

# Caractérisation océanographique du Pacifique, et effets potentiels de la variabilité climatique sur les stocks et les pêcheries de thonidés

*Simon Nicol<sup>1\*</sup>, Christophe Menkes<sup>2</sup>, Jesus Jurado-Molina<sup>1</sup>, Patrick Lehodey<sup>3</sup>, Thomas Usu<sup>4</sup>, Brian Kumasi<sup>4</sup>, Berry Muller<sup>5</sup>, Johann Bell<sup>1</sup>, Laura Tremblay-Boyer<sup>1</sup> et Karine Briand<sup>1</sup>*

*L'incidence des systèmes océan-climat sur la dynamique des populations de thonidés dans le Pacifique occidental et central varie à différentes échelles spatio-temporelles (Bour et al. 1981 ; Lehodey et al. 2003). La modification des conditions océaniques (par ex. température de la mer, vitesse des courants, direction, lieu, profondeur, remontées d'eau [upwellings] et convergences) crée une mosaïque d'habitats physiques qui influent sur les migrations des thonidés — à la fois verticales et horizontales — sachant que les thons se déplacent en permanence vers leurs habitats préférentiels. Étant donné que les préférences en matière d'habitat et les adaptations physiologiques des thonidés diffèrent selon les espèces, ces dernières réagissent de diverses manières face aux variations climatiques et océanographiques (Fromentin et Fonteneau 2001). Pour une même espèce, les habitats exploitables dépendent également de la taille de l'animal : les adultes, plus grands, bénéficient en règle générale d'un plus large choix d'habitats que les juvéniles (Brill 1994). La variabilité océanographique a en outre une incidence sur les conditions biologiques et environnementales influant sur la survie des larves et, partant, sur le volume du recrutement en juvéniles et en adultes (Govoni 2005 ; Lehodey 2000 ; Lehodey et al. 2006 ; Rothschild 2000).*

Dans le Pacifique occidental et central, la filière thonière ne se limite pas aux seules activités de pêche réalisées par les pays insulaires océaniques. D'autres activités procurent des gains économiques, comme la vente de licences de pêche à des flottