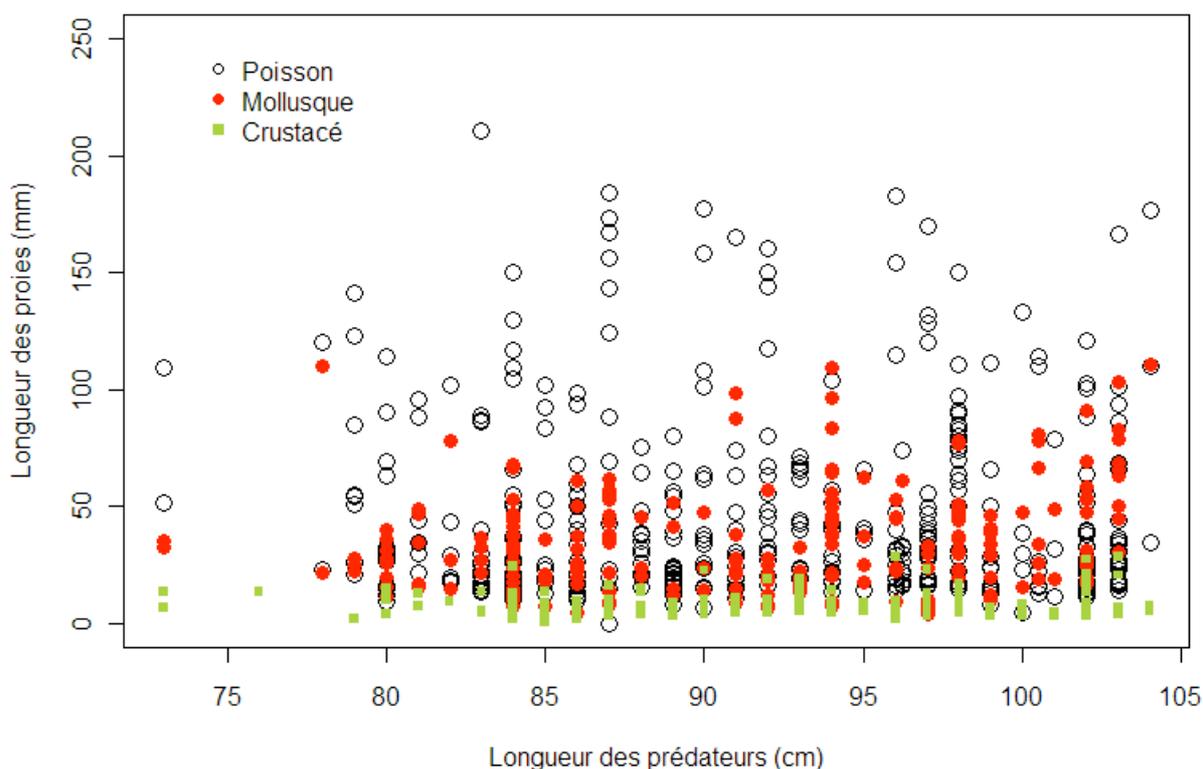
*Figure 18. Simulation lagrangienne du transport de larves récifales correspondantes au mois de novembre. Durée de vie limitée à 30 jours (gauche) et 50 jours (droite). Dans cette simulation effectuées avec ROMS, des flotteurs reproduisant certaines caractéristiques des larves, telles que la mobilité verticale et horizontale, sont lâchés en continu au dessus des barrières récifales de la région (en rouge sur les cartes). On observe qu'il existe des zones préférentielles de concentration, modulées essentiellement par la circulation de la couche de surface. Simulations réalisées par Andres Vega, IRD, Nouvelle-Calédonie.*

## *Taille des proies ingérées*

Les tailles moyennes des proies ingérées dont l'état de digestion permettait une mesure relativement précise étaient de 0.8 cm pour les crustacés, 4.9 cm pour les poissons et 3.5 cm pour les mollusques (Table 4). Des tests statistiques montrent que la longueur moyenne des proies ne varie pas avec la taille du prédateur. Même les prédateurs les plus gros continuent à consommer des proies de petite taille, mais il semble que la taille maximale des proies tende à augmenter avec la taille du prédateur sans répercussions sur la moyenne cependant (Figure 19).

**Table 4. Tailles moyennes, minimum et maximum des proies consommées par l'ensemble des thons germans échantillonnés dans la ZEE de Nouvelle-Calédonie entre 2001 et 2011. Les longueurs mesurées en mm sont la longueur standard pour les poissons (du bout du museau à l'extrémité de la colonne vertébrale), la longueur du manteau pour les mollusques (sans la tête et les tentacules), la longueur totale ou la longueur du céphalothorax pour les crustacés (sans la queue).**

Catégorie de proies	Nombre de proies mesurées	Longueur moyenne (mm)	Longueur minimum (mm)	Longueur maximum (mm)
Poissons	414	48.89	4.5	412.8
Crustacés	266	7.58	1.9	28.7
Mollusques	229	35.17	4.2	110.7



**Figure 19. Taille des proies ingérées par catégorie, en fonction de la taille des thons germans échantillonnés dans la ZEE de Nouvelle-Calédonie entre 2001 et 2011. Seules les proies dont l'état de digestion permettait une mesure relativement précise ont été prises en compte. Trois proies dont la taille dépassait les 250 mm ne sont pas visibles sur ce graphe. Voir la Erreur ! Source du renvoi introuvable. pour le détail des types de mesures utilisées pour chaque catégorie de proies.**

## *Résumé des résultats*

- 335 estomacs de thons germons ont été prélevés en 2010-2011 pendant le programme ZONECO augmentant la collection pour la Nouvelle-Calédonie qui atteint désormais 435 échantillons.
- Peu d'estomacs étaient vides (1%), cependant le taux de remplissage des estomacs des thons germons capturés à la palangre est faible : 0.2% soit 2g de nourriture par kg de prédateur.
- Le taux de remplissage des estomacs diminue quand la taille du prédateur augmente. Les besoins énergétiques des poissons plus grands que 85 cm seraient moins importants en raison du ralentissement de la croissance vers cette taille.
- Le taux de remplissage des estomacs pourrait être plus faible au cours du deuxième semestre de l'année indiquant que les poissons s'alimentent moins. Cependant la forte variabilité des données et le manque d'échantillons en novembre, décembre et janvier ne permet pas de conclure sur ce point.
- L'alimentation des thons germons est très diversifiée avec 205 proies différentes identifiées pour l'ensemble de l'échantillon. En moyenne 9 proies différentes sont identifiées dans chaque estomac.
- Le thon germon a un régime alimentaire assez équilibré entre 3 grandes catégories de proies : les poissons (40% en poids), les crustacés (29%) et les mollusques (27%). L'importante quantité de crustacés est remarquable par rapport aux autres espèces de thons qui en mangent peu et qui consomment plus de poissons.
- Les thons plus grands que 85 cm consomment plus de crustacés que les thons plus petits qui consomment plus de poissons.
- La proportion de mollusques est plus importante d'août à octobre au détriment de la proportion de poissons ; la proportion de crustacés reste constante sur toute l'année.

- Les thons germons se nourrissent surtout dans la couche de surface (0-200m) d'où ils tirent 29% en poids de leur alimentation (dont 8% sont de proies d'origine récifale). 16% de leur alimentation provient des couches profondes dont 6% sont des proies qui migrent en surface où elles pourraient être consommées, mais 8% viennent de la couche 200-500m et 2% viennent de la couche supérieure à 500m de profondeur (53% des proies ne peuvent pas être classées en groupes écologiques car elles sont trop digérées pour être identifiées avec précision). Ainsi s'ils mangent plutôt dans la couche de surface, les thons germons ont également la capacité de se nourrir en profondeur au moins jusqu'à 500m.
- Les thons plus grands que 85 cm consomment plus de proies de la couche de surface que les thons plus petits qui consomment plus de proies profondes. Cependant une forte incertitude existe sur ce point due à plusieurs facteurs : une forte proportion de proies non identifiées et non classées verticalement, des proies identifiées au niveau de la famille et pas au niveau de l'espèce et un manque global de connaissance sur la distribution verticale des proies.
- La proportion des proies de la couche de surface d'origine récifale oscille au cours de l'année avec un pic en avril qui pourrait être lié à une saisonnalité de la reproduction et de la présence des larves en pleine mer des langoustes, popinées et squilles qui sont les espèces principalement consommées dans cette catégorie de proies.
- Les proies les plus consommées par les thons germons sont, pour les crustacés, les larves de squilles (Stomatopoda), les tonneliers de mer (*Phronima sp.*), les petites crevettes *Thalassocaris sp.*, les larves de langoustes et de popinées (Palinuroidea) et les Phrosinidae qui font partie du zooplancton. Les calmars les plus consommés sont *Onychoteuthis sp.* et l'encornet à bande violette *Sthenoteuthis oualaniensis*. Pour les poissons, les espèces les plus importantes sont les lussions (Paralepididae), les escoliers (Gempylidae) et les yeux perlés (Scopelarchidae) qui sont des poissons mesopélagiques, les anchois (Engraulidae) et la brème *Pterycombus petersii* qui sont des poissons de la couche de surface.
- Les thons germons de taille inférieure à 85 cm consomment plus de calmars Onychoteuthidae et encornets à bande violette et de poissons yeux perlés et poissons lancettes (Alepisauridae) alors que les thons plus grands consomment plus de petites

crevettes *Thalassocaris sp.*. Cependant certaines espèces sont consommées par toutes les classes de taille tels que les tonneliers de mer, les Salpidae, les lussions.

- Aucune différence n'est observée entre les prédateurs du nord et du sud de la zone tant au niveau du taux de remplissage, qu'au niveau de la consommation par catégories ou par groupes écologiques de proies. Il faut analyser les données au niveau des taxons pour observer des différences entre zones. La plus ou moins fortes consommation de certaines espèces est clairement due à leur distribution dans le milieu naturel liée à leur préférences d'habitat (par exemple : *Thalassocaris sp.*, Sternoptychidae autour des Chesterfield) ou aux zones d'accumulation des organismes dérivants (par exemple : larves de squilles et de poissons de récifs).
- Les proies consommées font en général moins de 5 cm et la longueur moyenne des proies ne varie pas avec la taille du prédateur.

## *Bilan et perspectives*

Les objectifs du projet ont été atteints et ce travail a permis d'acquérir une meilleure connaissance du comportement alimentaire des thons germons en Nouvelle-Calédonie.

Ce prédateur a une alimentation relativement opportuniste avec une forte diversité de proies (205 espèces) de taille inférieure à 5 cm en moyenne. Il présente la particularité de consommer beaucoup de crustacés par rapport aux autres thons qui consomment plus de poissons et de calamars. Le faible nombre d'estomacs vides et le faible taux de remplissage laissent à penser que le thon germon s'alimente en permanence de petites quantités de proies. L'échantillonnage à la palangre ne permet pas de déterminer si ce prédateur s'alimente jour et nuit et les études précédentes sur ce sujet ne sont pas concluantes (Legand 1972). Le germon s'alimente en grande partie dans la couche de surface (0-200m) mais également dans les couches plus profondes, au moins jusqu'à 500m. Il est possible que le comportement alimentaire change quand les thons atteignent 85 cm : le taux de remplissage des estomacs diminue démontrant potentiellement des besoins énergétiques plus faibles, les catégories, groupes écologiques et taxons de proies sont différents. Une saisonnalité de la consommation des proies a été observée et pourrait être liée à une saisonnalité de la présence de ces proies

dans le milieu. Certaines proies sont consommées dans des zones géographiquement délimitées probablement en relation avec leurs préférences d'habitats ou en lien avec les zones d'accumulation des larves dérivantes. Il faut cependant garder à l'esprit que l'échantillonnage n'était pas représentatif de toutes les zones, saisons et gamme de taille du prédateur, que l'identification précise des proies n'est pas possible pour près de 50% du poids des proies et que les connaissances sur la distribution des proies sont très partielles ce qui limitent la confiance que l'on peut avoir dans les conclusions notamment sur les variations par gamme de taille, par saison et par zone.

Pour consolider ces résultats, plusieurs axes de travail pourraient être développés :

- Mesurer la condition des thons germans au cours de l'année et pour une large gamme de taille permettrait d'une part de déterminer si il y a bien un changement de condition entre les poissons plus petits et plus grands que 85 cm, et pour les poissons ayant atteint leur maturité cela permettrait de suivre l'évolution de la condition des poissons par rapport à la saison de ponte. De plus dans l'hypothèse où les poissons effectuent des migrations nord-sud entre des zones d'alimentation et des zones de pontes, la condition pourrait constituer un indice complémentaire de d'autres techniques pour savoir quand les poissons arrivent de leur zone de forte alimentation. La CPS possède un fatmeter, un appareil mesurant le taux de graisse des poissons qui est un bon indicateur de la condition de l'animal. Une série de mesures a déjà été effectuée au port de Nouville en 2010 par les échantillonneurs au port. Une analyse de ces données permettraient de savoir si des variations de la condition des poissons sont détectables et dans l'affirmative de proposer un nouveau plan d'échantillonnage avec cet appareil.
- Il serait bénéfique de poursuivre l'étude sur l'alimentation des thons avec un échantillonnage plus intense pour obtenir une meilleure couverture spatiale, temporelle et par classe de taille afin de différencier l'impact de ces 3 paramètres sur l'alimentation et le comportement des thons germans. Il pourrait être nécessaire de cibler certaines zones pour réaliser un échantillonnage plus régulier dans le temps, ou bien sur des périodes courtes d'échantillonner plusieurs zones. Cependant ce type de stratégie d'échantillonnage est difficilement envisageable lorsque le travail s'effectue avec les pêcheurs qui ont leur stratégie de pêche propre. De plus, actuellement le nombre d'observateurs à la mer qui peuvent effectuer les échantillonnages est très faible. Il est

donc recommander d'augmenter le nombre d'observateurs pour obtenir une meilleure couverture spatio-temporelle de la pêche ce qui serait bénéfique à la fois pour les données de pêche et de captures accessoires mais aussi pour les échantillonnages de tout type dont les contenus stomacaux. En Nouvelle-Calédonie il pourrait également être envisagé d'utiliser un bateau tel que l'Amborella pour mener ce type d'échantillonnage. De plus, en équipant les palangres avec des hameçons munis d'horloges et de profondimètres, des informations sur le moment et la profondeur où les poissons s'alimentent pourraient être obtenus comme lors de l'étude réalisée en 2004 au cours de laquelle peu de thons germans avaient été capturés du fait de la faible autonomie du navire utilisé à l'époque (Chavance 2005).

- Afin de mieux comprendre l'ensemble du cycle de vie des thons germans, en lien avec leurs migrations horizontales, il est important d'élargir le travail sur l'alimentation des thons aux zones voisines. En particulier il est nécessaire de mieux comprendre comment s'alimentent les juvéniles qui sont localiser autour de la Nouvelle-Zélande au sud de la Nouvelle-Calédonie et les poissons des zones plus tropicales comme aux Iles Salomon pour tenter d'identifier les zones propices à une bonne alimentation. La CPS possède des échantillons sur l'ensemble du Pacifique, y compris la Nouvelle-Zélande, la plupart ont été examinés au laboratoire, mais il reste encore des échantillons à analyser, et le traitement des données devra être réalisé pour évaluer s'il est nécessaire de poursuivre l'échantillonnage.
- Afin de vérifier que les proies consommées par les thons les plus petits sont bien bathypélagiques et donc que ces prédateurs descendent profond ; mais aussi pour vérifier une saisonnalité dans la présence de proies telles que les larves de squilles et de langoustes qui pourrait expliquer des variations saisonnières dans les déplacements de thons, l'acquisition d'une meilleure connaissance sur les proies présentes dans le milieu s'avère nécessaire. Des informations sur la distribution des proies dans le milieu océanique permettraient de mieux comprendre le comportement alimentaire des thons, leur distribution et leur migration. Le micronecton reste difficile à observer et les campagnes NECTALIS (voir la fiche NECTALIS) ont montré que les travaux à la mer pouvaient apporter de nombreuses informations qualitatives et quantitatives sur le micronecton en utilisant les outils acoustiques et l'échantillonnage au filet. La poursuite des campagnes à la mer apporterait de nombreuses informations sur le micronecton mais

aussi sur la caractérisation physico-chimique de l'habitat du thon pour mieux comprendre sa distribution. L'utilisation de navires océanographiques s'avère nécessaire pour réaliser ce type de travail pluridisciplinaire.

## ***Bibliographie***

- Chavance P. 2005. Depth, temperature, and capture time of longline targeted fish in New Caledonia: results of a one year study. 1st Meeting of the Scientific Committee of the Western and Central Pacific Fisheries Commission, WCPFC-SC1, Noumea, New Caledonia, 8-19 August 2005 WCPFC-SC1:1-6.
- Coutures E (2000) Contributions à l'étude du cycle des Palinuridae et des Scyllaridae (Crustacés Décapodes) du lagon Sud-Ouest de Nouvelle-Calédonie. Thèse de doctorant en Biologie des Organismes. Université de la Nouvelle-Calédonie
- Goñi N, Logan J, Arrizabalaga H, Jarry M, Lutcavage M. 2011. Variability of albacore (*Thunnus alalunga*) diet in the Northeast Atlantic and Mediterranean Sea. *Marine Biology* 158:1057-1073.
- Kodama K, Shiraishi H, Morita M, Horiguchi T. 2009. Reproductive biology of the Japanese mantis shrimp *Oratosquilla oratorai* (Crustacea Stomatopoda): annual cycle of gonadal development and copulation. *Marine Biology Research*. 5(5):415-426.
- Legand M, Bourret P, Fourmanoir P, Grandperrin R, Guérédrat JA, Michel A, Rancurel P, Repelin R, Roger C. 1972. Relations trophiques et distributions verticales en milieu pélagique dans l'Océan Pacifique intertropical. *Cahier de l'ORSTOM Série Océanographie* X:303-393.

# Annexe

**Annexe 1. Liste des proies identifiées dans les estomacs des thons germons échantillonnés dans la ZEE de Nouvelle-Calédonie sur l'ensemble de la période d'échantillonnage 2001-2011 (la liste de tous les taxons) et plus spécifiquement en 2010 (colonne Proies 2010). Ordre, Infra Ordre et famille correspondent à la classification taxonomique. Le taxon représente le niveau d'identification atteint le plus détaillé : l'espèce dans le meilleur des cas mais ce peut être le genre, la famille ou tout autre niveau taxonomique.**

Catégorie	Ordre	Infra Ordre	Famille	Taxon	Proies 2010
Poisson	Aulopiformes		Alepisauridae	Alepisauridae	x
Poisson	Aulopiformes		Alepisauridae	Alepisaurus sp.	x
Poisson	Aulopiformes		Alepisauridae	Omosudis lowii	x
Poisson	Aulopiformes		Paralepididae	Lestidium sp.	x
Poisson	Aulopiformes		Paralepididae	Lestrolepis sp.	x
Poisson	Aulopiformes		Paralepididae	Paralepididae	x
Poisson	Aulopiformes		Paralepididae	Sudis atrox	x
Poisson	Aulopiformes		Paralepididae	Sudis sp.	x
Poisson	Aulopiformes		Scopelarchidae	Scopelarchidae	x
Poisson	Aulopiformes		Scopelarchidae	Scopelarchus sp.	x
Poisson	Aulopiformes			Aulopiformes	x
Poisson	Beloniformes		Exocoetidae	Exocoetidae	x
Poisson	Beryciformes		Anoplogastridae	Anoplogaster cornuta	
Poisson	Beryciformes		Anoplogastridae	Anoplogaster sp.	x
Poisson	Beryciformes		Berycidae	Berycidae	x
Poisson	Beryciformes		Diretmidae	Diretmidae	x
Poisson	Beryciformes		Holocentridae	Holocentridae	
Poisson	Clupeiformes		Engraulidae	Engraulidae punctifer	x
Poisson	Clupeiformes		Engraulidae	Engraulidae	x
Poisson	Gasterosteiformes		Pegasidae	Pegasidae	x
Poisson	Lampridiformes		Trachipteridae	Trachipteridae	x
Poisson	Lophiiformes			Lophiiformes	x
Poisson	Myctophiformes		Myctophidae	Myctophidae	x
Poisson	Ophidiiformes		Ophidiidae	Brotula sp.	
Poisson	Ophidiiformes		Ophidiidae	Ophidiidae	x
Poisson	Perciformes		Acanthuridae	Acanthuridae	x
Poisson	Perciformes		Acanthuridae	Naso sp.	x
Poisson	Perciformes		Blenniidae	Blenniidae	x
Poisson	Perciformes		Bramidae	Brama sp.	x
Poisson	Perciformes		Bramidae	Bramidae	x
Poisson	Perciformes		Bramidae	Pterycombus petersii	x
Poisson	Perciformes		Chaetodontidae	Chaetodon sp.	
Poisson	Perciformes		Chaetodontidae	Chaetodontidae	x
Poisson	Perciformes		Chiasmodontidae	Chiasmodontidae	x
Poisson	Perciformes		Chiasmodontidae	Pseudoscopelus sp.	x
Poisson	Perciformes		Gempylidae	Gempylidae	x
Poisson	Perciformes		Gempylidae	Gempylus serpens	
Poisson	Perciformes		Howellidae	Howella sp.	x
Poisson	Perciformes		Malacanthidae	Hoplolatilus sp.	x
Poisson	Perciformes		Malacanthidae	Malacanthidae	x
Poisson	Perciformes		Nomeidae	Nomeidae	x
Poisson	Perciformes		Ostracoberycidae	Ostracoberyx paxtoni	x

Catégorie	Ordre	Infra Ordre	Famille	Taxon	Proies 2010
Poisson	Perciformes		Ostracoberycidae	Ostracoberyx sp.	x
Poisson	Perciformes		Pomacanthidae	Pomacanthidae	x
Poisson	Perciformes		Priacanthidae	Priacanthidae	x
Poisson	Perciformes		Scombridae	Katsuwonus pelamis	x
Poisson	Perciformes		Scombridae	Scombridae	x
Poisson	Perciformes		Scombrolabracidae	Scombrolabrax heterolepis	x
Poisson	Perciformes		Serranidae	Anthiinae	x
Poisson	Perciformes		Serranidae	Serranidae	x
Poisson	Perciformes		Siganidae	Siganus sp.	
Poisson	Perciformes		Trichiuridae	Trichiuridae	x
Poisson	Perciformes			Perciformes	x
Poisson	Perciformes			Trichiuridae/Gempylidae	x
Poisson	Polymixiiformes		Polymixiidae	Polymixia sp.	x
Poisson	Scorpaeniformes		Scorpaenidae	Scorpaenidae	x
Poisson	Scorpaeniformes		Triglidae	Triglidae	x
Poisson	Stomiiformes		Sternoptychidae	Argyropelecus sp.	x
Poisson	Stomiiformes		Sternoptychidae	Polyipnus sp.	x
Poisson	Stomiiformes		Sternoptychidae	Sternoptychidae	x
Poisson	Stomiiformes		Sternoptychidae	Sternoptychinae	x
Poisson	Stomiiformes		Sternoptychidae	Sternoptyx sp.	x
Poisson	Tetraodontiformes		Balistidae	Balistidae	x
Poisson	Tetraodontiformes		Molidae	Masturus lanceolatus	
Poisson	Tetraodontiformes		Molidae	Ranzania laevis	
Poisson	Tetraodontiformes		Monacanthidae	Monacanthidae	x
Poisson	Tetraodontiformes		Monacanthidae	Pervagor sp.	x
Poisson	Tetraodontiformes		Ostraciidae	Lactoria fornasini	
Poisson	Tetraodontiformes		Ostraciidae	Lactoria sp.	
Poisson	Tetraodontiformes		Ostraciidae	Ostraciidae	x
Poisson	Tetraodontiformes		Tetraodontidae	Lagocephalus lagocephalus	
Poisson	Tetraodontiformes		Tetraodontidae	Lagocephalus sp.	x
Poisson	Tetraodontiformes		Tetraodontidae	Tetraodontidae	x
Poisson	Tetraodontiformes			Balistidae/Monacanthidae	x
Poisson	Tetraodontiformes			Tetraodontiformes	x
Poisson	Zeiformes		Caproidae	Antigonia sp.	x
Poisson	Zeiformes		Caproidae	Caproidae	x
Poisson	Zeiformes		Grammicolepididae	Grammicolepididae	x
Poisson	Zeiformes		Grammicolepididae	Grammicolepidinae	x
Poisson	Zeiformes		Grammicolepididae	Xenolepidichthys dalgleishi	
Poisson	Zeiformes		Zeniontidae	Zenion sp.	x
Poisson	Zeiformes		Zeniontidae	Zeniontidae	x
Poisson	Zeiformes			Zeiformes	
Poisson				Pteraclis aesticola	x
Poisson				Unidentified fish	x

Catégorie	Ordre	Infra Ordre	Famille	Taxon	Proies 2010
Crustacé	Amphipoda	Physocephalata	Cystisomatidae	Cystisoma sp.	x
Crustacé	Amphipoda	Physocephalata	Hyperiididae	Hyperiididae	x
Crustacé	Amphipoda	Physocephalata	Oxycephalidae	Oxycephalidae	x
Crustacé	Amphipoda	Physocephalata	Oxycephalidae	Streetsia sp.	
Crustacé	Amphipoda	Physocephalata	Phronimidae	Phronima sp.	x
Crustacé	Amphipoda	Physocephalata	Phrosinidae	Phrosina semilunata	x
Crustacé	Amphipoda	Physocephalata	Phrosinidae	Phrosina sp.	x
Crustacé	Amphipoda	Physocephalata	Phrosinidae	Phrosinidae	x
Crustacé	Amphipoda	Physocephalata	Platyscelidae	Platyscelidae	x
Crustacé	Amphipoda	Physocephalata	Vibiliidae	Vibilia sp.	x
Crustacé	Amphipoda	Physocephalata		Physocephalata	x
Crustacé	Amphipoda	Physocephalata		Platyscelidae/Parascelidae	x
Crustacé	Amphipoda	Physocephalata		Platysceloidea	x
Crustacé	Amphipoda		Cyphocarididae	Cyphocarididae	x
Crustacé	Amphipoda			Amphipoda	x
Crustacé	Amphipoda			Hyperioidea	x
Crustacé	Decapoda	Anomura	Diogenidae	Diogenidae	x
Crustacé	Decapoda	Anomura	Galatheidae	Galatheidae	x
Crustacé	Decapoda	Anomura	Paguridae	Paguridae	
Crustacé	Decapoda	Anomura		Anomura zoëa	
Crustacé	Decapoda	Anomura		Galatheoidea	x
Crustacé	Decapoda	Anomura		Paguroidea	x
Crustacé	Decapoda	Astacidea		Astacidea	x
Crustacé	Decapoda	Brachyura		Brachyuran megalopa	x
Crustacé	Decapoda	Caridea	Oplophoridae	Acanthephyra sp.	x
Crustacé	Decapoda	Caridea	Pandalidae	Heterocarpus sp.	x
Crustacé	Decapoda	Caridea	Pandalidae	Pandalidae	x
Crustacé	Decapoda	Caridea	Pandalidae	Proclites sp.	x
Crustacé	Decapoda	Caridea	Thalassocarididae	Thalassocaris sp.	x
Crustacé	Decapoda	Caridea		Caridea	x
Crustacé	Decapoda	Caridea		Pandaloidea	x
Crustacé	Decapoda	Palinura	Palinuridae	Palinuridae	x
Crustacé	Decapoda	Palinura	Scyllaridae	Ibacus sp.	
Crustacé	Decapoda	Palinura	Scyllaridae	Scyllaridae	x
Crustacé	Decapoda	Palinura	Scyllaridae	Scyllarus sp.	x
Crustacé	Decapoda	Palinura		Palinuroidea	x
Crustacé	Decapoda	Stenopodidea	Enoplozetopidae	Enoplozetopus sp.	x
Crustacé	Decapoda	Thalassinidea		Thalassinidea	
Crustacé	Decapoda		Penaeidae	Funchalia sp.	
Crustacé	Decapoda		Penaeidae	Penaeidae	
Crustacé	Decapoda		Sergestidae	Sergia sp.	x
Crustacé	Decapoda			Decapoda	x
Crustacé	Decapoda			Penaeoidea	x
Crustacé	Decapoda			Shrimp	x
Crustacé	Euphausiacea		Euphausiidae	Euphausiidae	x
Crustacé	Euphausiacea			Euphausiacea	x
Crustacé	Isopeida			Isopeida	x
Crustacé	Pedunculata		Lepadidae	Lepadidae	
Crustacé	Stomatopoda		Squillaeidae	Squillaeidae	
Crustacé	Stomatopoda			Squilloidea	
Crustacé	Stomatopoda			Stomatopoda	x
Crustacé				Copepoda	x
Crustacé				Copepoda (subclass)	x
Crustacé				Unidentified crustacea	x

Catégorie	Ordre	Infra Ordre	Famille	Taxon	Proies 2010
Mollusque	Neotaenioglossa		Atlantidae	Atlanta sp.	x
Mollusque	Neotaenioglossa		Atlantidae	Atlantidae	x
Mollusque	Neotaenioglossa		Carinariidae	Carinaria sp.	x
Mollusque	Neotaenioglossa		Carinariidae	Carinariidae	x
Mollusque	Octopoda		Argonautidae	Argonauta sp.	x
Mollusque	Octopoda		Bolitaenidae	Bolitaenidae	x
Mollusque	Octopoda		Octopodidae	Octopodidae	x
Mollusque	Octopoda		Octopodidae	Octopus defilippi	
Mollusque	Octopoda		Octopodidae	Octopus sp.	x
Mollusque	Octopoda			Incirrata	x
Mollusque	Octopoda			Octopoda	x
Mollusque	Sepiolida		Sepiolidae	Heteroteuthinae	x
Mollusque	Sepiolida		Sepiolidae	Heteroteuthis dagamensis	
Mollusque	Sepiolida		Sepiolidae	Heteroteuthis hawaiiensis	
Mollusque	Sepiolida		Sepiolidae	Heteroteuthis sp.	x
Mollusque	Sepiolida		Sepiolidae	Sepiolidae	x
Mollusque	Sepiolida		Sepiolidae	Sepiolinae	
Mollusque	Teuthida		Chiroteuthidae	Chiroteuthidae	x
Mollusque	Teuthida		Cranchiidae	Cranchia scabra	x
Mollusque	Teuthida		Cranchiidae	Cranchiidae	x
Mollusque	Teuthida		Cranchiidae	Cranchiinae	x
Mollusque	Teuthida		Cranchiidae	Lio cranchia reinhardti	x
Mollusque	Teuthida		Cranchiidae	Lio cranchia sp.	x
Mollusque	Teuthida		Cranchiidae	Megalocranchia sp.	x
Mollusque	Teuthida		Enoploteuthidae	Enoploteuthidae	x
Mollusque	Teuthida		Enoploteuthidae	Enoploteuthis sp.	x
Mollusque	Teuthida		Histioteuthidae	Histioteuthidae	x
Mollusque	Teuthida		Histioteuthidae	Histioteuthis sp.	x
Mollusque	Teuthida		Lycoteuthidae	Lampadioteuthis megaleia	x
Mollusque	Teuthida		Ommastrephidae	Hyaloteuthis pelagica	x
Mollusque	Teuthida		Ommastrephidae	Ommastrephidae	x
Mollusque	Teuthida		Ommastrephidae	Ommastrephinae	x
Mollusque	Teuthida		Ommastrephidae	Ornithoteuthis volatilis	x
Mollusque	Teuthida		Ommastrephidae	Sthenoteuthis oualaniensis	x
Mollusque	Teuthida		Onychoteuthidae	Callimachus rancureli	x
Mollusque	Teuthida		Onychoteuthidae	Callimachus sp.	x
Mollusque	Teuthida		Onychoteuthidae	Onychoteuthidae	x
Mollusque	Teuthida		Onychoteuthidae	Onychoteuthis meridiopacifica	x
Mollusque	Teuthida		Onychoteuthidae	Onychoteuthis sp.	x
Mollusque	Teuthida		Pholidoteuthidae	Pholidoteuthis massyae	x
Mollusque	Teuthida		Pyroteuthidae	Pterygioteuthis sp.	x
Mollusque	Teuthida		Pyroteuthidae	Pyroteuthidae	x
Mollusque	Teuthida			Oegopsida	x
Mollusque	Teuthida			Teuthida	
Mollusque	Thecosomata		Cavoliniidae	Cavolinia sp.	x
Mollusque	Thecosomata		Cavoliniidae	Cavoliniidae	x
Mollusque	Thecosomata		Cavoliniidae	Clio pyramidata	
Mollusque	Thecosomata		Cavoliniidae	Diacria sp.	x
Mollusque	Thecosomata			Thecosomata	
Mollusque				Cephalopod beak	x
Mollusque				Cephalopod gladius	x
Mollusque				Decapodiformes	x
Mollusque				Gastropoda (class)	x
Mollusque				Octopodiformes	x
Mollusque				Unidentified cephalopoda	x
Mollusque				Unidentified mollusc	x

Catégorie	Ordre	Infra Ordre	Famille	Taxon	Proies 2010
Déchet anthropique				Rubbish (human product)	x
Non reconnaissable				Unrecognizable	x
Végétal				Algae	x
Végétal				Wood	x
Invertébré	Pyrosomida		Pyrosomatidae	Pyrosomatidae	x
Invertébré	Salpida		Salpidae	Salpidae	x
Invertébré				Gelatinous plankton	x
Invertébré				Polychaeta (class)	x
Invertébré				Unidentified invertebrate	
Minéral				Stone	x

*Annexe 2. Photos des principales proies du thon germon en Nouvelle-Calédonie. La taille indiquée est celle de l'organisme présenté en photo. Les tailles moyennes, minimales et maximales indiquent les tailles des organismes consommés par les thons germons en Nouvelle-Calédonie entre 2001 et 2011 et dont l'état de digestion a permis d'en réaliser une mesure (voir la Table 4 pour les types de mesures utilisés).*

### CRUSTACES



*Phronima* sp.

- Tonnelier de mer -  
3cm

Max : 2.8 cm    Min : 2.7 cm    Moy : 2.8 mm



*Phronima* sp. dans une salpe

- Tonnelier de mer -  
3cm

Max : 1.7 cm    Min : 0.9 cm    Moy : 1.3 cm



Hyperiidae  
*Phrosina semilunata*

*Phrosina semilunata*

1.5cm

Max : 1.7 cm    Min : 0.9 cm    Moy : 1.3 cm



Larve de Stomatopoda

- Squille -  
5cm

Max : 2.9 cm    Min : 0.5 cm    Moy : 1.0 cm



Larve de Palinuroidea

- Langoustes, Cigales de mer -  
2.5 cm

Max : 2.5 cm    Min : 2.5 cm    Moy : 2.5 cm



*Thalassocaris* sp.

Longueur totale : 1.5 cm / Long. céphalothorax (CT) : 0.6  
cm

CT Max : 1.0cm    CTMin : 0.2cm    CTMoy : 0.5cm

**MOLLUSQUES**



**Onychoteuthidae**

Longueur totale : 10 cm / Longueur manteau (ML) : 3 cm  
ML Max : 10.3cm ML Min : 1.0 cm ML Moy : 3.1 cm

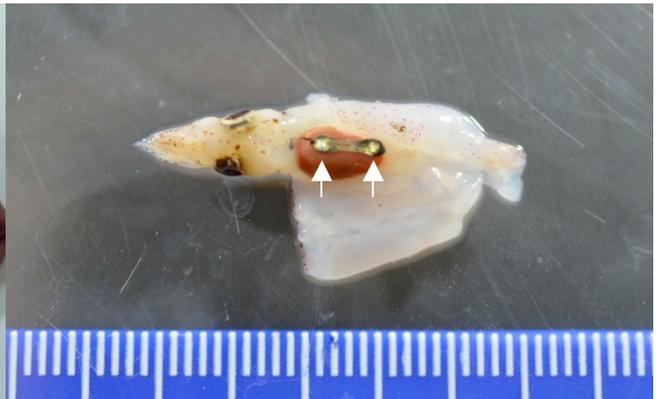
***Onychoteuthis* sp.**

Longueur totale : 5 cm / Longueur manteau (ML) : 3 cm  
ML Max : 6.1 cm ML Min : 1.4cm ML Moy : 3.2 cm



***Callimachus rancureli* (Onychoteuthidae)**

Longueur totale : 6cm



***Sthenoteuthis oualaniensis***

- Encornet bande violette -

Longueur totale : 25 cm / Longueur manteau (ML) : 12 cm  
ML Max : 11.1 ML Min : 3.4 cm ML Moy : 7.8 cm  
cm

***Sthenoteuthis oualaniensis***

- Encornet bande violette -

Longueur totale : 2.5 cm / Longueur manteau (ML) : 1.5 cm  
Pour identifier ce spécimen, nous avons dû ouvrir son manteau afin d'observer la présence ou non de photophores. Sur la photo, sont visibles la glande digestive (en rouge) et les photophores viscéraux (flèches blanches).

**POISSONS**



*Pterycombus petersii* (Bramidae)

- Brème -  
5cm

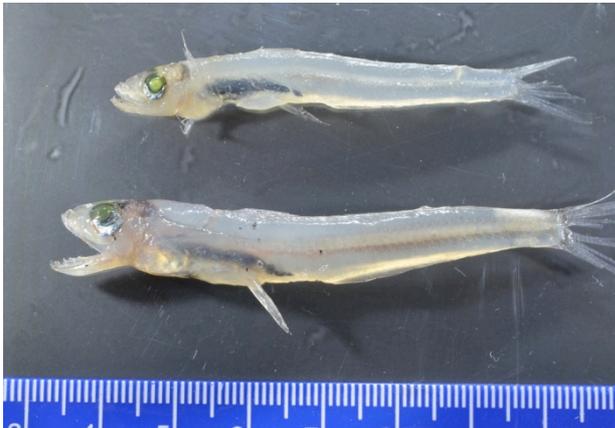
Max : 21.4 cm    Min : 2.2 cm    Moy : 5.0 cm



Gempylidae/Trichiuridae

- Escoliers / Poissons sabre -  
20cm

Max : 18.4 cm    Min : 12.1 cm    Moy : 15.1 cm



Scopelarchidae

- Yeux-perlés -  
8cm

Max : 11.4 cm    Min : 5.1 cm    Moy : 8.8 cm



Gempylidae

- Escoliers -  
15cm

Max : 18.7 cm    Min : 3.9 cm    Moy : 9.2 cm



Engraulidae

- Anchois -  
4cm

Max : 12.5 cm    Min : 5.5 cm    Moy : 9.0 cm



Paralepididae

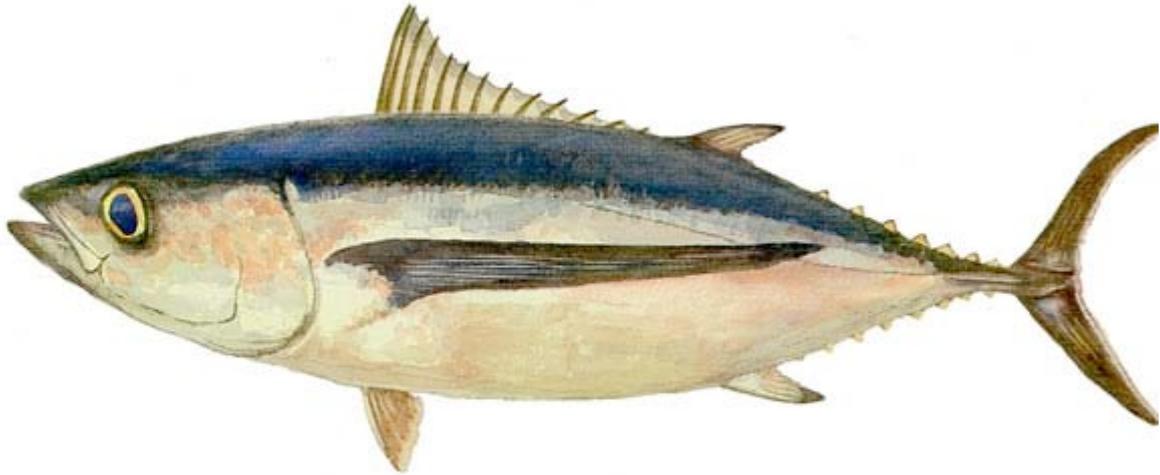
- Lussions -  
15cm

Max : 20.3 cm    Min : 4.8 cm    Moy : 12.5 cm

---

## FICHE 3 : LE COMPORTEMENT DU THON BLANC

---



<b>Introduction.....</b>	<b>72</b>
<b>Méthodes.....</b>	<b>72</b>
<b>Marquages.....</b>	<b>72</b>
<b>Analyses.....</b>	<b>74</b>
<b>Résultats .....</b>	<b>75</b>
<b>Marquage.....</b>	<b>75</b>
<b>Mouvements horizontaux.....</b>	<b>76</b>
<b>Mouvements verticaux .....</b>	<b>79</b>
<b>Discussion.....</b>	<b>82</b>
<b>Conclusions .....</b>	<b>85</b>
<b>Perspectives.....</b>	<b>85</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>86</b>

## *Introduction*

Les déplacements horizontaux et verticaux du germon du sud sont relativement peu connus comparés à ceux d'autres espèces de thonidés. On estime généralement qu'une partie du stock de germon du sud réalise une migration latitudinale, vers le sud durant les mois chauds estivaux et vers le nord durant la saison fraîche hivernale. La compréhension de ces migrations repose sur les variations saisonnières des taux de captures du germon qui sont corrélées aux variations saisonnières des températures des eaux de surface (Langley 2006). À l'heure actuelle, on ne dispose d'aucune information directe provenant d'études de marquage dans le Pacifique Sud pour confirmer l'hypothèse de ces caractéristiques migratoires. Or, elles ont des répercussions importantes sur la pêche palangrière en Nouvelle-Calédonie, dans le nord de la zone de distribution du germon, où les taux de captures sont généralement élevés de juillet à septembre, et bas le reste de l'année.

Afin de pallier notre manque de données directes de marquage, nous avons monté un projet dont l'objectif était d'équiper 30 germons avec des marques électroniques permettant de caractériser les déplacements horizontaux et verticaux du germon. Ces marques ont été posées sur des germons capturés en Nouvelle-Calédonie, en Nouvelle-Zélande et aux Tonga.

## *Méthodes*

### **Marquages**

Nous avons équipé les thons de capteurs de type miniPAT Wildlife Computers (figure 1) permettant de caractériser les déplacements horizontaux et verticaux du germon. Ces marques miniPAT ont été posées sur des germons capturés en Nouvelle-Calédonie, en Nouvelle-Zélande et aux Tonga, ce qui a permis d'évaluer les différences régionales entre les mouvements horizontaux et verticaux du germon.



*Fig. 1. Marque de type miniPAT Wildlife Computers*

Des campagnes de marquage du germon du sud ont été réalisées en Nouvelle-Calédonie, en Nouvelle-Zélande et aux Tonga, entre mars et juillet 2010. L'équipe du projet a affrété dans chaque pays un palangrier de la flottille nationale afin de capturer 10 germons adultes, de taille supérieure à 100 cm, vivants et en assez bonne santé pour le marquage. Les marques miniPAT ont été placées sous la première dorsale (figure 2) avec une double prise afin de favoriser la rétention du capteur et de limiter le plus possible les mouvements de la marque sur le poisson. Chaque miniPAT, programmée pour se détacher après 352 jours, est équipée d'un système de largage automatique si le poisson descend sous les 1 800 m ou reste à une profondeur constante (+/- 3 m) plus de deux jours consécutifs. Les capteurs enregistrent toutes les 75 secondes la profondeur (pression), la température de l'eau et la luminosité au lever et au coucher du soleil.



*Fig. 2. Marque de type miniPAT placée sur un germon avant remise à l'eau*

## Analyses

Dès que les marques se détachent et remontent à la surface, les données enregistrées par les capteurs miniPAT après implantation sont transmises au satellite ARGOS. Nous avons ainsi pu estimer la position quotidienne des individus marqués grâce aux données de luminosité enregistrées par le capteur et le logiciel WC-DAP Global Position Estimator de Wildlife Computers. Les localisations ont ensuite été affinées grâce à des modèles espace-état (UKFSST). Les températures de l'eau enregistrées par chaque marque ont permis de déduire la température des eaux de surface. Les données de température et de profondeur ont servi à l'analyse des déplacements verticaux de chaque poisson.

Les données de température et de profondeur ont été divisées en quatre périodes afin de décrire le comportement nyctéméral du germon. Les quatre périodes sont les suivantes : l'aube (45 minutes avant et après le lever du soleil), la journée (entre l'aube et le crépuscule), le crépuscule (45 minutes avant et après le coucher du soleil) et la nuit (entre le crépuscule et l'aube). Des modèles linéaires ont permis de vérifier les effets des périodes et des emplacements sur la température et la profondeur moyennes des eaux dans lesquelles évolue le germon.

## Résultats

### Marquage

Plus de la moitié des germons capturés au cours des trois campagnes de marquage ont été pêchés en Nouvelle-Calédonie (599 thons pêchés), tandis que le reste s'est réparti pratiquement à part égale entre la Nouvelle-Zélande (189 thons) et les Tonga (174 thons). Le taux de germons viables pour la pose de capteurs durant les campagnes de Nouvelle-Calédonie et des Tonga a été généralement très faible, inférieur à 3 %. Toutefois, en Nouvelle-Zélande, jusqu'à 62 % des germons pêchés étaient en bonne santé, ce qui s'explique très probablement par des profondeurs de pêche moins importantes et des eaux plus froides que dans les autres régions. Malheureusement, la majorité des poissons capturés en Nouvelle-Zélande ont été jugés trop petits pour recevoir une marque.

Au total, 19 germons ont été marqués avec des miniPAT dans les trois régions (tableau 1). L'objectif initial de 10 marquages miniPAT a été atteint pour la campagne de Nouvelle-Calédonie, mais seulement cinq marques ont pu être implantées en Nouvelle-Zélande et quatre aux Tonga (tableau 1). Ce taux de marquage s'explique essentiellement par les faibles taux de captures et le mauvais état des prises aux Tonga, et les faibles taux de captures et la petite taille des prises en Nouvelle-Zélande.

Après leur implantation, 18 des 19 miniPAT posées ont transmis des données prématurément. Un capteur implanté en Nouvelle-Calédonie et vraisemblablement hors service n'a transmis aucune donnée à ce jour. La raison expliquant cette transmission prématurée de données reste floue, mais il est probable qu'elle soit liée dans la plupart des cas à la mort des poissons marqués.

**Tableau 1. Données sur le lâcher des germes marqués à l'aide d'une miniPAT pour chaque zone.**

Lieu	Marque	FL (cm)	Date de lâcher des germes marqués	Date de largage	Nombre de jours de données	Déplacement (km)	Vitesse de déplacement (km/jour)
Nouvelle-Calédonie	54191	100	27/06/2010	14/06/2011	351	-	-
	54195	101	03/07/2010	8/07/2010	5	14	2,8
	54196	100	1/07/2010	18/07/2010	17	155	9,1
	54197	101	3/07/2010	6/07/2010	3	-	-
	54200	102	28/06/2010	28/06/2010	0	-	-
	54207	101	3/07/2010	-	-	-	-
	54219	97	27/06/2010	4/07/2010	7	131	18,7
	54220	102	27/06/2010	14/07/2010	2	109	54,5
	54223	107	2/07/2010	2/07/2010	0	-	-
	54226	98	25/06/2010	26/06/2010	1	-	-
Nouvelle-Zélande	54229	93	7/05/2010	24/06/2010	48	1 102	23,0
	54231	98	7/05/2010	16/05/2010	9	543	60,3
	54235	98	7/05/2010	04/06/2010	28	50	1,8
	54236	98	7/05/2010	21/05/2010	14	465	33,2
	54237	102	8/05/2010	19/05/2010	11	127	11,5
Tonga	54238	95	1/07/2010	1/07/2010	0	-	-
	54239	89	5/07/2010	5/07/2010	0	-	-
	54243	105	5/07/2010	5/07/2010	0	-	-
	54244	91	6/07/2010	9/08/2010	34	282	8,3

## Mouvements horizontaux

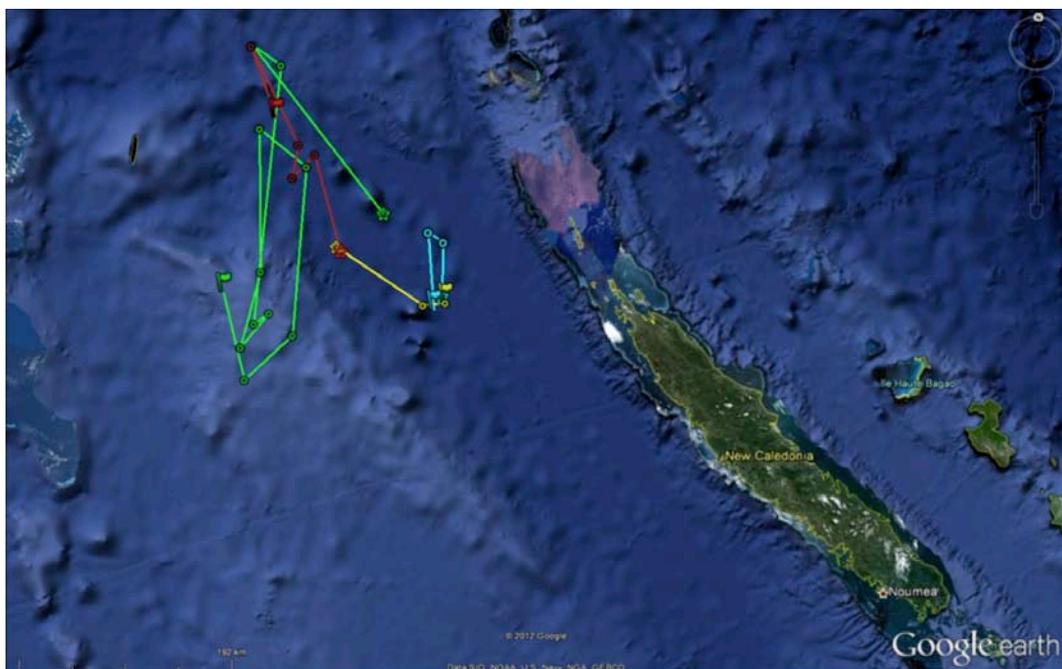
Sur les 18 marques émettrices, seules 10 ont enregistré suffisamment de données pour permettre une évaluation des mouvements horizontaux du germon (tableau 1). Il s'agit de quatre marques en Nouvelle-Calédonie, cinq marques en Nouvelle-Zélande et une marque aux Tonga. Une marque posée en Nouvelle-Calédonie (54191) a enregistré des données durant 351 jours. Cependant, après vérification des données, il est clairement apparu que le poisson était mort dans les deux premiers jours et avait été ingéré par un prédateur inconnu. Le nombre de jours où des données ont été enregistrées était généralement plus élevé en Nouvelle-Zélande (22 jours en moyenne) qu'en Nouvelle-Calédonie (4,4 jours en moyenne, sans prendre en compte le poisson ingéré).

Les déplacements estimés des quatre poissons de Nouvelle-Calédonie sont assez limités. Tous les germes marqués sont restés dans le nord-est de la ZEE calédonienne

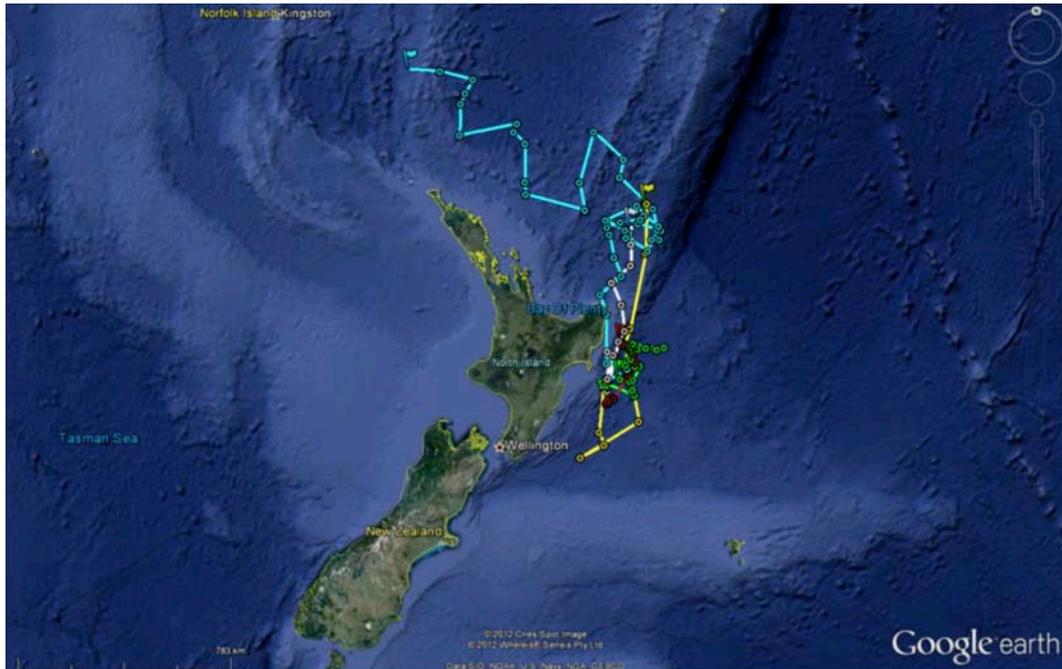
(figure 3). Ceci dit, les mouvements ont été enregistrés pour une période de 2 à 17 jours seulement (tableau 1), de sorte que des déplacements importants étaient peu probables. La plus longue distance parcourue en ligne droite a été de 155 km entre le lieu de marquage et le lieu de détachement de la marque (« pop-up »).

Les distances parcourues par les germons marqués en Nouvelle-Zélande ont été très variables, mais trois d'entre eux se sont déplacés sur plus de 450 km (tableau 1). Le plus long déplacement observé en Nouvelle-Zélande a été de 1 100 km. Ce poisson s'est tout d'abord dirigé vers le nord, avant de s'engager vers le nord-est le long de la ride de Norfolk en direction de la Nouvelle-Calédonie (figure 4). Les trois autres individus semblent avoir suivi le même itinéraire en direction du nord.

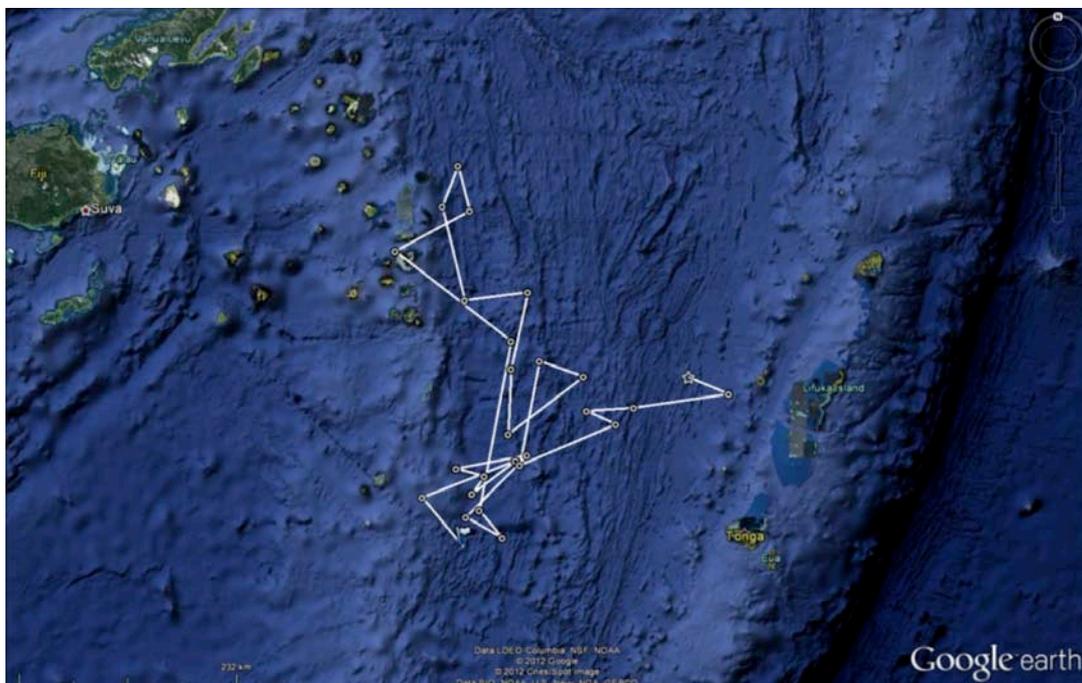
Quant au marquage aux Tonga, le seul germon pour lequel les données transmises sont suffisantes pour produire une estimation a parcouru une distance nette de 282 km en 34 jours (tableau 1). Le parcours estimé pendant cette période semble indiquer que le germon est brièvement entré dans les eaux Fidjiennes avant de revenir dans les eaux Tongiennes (figure 5).



*Fig. 3. Parcours estimés des quatre germons marqués en Nouvelle-Calédonie. Les étoiles indiquent le lieu du lâcher et les drapeaux signalent l'emplacement des dernières données fiables ou de la libération de la marque.*



*Fig. 4. Parcours estimés des cinq germons marqués en Nouvelle-Zélande. Les étoiles indiquent le lieu du lâcher et les drapeaux signalent l'emplacement des dernières données fiables ou de la libération de la marque.*



*Fig. 5. Parcours estimé du germon marqué aux Tonga. Les étoiles indiquent le lieu du lâcher et les drapeaux signalent l'emplacement des dernières données fiables ou de la libération de la marque.*

## Mouvements verticaux

Les variations de température et de profondeur pour les individus marqués en Nouvelle-Calédonie, en Nouvelle-Zélande et aux Tonga sont présentées dans le tableau 2. On observe une variabilité dans l'amplitude des températures et des profondeurs entre les individus d'une même zone, mais cette variabilité est moindre que celle existant entre les zones. En Nouvelle-Calédonie, la température moyenne se situe entre 20,5 et 22,6°C le jour, et 23,8 et 25,5°C la nuit, la profondeur moyenne allant de 188 à 216 m le jour, et de 76 à 118 m la nuit. En Nouvelle-Zélande, la température moyenne se situe entre 17,5 et 18,4°C le jour et 17,9 et 18,6°C la nuit, la profondeur moyenne allant de 34 à 87 m le jour et de 23 à 78 m la nuit.

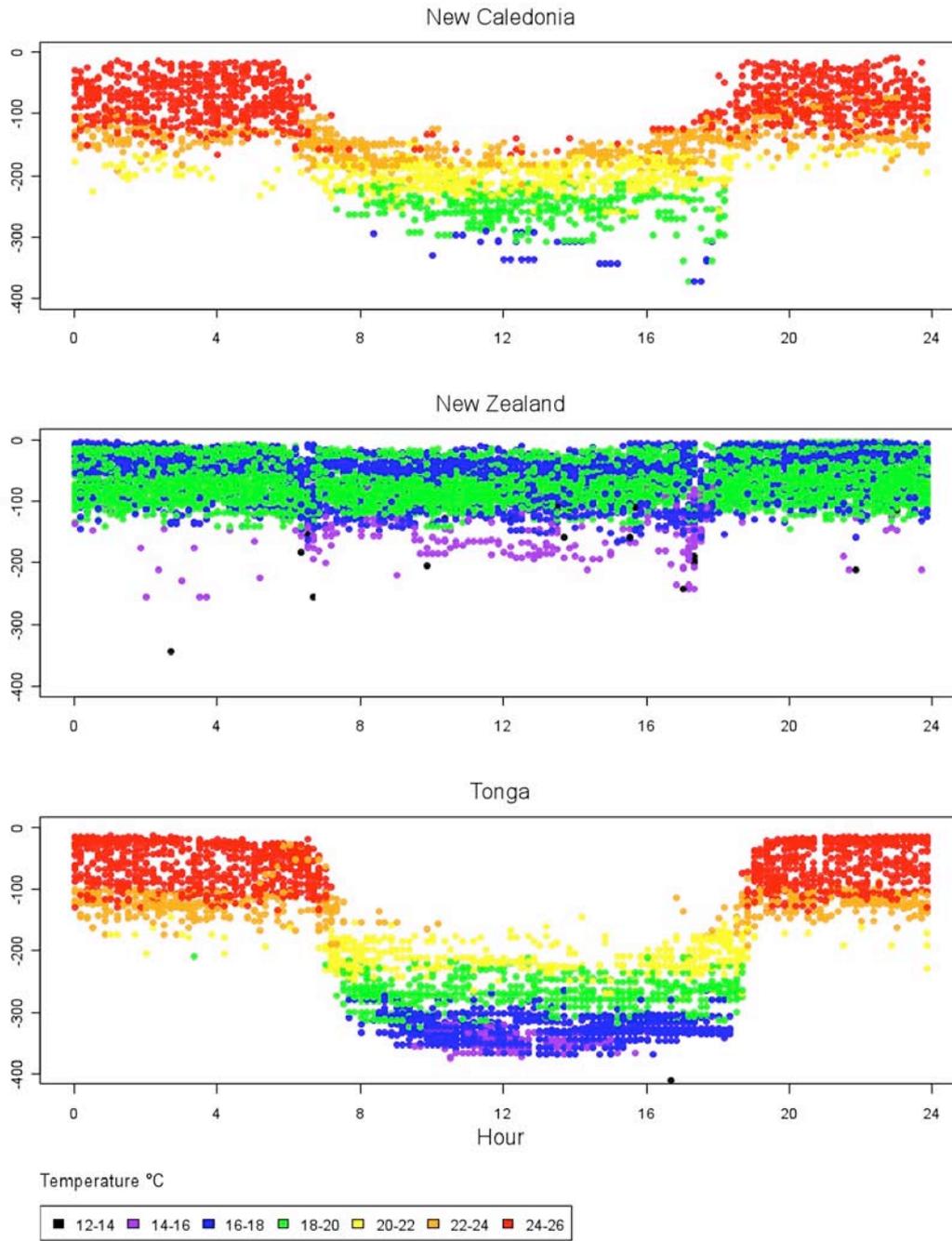
**Tableau 2. Récapitulatif des données de température et de profondeur disponibles pour les germons marqués par zone. Les périodes crépusculaires (lever et coucher du soleil) ont été exclues de cette analyse. T = température (°C), P = profondeur (m).**

Lieu	Marque	JOUR		NUIT	
		T moyenne (amplitude)	P moyenne (amplitude)	T moyenne (amplitude)	P moyenne (amplitude)
Nouvelle-Calédonie	54195	22,6 (19,0 - 24,7)	188 (148 - 278)	25,0 (22,0 - 25,7)	90 (25 - 192)
	54196	20,5 (16,6 - 23,7)	216 (124 - 371)	24,4 (20,8 - 25,8)	79 (15 - 195)
	54219	20,8 (17,6 - 23,7)	210 (152 - 305)	23,8 (20,3 - 25,3)	118 (16 - 231)
	54220	21,8 (17,1 - 24,8)	200 (123 - 342)	25,5 (21,6 - 25,9)	76 (10 - 188)
Nouvelle-Zélande	54229	17,9 (14,3 - 19,2)	79 (13 - 193)	18,2 (13,4 - 19,3)	63 (6 - 223)
	54231	17,5 (14,0 - 19,2)	86 (8 - 211)	18,5 (14,7 - 19,4)	32 (2 - 135)
	54235	18,0 (13,1 - 19,2)	87 (25 - 220)	18,3 (12,8 - 19,2)	78 (7 - 341)
	54236	17,8 (16,6 - 18,4)	34 (5 - 82)	17,9 (15,7 - 18,6)	23 (3 - 71)
	54237	18,4 (16,3 - 19,3)	71 (17 - 119)	18,6 (16,6 - 19,4)	58 (18 - 131)
Tonga	54244	18,2 (13,8 - 22,9)	288 (114 - 409)	24,5 (19,7 - 26,1)	77 (13 - 228)

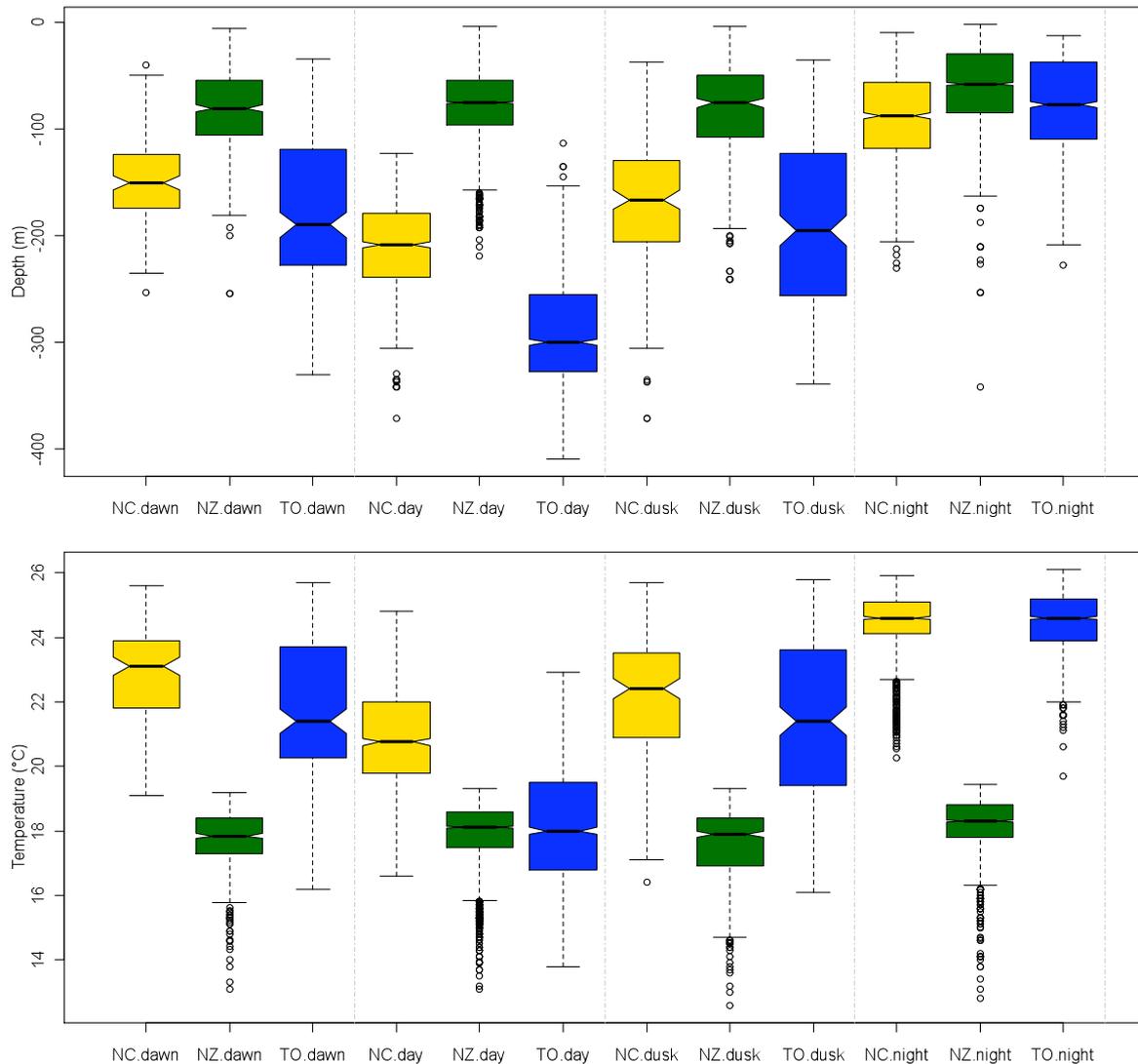
Des différences de température et de profondeur notables ont été relevées grâce à la mise en commun des données journalières de température et de profondeur des différentes marques au sein d'une même zone (figure 6). On remarque que les germons présentent le même comportement nyctéméral caractéristique en Nouvelle-Calédonie et aux Tonga. Le poisson remonte vers des eaux peu profondes et plus chaudes la nuit et descend vers des eaux plus profondes et plus fraîches la journée. En revanche, ce

comportement n'est que très peu présent en Nouvelle-Zélande où les températures et profondeurs observées pendant le jour et la nuit sont très proches (figure 6).

L'organisation des données de température et de profondeur selon quatre périodes de la journée (aube, jour, crépuscule, nuit) a permis de mettre en évidence d'importantes différences de température et de profondeur moyennes selon les zones et les moments de la journée. La température et la profondeur moyennes des eaux de prédilection des germons en Nouvelle-Zélande n'ont pas sensiblement varié en fonction des périodes de la journée, contrairement aux observations dans les deux autres régions (figure 7). En Nouvelle-Calédonie et aux Tonga, les température et profondeur moyennes des germons étaient proches, à l'exception du jour lorsque le germon des Tonga est resté dans des eaux plus profondes et plus fraîches (figure 7). En moyenne, les germons de Nouvelle-Calédonie et des Tonga ont nagé dans des eaux plus profondes que ceux de Nouvelle-Zélande pendant toutes les périodes, à l'exception de la nuit, quand la profondeur était semblable dans les trois régions. À l'inverse, les germons de Nouvelle-Calédonie et des Tonga ont nagé dans des eaux plus chaudes que ceux de Nouvelle-Zélande pendant toutes les périodes, à l'exception du jour, quand la température enregistrée était semblable aux Tonga et en Nouvelle-Zélande.



**Fig. 6.** Relevé journalier des profondeurs et des températures (code couleur) pour les germons marqués à l'aide d'une miniPAT en Nouvelle-Calédonie (n=4 thons - haut), en Nouvelle-Zélande (n=5 thons - milieu) et aux Tonga (n=1 thon - bas).



**Fig. 7. Diagrammes en boîte des données de profondeur (en haut) et de température (en bas) pour chacune des quatre périodes de la journée pour les germons marqués avec une miniPAT en Nouvelle-Calédonie (jaune- NC, n=4), en Nouvelle-Zélande (vert : NZ, n=5) et aux Tonga (TO, bleu, n=1). Dawn = aube, day = jour, dusk=crépuscule, night = nuit.**

## Discussion

La période très courte durant laquelle les marques de type miniPAT sont restées fixées aux germons a rendu impossible toute analyse détaillée des mouvements horizontaux de l'espèce. La seule conclusion que l'on peut tirer de ces données de géolocalisation incomplètes est que le germon peut se déplacer dans une zone de 300 à 400 km<sup>2</sup> (inférieure à la surface de la plupart des ZEE), sur une période allant de deux

jours à plusieurs semaines, et qu'il est également capable de parcourir de vastes distances (>1 000 km) au-delà des limites des ZEE en plusieurs semaines.

Même si cette étude n'a pas permis de recueillir beaucoup d'informations sur les mouvements horizontaux caractéristiques des germons, des renseignements utiles sur les mouvements verticaux caractéristiques de cette espèce ont pu être obtenus. Les amplitudes de température et de profondeur observées dans chaque zone indiquent que les mouvements du germon en Nouvelle-Zélande sont limités par la température. On note une similitude entre les températures minimales enregistrées dans toutes les zones, plus particulièrement en Nouvelle-Zélande et aux Tonga où les poissons s'aventurent rarement dans des eaux d'une température inférieure à 14°C. Toutefois, en Nouvelle-Zélande les germons n'ont pas plongé aux mêmes profondeurs que dans les autres zones. Cela donne à penser que la faible température des eaux au-delà de 200 m (<~14°C) de profondeur limite les mouvements verticaux descendants des germons en Nouvelle-Zélande ou bien que les mouvements des proies consommées par le germon dans cette région sont restreints à ces fourchettes de températures et de profondeurs. Les données de marquage du germon du nord montrent que ceux-ci peuvent tolérer des températures bien plus froides (<4°C) que le germon du sud (Childers et al. 2011). Il convient néanmoins de noter que les données de marquage du germon du nord provenaient de juvéniles (62-90 cm FL) dont les niveaux de tolérance ou de préférence thermiques peuvent être différents de ceux des germons adultes. En Nouvelle-Calédonie comme aux Tonga, les températures maximales se situaient autour de 26°C, ce qui laisserait entendre qu'il s'agit du seuil maximal pour le germon du sud.

Dans l'ensemble, les marques de type miniPAT utilisées dans le cadre de la présente étude n'ont pas permis d'obtenir des données relatives aux mouvements horizontaux du germon. La mortalité de la quasi-totalité (si ce n'est la totalité) des poissons avant le largage de la marque semble indiquer que la marque ou son implantation est en grande partie responsable de la mort des germons. Il est peu probable que la seule technique de pêche (palangre) soit à incriminer. En effet, un petit nombre de germons capturés au cours des mêmes calées ont reçu une marque conventionnelle et ont pu être capturés à nouveau plus d'un an plus tard. Il est probable que la nouvelle version miniature des marques de type miniPAT soit encore trop grande pour les germons adultes. Des avancées technologiques dans la mise au point de

marques enregistreuses autodétachables (« pop-up ») encore plus miniaturisées pourraient justifier d'investir à nouveau dans une campagne de marquage du germon à l'avenir. Nos résultats laissent à penser que toute nouvelle campagne de marquage avec des marques satellite de type « pop-up » devrait se concentrer sur des zones tempérées, telles que la Nouvelle-Zélande, où les taux de survie du germon sont nettement plus élevés. Toutefois, sachant que les progrès technologiques en matière de miniaturisation des marques prendront certainement encore plusieurs années, il est possible dans l'entretemps d'obtenir des informations temporelles complémentaires sur les mouvements caractéristiques du germon par d'autres moyens.

Il existe d'autres techniques d'estimation des taux de déplacement des poissons, notamment la microchimie des otolithes et l'analyse des isotopes stables dans les tissus mous. Des études récentes ont montré que les signatures chimiques des otolithes peuvent constituer des marqueurs naturels particulièrement utiles à l'évaluation de l'origine et des déplacements de plusieurs espèces de thonidés dans le Pacifique (ex : Rooker et al. 2001, Wang et al. 2009, Shiao et al. 2010, Wells et al. 2011). Des analyses préliminaires menées sur les otolithes d'un petit groupe de germons du sud (30) ont démontré que la microchimie des otolithes permet de détecter des signatures très différentes dans les otolithes des germons capturés en Nouvelle-Calédonie, en Nouvelle-Zélande et en Polynésie française (J. McDonald, communications personnelles). Ces résultats sont particulièrement prometteurs et démontrent qu'une étude de la microchimie des otolithes plus poussée pourrait faciliter l'estimation des taux de déplacement du germon du sud.

Les isotopes stables du carbone ( $\delta^{13}\text{C}$ ) et de l'azote ( $\delta^{15}\text{N}$ ) peuvent permettre une meilleure compréhension des déplacements caractéristiques des animaux marins. Les isotopes sont des indicateurs des aliments consommés par les prédateurs et permettent à ce titre d'appréhender les différences d'usage de l'habitat et des ressources entre individus. Récemment, l'étude des isotopes stables a permis à Goñi et al. (2011) d'identifier les différentes aires d'alimentation du germon dans l'Atlantique nord-est et dans la Méditerranée. La réalisation d'études semblables dans le Pacifique sud viendrait compléter l'analyse microchimique des otolithes, dans l'optique d'une approche globale de l'analyse des déplacements caractéristiques du germon du sud.

## *Conclusions*

- Nous n'avons pu déterminer le schéma migratoire des animaux marqués mais nous avons acquis des données uniques sur leur comportement vertical et leur habitat préférentiel de profondeur/température.
- La mortalité de la quasi-totalité des poissons avant le largage de la marque semble indiquer que la marque ou son implantation est en grande partie responsable de la mort des germes et il est probable les marques miniPAT soient encore trop grands pour les germes adultes.
- Le germe peut se déplacer dans une zone de 300 à 400 km<sup>2</sup> sur une période allant de deux jours à plusieurs semaines, et il est également capable de parcourir de vastes distances (>1 000 km) au-delà des limites des ZEE en plusieurs semaines.
- Les poissons s'aventurent rarement dans des eaux d'une température inférieure à 14°C ce qui limite leur profondeur
- En Nouvelle Calédonie, la profondeur optimale est située entre 100m (la nuit) et 200m (de jour) et dans un habitat où les températures sont supérieures à 20°C (en profondeur) et inférieures à 26°C quand ils sont en surface.

## *Perspectives*

- Il faut attendre une miniaturisation plus poussée des marques avant de poursuivre ce type d'expérience
- Il existe d'autres techniques d'estimation des taux de déplacement des poissons, notamment la microchimie des otolithes qui pourrait faciliter l'estimation des taux de déplacement du germe du sud.
- Les isotopes stables du carbone ( $\delta^{13}\text{C}$ ) et de l'azote ( $\delta^{15}\text{N}$ ) peuvent aussi permettre une meilleure compréhension des déplacements caractéristiques des animaux marins. La réalisation d'une telle étude dans le Pacifique Sud viendrait compléter l'analyse microchimique des otolithes, dans l'optique d'une approche globale de l'analyse des déplacements caractéristiques du germe du sud.

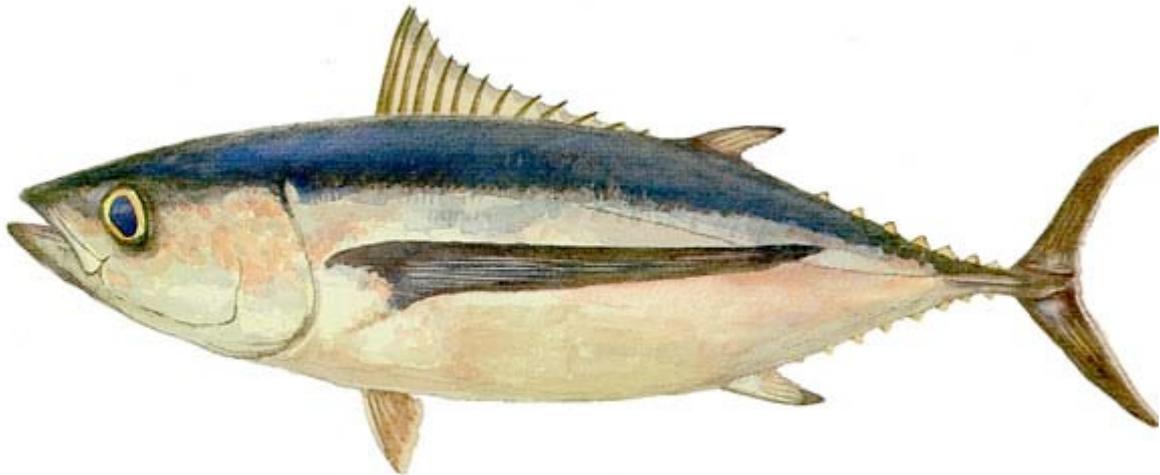
## *Bibliographie*

- Goñi N, Logan J, Arrizabalaga H, Jarry M, Lutcavage M (2011). Variability of albacore (*Thunnus alalunga*) diet in the Northeast Atlantic and Mediterranean Sea. *Marine Biology* 158: 1057-1073.
- Langley AD (2006) The South Pacific albacore fishery management issues of relevance to Pacific Island countries and territories. Working paper SA-WP-3, 5th Scientific Committee meeting of the Western and Central Pacific Fisheries Commission.
- Shiao JC, Wang SW, Yokawa K, Ichinokawa M, Takeuchi Y, Chen YG, Shen CC (2010). Natal origin of Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* inferred from otolith oxygen isotope composition. *Marine Ecology Progress Series* 420: 207–19.
- Rooker JR, Secor DH, Zdanowicz VS, Itoh T (2001). Discrimination of northern bluefin tuna from nursery areas in the Pacific Ocean using otolith chemistry. *Marine Ecology Progress Series* 218: 275–82.
- Wells RJD, Rooker JR, Itano DG (2011). Nursery origin of yellowfin tuna in the Hawaiian Islands. *Pelagic Fisheries Research Program Newsletter* 15(1): 1-6.

---

## FICHE 4 : LA VARIABILITE DE LA CPUE DU THON BLANC EN RELATION AVEC EL NINO/LA NINA.

---



<b>Introduction.....</b>	<b>88</b>
<b>Analyses .....</b>	<b>89</b>
<b>Résultats : ENSO et la capturabilité des thons blancs.....</b>	<b>94</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>95</b>
<b>Perspectives.....</b>	<b>96</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>97</b>

## *Introduction*

Les variations de la distribution spatio-temporelle de beaucoup d'espèces de prédateurs pélagiques comme les thons, marlins et requins résultent d'une combinaison complexe de dynamique de population, des moyens de pêche, ainsi que des variations de l'environnement (Rouyer et al. 2008). Comprendre l'influence de ces facteurs permet de fournir des informations importantes pour les politiques de pêche des nations et pour assurer le développement durable des ressources et des économies liées à la pêche.

Dans l'océan Pacifique, les structures hydrodynamiques (e.g, température, courant) et de la production primaire varient substantiellement avec le phénomène climatique ENSO (El Niño/Oscillation Australe). ENSO a typiquement un cycle récurrent aux alentours de 5 ans et présente deux phases globalement opposées que sont El Niño et La Niña. Typiquement, différentes phases d'ENSO ont été mises en relation avec des recrutements accrus et des déplacements massifs d'espèces de thonidés, comme le skipjack (bonite à ventre rayé, *Katsuwonus pelamis*) qui est une espèce tropicale

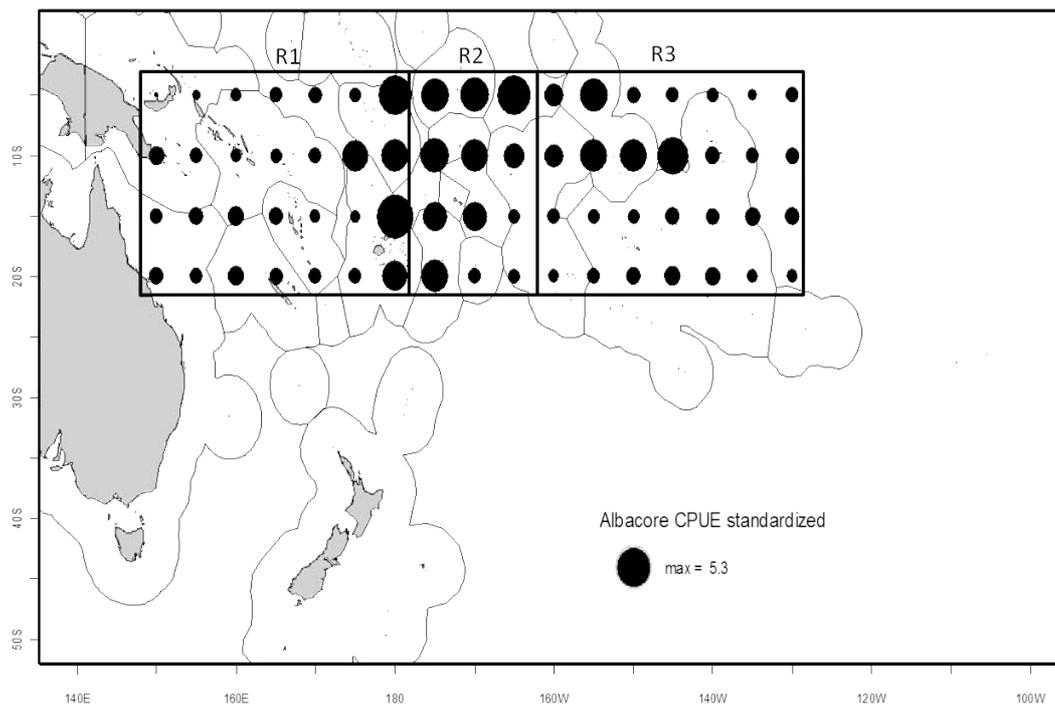
Par contraste avec les espèces tropicales, l'effet d'ENSO sur des espèces comme le thon blanc du Pacifique Sud (*Thunnus alalunga*) est moins bien connu bien que des études antérieures ont pointé le lien entre le recrutement et les phases La Niña (Lehodey et al. 2003). Le thon blanc fait partie des 4 espèces de thon réellement migratoires et l'habitat qu'il peut occuper est vaste et divers. Les adultes sont observés entre 10-30°S alors que les jeunes sont plutôt situés au sud de 30°S (Hoyle and Davies 2009). Il existe une saison de ponte dans les eaux tropicales et sub-tropicales entre 10-25°S de Novembre à Février (Murray 1994; Ramon et Bailey, 1996). Les taux de captures dans les zones subtropicales sont maximaux en décembre-janvier et mai-juillet (Langley, 2004), ce qui indique une migration annuelle vers le sud au début de l'été austral et vers le nord durant l'hiver.

Le manque de données homogènes sur la CPUE du thon germon, sa capacité migratoire ainsi que son large spectre d'habitats rendent la mesure de l'impact d'ENSO sur le thon blanc a priori plus difficile à déceler que pour les espèces tropicales comme le skipjack et c'est probablement pourquoi il n'existe pas jusqu'à présent d'étude

complète sur le sujet dans le Pacifique Sud. Nous présentons ici les résultats de nos analyses sur l'impact de la variabilité d'ENSO sur la CPUE observée du thon blanc. Les analyses montrent que l'influence d'ENSO sur la dynamique du thon blanc est plus complexe qu'on ne le pensait jusqu'alors.

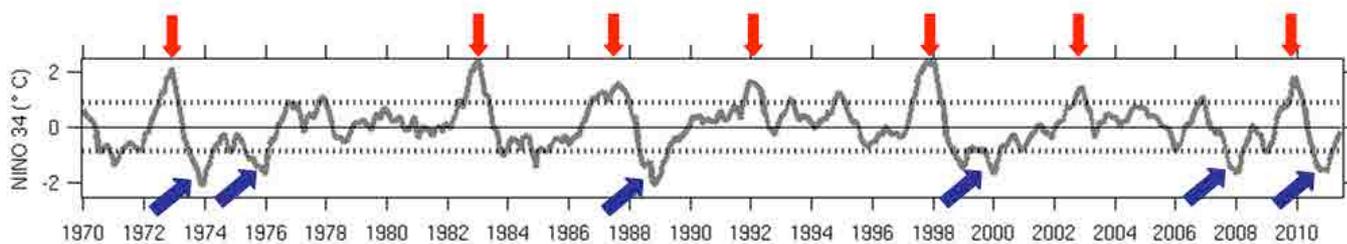
## *Analyses*

Les CPUE des pêcheries commerciales sont souvent utilisées pour mesurer l'abondance relative des stocks (Richards and Schnute 1986). Dans le Pacifique Sud, les CPUE de thon blanc sont influencées par le comportement des flottes (engin de pêche, type de bateau, type d'espèce etc...), par la saison et aussi par la variabilité de l'environnement au delà de la saison comme la variabilité interannuelle ou de plus longue échelle temporelle (Bigelow, et al. 2009). Nous avons minimisé l'effet du comportement des flottes et de la saison en enlevant les données autres que celles du thon blanc, en ajustant la CPUE pour tenir compte du comportement des vaisseaux et en incluant l'effet du mois dans le modèle de construction de cette CPUE (Jurado-Molina et al. 2011). Au final, il nous reste des données de CPUE dédiées au thon blanc et qui ne contiennent globalement plus que l'effet de variabilité telles qu'ENSO ou de plus basse fréquence. Si on ne garde maintenant que les zones où plus de 80% des données sont présentes toute l'année, la distribution finale de ces données est présentée en Figure 1:



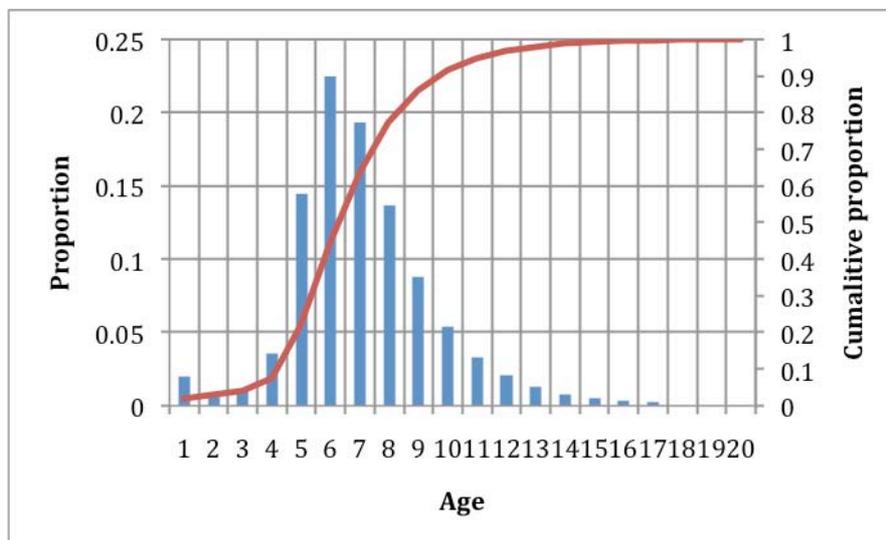
**Fig 1. Distribution de la CPUE de thon blanc standardisée (nombre de thons pour 100 hameçons) sur la région d'étude.**

Pour examiner l'influence d'ENSO, nous examinons les liens entre l'indice typique d'ENSO de 1970 à 2003, c'est à dire l'indice Niño 3.4, présenté en Figure 1.1 (voir Fiche 7 pour la présentation détaillée de ENSO) et la CPUE via un modèle linéaire généralisé (GLM) et dans les boîtes R1, R2 et R3 (Figure 1).



**Figure 1.1 : Série temporelle de l'indice NINO3.4 depuis 1970. Les flèches rouges indiquent les événements *El Niño* qui sont les évènements où la température de surface de l'est du Pacifique est fortement au dessus de leur moyenne saisonnière et les flèches bleues indiquent les événements *La Niña*. Voir aussi la fiche 7 pour la présentation détaillée de cet indice et de ENSO.**

Ce choix de moyenne dans des boîtes de grande extension spatiale résulte du constat qu'il existe de nombreuses données de CPUE manquantes, manque qui ne peut être comblé que par une agrégation des données dans des boîtes de grande extension spatiale. Le choix de la localisation des boîtes s'est effectué à partir de la cohérence des variables d'environnement. En effet, R1 représente plutôt le comportement du Pacifique ouest, R3, le comportement « opposé » du Pacifique est et R2 est la boîte de transition. Du fait de la sélectivité des engins de pêche, la CPUE dérivée des données de capture des palangriers examine préférentiellement la gamme d'âge de 3 à 12 ans. Nous utilisons le modèle d'estimation des stocks de la CPS (MULTIFAN-CL) pour estimer la distribution en âge de ces captures qui nous indique que 75% des captures se situe entre 4 et 8 ans (Figure 2).



**Fig 2. Sélectivité des âges des thons blancs capturés par les palangriers pour le Pacifique Sud dans son intégralité. La ligne rouge représente la proportion cumulée.**

Une indication sur le comportement des CPUE par rapport à ENSO peut être dérivée à partir d'une analyse classique dite « spectrale » (voir fiche 7 pour la présentation détaillée de cette analyse en relation avec ENSO). Cette analyse consiste à trouver les fréquences d'évènements prépondérants dans une série de données. Sur la figure 3 qui présente cette méthode, on voit que l'indice Niño3.4 a une valeur maximale entre 3 et 5 ans. C'est pourquoi on dit que ENSO a une périodicité comprise entre 3 et 5 ans.

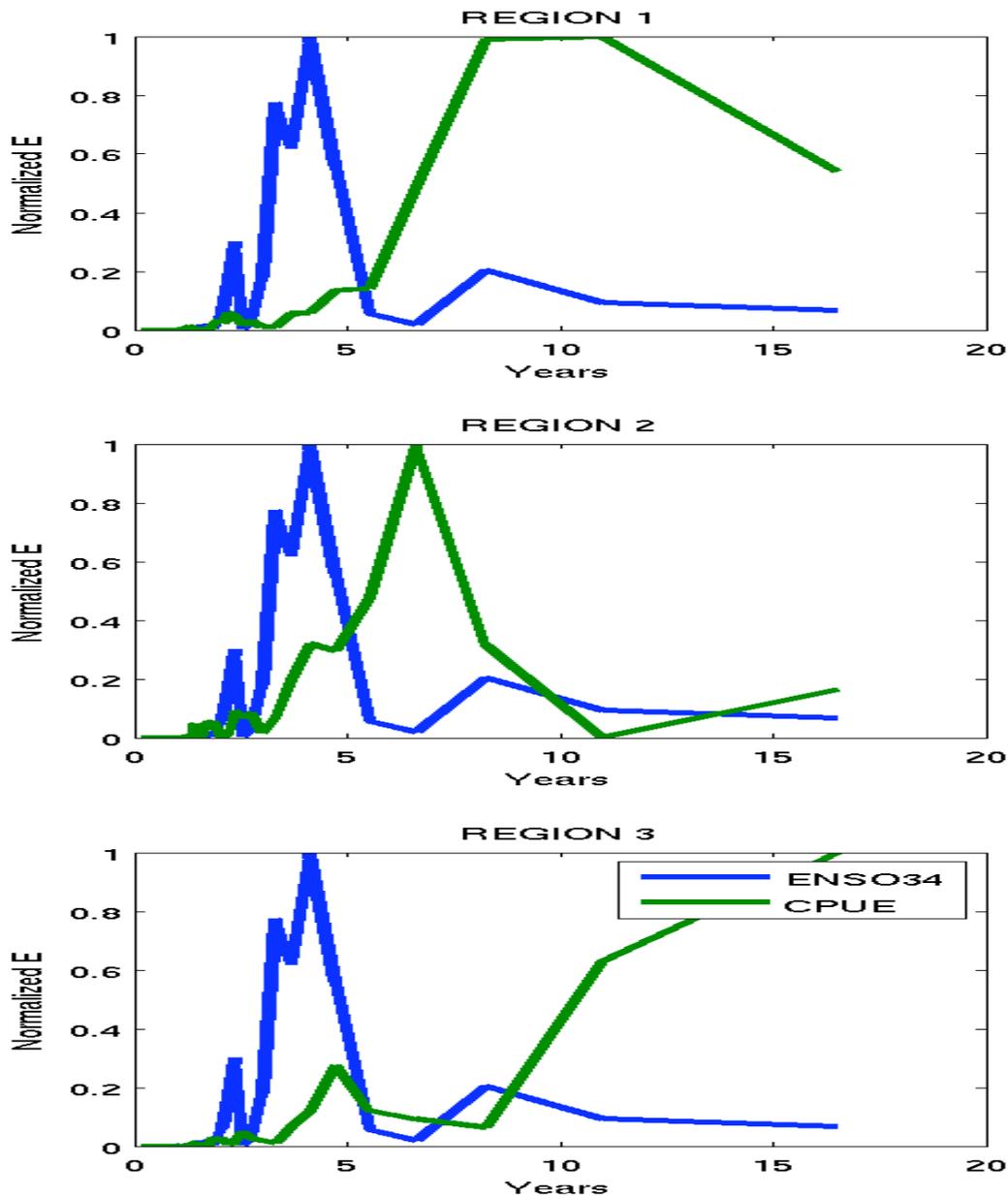


Figure 3 : Spectre en fréquence pour les régions 1-3. Le bleu représente l'indice NINO3.4 et le vert la CPUE dans la boîte choisie. Voir aussi fiche 7 pour plus d'explications.

Si ENSO a une influence sur la CPUE du thon blanc, nous nous attendons à ce que le spectre en fréquence de la CPUE montre aussi un pic dans la gamme 3-5 ans (Figure 3). Les signaux avec une fréquence supérieure à 5 ans sont prépondérants dans la CPUE et semblent indiquer un impact de ENSO avec un effet retard. Cependant un second pic plus faible est visible dans la gamme des 3-5 ans et ce signal devient plus marqué en

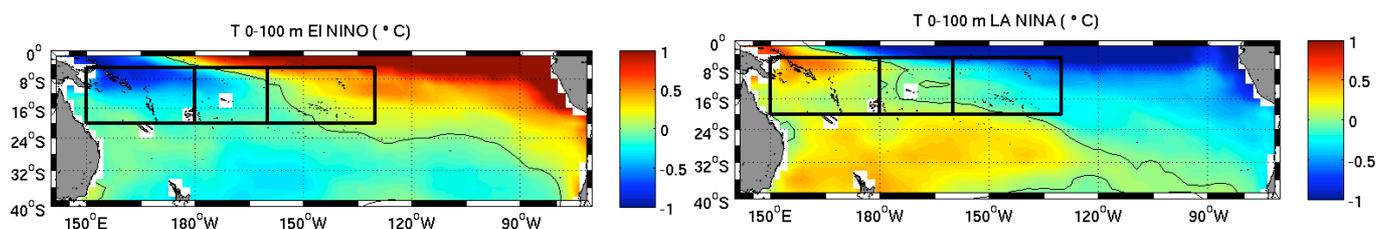
allant d'ouest en est, de R1 vers R3, indiquant aussi un impact immédiat de ENSO sur les CPUE.

On peut interpréter les figures 2 et 3 de la manière suivante : on s'attend à deux effets d'ENSO. L'un « direct » et l'autre « indirect » : d'une part, un effet immédiat qui serait lié à une modification de l'environnement affectant directement le comportement du thon blanc et d'autre part un effet retard qui, agissant sur le recrutement, se traduirait par un signal dans la cohorte d'âges pêchés entre 4 et 10 ans plus tard. Les études précédentes (Lehodey et al., 2003) ont montré que ENSO avait généralement un impact sur le recrutement des thons blancs avec un recrutement plus faible durant El Niño et plus fort durant La Niña dans le Pacifique Sud. Le mécanisme suggéré était basé sur l'extension de la zone d'eaux chaudes du Pacifique ouest (la warm pool) vers l'est durant El Niño et son resserrement vers l'équateur provoquant une diminution de la zone de ponte située dans cette région. A l'inverse, durant La Niña, une dilatation de la piscine d'eau chaude dans l'ouest du Pacifique, au nord et au sud associé à un renforcement de l'upwelling dans le Pacifique équatorial Est suggéraient une augmentation de l'habitat de ponte dans l'ouest durant la Niña, donc un recrutement plus élevé.

Au stade de notre étude sur les données, nous avons seulement construit un modèle statistique testant l'hypothèse d'un signal ENSO impactant la CPUE sans retard dans le temps mais à la vue de la figure 3, il est évident qu'il nous faudra examiner ultérieurement l'hypothèse d'un impact d'ENSO avec retard (le temps que le signal se propage dans les cohortes pêchées). Cependant quelques éléments sur l'impact d'ENSO sur le recrutement sont présentés dans le chapitre suivant.

## Résultats : ENSO et la capturabilité des thons blancs

Dans le contexte où nous examinons la CPUE de 1970-2003, nous avons jugé utile de reprendre les structures du chapitre précédent mais dans la simulation S-NCEP pour illustrer l'effet type d'El Niño/La Niña :



*Figure 4 : moyenne des températures des El Niño pour la couche 0-100m (gauche) et pour la Niña (droite). Les données représentées ici sont en différence par rapport au mois type, illustrant l'anomalie typique liée à El Niño et à La Niña. Voir Fiche 7 pour le détail de ces analyses.*

Cette figure traduit les effets typiques d'El Niño dans la couche de surface: dans R1, la température des couches de surface est plus froide et elle est plus chaude dans R3. Durant La Niña, la situation est inversée. R2 est une zone de transition.

La figure 5 montre la CPUE en fonction de Niño 3.4 dans les trois régions. Dans l'ouest du Pacifique (R1), on montre statistiquement qu'El Niño a une influence positive sur les captures et que même durant les années dites normales, les captures sont légèrement au dessus de la moyenne 1970-2003, alors que durant La Niña, les captures dans la région 1 diminuent. Dans la région 3, on observe le contraire avec des captures augmentées durant La Niña et diminuées durant El Niño.

. Durant El Niño, la thermocline habituellement profonde remonte dans l'ouest et s'approfondit dans l'est. Ceci indique que l'habitat du thon blanc (~19-26°C, voir la fiche 3 sur le comportement), se resserre vers la surface. En particulier, l'isotherme 19°C qui se situe vers 250 mètres dans l'ouest remonte vers la surface permettant ainsi une capturabilité accrue avec les engins de pêche alors, que durant La Niña lorsque la

thermocline s'approfondit, c'est le contraire. C'est aussi probablement par cet argument que l'on explique le comportement inverse dans l'est (R3) et dans l'ouest du pacifique (R1) puisque durant une phase ENSO, ces deux régions ont des comportements opposés.

Notons enfin qu'une analyse similaire limitée à la ZEE calédonienne donne exactement le même effet que sur la Figure 5.

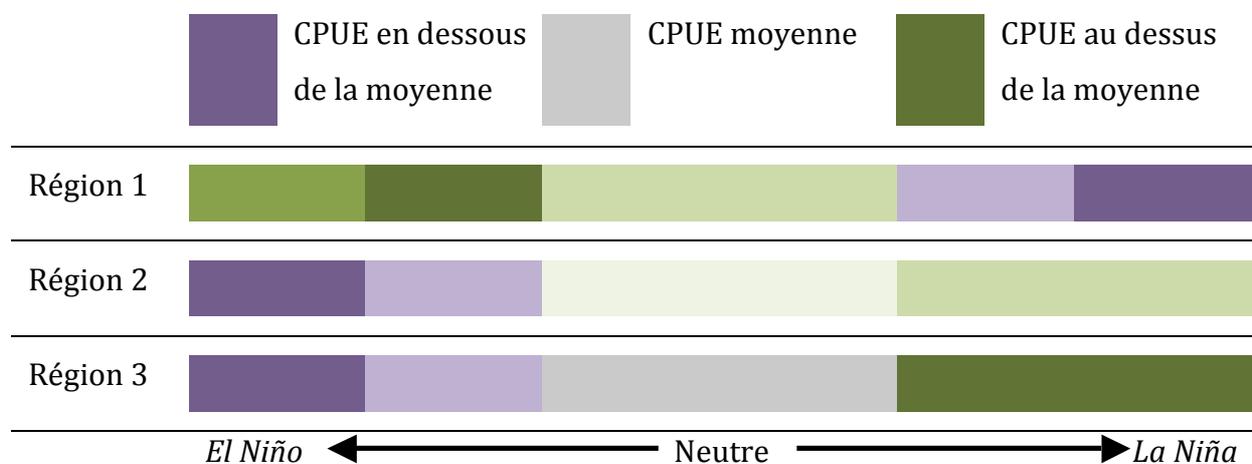


Fig. 5 : Relation entre l'intensité d'ENSO et la CPUE dans les trois régions 1-3.

## Conclusion

- Nous avons étendu les résultats de Briand et al. (Zonéco, 2006) en construisant un jeu de données originales spécifique au thon blanc et en examinant sa variabilité sur le Pacifique Sud tropical en relation avec le climat.
- L'analyse des fréquences dominantes d'ENSO et de la CPUE suggèrent un possible effet retard entre l'impact d'El Niño sur la CPUE dans l'ouest du Pacifique.
- Durant El Niño, nous avons démontré que la CPUE augmente dans l'ouest du Pacifique, incluant la ZEE calédonienne et diminue durant La Niña alors que c'est

l'inverse à l'est de la ligne de changement de date. Cet effet direct et immédiat est probablement dû à la modification de la capturabilité des thons blancs avec un habitat qui se resserre vers la surface durant El Niño et qui s'approfondit durant La Niña dans le Pacifique ouest (et vice versa dans le Pacifique central-est, à l'est de la ligne de changement de date).

## *Perspectives*

- Nous ne sommes pas capables pour le moment d'explicitier précisément les facteurs de l'environnement contrôlant les variations de la capturabilité des thons blancs durant ENSO. Un modèle statistique plus poussé incluant, en particulier, la profondeur de la thermocline devra être développé dans une étude ultérieure.
- Les changements de CPUE en fonction de ENSO ont été montrés de manière qualitative ; une quantification plus précise de ces changements devra être réalisée.
- Se superposant à une variabilité ENSO, nous avons trouvé une variabilité plus basse fréquence (> 5 ans) de la CPUE qui pourrait être liée à une variabilité aux échelles de la décennie ou à une modification du recrutement en fonction d'ENSO. Ce type de modification serait observé dans la CPUE avec un retard, comme suggéré dans notre étude. Cela fera l'objet d'une étude ultérieure.
- Enfin, des études récentes semblent montrer deux types d'ENSO, l'El Niño canonique et l'El Niño Modoki et il sera utile de comprendre les impacts différentiels de ces deux types d'El Niño.

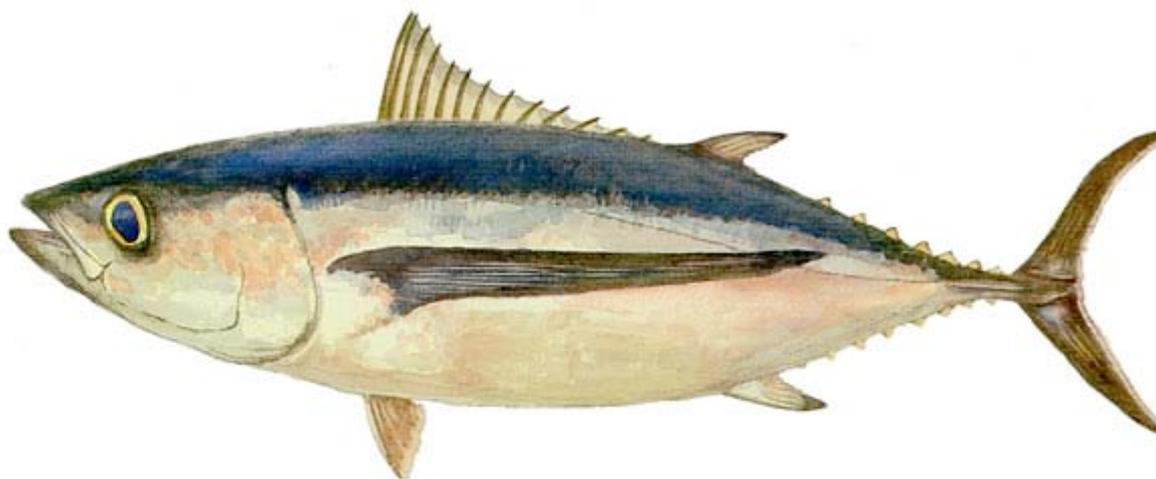
## *Bibliographie*

- Bigelow and Hoyle 2009, WCPFC-SC-SA-05
- Hoyle and Davies 2009, WCPFC-SC- SA-WP-6
- Hoyle 2011, WCPFC-SC-WP-06
- Jurado-Molina et al. 2011, WCPFC- SC-IP-
- Langley 2004, SCTB17 Working Paper No. SA-4
- Lehodey et al., 2003, Fish. Oceanogr. 12, 483
- Murray, 1994, FAO Fish. Tech. Pap. No.336/2, pp. 188-206
- Philander, 1990, Academic Press, pp293.
- Ramon and Bailey,1996, Fish. Bull. 94, 724
- Richards and Schnute, 1986, CJFAS
- Rouyer et al., 2008, Proc Natl Acad Sci USA 105, 5420.
- Trenberth, 1997, Bull. Amer. Met. Soc., 78, 2771

---

## FICHE 5 : INTER-COMPARAISON DES SIMULATIONS DE DYNAMIQUE DES POPULATIONS DU THON GERMON SEAPODYM-NCEP ET SEAPODYM-SODA

---



<b>Introduction.....</b>	<b>99</b>
<b>Résultats .....</b>	<b>100</b>
<b>Production Primaire .....</b>	<b>100</b>
<b>Proies des thons.....</b>	<b>102</b>
<b>Biomasse du thon germon simulée .....</b>	<b>104</b>
<b>Conclusions .....</b>	<b>107</b>
<b>Perspectives.....</b>	<b>108</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>108</b>

## *Introduction*

SEAPODYM (Spatial Ecosystem and Population Dynamics Model ; *Lehodey et al. 2008, Senina et al. 2008*) est un modèle de dynamique des populations qui a été développé pour améliorer les connaissances biologiques et écologiques des thons et évaluer la réponse de ces espèces aux forçages environnementaux. Le modèle utilise les variables environnementales de température, courants, oxygène dissous et production primaire obtenues à partir de modèles couplés physique-biogéochimiques et/ou des observations. Ces paramètres environnementaux agissent sur la migration, l'alimentation, la ponte et la mortalité. On construit ainsi des indices d'habitats (*e.g.*, alimentation, ponte), lesquels sont utilisés avec les observations de captures commerciales pour ajuster et simuler la dynamique de population des thons dans le Pacifique Sud.

Deux nouvelles simulations de dynamique des populations du thon germon, SEAPODYM-NCEP et SEAPODYM-SODA, ont été récemment réalisées à échelle du Pacifique Sud. Leur description et comparaison constituent le cœur de ce chapitre. Les variables environnementales, physiques et biologiques utilisées par SEAPODYM-NCEP sont des simulations provenant d'un modèle couplé physique-biogéochimique NCEP / PISCES<sup>3</sup> (*Jurado-Molina et al. 2011, Rodgers et al., 2008*). Les variables environnementales n'ont pas été corrigées par des observations satellites, mais, par contre, la simulation couvre une longue période allant de 1960 à 2003. La résolution spatio/temporelle de ce modèle est de 2°/mois.

La simulation SEAPODYM-SODA a utilisé comme forçage environnemental les variables physiques du modèle hydrodynamique assimilé (corrigé par des observations) SODA<sup>2</sup> et la production primaire<sup>3</sup> des observations satellite opérant depuis 1997 (*Behrenfeld et Falkowski, 1998*). Cette deuxième simulation, plus courte, ne considère que la période allant de 1997 à 2007 mais elle a le mérite d'être au plus près

---

<sup>3</sup> National Centers for Environmental Prediction / Pelagic Interaction Scheme for Carbon and Ecosystem Studies

<sup>2</sup> Simple Oceanic Data Assimilation model

<sup>3</sup> La Production Primaire désigne la production de matière organique issue de la photosynthèse

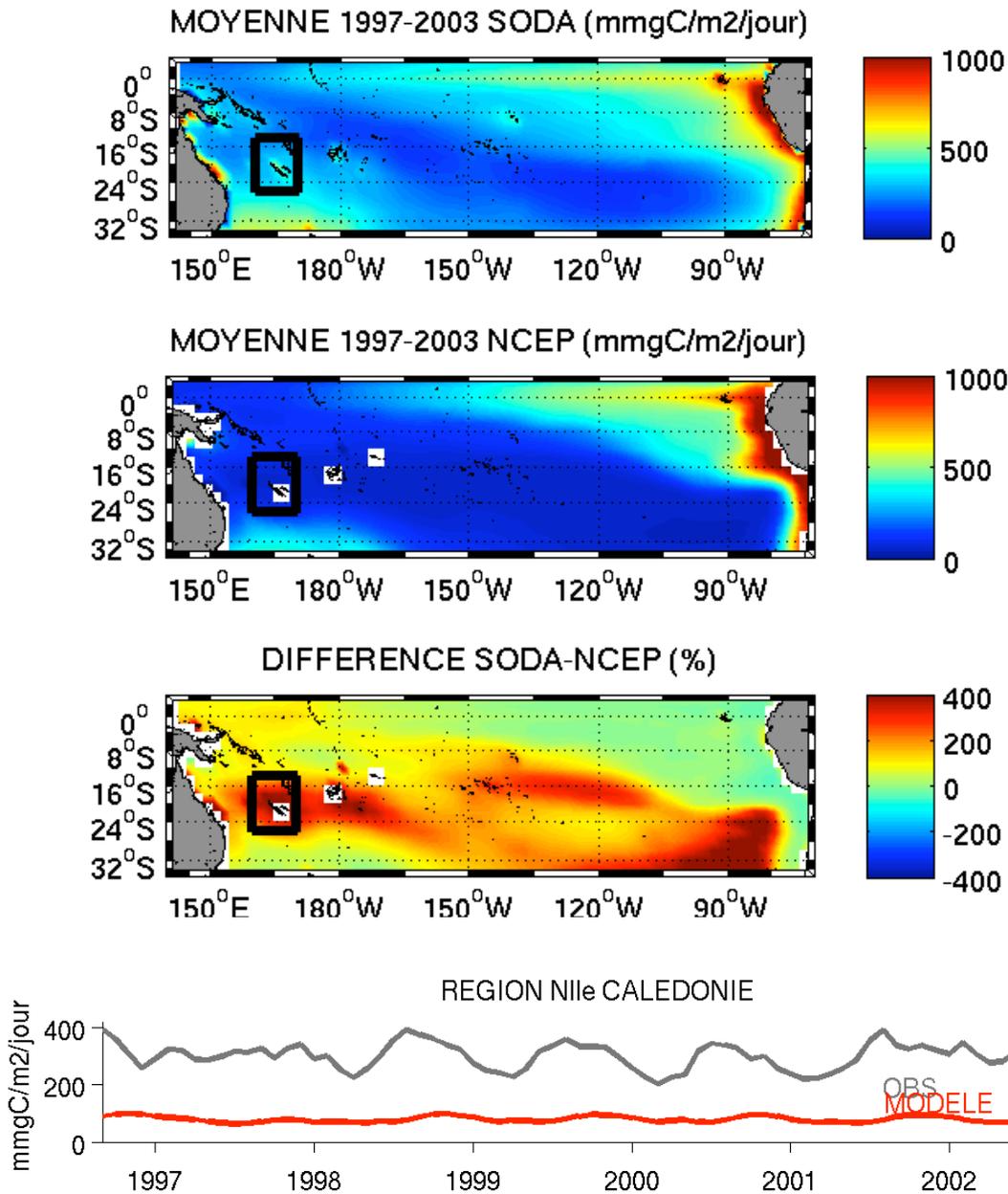
des observations connues de la dynamique et du phytoplancton de l'océan et est d'une résolution plus fine : 1°/mois.

## *Résultats*

### Production Primaire

La figure 1 présente les cartes de distribution de la production primaire (PP) entre 1997 et 2003. La moyenne SEAPODYM-SODA 1997-2003 (dérivée des observations satellite) nous indique, par exemple, que la Nouvelle-Calédonie se trouve dans une région de production modérée, à la lisière entre eaux pauvres du nord et eaux plus riches au sud, tandis que la Polynésie Française est globalement située dans une zone de plus faible production. Associés aux processus de remontée d'eau profonde (upwelling), les côtes sud-américaines et le Pacifique équatorial présentent des valeurs maximales de PP. La moyenne SEAPODYM-NCEP (simulée par un modèle biogéochimique) présente une distribution similaire en ce qui concerne la position des centres de forte production (côtes Sud-Américaines, équateur et nord de la Nouvelle-Zélande). Cependant, les concentrations des régions tropicales (entre les latitudes 10°S et 25°S) sont fortement sous-estimées comparées aux observations satellite.

Il existe donc des différences importantes entre les PP observées (SODA) et celles simulées (NCEP) utilisées respectivement dans les modèles SEAPODYM-SODA et SEAPODYM-NCEP. Des régions comme la Nouvelle-Calédonie, Vanuatu, Fidji ou encore la Polynésie Française, présentent des valeurs de PP observées par satellite (SODA) jusqu'à 4 fois supérieures aux simulations de PP réalisées par NCEP-PISCES. Les séries temporelles correspondantes à la moyenne dans la boîte Nouvelle-Calédonie sont montrées en bas de la figure 1. Il est important de noter aussi que le cycle saisonnier semble incorrectement reproduit par les simulations NCEP, avec la présence d'un décalage de 2-3 mois avec les observations (figure 4). Ainsi, les PP simulées sont systématiquement inférieures aux observations. Les importantes différences indiquent que la simulation de la PP réalisée avec NCEP-PISCES n'est pas réaliste, particulièrement dans les régions subtropicales, aussi bien en ce qui concerne les concentrations que les cycles saisonniers.



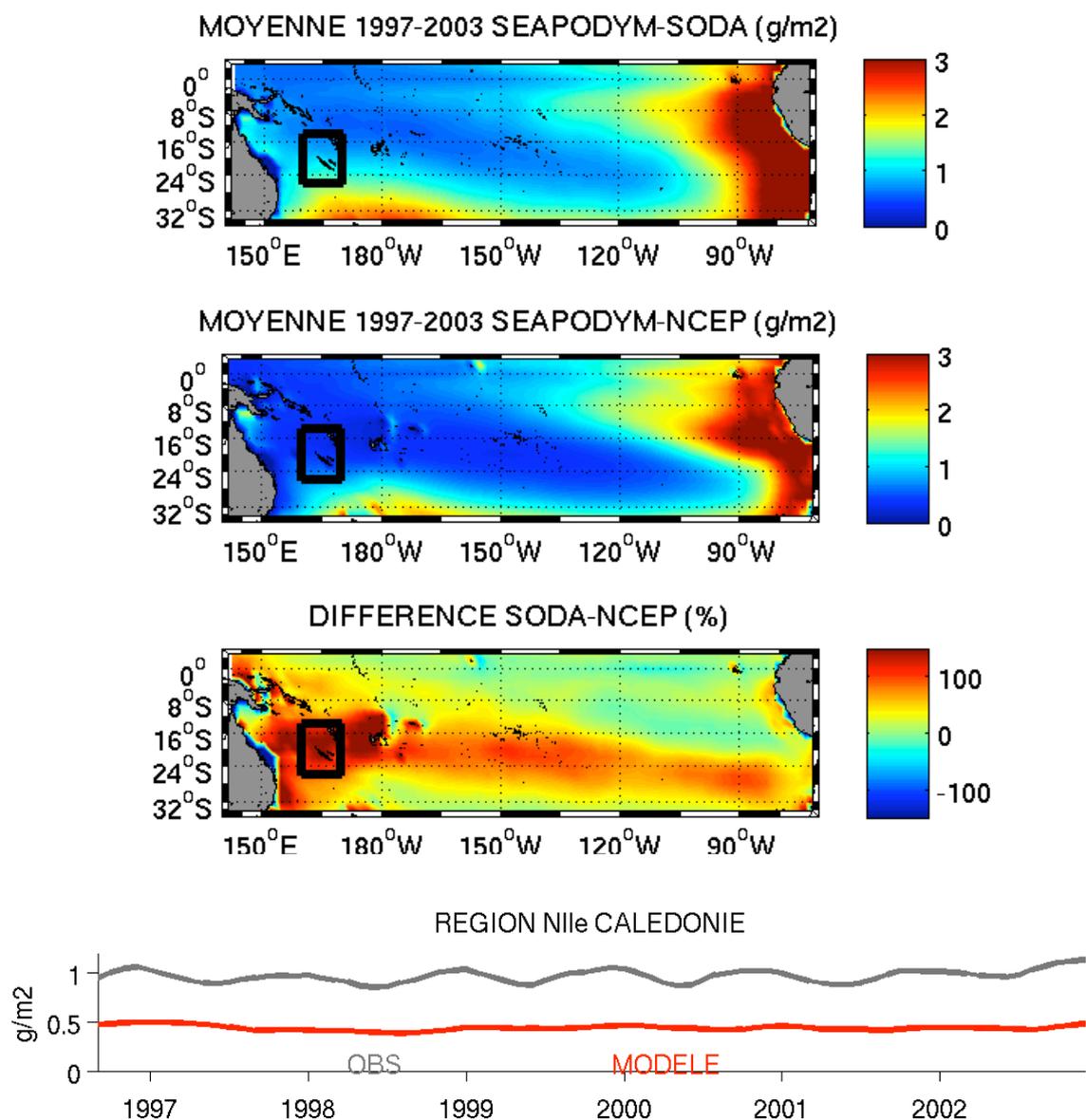
*Figure 1. (Haut) Moyenne 1997-2003 de la PRODUCTION PRIMAIRE de la simulation SODA. (Centre-haut) Moyenne 1997-2003 de la simulation NCEP. (Centre-bas) Différence SODA-NCEP. (Bas) Séries temporelles 1997-2003 SODA (gris) et NCEP (rouge) de la production primaire moyennée dans la région Nouvelle-Calédonie (indiquée par le carré). Les cases blanches représentent les zones masquées dues à la terre.*

## Proies des thons

La figure 2 présente les distributions des proies du thon germon correspondant à la moyenne 1997-2003. Les proies sont estimées par le biais d'un sous-modèle de SEAPODYM (modèles de « micronecton ») qui utilise les variables environnementales physiques et la production primaire décrite antérieurement. La biomasse de proies simulée par SEAPODYM-SODA (à partir de la PP observée) nous indique que la Nouvelle-Calédonie se trouve dans une région de concentration modérée à la lisière entre une zone de faibles concentrations et de fortes concentration plus au sud tandis que la Polynésie Française se situe dans une zone de faible production de proies. Les eaux froides des hautes latitudes ainsi que les côtes sud-américaines présentent des valeurs maximales de biomasse de proies. Les proies simulées par SEAPODYM-NCEP ont une distribution spatiale similaire, avec des maxima à l'est et au sud du domaine.

Il existe néanmoins d'importantes différences entre les biomasses de proies de SEAPODYM-SODA et de SEAPODYM-NCEP. Les biomasses de proies à l'ouest du bassin et dans les régions tropicales, qui concernent entre autres les ZEE de Nouvelle-Calédonie, Vanuatu, Fidji, Wallis et Futuna et Polynésie Française, semblent fortement sous-estimées par la simulation SEAPODYM-NCEP, allant jusqu'à un facteur supérieur à 2. Les fortes dissemblances existantes entre les PP utilisées par les 2 simulations expliquent en grande partie ces différences entre les estimations des proies.

Les séries temporelles correspondantes à la moyenne dans la boîte Nouvelle-Calédonie sont montrées en bas de la figure 2. Dans cette région, les biomasses de proies simulées à partir des observations (SODA-satellite) sont 2 fois supérieures à celles simulées avec le modèle couplé (NCEP-PISCES). Comme pour la production primaire, le cycle saisonnier des proies de SEAPODYM-NCEP semble décalé par rapport à celui de la simulation SEAPODYM-SODA (figure 4). Les importantes différences observées entre les productions primaires et les biomasses de proies des 2 simulations SEAPODYM devraient avoir un effet sur les estimations de biomasse de thon.



*Figure 2. (Haut) Moyenne 1997-2003 des proies de la simulation SEAPODYM-SODA. (Centre-haut) Moyenne 1997-2003 des proies de la simulation SEAPODYM-NCEP. (Centre-bas) Différence SODA - NCEP. (Bas) Séries temporelles 1997-2003 SEAPODYM-SODA (gris) et SEAPODYM-NCEP (rouge) des proies moyennées dans la région Nouvelle-Calédonie (indiquée par le carré).*

## Biomasse du thon germon simulée

La distribution de la biomasse des thons est essentielle pour réaliser une évaluation des stocks par zone économique exclusive (ZEE) ou pour mettre en place une politique de gestion durable de la ressource à l'échelle du Pacifique Sud. Les biomasses simulées sont contraintes par des conditions environnementales, par des migrations horizontales liées aux habitats de ponte et d'alimentation et par la mortalité naturelle. Les captures de thon observées sont utilisées pour ajuster les paramètres du modèle. Etant données les fortes différences entre les productions primaires et les proies du thon simulées par SEAPODYM-NCEP et SEAPODYM-SODA, on s'attend à des répercussions importantes sur l'estimation des biomasses. Nous comparons les biomasses des 2 modèles sur la période 1997-2003, représentés par la densité de thon relative à la biomasse totale du Pacifique Sud (en pourcentage).

Les 2 simulations montrent l'importance de la migration saisonnière de l'espèce, dans le sens ouest-est en été austral et dans le sens nord-sud à l'ouest du bassin en hiver (figure 3). Ces amples déplacements horizontaux sont principalement liés aux habitats de ponte et d'alimentation et semblent contraindre fortement la distribution des thons germon dans le modèle. La migration saisonnière, la distribution spatiale des thons et les amplitudes de la densité des 2 simulations sont similaires à l'échelle du bassin et saisonnièrement mais il existe de fortes disparités régionales, que l'on peut visualiser sur la carte de la figure 4 où les différences peuvent être de 100% (notamment dans la ZEE calédonienne), à l'image des différences en PP et en proies des thons (figures 1 et 2). Dans les régions où les habitats sont plus favorables aux thons adultes (latitudes 10°S - 30°S, centre et ouest du bassin), la densité de thon issue de SEAPODYM-SODA est 30-60% plus forte que celle de la simulation SEAPODYM-NCEP.

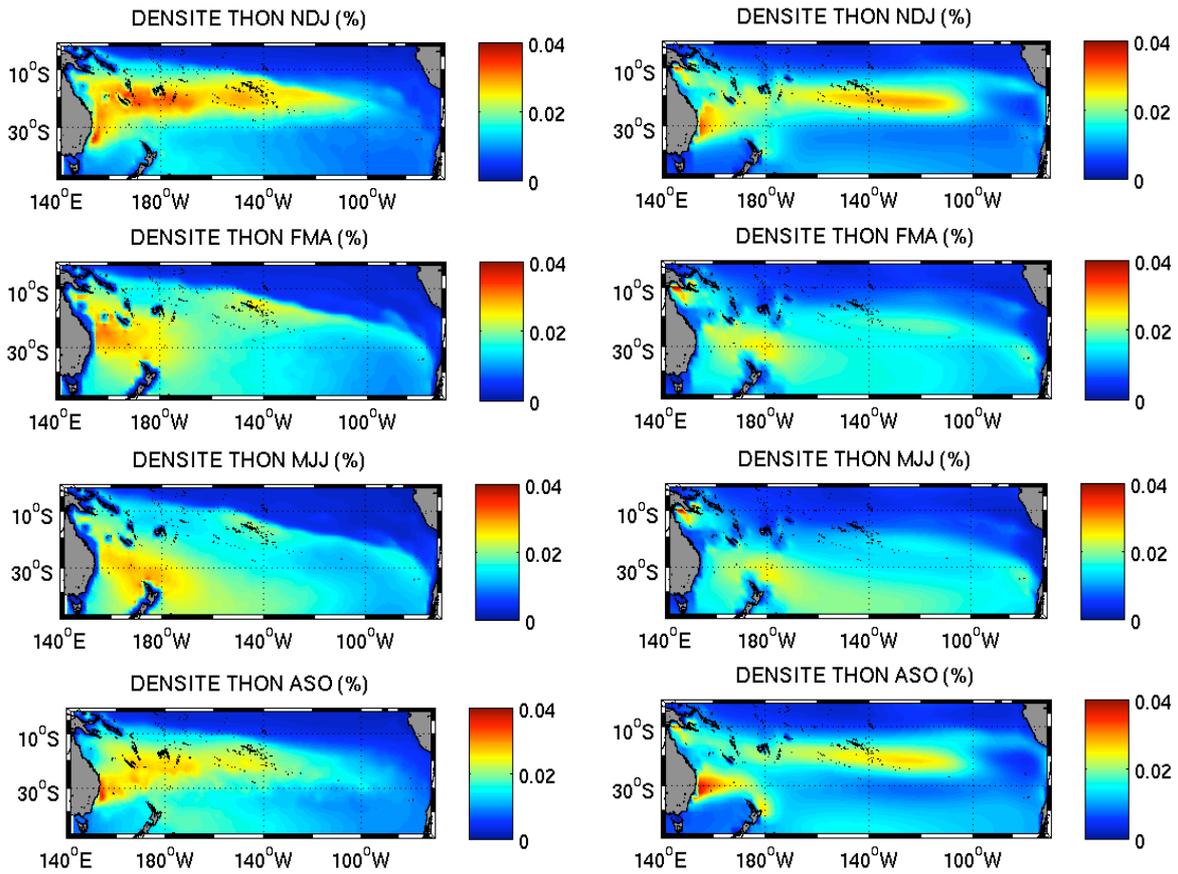


Figure 3. Densité de thons germon adultes en pourcentage par rapport à la biomasse totale du Pacifique Sud. Moyennes par trimestre sur la période 1997-2003 (NDJ = Nov-Dec-Jan, etc...). (Gauche) Simulation SEAPODYM-SODA. (Droite) Simulation SEAPODYM- NCEP.

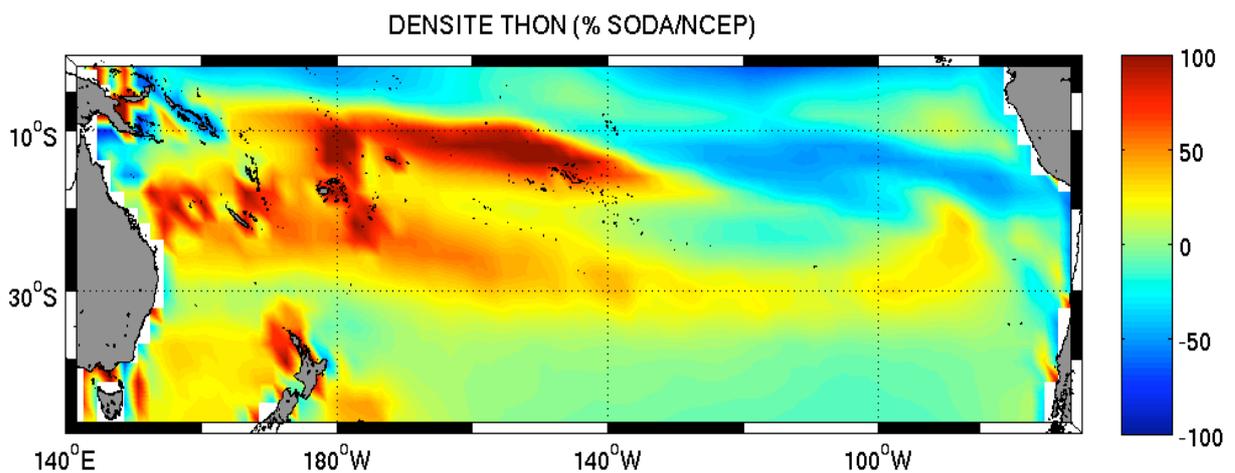
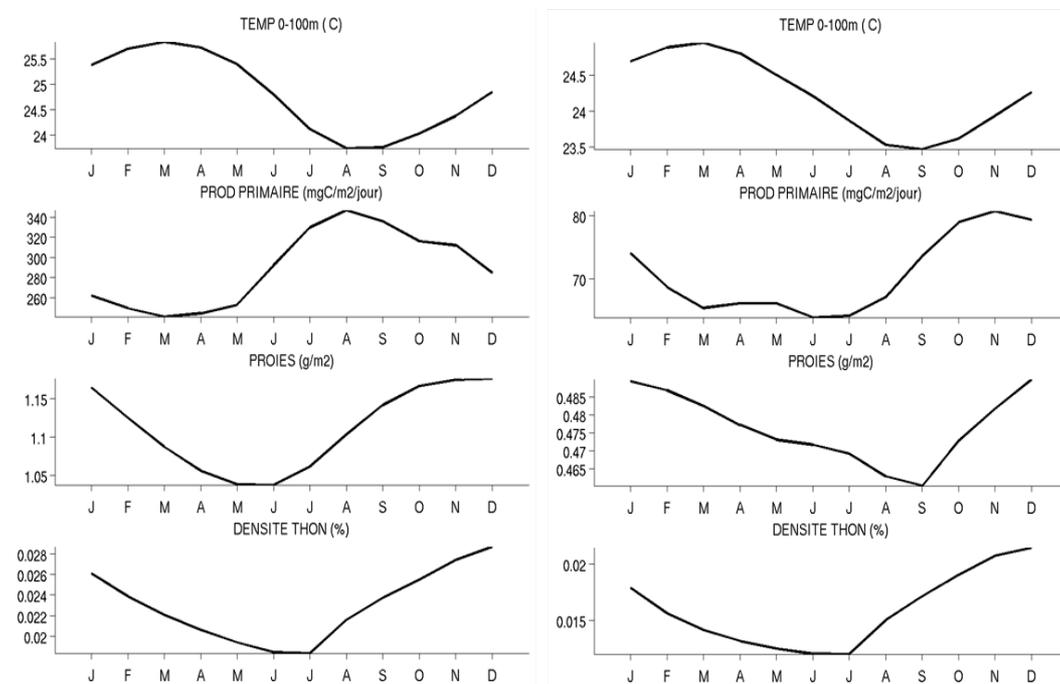


Figure 4. Différence SODA-NCEP (moyenne 1997-2003) de la densité de thons germon adultes (pourcentage par rapport à la biomasse totale du Pacifique Sud). SODA présente des valeurs plus élevées que NCEP aux tropiques, et plus faibles à l'équateur.

Enfin, la figure 5 présente les variations saisonnières (de janvier à décembre) des 2 simulations SEAPODYM correspondantes à la moyenne de la région Nouvelle-Calédonie, indiquée sur la figure 2. Les températures (moyenne 0-100 m) des 2 simulations sont similaires, présentant toutes deux des maxima en mars et des minima en septembre avec un écart de température de seulement 0.5°C. Les productions primaires (PP) sont par contre très différentes. Le maximum saisonnier de la PP utilisée par SODA (dérivée des observations satellite) a lieu en août tandis que SEAPODYM-NCEP présente un maximum en novembre. La PP simulée par SEAPODYM-NCEP est 4 fois inférieure à celle observée par satellite. Les écarts observés sur les productions primaires semblent se refléter sur les proies. Le minimum saisonnier pour SEAPODYM-SODA a lieu en janvier tandis que pour SEAPODYM-NCEP celui-ci a lieu en septembre. SEAPODYM-SODA simule des biomasses 2 fois plus importantes. Les déphasages saisonniers entre les 2 simulations observés sur les proies n'influencent pas la variabilité saisonnière de la biomasse du thon; les 2 sorties présentent des minima en juin-juillet. SEAPODYM-SODA simule une densité de thon 30 % supérieure.



**Figure 5. Variabilité saisonnière pour la Nouvelle-Calédonie, sur la période 1998-2003, de la température sur (0-100 m), de la production primaire, de la biomasse de proies et de la densité de thon (% par rapport à la biomasse totale du Pacifique Sud). (Gauche) Simulation SEAPODYM-SODA. (Droite) Simulation SEAPODYM- NCEP.**

## Conclusions

Nous avons comparé les productions primaires (PP) et les proies qui alimentent deux récentes simulations de dynamique du thon germon, SEAPODYM-NCEP (S-NCEP) et SEAPODYM-SODA (S-SODA). L'avantage de la simulation S-NCEP est qu'elle couvre une longue période (1970-2003) alors que la simulation S-SODA est limitée aux années 1998-2007 mais l'environnement hydrodynamique de cette dernière est mieux ajusté aux observations.

- Dans la région tropicale (latitudes 5°S-25°S) du Pacifique Sud, la production primaire (PP) dérivée des observations satellitaires utilisées par S-SODA est jusqu'à 4 fois supérieure à la PP simulée par NCEP-PISCES et utilisée par S-PISCES et il existe un décalage temporel entre les cycles saisonniers des PP observées et celles simulées.
- La sous-estimation de la PP affecte tout particulièrement la Nouvelle-Calédonie où les différences entre les 2 simulations sont particulièrement contrastées.
- Les biomasses de proies, estimés à partir de la PP, issues de S-SODA sont jusqu'à 2 fois supérieures aux estimations de S-NCEP dans les régions subtropicales. Les cycles saisonniers des proies sont eux aussi décalés entre les 2 simulations.
- On observe un décalage de 2 à 4 mois dans les cycles saisonniers de la PP et des proies
- Donc les simulations S-SODA et S-NCEP sont très différentes du point de vue de l'hydrodynamique, de la production primaire et de la distribution des proies.
- A échelle du Pacifique Sud, la biomasse des thons des 2 simulations présente une distribution saisonnière similaire. En été austral les adultes se situent dans la zone subtropicale (10°S – 30°S) au centre et à l'ouest du bassin tandis qu'en hiver les thons se concentrent au nord de la Nouvelle-Zélande (30°S-35°S).
- Mais, les biomasses estimées par S-SODA sont de l'ordre de 50 % plus fortes que celles issues de S-NCEP.
- La biomasse de thon adulte modélisée avec S-SODA dans la ZEE calédonienne est 30% plus forte mais on n'observe aucun décalage entre les cycles saisonniers des 2 simulations.

- La saisonnalité de la biomasse des thons simulée en Nouvelle-Calédonie répond directement aux migrations saisonnières à grande échelle imposées dans le modèle. Cependant la résolution du modèle ne permet pas de détecter de migration qui serait liée aux variations locales de l'habitat d'alimentation.
- En ce qui concerne l'examen de la biomasse de thons dans les simulations, même si S-SODA est une meilleure simulation potentielle, il nous semble possible de regarder la dynamique de population du thon blanc dans S-NCEP qui est disponible sur une plus longue période.

## *Perspectives*

- L'utilisation de deux simulations pour la dynamique des thons a montré l'importance de ne pas se focaliser sur une seule simulation car il existe une incertitude évidente liée au forçage environnemental. Donc, dans le futur, il nous semble nécessaire d'associer les simulations SEAPODYM de la dynamique de population des thons d'une estimation de l'erreur associée. Ceci permettra de mieux qualifier les incertitudes liées aux forçages.
- Utilisant ces deux simulations très différentes, il est apparu évident que la variation saisonnière des simulations SEAPODYM de la biomasse de thons dans la ZEE calédonienne était très contrainte par le temps de maturation du micronecton et par le schéma de migration saisonnière imposé dans le modèle. Ainsi les deux simulations pourtant foncièrement différentes se ressemblent. Or micronecton et migration saisonnières demeurent encore mal observés et il conviendrait de mieux les évaluer (voir fiche 3 et 6 sur le comportement des thons et sur les simulations saisonnières SEAPODYM)

## *Bibliographie*

Lehodey, P, Senina I and Murtugudde R. 2008. A spatial ecosystem and populations dynamics model (SEAPODYM) – Modeling of tuna and tuna-like populations. Progress in Oceanography 78:304–318.

Behrenfield, M. and Falkowski, P. 1998. Photosynthetic rates *derived from satellite-based chlorophyll concentration*. *Limnol. Oceanogr.*, 42 : 1-20

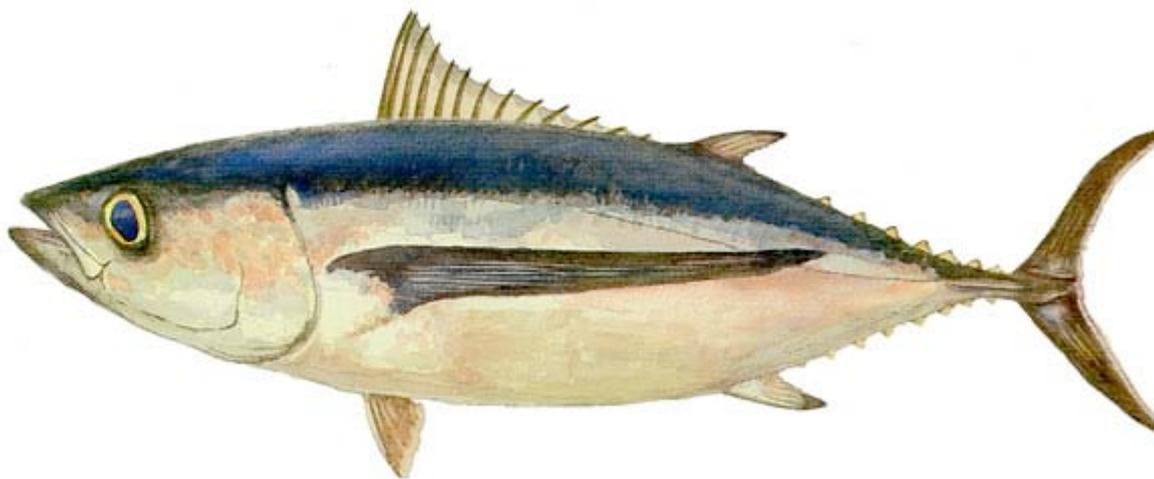
Jurado-Molina, J., Lehodey, P., Senina, I and Nicol, S. 2011. SEAPODYM perspectives as management tool for albacore (*Thunnus alalunga*) in the South Pacific Ocean.

Rodgers, K.B., O. Aumont, C. Menkes, and T. Gorgues (2008), Decadal variations in equatorial Pacific ecosystems and ferrocline/pycnocline decoupling, *Global Biogeochemical Cycles*, 22, GB2019.

---

## FICHE 6 : VARIABILITE SAISONNIERE DANS LA ZEE DE NOUVELLE-CALEDONIE. SIMULATION SEAPODYM-SODA 1997-2007

---



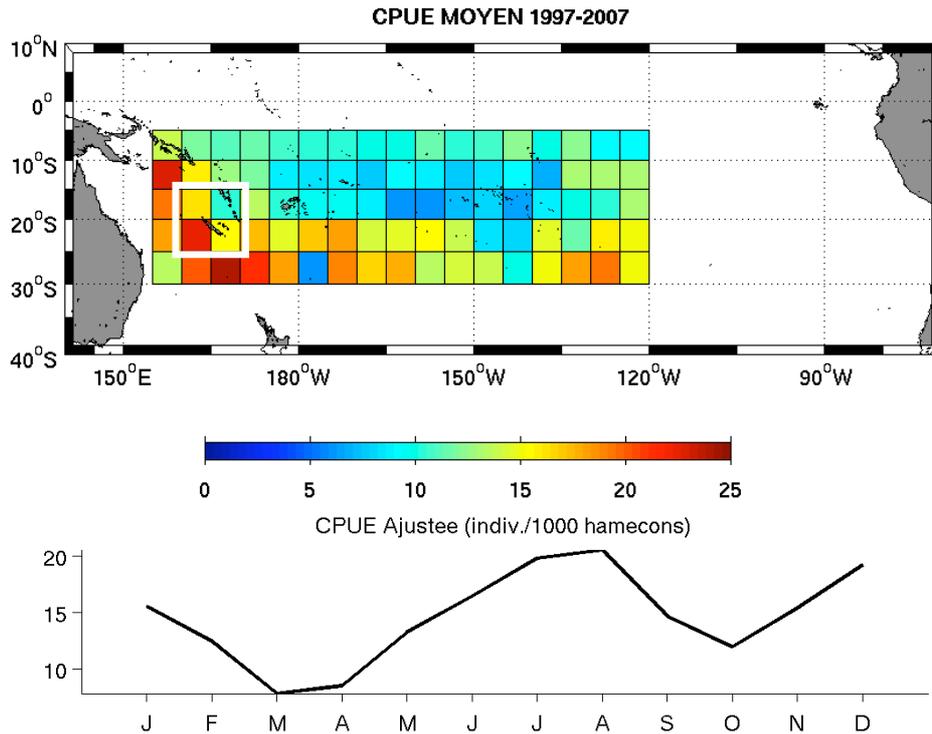
<b>Introduction.....</b>	<b>111</b>
<b>Résultats .....</b>	<b>111</b>
<b>Variation saisonnière.....</b>	<b>114</b>
La Température.....	116
La production primaire.....	117
Biomasse de proies .....	118
Densité de thon germon.....	120
<b>Conclusions .....</b>	<b>123</b>
<b>Perspectives.....</b>	<b>124</b>

## ***Introduction***

Dans cette fiche nous analysons les sorties du modèle SEAPODYM-SODA mis en place en 2011 et décrit dans la fiche 5. Cette simulation a utilisé comme forçage environnemental les variables physiques du modèle assimilé SODA (corrigé par des observations) et la production primaire estimée à partir des observations satellite opérant depuis 1997 (*Behrenfield et Falkowski, 1998*). Cette simulation couvre la période allant de 1997 à 2007. L'objet principal de cette section est d'étudier la variabilité saisonnière, à échelle de la Nouvelle-Calédonie, de la température, de la production primaire, de la biomasse de proies et de la densité de thons germon issues de SEAPODYM-SODA.

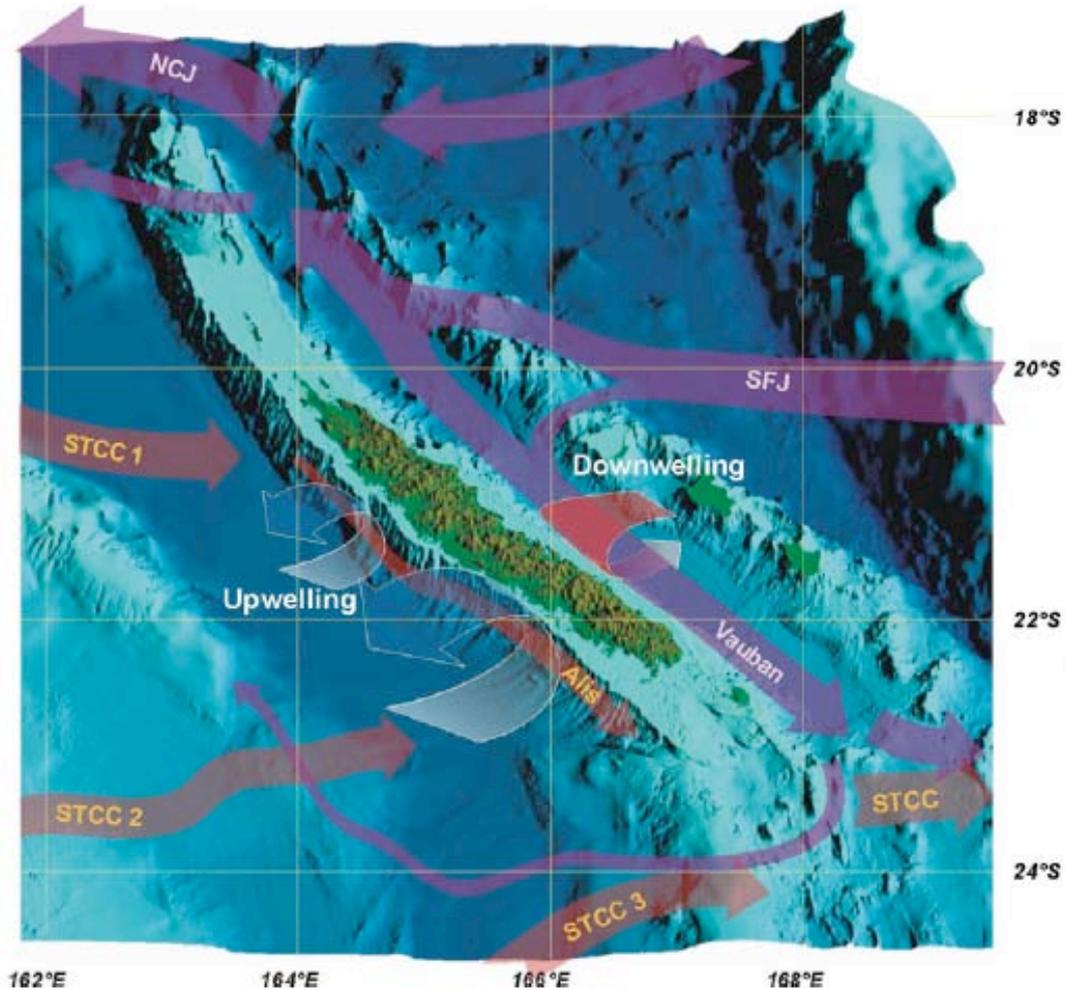
## ***Résultats***

La figure 1 présente les captures de thon germon adulte (1997-2007) par unité d'effort ajustées (CPUE ; Molina et al., 2011) dans le Pacifique subtropical Ouest. Les CPUE correspondent à la somme de toutes les pêcheries palangrières ciblant uniquement le germon standardisées selon la période de l'année, la position et les caractéristiques des navires. On observe que les CPUE sont plus importantes à l'Ouest et au Sud, comme par exemple dans la région Nouvelle-Calédonie. Le cycle saisonnier des CPUE en Nouvelle-Calédonie présente des maximales en Juillet-Août et en Décembre-Janvier et des minimas en Mars-Avril et en Octobre. Les CPUE peuvent être interprétées comme des indicateurs d'abondance relative de thon blanc.



**Figure 1.** (Haut) Moyenne 1997-2007 des captures par unité d'effort (CPUE) observées (nombre/1000 hameçons). (Bas) Cycle saisonnier des CPUE moyennées dans la ZEE de Nouvelle-Calédonie (carré blanc).

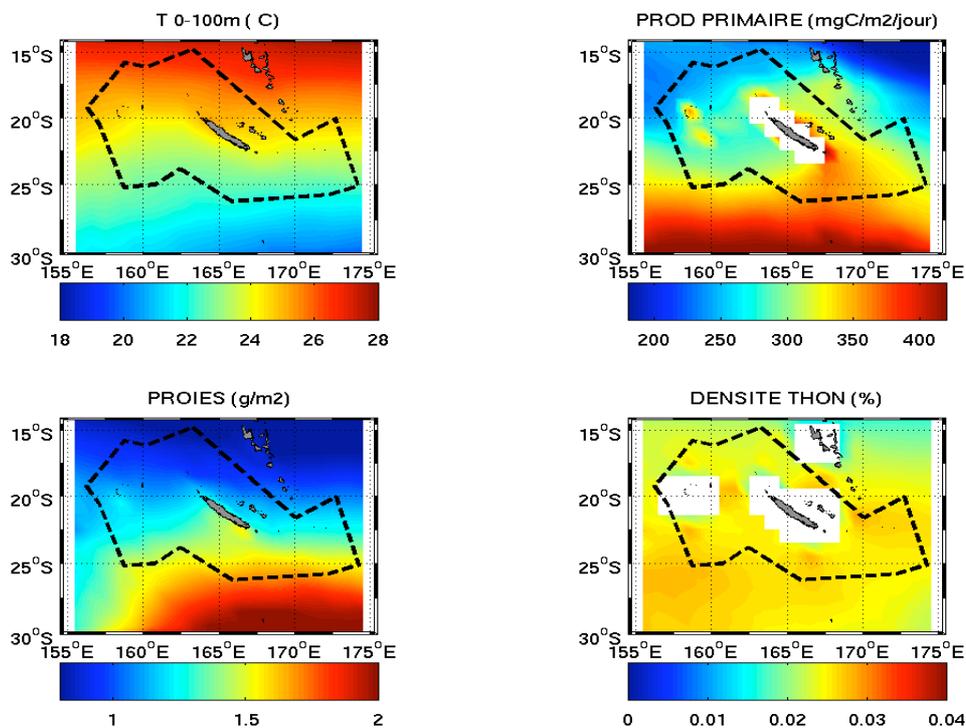
La figure 1 montre une variabilité spatiale marquée dans la ZEE avec, notamment, une zone plus pauvre dans le quadrant nord-est et plus riche au sud-est. La figure 3 présente les distributions moyennes (1997-2007) des variables simulées par SEAPODYM-SODA à l'échelle de la Nouvelle-Calédonie. La distribution moyenne de température est dominée par le gradient nord-sud. Le sud de la région se caractérise par des eaux froides tandis que le nord est associé à des eaux chaudes. Cette variation latitudinale de la température est en grande partie associée au schéma de circulation marine qui englobe la Nouvelle-Calédonie (Figure 2).



**Figure 2 : Les grands systèmes de courants de surface (0-200m) dans la ZEE calédonienne. En violet les différentes branches du Courant Sud équatorial (SEC) et en rouge, les différentes branches du courant de retour est-australien STCC (Sub Tropical Counter Current). NCJ : North Caledonian Jet ; SFJ : South Fidji Jet. D'après Marchesiello et al. (2010).**

Au sud le Contre-Courant Subtropical (STCC), qui se détache du Courant Est Australien (EAC), amène de l'eau froide et salée tandis que de l'eau d'origine équatoriale, chaude et peu salée, pénètre au nord de la ZEE via les diverses branches du courant Sud équatorial (SEC). En conséquence, les caractéristiques océanographiques des couches superficielles de la ZEE sont fortement influencées par la variabilité saisonnière de ces deux systèmes de courants. La production primaire présente une distribution moyenne également déterminée par le système de circulation. Les eaux froides au sud (STCC), plus riches en sels nutritifs, sont associées à une production primaire plus élevée que dans la région nord (figure 3). La distribution des proies du

thon est proche de celle de la production primaire, avec des maxima au sud et des minima au nord, indiquant que l'habitat d'alimentation du thon est plus favorable à hautes latitudes. La densité moyenne de thon simulée par le modèle a une distribution plutôt homogène dans la région et semble peu contrainte par l'habitat d'alimentation ou les fortes différences de température/sels nutritifs associées aux différents régimes de circulation présents au nord et au sud. On note cependant la tendance observée sur la CPUE de la figure 1 : une zone plus pauvre au nord est de la zone et globalement plus riche au Sud est mais qui n'est pas directement corrélée à l'habitat d'alimentation.

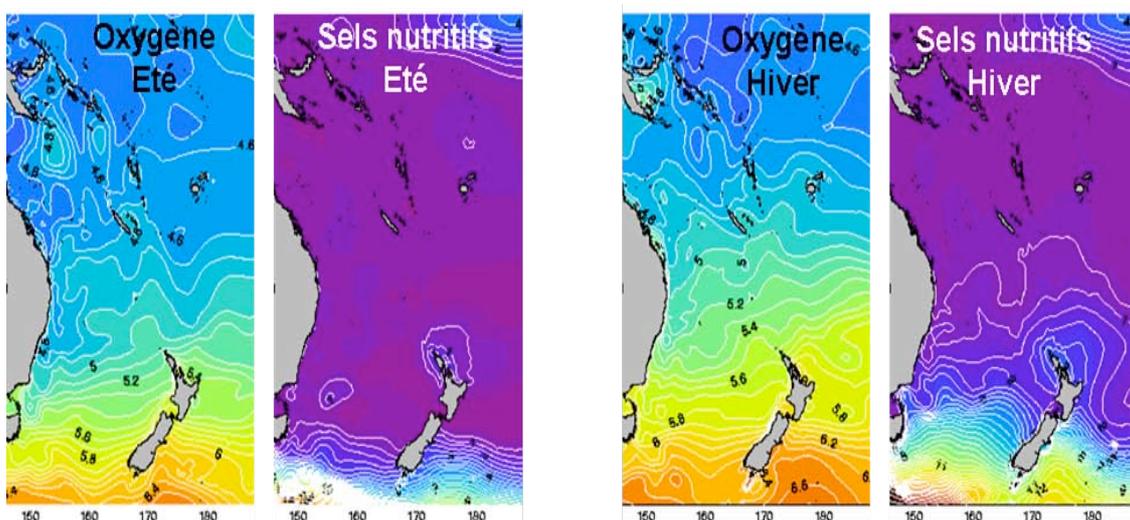


**Figure 3.** Moyenne 1997-2007 de la température sur 0-100 m (haut gauche), production primaire (haut droite), biomasse des proies (bas gauche) et densité de biomasse de thon germon (bas droite) en % de la moyenne du domaine, issues de la simulation SEAPODYM-SODA.

### Variation saisonnière

Une atlas de haute résolution à l'échelle du Pacifique Sud-ouest a été développé par le centre océanographique australien CSIRO (Ridgway et Dunn, 2003). Cet atlas, nommé CARS, permet de connaître les valeurs moyennes de plusieurs paramètres

chimiques et physiques. La figure 4 montre les distributions d'oxygène et de sel nutritif dans le Pacifique Sud-ouest correspondantes aux saisons hiver et été. En Nouvelle-Calédonie, durant la période hivernale (juin à octobre), la colonne d'eau est peu stratifiée, la couche de mélange a une épaisseur dépassant les 100 m et les concentrations de sels nutritifs et oxygène dissous atteignent des valeurs saisonnières maximales. Durant la période estivale (décembre à mars) la colonne est fortement stratifiée, l'épaisseur de la couche de mélange varie entre 20 et 50 m et les concentrations de sels nutritifs et d'oxygène sont plus faibles.

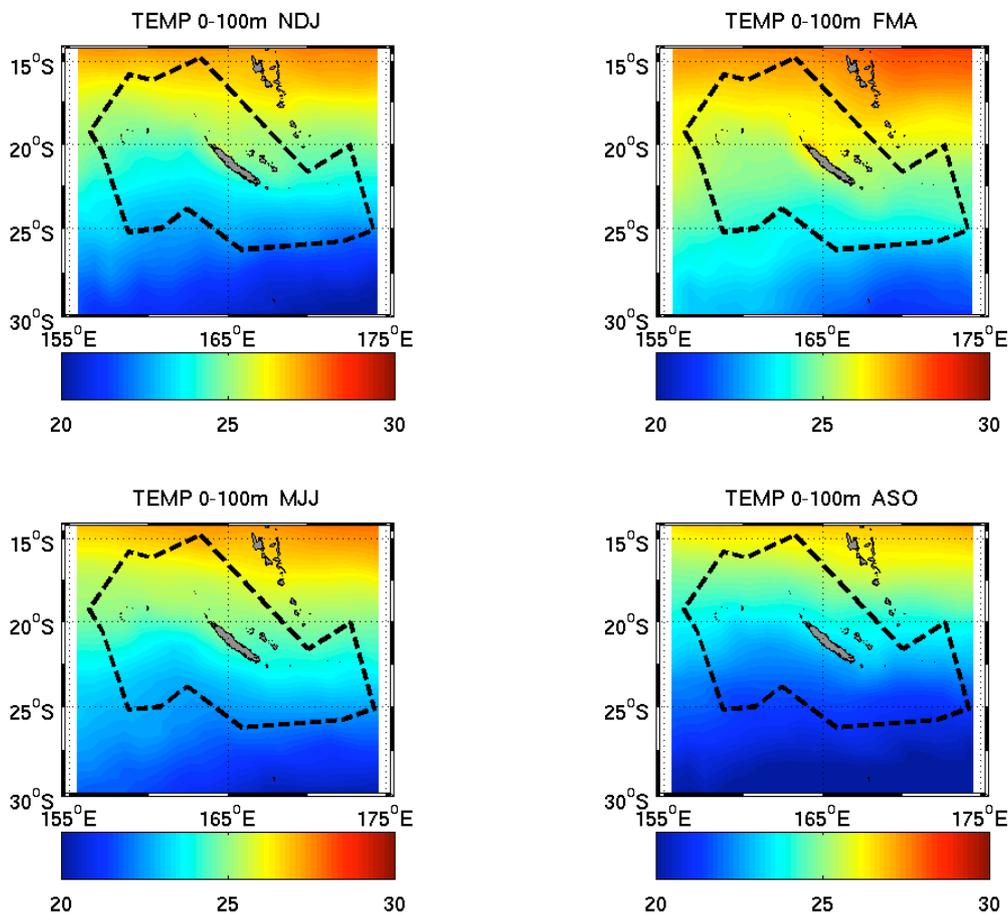


*Figure 4. Distributions en surface de l'oxygène dissous et de la concentration de nitrate en été et hiver australs obtenues à partir de l'atlas climatologique CARS. Les zones violettes sont les zones où les nutriments sont à la limite de la détection (forte oligotrophie).*

Les figures suivantes décrivent les fluctuations de l'habitat du thon (température, production primaire et distribution des proies) et de sa biomasse simulée par SEAPODYM-SODA par trimestre moyenné sur la période 1997-2007.

## La Température

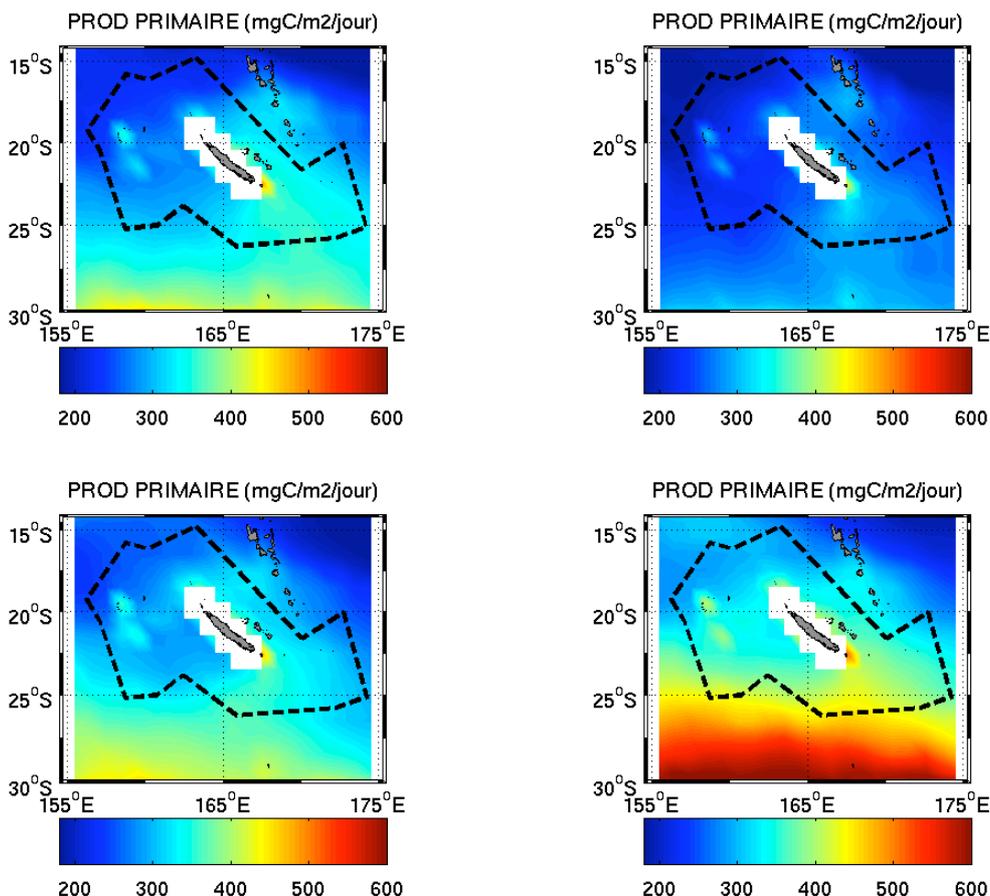
Les eaux superficielles de la ZEE de Nouvelle-Calédonie sont sous l'influence des 2 grands systèmes de courants décrits antérieurement (STCC et SEC). En conséquence, les caractéristiques océanographiques des couches superficielles de la ZEE, et tout particulièrement la température, sont fortement modulées par la variabilité saisonnière de ces systèmes de circulation. On observe sur la figure 5 que le signal saisonnier de la température est contrasté. Les températures saisonnières sont minimales en hiver (ASO) et maximales en été (FMA).



*Figure 5. Variation saisonnière par trimestre (période 1997-2007) de la température sur 0-100 m de SEAPODYM-SODA. (haut gauche) trimestre NDJ (Novembre-Décembre-Janvier), (haut droite) trimestre FMA (Février-Mars-Avril), (bas gauche) trimestre MJJ (Mai-Juin-Juillet) et (bas droite) trimestre ASO (Août-Septembre-Octobre).*

## La production primaire

La production primaire mesure la quantité de carbone transformée par la photosynthèse pour la croissance du phytoplancton. C'est la base du réseau trophique qui va, à travers le développement des espèces successives, constituer l'habitat alimentaire du thon. Comme pour la température, la variation saisonnière de la production est fortement liée aux fluctuations de la circulation grande échelle (STCC et SEC). Sur la figure 6 on remarque un contraste marqué entre les différentes saisons. Les valeurs les plus faibles s'observent entre février et mars, avec des valeurs moyennes proches de  $200 \text{ mgC/m}^2/\text{jour}$ . La production est plus importante d'août à octobre, atteignant dans la ZEE des valeurs supérieures à  $400 \text{ mgC/m}^2/\text{jour}$ . Cette saisonnalité est inversée par rapport à celle observée sur la température. Ceci correspond à la notion que plus les eaux sont froides, plus elles sont généralement riches en nutriments (figure 4), et donc plus la croissance phytoplanctonique (production primaire) est favorisée. Ainsi, dans la ZEE, les fluctuations de production sont dominées par le déplacement nord-sud des zones riches et pauvres avec, en été, une descente du front subtropical et des eaux pauvres vers le sud et vice-versa en hiver (figure 4).

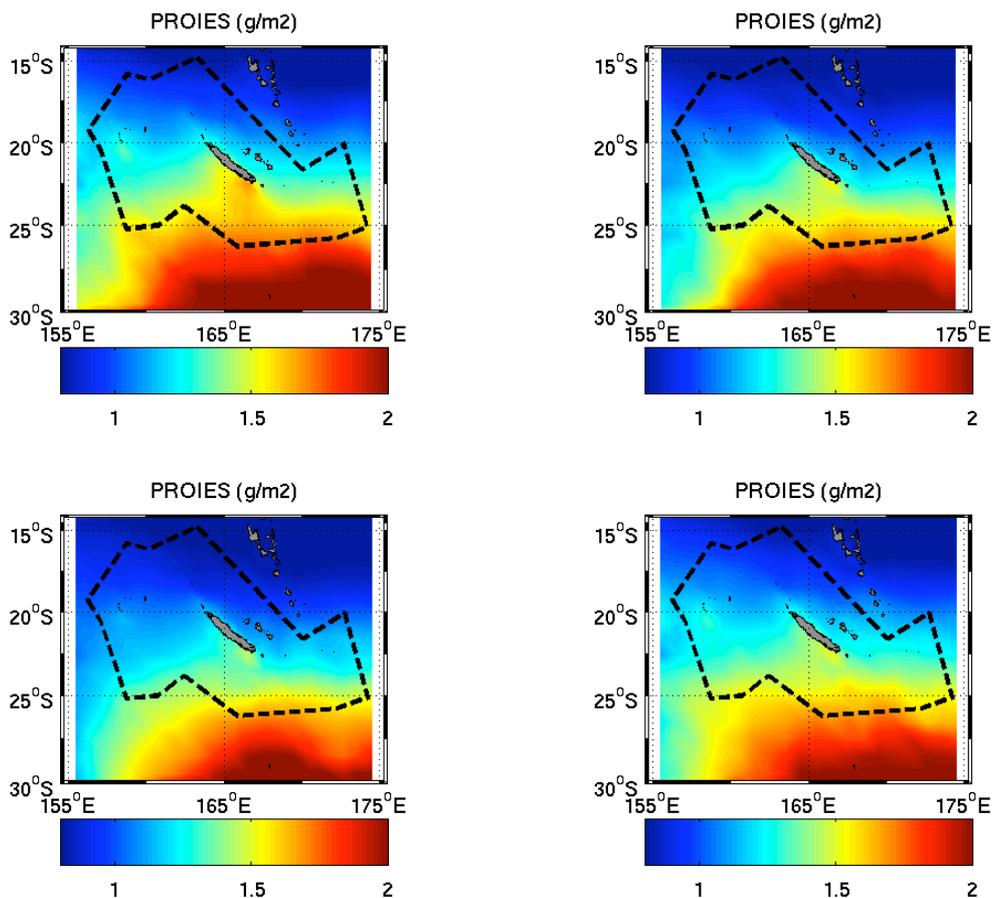


*Figure 6. Variation saisonnière par trimestre (période 1997-2007) de la production primaire satellite utilisée dans SEAPODYM-SODA. (haut gauche) trimestre NDJ (Novembre-Décembre-Janvier), (haut droite) trimestre FMA (Février-Mars-Avril), (bas gauche) trimestre MJJ (Mai-Juin-Juillet) et (bas droite) trimestre ASO (Août-Septembre-Octobre).*

### Biomasse de proies

Les proies sont estimées par un sous-modèle de SEAPODYM (modèle de « micronecton ») qui utilise comme entrée les variables environnementales physiques et la production primaire. Les proies présentées ici correspondent à la somme de 4 groupes épi et méso-pélagiques. La figure 7 présente les distributions de proies par trimestre autour de la Nouvelle-Calédonie. La saisonnalité de la distribution est moins contrastée que celle observée sur la production primaire, même si les concentrations les plus faibles s'observent en hiver alors que c'est la période durant laquelle la production primaire est la plus forte (Figure 6) et les plus fortes en été alors que la production primaire est la plus faible.

Par ailleurs, quelles que soient les saisons, on constate un fort contraste nord-Sud mais aussi un contraste est-ouest, avec, tout le long de la Grande Terre, une zone plus riche en proies à l'ouest qu'à l'est. Ce contraste nord-sud et est-ouest a déjà été mis en évidence et discuté dans les données Nectalis1-2 dans la fiche 1. On a vu que les données in situ étaient conformes à la vision présentée ici par le modèle de proies (voir fiche 1 Nectalis).



**Figure 7. Variation saisonnière par trimestre (période 1997-2007) de la biomasse de proies SEAPODYM-SODA. (haut gauche) trimestre NDJ (Novembre-Décembre-Janvier), (haut droite) trimestre FMA (Février-Mars-Avril), (bas gauche) trimestre MJJ (Mai-Juin-Juillet) et (bas droite) trimestre ASO (Août-Septembre-Octobre).**

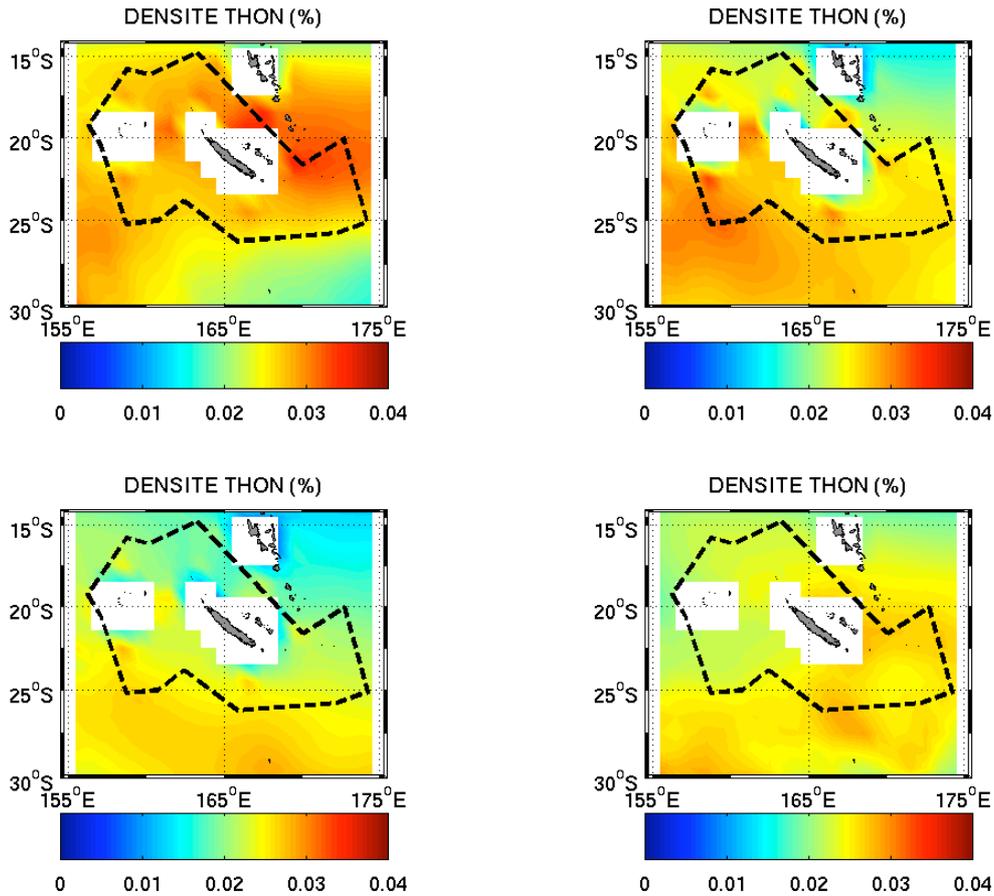
## Densité de thon germon

La densité ou biomasse de thon germon est un produit des simulations SEAPODYM déterminant pour potentiellement évaluer les stocks par zone économique exclusive ou mettre en place un politique de gestion durable de la ressource. Les biomasses simulées sont régies par les conditions environnementales, la mortalité naturelle et les migrations horizontales associées aux habitats de ponte et d'alimentation. Comme il a été décrit antérieurement, les variables environnementales, telles que la température, les sels nutritifs ou encore l'oxygène<sup>4</sup>, et l'habitat d'alimentation du thon dans la région Nouvelle-Calédonie présentent une forte variabilité saisonnière associée en grande partie au déplacement latitudinal du système océanographique. La figure 8 décrit, par trimestre, les distributions de densité de thon, en % relatif à la biomasse totale du Pacifique Sud.

Dans le modèle, le maximum de biomasse est globalement observé en novembre-décembre-janvier mais dans une zone qui est différente de celle du maximum de biomasse de proies (Figure 7) et un minimum de biomasse en mai-juin-juillet, qui se situe spatialement en accord avec la zone de proies maximale. D'une manière générale, à la comparaison des situations des figures 7 et 8, on constate un certain découplage spatial entre biomasses de thons adultes et de proies. Ce découplage peut être dû à des facteurs environnementaux tels que l'habitat d'alimentation mais aussi à la compétition avec l'habitat de ponte qui oblige, dans le modèle, les thons à se déplacer vers le nord en été.

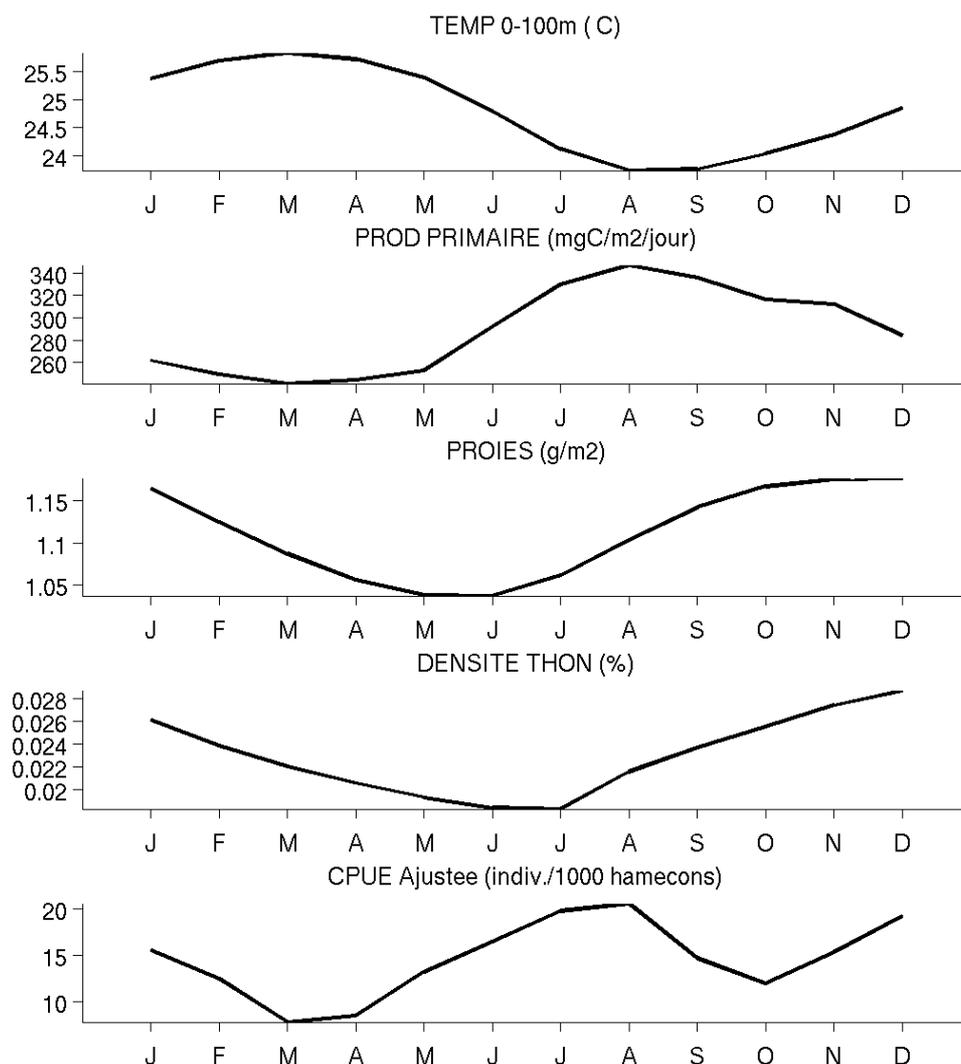
---

<sup>4</sup> Dans la ZEE de Nouvelle-Calédonie l'oxygène n'est pas limitant ; il ne le devient qu'à l'est des Marquises



*Figure 8. Variation saisonnière par trimestre (période 1997-2007) de la densité de thons adultes SEAPODYM-SODA. (haut gauche) trimestre NDJ, (haut droite) trimestre FMA, (bas gauche) trimestre MJJ et (bas droite) trimestre ASO. La densité de thon, en pourcentage, est relative à la biomasse totale du Pacifique Sud*

Les variations saisonnières de l'ensemble des paramètres décrits précédemment sont moyennées dans la ZEE calédonienne et présentés en Figure 9.



**Figure 8.** Variabilité saisonnière (période 1997-2007) de la température sur les 100 premiers mètres, de la production primaire, de la biomasse de proies, de la densité de thon (% par rapport à la biomasse totale du Pacifique Sud) et des captures observées par unité d'effort. Les séries mensuelles correspondent à la moyenne pour la région Nouvelle-Calédonie.

On retrouve les tendances opposées attendues entre les températures et la production primaire. Les variations des proies dans la ZEE sont cohérentes avec une production primaire maximale en hiver qui se transmet à travers les échelons trophiques avec un décalage dû au développement des espèces. Ainsi, on ne s'attend pas à obtenir une production de proie en phase avec la production primaire, mais décalée dans le temps. Notons enfin que le décalage (3-5 mois) produit dans le modèle résulte d'une paramétrisation imposée avec un temps de développement du micronecton de ~3 mois déterminé d'après la littérature. Les valeurs maximales de micronecton en

novembre-décembre-janvier et minimales en mai-juin-juillet sont-elles réellement observées dans l’océan ? Les campagnes NECTALIS (fiche 1) tentent de répondre à cette question et les échantillons sont toujours en cours d’analyse. Cependant, deux campagnes à la mer avec leur échantillonnage parcellaire ne permettront pas de répondre pleinement à cette question.

La figure 8 indique aussi que les biomasses de thons les plus fortes seraient présentes de novembre à janvier et les valeurs les plus faibles de mai à juillet. Cependant, cette variation ne semble pas bien s’accorder avec les fluctuations saisonnières des données observées de capture de thon par unités d’effort (Figure 9). Alors que le modèle SEAPODYM est ajusté aux captures observées, l’absence de cohérence entre le minimum de biomasse de thons adultes simulé dans le modèle et la CPUE observée indique que la CPUE n’est pas une bonne estimation de la biomasse totale dans la ZEE calédonienne. Ce problème de la relation entre biomasse et CPUE est récurrent pour toutes les études de ce type. De plus, la contrainte du schéma de migration dans le modèle reste insatisfaisante. En effet, cette contrainte du modèle fait que le minimum et le maximum de biomasse simulée reste identique même avec des environnements hydrodynamiques et de proies très différents comme démontré dans la fiche 5. Les campagnes de marquage (fiche 3) avaient été lancées dans le but d’obtenir des observations sur les migrations.

## *Conclusions*

Nous avons décrit la variation saisonnière de la température, la production primaire, la biomasse de proies et la densité de thon provenant de la simulation SEAPODYM-SODA sur la période 1997-2007. Cette simulation est sans doute, à l’heure actuelle, la meilleure simulation disponible en terme d’environnement océanographique car elle inclue des données d’observation.

- En moyenne, la production primaire observée est maximale au sud de la zone dans les eaux froides et minimale au nord dans les eaux plus chaudes. Elle est maximale en août et minimale en janvier.

- En moyenne, la biomasse de proies simulée présente la même structure nord-sud que la production primaire : minimale au nord et maximale au sud. La ligne de séparation se situant vers 20°S en novembre-décembre-janvier durant la période de proies maximale et vers 22,5°S durant la période minimale en proies : mai-juin-juillet. Le modèle de proies montre aussi un contraste est-ouest avec des valeurs plus élevées à l'ouest de la Grande Terre. Cette vision est conforme aux observations des campagnes à la mer Nectalis 1 et 2.
- Les maxima de production de phytoplancton et de proies simulées sont décalés de 3 à 5 mois l'une par rapport à l'autre. Cela correspond à une contrainte du modèle sur le développement des proies, mais cela reste mal connue dans la réalité pour cet ensemble de proies hétérogènes.
- Les CPUE présentent deux maxima saisonniers, l'un en août et l'autre en décembre et deux minima en mars et en octobre.
- La biomasse de thon simulée présente une distribution spatiale par saison qui n'est pas bien corrélée à l'habitat d'alimentation avec un maximum en décembre et un minimum en août. Cette différence entre le modèle et les CPUE observées s'explique par un mécanisme de migration nord-sud imposé par le modèle alors que le schéma de migration est très mal connu dans la réalité.
- La structure temporelle de la biomasse simulée ne correspond pas aux observations de CPUE ce qui pose la question de la relation entre biomasse et CPUE dans le modèle.

## *Perspectives*

- Il nous faut déterminer la sensibilité des simulations aux changements environnementaux océanographiques: qu'est-ce qui, entre les courants, la température, l'oxygène et la production primaire a le plus d'impact sur les simulations de proies et de thons ?
- Il reste à déterminer la sensibilité de ces simulations aux paramétrisations cruciales que sont les temps de développement de proies et le schéma de migration des thons qui sont des paramètres très mal connus. Mieux

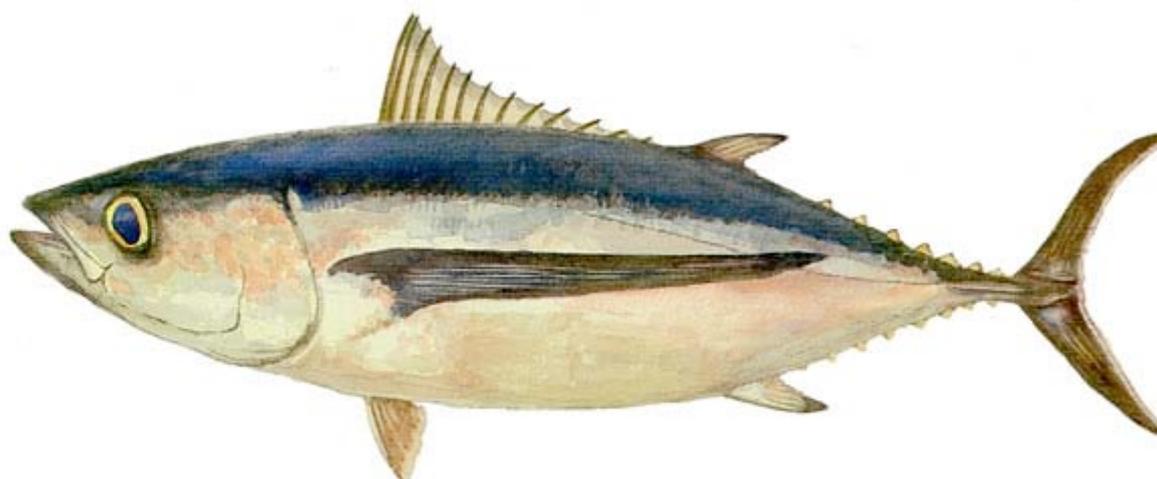
comprendre ces aspects, c'est aussi mieux comprendre la relation entre CPUE et biomasse de thons qui reste un enjeu majeur.

- Pour avancer sur ces questions, il nous faudra acquérir des données supplémentaires sur la composition des espèces de proies et leur biologie que ce soit en période de pêche maximale ou en période de pêche minimale ainsi que des données supplémentaires sur la composition des cohortes de thons et leur schéma migratoire nord-sud saisonnier.

---

## FICHE 7 : VARIABILITE INTERANNUELLE DANS LE PACIFIQUE SUD. SIMULATION SEAPODYM-SODA 1997- 2007

---



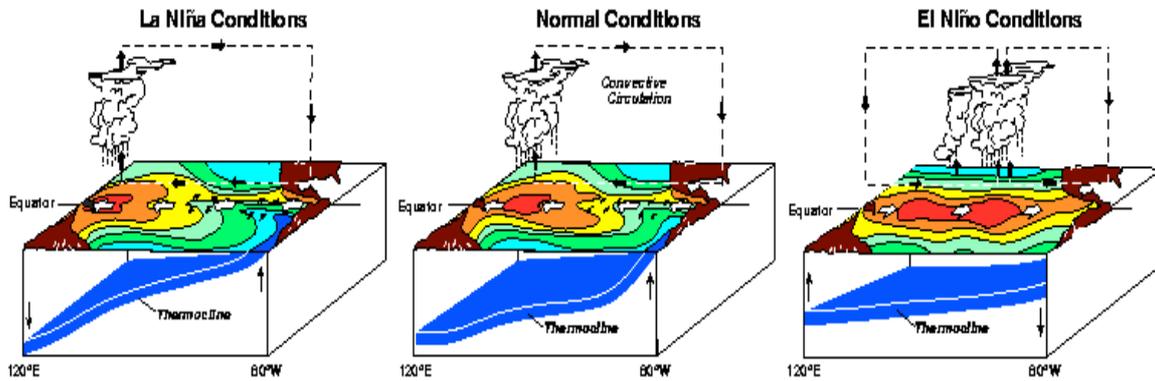
<b>Introduction.....</b>	<b>127</b>
<b>Contexte général : les phénomènes El Niño et La Niña.....</b>	<b>127</b>
<b>Résultats .....</b>	<b>130</b>
<b>Conditions El Niño .....</b>	<b>132</b>
<b>Conditions La Niña .....</b>	<b>134</b>
<b>Effets de ENSO sur la biomasse simulée.....</b>	<b>135</b>
<b>Conclusions .....</b>	<b>137</b>
<b>Perspectives.....</b>	<b>137</b>

## ***Introduction***

Dans cette fiche nous analysons l'effet des phénomènes El Niño et La Niña sur l'environnement du thon blanc selon les sorties du modèle SEAPODYM-SODA mis en place en 2011 et décrit dans les fiche 5 « inter-comparaison SEAPODYM » et 6 « variabilité saisonnière ». Cette simulation a utilisé comme forçage environnemental les variables physiques du modèle assimilé SODA (corrigé par des observations) et la production primaire estimée à partir des observations satellite opérant depuis 1997 (*Behrenfield et Falkowski, 1998*). Cette simulation considère la période allant de 1997 à 2007. L'objet principal de cette section est d'étudier la variabilité interannuelle, dominée par les événements de type El Niño / La Niña dans le Pacifique Sud subtropical, de la température, de la production primaire, de la biomasse de proies et de la densité de thon germon issus de SEAPODYM-SODA.

## ***Contexte général : les phénomènes El Niño et La Niña***

*El Niño* désigne à l'origine un courant côtier saisonnier chaud au large du Pérou et de l'Équateur mettant fin à la saison de pêche. Le terme désigne maintenant par extension le phénomène climatique particulier, différent du climat usuel, qui se caractérise par des températures anormalement élevées de l'eau dans la partie Est de l'océan Pacifique sud. Il a été relié à un cycle de variation de la pression atmosphérique globale entre l'est et l'ouest du Pacifique que l'on nomme l'oscillation australe et l'on unit souvent les deux sous le titre de ENSO (*El Niño-Southern Oscillation*).

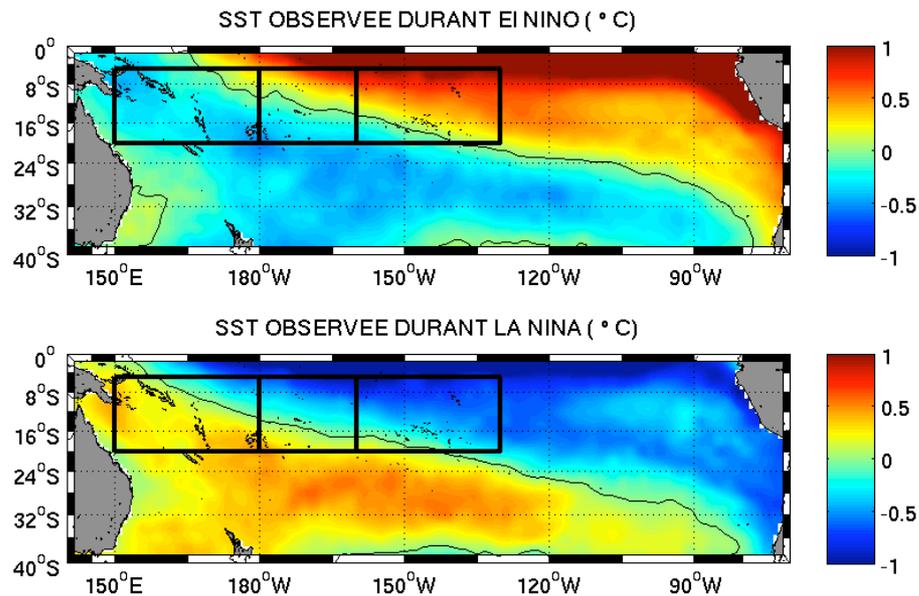


*Figure 1. (Gauche) Condition La Niña : le renforcement des vents étire la zone couverte par la circulation de Walker et la renforce. La piscine d'eau chaude (en rouge-orange) se concentre à l'ouest et s'étend au nord et Sud. (Centre) Condition normale. (Droite) Condition El Niño : la diminution des alizés permet aux eaux chaudes de se répandre plus à l'Est. L'extension nord-sud de la piscine d'eau chaude dans l'ouest se réduit vers l'équateur en s'étendant vers l'est. Source NOAA-PMEL.*

El Niño est une conséquence régionale d'une perturbation dans la circulation atmosphérique générale entre les pôles et l'équateur. Son apparition déplace les zones de précipitations vers l'est dans l'océan Pacifique et empêche la remontée d'eau froide le long de la côte de l'Amérique du Sud, ce qui coupe la source de nutriments pour la faune de ces eaux et nuit considérablement à l'industrie de la pêche dans certaines régions du Pacifique (Figure 1). Par contre, dans l'ouest du Pacifique, c'est le contraire qui se produit.

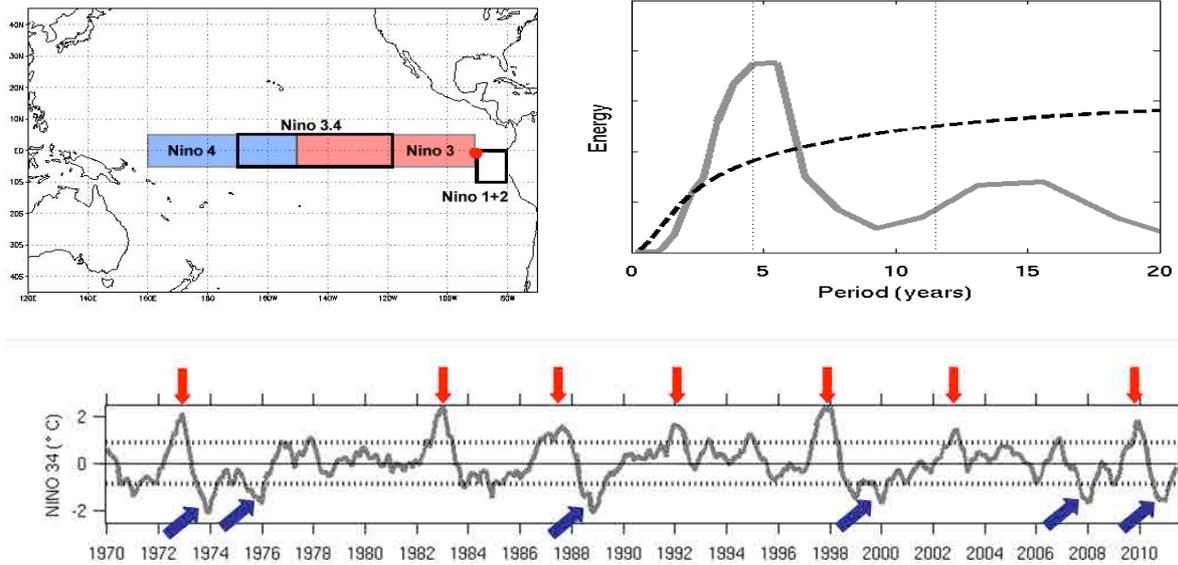
Dans cette section nous nous intéresserons particulièrement aux effets d'ENSO dans l'Ouest et le Centre du Pacifique subtropical. La figure 2 montre les distributions de la température observée en surface de la mer (SST) associées aux événements El Niño et La Niña qui ont eu lieu entre 1970 et 2010. Les 3 régions (ouest=R1, transition=R2 et centre=R3) indiquées par des rectangles sur les cartes délimitent la zone subtropical telle que considérée dans la fiche 4 sur la variabilité de la CPUE en fonction de El Niño/La Niña. On observe que les distributions de SST sont inversées à l'échelle du Pacifique pour les situations El Niño/La Niña. Durant El Niño les températures dans l'ouest de la région subtropicale se refroidissent tandis qu'au centre elles se réchauffent. Durant La Niña on observe exactement le contraire, c'est-à-dire un

réchauffement à l'ouest et un refroidissement au centre. Ces cartes montrent le caractère asymétrique et marqué des événements ENSO dans la région d'étude.



*Figure 2. Les températures de surface typique d'El Niño (haut) et La Niña (bas) auxquelles on a retiré la saison type pour faire apparaître les anomalies caractéristiques. Les valeurs en rouge indiquent un réchauffement de 1°C et les valeurs en bleu un refroidissement de 1°C. Les rectangles noirs sur les cartes délimitent la région subtropicale étudiée.*

Une manière de caractériser de manière systématique ces événements est de considérer la boîte nommée boîte Niño 3.4 située dans le Pacifique équatorial central- (Figure 3). Dans cette boîte, les anomalies positives de température moyenne de surface auxquelles sont enlevées les variations de température saisonnières types indiquent les phénomènes El Niño et les valeurs négatives les phénomènes La Niña (Figure 3, panneau du bas). Ces événements ont lieu préférentiellement tous les 3-5 ans d'après l'analyse spectrale (Figure 3).



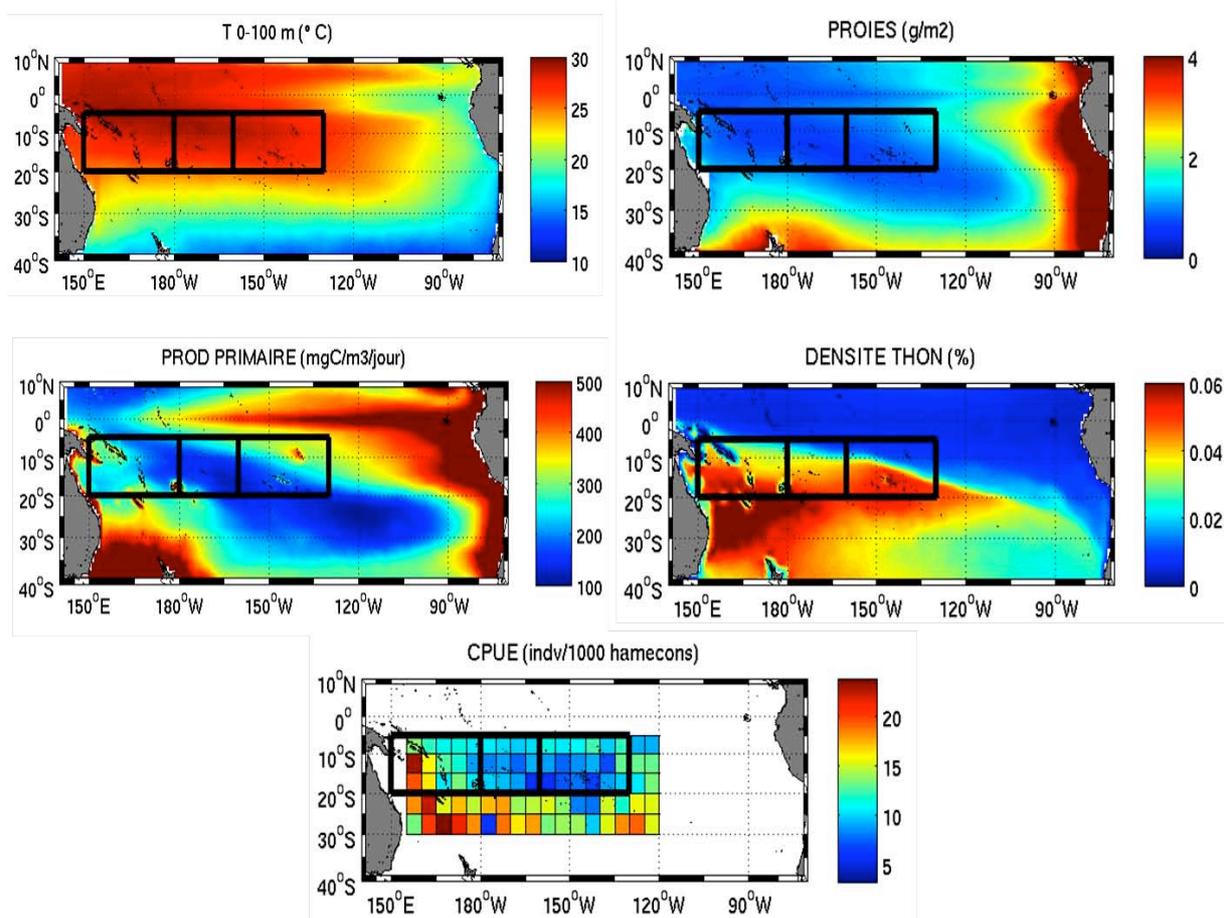
**Figure 3.** Haut gauche, les boîtes qui servent à calculer les indices Niño. Haut droite, un spectre en fréquence de la série présentée en bas du panneau. Cette analyse isole les fréquences dominantes de la série temporelle. On voit que la dominante se situe entre 3-6 ans, ce qui indique une récurrence d'évènements ENSO entre 3-6 ans. En bas, la série temporelle de Niño3.4 depuis 1970. Les évènements en rouge où les anomalies de température dépassent un seuil sont les évènements El Niño et en bleu, les évènements La Niña.

On peut ainsi sélectionner les mois typiques d'El Niño ou de la Niña en faisant une moyenne de ces mois et présenter ainsi une carte spatiale de ces évènements type. C'est ce qui est indiqué en Figure 2. Dans la suite, nous nous intéressons à la période SODA 1997-2007 et produisons les cartes types de diverses variables, selon la méthode exposée au dessus.

## Résultats

La figure 4 montre les moyennes de la température 0-100 m, la production primaire, la biomasse de proies, la densité de thons issues des simulations SEAPODYM-SODA et des observations de CPUE. La région subtropicale étudiée présente une distribution moyenne de température homogène entre 0 et 100 m avec des valeurs entre 24°C et 28°C. La production primaire moyenne montre des valeurs plus élevées dans la partie est de la zone étudiée. La biomasse de proies ne reflète pas clairement les

différences observées sur la production primaire avec une distribution plutôt homogène dans les 3 régions.



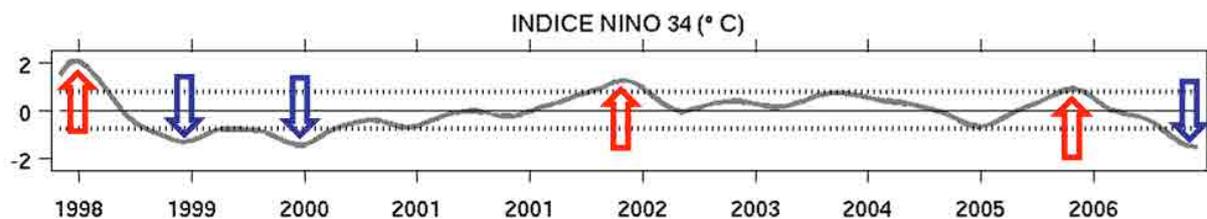
**Figure 4.** Température moyenne entre 0 et 100m (haut, gauche). Production primaire moyenne observée entrant dans la simulation (milieu, gauche). Densité de proies moyenne de SEAPODYM (haut, droite). Biomasse de thon en % de la biomasse totale du bassin (milieu, droite). Distribution de la CPUE observée sur la période 1998-2007 (bas). Les rectangles noirs sur les cartes délimitent la région subtropicale étudiée.

La densité moyenne de thons est maximale dans la moitié sud des régions subtropicales. Ceci est contrasté avec les observations de CPUE qui présentent un gradient est-ouest marqué dans la région subtropicale. Les plus fortes captures de thon blanc se situent à l'extrême ouest avec des valeurs de CPUE supérieures à 15 individus par 1000 hameçons, tandis que la partie est de la zone étudiée (par exemple en Polynésie Française) présente des CPUE de l'ordre de 5 individus par 1000 hameçons. La densité simulée présente aussi un gradient nord-sud et est-ouest qui ressemble aux

observations mais la zone de transition entre eaux riches et pauvres en thons est plus au nord dans la simulation.

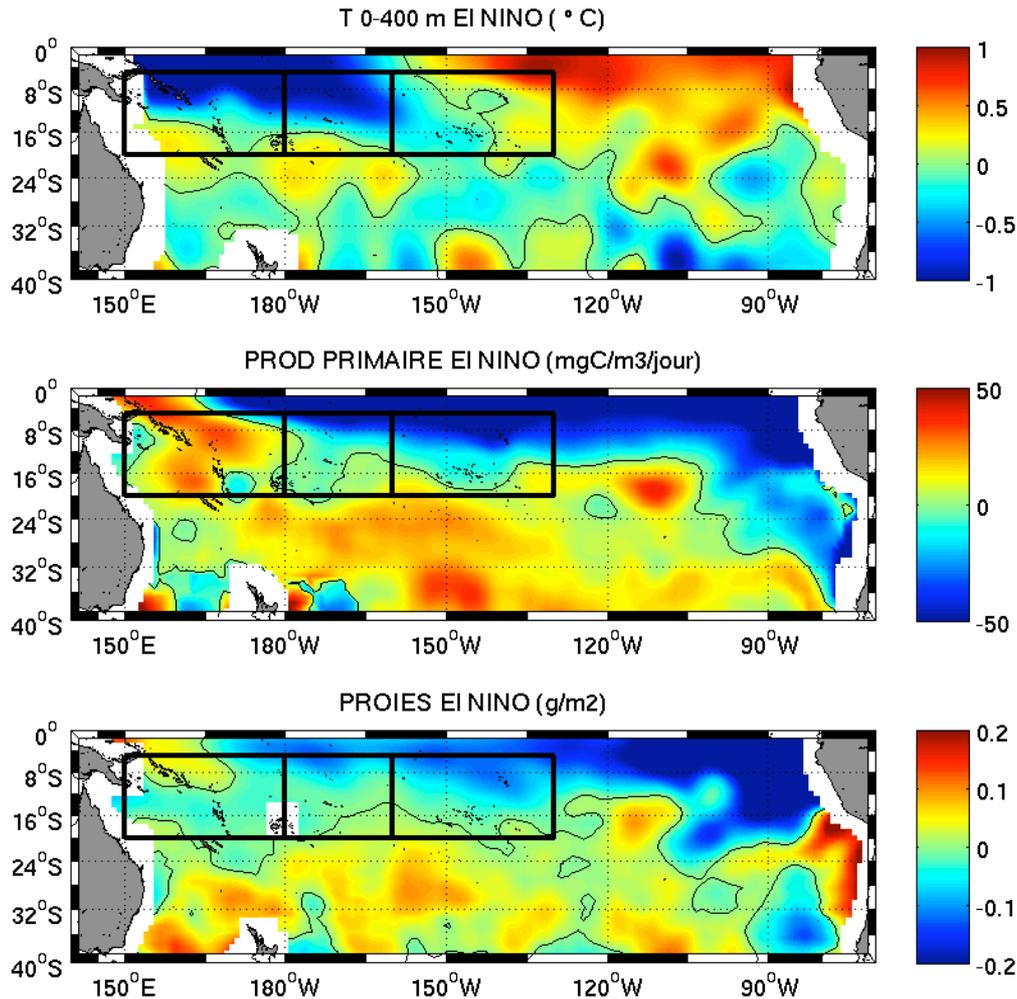
## Conditions El Niño

Cette section décrit l'effet d'El Niño sur les variables environnementales, qui servent à simuler la biomasse dans SEAPODYM : température intégrée entre 0 et 400 m, production primaire dérivée des observations satellites et biomasse des proies du thon simulée par le modèle de proies de SEAPODYM. Les dates correspondantes à des événements El Niño ont été déterminées à partir de la température dans le Pacifique centre-équatorial (indice NINO3.4), telle qu'indiqué par les flèches rouges sur la figure 5.



*Figure 5. Série temporelle de Nino3.4 depuis de 1998 à 2007. Les évènements en rouge où les anomalies de température dépassent un seuil sont les évènements El Niño et en bleu, les évènements La Niña.*

Les températures 0-400 m sont très contrastées à l'ouest et à l'est de la région subtropicale étudiée (figure 6). On retrouve l'asymétrie refroidissement-ouest (5S-20S et 150E-180E) / réchauffement-est (5S-20S et 160W-130W) observée sur la figure 2, mais il existe tout de même des différences notables ce qui indique que la température de surface de la figure 2 ne reflète pas nécessairement les conditions sous la surface de la figure 6. Ces différences sont importantes pour le thon car celui-ci effectue des migrations verticales journalières entre les couches 0-100m de nuit et en dessous de 100m le jour (voir fiche 3 sur le comportement du thon).



*Figure 6. Températures moyennes 0-400m (haut), production primaire (milieu) et biomasses de proies (bas) durant El Niño. Les valeurs positives en rouge représentent des valeurs plus fortes que la moyenne de la saison et les valeurs négatives en bleu des valeurs plus faibles que la moyenne de la saison. Les rectangles noirs sur les cartes délimitent la région subtropicale étudiée.*

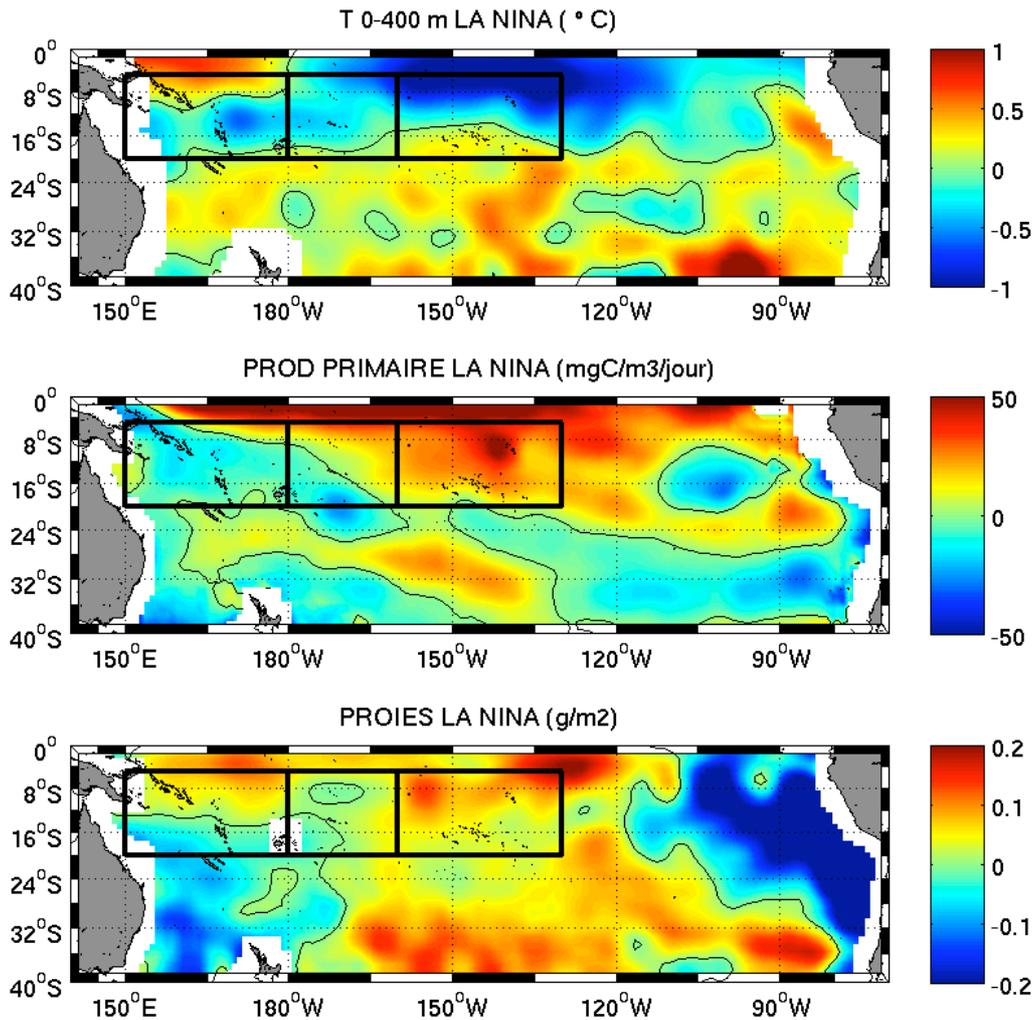
Les anomalies de production primaire durant El Niño sont inversement proportionnelles aux anomalies de température de surface présentées sur la figure 2. Cette relation inverse est normale car les processus de photosynthèse associés à la production ont lieu sur les premiers 100 m. Les régions Pacifique équatorial et Pacifique Est subissent une baisse importante de la production primaire, la zone subtropicale étudiée montre une asymétrie ouest (augmentation) / est (diminution) et les régions tempérées présentent une augmentation de la production primaire. La distribution des proies durant El Niño simulée par SEAPODYM diffère du signal de production primaire

ce qui est attendu car il existe un décalage spatio-temporel entre production primaire et proies dû à l'effet de transport par les courants et au temps de développement du micronecton (2-3 mois après le signal de production). Au final, l'est de la zone subtropicale étudiée (5S-20S et 160W-130W) subit une diminution de la biomasse des proies tandis que l'ouest (5S-20S et 150E-180E) reste dans un état proche du neutre. La région Nouvelle-Calédonie se caractérise par une situation relativement neutre tandis que les proies augmentent vers les îles Salomon dans le nord-ouest de la zone.

### Conditions La Niña

Cette section décrit l'effet de La Niña sur les variables environnementales montrées dans la section précédente. Les dates correspondantes à des événements La Niña ont été déterminées à partir de la température dans le Pacifique centre-équatorial (indice NINO3.4), telle qu'indiqué par les flèches bleues sur la figure 5.

Durant La Niña, la température 0-400 m est plus faible entre l'équateur et les sub-tropiques (nord des 18 °S) tandis qu'elle augmente dans les zones plus tempérées, au sud des 20°S (figure 7). Le contraste est-ouest observé sur la température de surface (Fig. 2) s'atténue fortement avec la profondeur. Comme lors des événements El Niño, le rapport eau de surface froide / production primaire élevée (et vice-versa) semble se maintenir. Cependant cette relation est moins marquée durant La Niña, particulièrement dans les régions tempérées. On observe une augmentation des proies dans toute la zone tropicale et subtropicale jusqu'à 120°W de longitude, sauf au sud de la boîte ouest (5S-20S et 150E-180E). La région Nouvelle-Calédonie se caractérise par une diminution de la biomasse des proies durant les événements La Niña ; pour cette composante il y a donc un changement clair pendant La Niña, contrairement à la situation El Niño pendant laquelle il n'y a pas de changement de micronecton en Nouvelle-Calédonie.

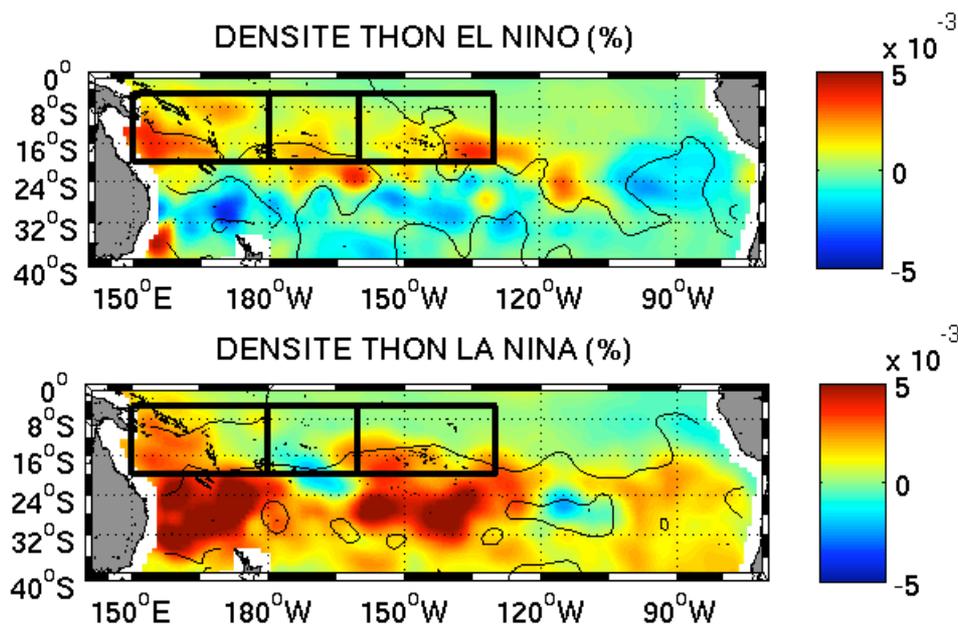


*Figure 7. Températures moyennes 0-400m (haut), production primaire (milieu) et biomasses de proies (bas) durant La Niña. Les valeurs positives en rouge représentent des valeurs plus fortes que la moyenne de la saison et les valeurs négatives en bleu des valeurs plus faibles que la moyenne de la saison. Les rectangles noirs sur les cartes délimitent la région subtropicale.*

### Effets de ENSO sur la biomasse simulée

La figure 8 montre les composites El Niño et La Niña de la densité de thon simulée par SEAPODYM-SODA. Quand on compare les distributions de la densité de thon avec celles des proies on observe que les anomalies ne se superposent pas. Une augmentation de la biomasse des proies n'est pas associée à une augmentation de la biomasse de thon simulée. C'est la relation avec la température qui semble plus directe. Que ce soit durant El Niño ou La Niña, les thons se situent dans les régions où les anomalies sont positives (réchauffement) et dans les zones frontières (là où le front

thermique est important) (figure 8). Ces distributions sont indicatives d'une fenêtre optimale pour la température qui semble être dans le modèle, le facteur forçant d'abord la position des biomasses maximales. Les zones de front thermique semblent être des positions stratégiques pour l'espèce simulée. En général, durant El Niño les thons adultes se situent préférentiellement dans la région subtropicale au nord des 24°S de latitude tandis que durant La Niña les thons simulés se distribuent plutôt dans les régions tempérées, au sud des 15°S, et à l'extrême ouest du bassin. Cette « migration interannuelle » nord-sud des simulations est fortement liée aux distributions de température durant les phases ENSO.



*Figure 8. Les situations El Niño et La Niña typiques pour la biomasse de thon (en % du bassin) avec, en contour noir, la ligne de 0 des anomalies de températures des figures 6 et 7.*

Dans le modèle, l'effet principal d'ENSO est de faire migrer au nord et au sud les thons simulés en réponse à une migration de la fenêtre optimale de température. Par contre, si on regarde dans la zone subtropicale étudiée, nous ne voyons pas spécialement de signal opposé entre est et ouest, ni entre La Niña et El Niño. Les résultats de ces simulations ne sont pas confirmés par les observations de CPUE présentées en fiche 4.

## *Conclusions*

- Durant El Niño on observe une structure asymétrique avec un refroidissement des températures de surface à l'ouest (5S-20S et 150E-180E) et un réchauffement l'est (5S-20S et 160W-130W) dans la région subtropicale considérée.
- La production primaire durant El Niño est inversement corrélée à la température de surface.
- Dans la zone calédonienne, l'effet d'ENSO sur la production primaire et les proies n'est pas symétrique :
  - La production primaire est globalement neutre durant La Niña mais est significativement augmentée durant El Niño.
  - La région Nouvelle-Calédonie se caractérise par une diminution moyenne de la biomasse des proies durant les événements La Niña et des conditions globalement neutres durant El Niño.
- Les situations simulées de biomasses de thons ne reflètent pas les observations de CPUE (fiche 4) avec des variations opposées de la CPUE pendant les situations El Niño/La Niña et entre l'est et l'ouest de la région subtropicale considérée.
- Que ce soit durant El Niño ou La Niña, les biomasses de thons simulées sont localisées préférentiellement dans les régions où les anomalies de température sont positives (réchauffement) et dans les zones frontières (là où le front thermique est important). Ainsi, dans le modèle, durant El Niño les thons adultes se situent préférentiellement dans la région subtropicale au nord de 24°S et durant La Niña les thons se distribuent plutôt dans les régions tempérées, au sud de 15°S, et à l'extrême ouest du bassin.

## *Perspectives*

- L'analyse met en évidence une situation complexe et subtile durant ENSO, dans la région subtropicale considérée en terme hydrodynamique et biogéochimique. Si l'impact d'ENSO est clair sur les paramètres de surface (0-100m) de

température et production primaire, il l'est beaucoup moins pour l'habitat 0-400m et les proies. Il nous faudra effectuer des analyses complémentaires à l'aide d'autres sources pour l'hydrodynamique pour comprendre la robustesse de nos résultats sur l'environnement.

- Les simulations de la densité de thons en fonction d'ENSO ne reflètent pas les observations directes des CPUE (Fiche 4). Ces divergences indiquent que la paramétrisation du modèle reste à améliorer et qu'il est nécessaire de mieux comprendre les variables qui contraignent les structures de biomasse simulée. La relation observée entre anomalies de température et biomasse de thons indique que le modèle est fortement contraint par le déplacement de ces anomalies, et il est probable que cette paramétrisation, entre autres, est à ajuster.

---

## FICHE 8 : Analyses et tendances des stocks régionaux présentes et futures avec SEAPODYM

---



<b>Introduction.....</b>	<b>140</b>
<b>Méthodologie employée pour les projections.....</b>	<b>140</b>
<b>Résultats .....</b>	<b>141</b>
Tendances à long terme .....	141
Variabilité saisonnière .....	144
Variabilité interannuelle ENSO.....	144
Estimation des biomasses futures dans la ZEE calédonienne .....	145
<b>Conclusions .....</b>	<b>147</b>
<b>Perspectives.....</b>	<b>147</b>

## ***Introduction***

Dans les chapitres précédents, nous avons exploré l'impact d'ENSO sur la CPUE observé et décrit les grandes modifications associées à ENSO. Les analyses directes sur la CPUE ne nous permettent pas de bien comprendre l'influence de facteurs comme ENSO sur le recrutement ou les mécanismes de variations des stocks aux échelles régionales. Par contre, l'utilisation d'un modèle comme SEAPODYM doit potentiellement nous le permettre et doit aussi nous permettre de mieux appréhender les modifications potentielles de ces stocks pour le futur. Dans ce chapitre, nous utilisons le modèle SEAPODYM comme outil potentiel et complémentaire de gestion des stocks dans la ZEE calédonienne après comparaison avec le modèle classique de gestion des stocks MULTIFAN-CL. Nous utilisons ici la version NCEP-SEAPODYM de 1971-2003 qui nous permet de couvrir une période longue, essentielle pour les estimations de tendance aux échelles climatiques. Nous avons par ailleurs montré que, si la version SEAPODYM-SODA était plus proche de la réalité en termes hydrodynamiques et pour les échelons trophiques intermédiaires, le comportement de la biomasse de thons était, elle, similaire dans les deux simulations (sans doute du fait de l'optimisation et des contraintes de migrations des thons) ce qui permet d'utiliser les simulations de biomasses de thons SEAPODYM-NCEP.

## ***Méthodologie employée pour les projections***

Le modèle est utilisé sur une grille spatiale de 2° x 2°. Pour analyser la biomasse à l'échelle de la ZEE, nous appliquons un facteur correctif permettant de passer de la grille à 2° à la vraie surface de la ZEE

$$(1) \text{ Correction factor} = \frac{A_R}{A_M}$$

où  $A_R$  est l'estimation de la surface de la ZEE estimée avec Mapinfo et  $A_M$  est la surface initiale du modèle autour de la ZEE. La même correction est utilisée pour le recrutement.

Nous estimons la population des thons pour les 20 années à venir à l'aide de diverses hypothèses. D'abord, nous considérons que l'environnement ne va pas varier, que la capturabilité et que la sélectivité restent constantes. Ensuite nous définissons l'effort de pêche actuel ( $E_{ref}$ = référence) comme la moyenne des cinq dernières années. La mortalité des thons dans le modèle est fonction de cet effort. Nous explorons alors 5 scénarios d'efforts de pêche futurs où cet effort de pêche est 0% de  $E_{ref}$ , (pas de pêche), 50% (moitié de l'effort actuel) 100% (situation actuelle), 150% et 200% (doublement de l'effort de pêche). On estime aussi le recrutement « R » issu du modèle en utilisant la même formulation (Lehodey et al., 2008) que celle utilisée dans le modèle d'estimation des stocks de MULTIFAN-CL pour permettre une meilleure comparaison des deux évaluations. Ce recrutement est fonction de l'habitat de ponte «  $H_s$  » et de la biomasse de femelles en ponte « B » (équation de Beverton-Holt):

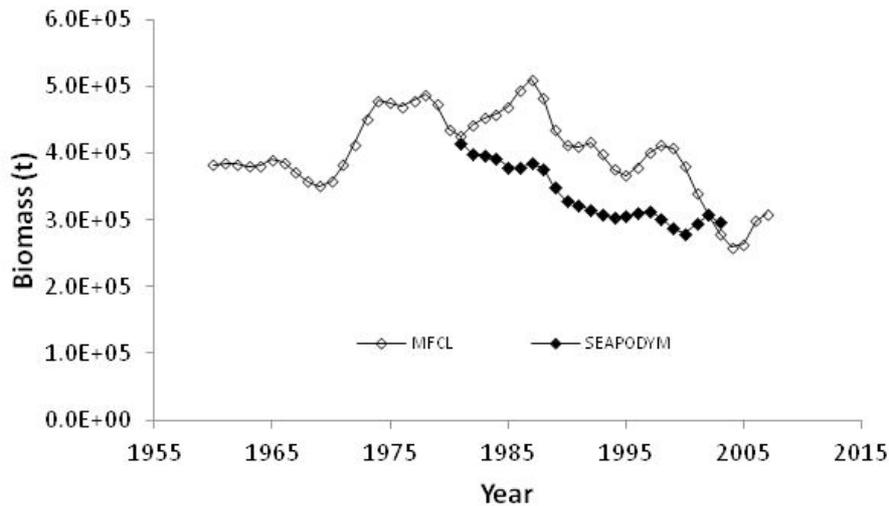
$$(2) R = \frac{aB}{1 + bB} H_s$$

Le modèle permet alors d'examiner les projections sur l'évolution de la biomasse de thons et du recrutement aux échelles de la région et des ZEE.

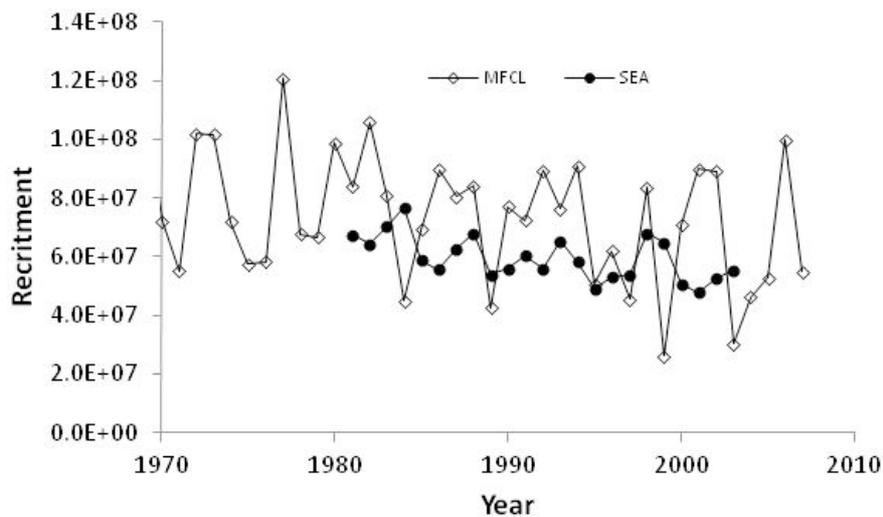
## ***Résultats***

### **Tendances à long terme**

Pour maintenir une cohérence avec les résultats de MULTIFAN-CL, les estimations de biomasse ont été ajustées à celles de MULTIFAN-CL en moyenne sur la période 1970-2003 et sur tout le bassin. Les résultats montrent que la biomasse adulte de SEAPODYM évolue comme celle de MULTIFAN-CL entre 1981 et 2003 dans le Pacifique Sud (Figure 1), avec une décroissance entre 1981 (0,415 millions de tonnes) et 2000 (0,28 millions de tonnes). Les différences entre les biomasses de SEAPODYM et MULTIFAN-CL sont inférieures à 25%. Un résultat similaire est estimé pour le recrutement (Figure 2) avec le recrutement le plus élevé en 1984 (77 millions de thons blancs) et le plus faible en 2001 (48 millions d'individus). On constate cependant une variabilité saisonnière inférieure dans SEAPODYM par rapport à celle de MULTIFAN-CL.

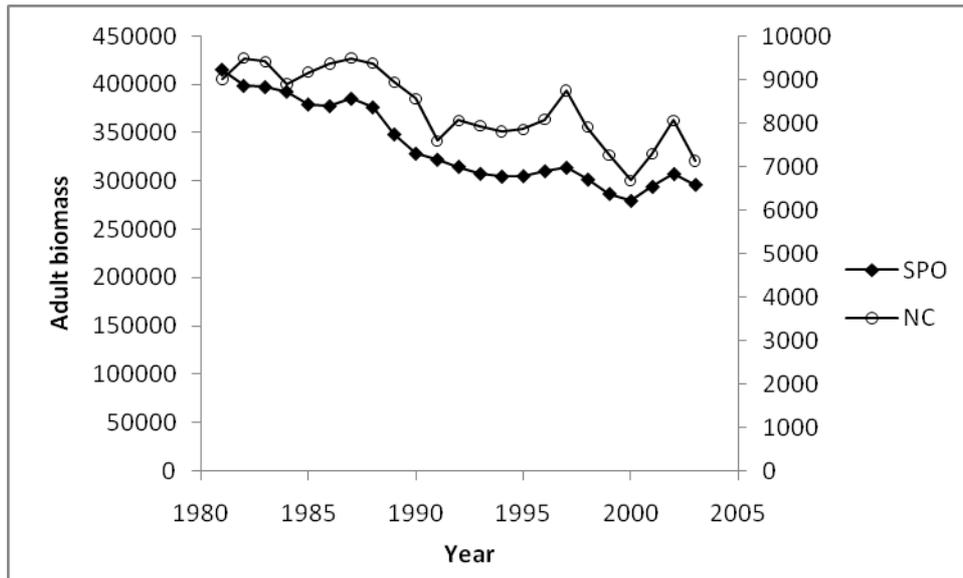


**Figure 1. Comparaison entre les estimations de biomasse de thons blancs adultes (en tonnes) de SEAPODYM et de MULTIFAN-CL (MFCL) pour toute la région du Pacifique Sud.**

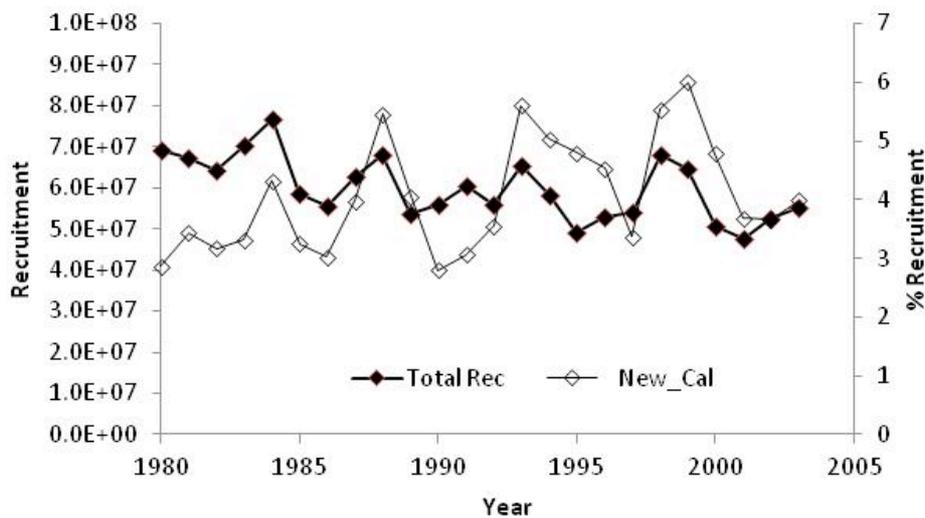


**Figure 2. Comparaison entre les estimations de recrutement du thon blanc (en nombre d'individus) de SEAPODYM (SEA) et de MULTIFAN-CL (MFCL) pour toute la région du Pacifique Sud.**

Selon SEAPODYM, on trouve dans la ZEE calédonienne, en moyenne sur 1981-2003, environ 2,5% (8 351 t) de la biomasse totale du Pacifique Sud (Figure 3). C'est une valeur intermédiaire entre la biomasse d'adultes estimée dans les ZEE de Polynésie Française (~8,7%, : 27 689 t) et celles de Nouvelle Zélande (4,7% 16 461 t), Tokelau (0,28% : 1 003 t) et Samoa (0,1% : 449 t). On observerait dans la ZEE calédonienne une baisse similaire à celle de l'ensemble de la population du Pacifique Sud-Ouest (Figure 3).



*Figure 3. Comparaison des tendances de biomasse totale de thon blanc dans le Pacifique Sud (Adult B, échelle de gauche en milliers de tonnes) et dans la ZEE calédonienne (N. Cal, échelle de droite en tonnes).*



*Figure 4. Comparaison des tendances du recrutement de thon blanc dans le Pacifique Sud (« Total Rec », échelle de gauche en nombre d'individus) et dans la ZEE calédonienne (« New\_Cal », échelle de droite en pourcentage de l'ensemble du Pacifique Sud).*

De même, la tendance au recrutement est négative dans tout le Pacifique Sud (Figure 2 et Figure 4). On observe dans la ZEE calédonienne (Figure 4) 3,4 % du

recrutement total en 1981 et 6% en 1999 et globalement, le recrutement en Nouvelle Calédonie baisse aussi, lorsqu'il est considéré en tonnage plutôt qu'en pourcentage.

## Variabilité saisonnière

Dans toutes les ZEE, le même comportement saisonnier est observé (figure 5) : un minimum pendant l'hiver austral et un maximum en été.

Ceci est conforme aux constats précédents : dans le modèle, la variabilité saisonnière est d'abord imposée par le schéma de migration nord-sud dans le Pacifique.

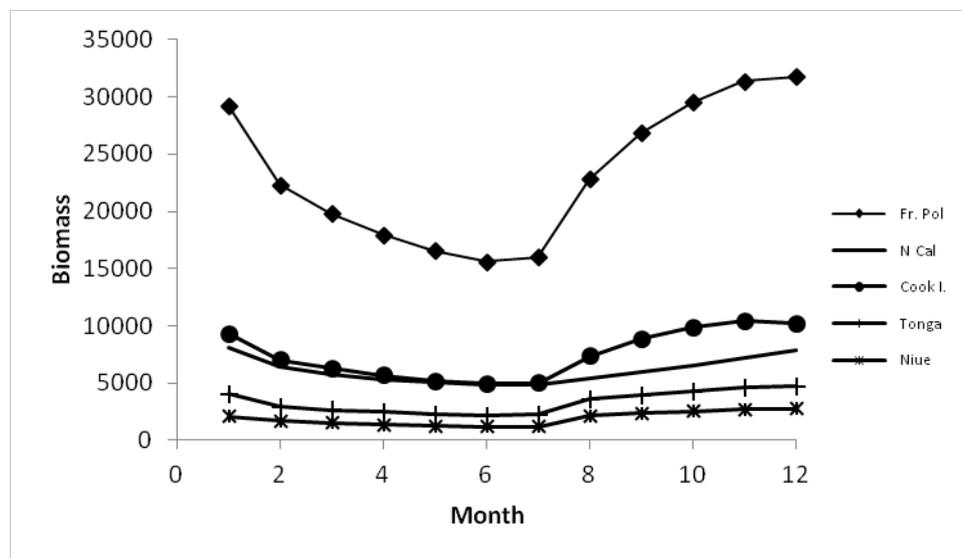
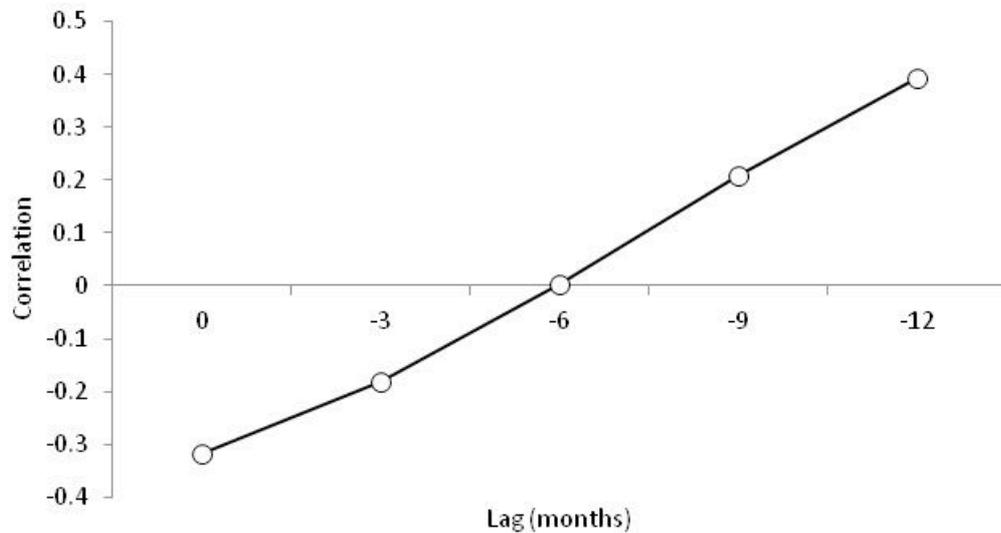


Figure 5. Variations saisonnières de la biomasse de thons adultes (en tonnes) dans les ZEE de Nouvelle-Calédonie (N. Cal), Polynésie Française (Fr. Pol), Iles Cook (Cook I.), Tonga et Niue.

## Variabilité interannuelle ENSO

La figure 4 montre une certaine régularité des pics de recrutement. En effet, la corrélation entre l'indice ENSO Niño3.4 et le recrutement est significative et négative (-0,32) ce qui suggère que le recrutement décroît durant El Niño et s'accroît durant La Niña, un résultat cohérent avec les résultats de Lehodey (2008). Cependant, la corrélation la plus forte est positive et est trouvée avec un décalage de un an après l'occurrence d'ENSO (corrélation de +0,39) (Figure 6). A l'heure actuelle, ces résultats

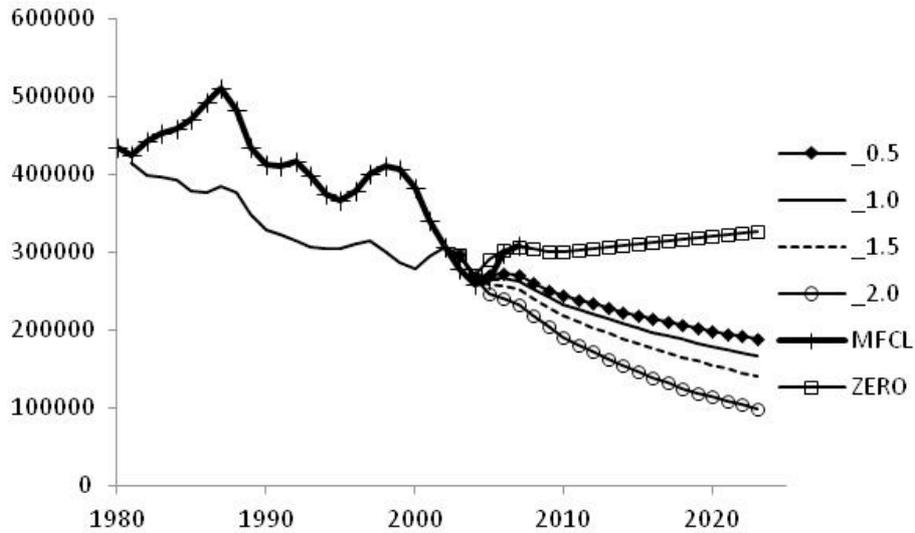
ne sont pas clairement compris et indiquent une complexité d'interaction qu'il conviendra de mieux cerner à l'avenir.



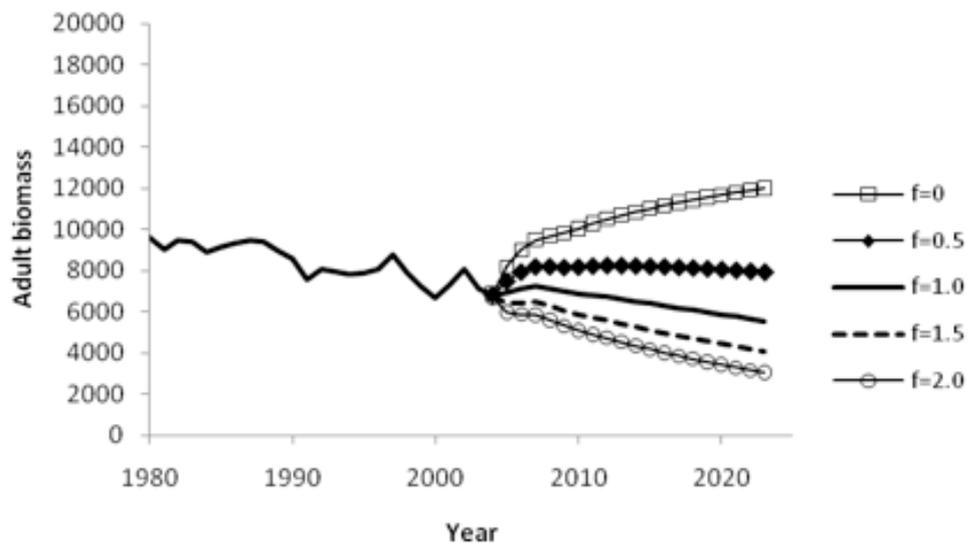
*Figure 6. Corrélation entre le recrutement et l'indice Niño3.4 en fonction du décalage en mois de Niño3.4 par rapport au recrutement. -12 indique que l'on regarde le recrutement en fonction de la valeur de l'indice Niño3.4 12 mois auparavant. Une corrélation négative indique que le recrutement est faible pendant El Niño alors qu'une corrélation positive indique que le recrutement est fort pendant El Niño.*

### Estimation des biomasses futures dans la ZEE calédonienne

Les projections des populations de thons blancs sont effectuées sur les 20 ans à venir, à partir des figures 1 et 2. Ces projections (Figures 7 et 8) suggèrent une continuité dans la décroissance des stocks de thons blancs à l'échelle du Pacifique Sud même en réduisant l'effort de pêche de 50%. On observe, de même, ces mêmes tendances dans la ZEE calédonienne (Figure 8). Ce chapitre illustre le potentiel d'un outil spatialisé comme SEAPODYM pour la gestion potentielle des stocks, en complément d'un outil comme MULTIFAN-CL. Il est évident que le travail futur consistera à comprendre la robustesse de nos résultats sachant les nombreuses incertitudes dont nous avons parlé précédemment, et en tenant aussi compte du fait que, actuellement, les simulations que nous présentons ne tiennent pas compte d'une modification de l'environnement avec le changement climatique (voir conclusions).



*Figure 7 Projections de SEAPODYM pour la biomasse de thons blancs adultes (en milliers de tonnes) dans le Pacifique Sud entre 2004 et 2023 selon la mortalité par pêche. ZERO : pas de mortalité liée à la pêche, 1.0 : l'effort est gardé au niveau actuel, 1.5 : effort augmenté de 50%, 2 : effort doublé, MFCL : estimations historiques de MULTIFAN-CL.*



*Figure 8. Projections de SEAPODYM pour la biomasse de thons blancs adultes (en milliers de tonnes) dans la ZEE de Nouvelle-Calédonie entre 2004 et 2023 selon la mortalité par pêche. ZERO : pas de mortalité liée à la pêche, 1.0 : l'effort est gardé au niveau actuel, 1.5 : effort augmenté de 50%, 2 : effort doublé.*

## *Conclusions*

- Nous avons utilisé les simulations S-NCEP pour déterminer les tendances régionales des stocks et du recrutement. NCEP n'est pas la meilleure simulation mais elle couvre une période longue nécessaire pour tirer des conclusions sur de telles tendances.
- Les tendances et les niveaux de stocks simulés dans SEAPODYM sont cohérents avec ceux estimés dans MULTIFAN-CL à l'échelle du Pacifique Sud : décroissance forte de l'ordre de 40% du stock sur les 20 dernières années.
- Une des avancées qui justifie, en particulier, l'utilisation de SEAPODYM est l'estimation des stocks à l'échelle de la ZEE, ce que ne permet MULTIFAN-CL. Avec SEAPODYM, on montre une même tendance à la baisse des stocks de la ZEE calédonienne depuis 20 ans. (baisse d'environ 40%).
- Basés sur ces simulations qui maintiennent les autres paramètres constants (habitats, mortalité, etc...), les tendances continuent sur les 20 prochaines années quels que soient les niveaux d'effort de pêche. Il faut évidemment prendre ces résultats avec les précautions qui s'imposent car la simulation NCEP n'est pas la meilleure et tous les champs d'environnement ont été gardé constants pour les projections

## *Perspectives*

Les perspectives de ce travail sont évidemment nombreuses et ont été évoquées dans les chapitres précédents:

- Il serait utile de développer un modèle spatial de gestion des stocks de type MULTIFAN-CL pour avoir une alternative à SEAPODYM et tester ainsi la gamme d'incertitude associée à chaque modèle car aucun modèle n'est parfait.
- Il est nécessaire d'évaluer l'impact de la variation de chacun des facteurs environnementaux et de la mortalité par pêche dans les estimations finales de stocks si l'on veut estimer une incertitude liée à nos estimations. Il est très important d'être capable de donner une gamme de variations qui est plus réaliste qu'un seul chiffre.

- Il est nécessaire, pour fournir des projections de stocks plus réalistes, d'intégrer les prévisions contenant de multiples données environnementales des modèles de changement climatique de l'IPCC (International Panel on Climate Change).

---

## CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

---

Nous pensons avoir avancé sur l'ensemble des tâches proposées au programme ZONECO. Il apparaît clairement qu'une des forces du projet provient de la collaboration entre les moyens de l'IRD et de la CPS dont les compétences sont complémentaires, sachant que le lien a pu être effectué grâce au support financier du programme ZONECO. Dans le projet, nous avons allié mesures à la mer, marquage, échantillonnage, analyses des données historiques (estomacs, CPUE) et modélisation de divers types (hydroclimatique-biogéochimique, statistiques et dynamique de populations).

Nous avons donc à notre disposition un ensemble de données qu'il nous faut continuer à analyser pour en cerner le contenu. A cet effet, l'interprétation des données de campagnes à la mer continue d'être menée et les enseignements de l'ensemble des données récoltées (à la mer, contenus stomacaux, diversité des proies, nouveau jeu de CPUE) ne sont pas tous tirés. Ceci est aussi vrai pour l'ensemble des simulations effectuées et il nous manque pour le moment, le recul nécessaire pour comprendre réellement comment nous pouvons rétroagir sur les nombreuses simulations que nous avons effectuées au cours du projet. D'ores et déjà, nous pouvons identifier les grands axes de travail pour poursuivre la compréhension du comportement du thon blanc :

1. Malgré la grande diversité des données acquises au cours du projet, l'échantillonnage que nous avons effectué reste limité et parcellaire dans le temps et dans l'espace. Il est évident que la poursuite d'un échantillonnage serré dans la ZEE calédonienne doit être poursuivi si nous voulons comprendre la distribution des proies et le comportement des thonidés ne serait-ce qu'avec la saison. Cela inclut la poursuite des campagnes à la mer et l'analyse des contenus stomacaux
2. Il faut trouver une alternative (isotopes, microchimie des otolithes) au marquage des thons blancs car il est vital de connaître leur schéma de migration qui reste un mystère.
3. Il faut poursuivre la mise au point de notre modélisation SEAPODYM qui manifestement comporte des zones d'ombre. En particulier, une exploration systématique du rôle des paramètres de SEAPODYM (courants, production primaire,

proies etc...) doit être poursuivie pour comprendre comment deux simulations différentes en terme d'environnement peuvent donner des résultats similaires en termes de stocks.

4. La question posée de manière pressante et répétée concerne aussi l'évolution des écosystèmes avec notre climat changeant. Un effort grandissant se poursuit pour la modélisation de l'enveloppe océan atmosphère dans les scénarios futurs. L'enjeu est évident. Il va nous falloir aussi donner une fourchette de variation de l'évolution des stocks dans ces scénarios de changement climatique.
5. Enfin, nous pensons qu'il est utile d'avoir des alternatives de modélisation car c'est de la diversité des modèles que les enseignements les plus constructifs sont tirés. En ce sens, nous militons pour la construction d'un modèle statistique de gestion des stocks similaire à MULTIFAN-CL mais qui peut contenir une information spatialisée, ce qui n'est pas le cas pour le moment. Ainsi, possédant deux modèles de nature différente, il est certain que les conclusions sur la gestion des stocks régionaux ne pourront être que renforcées.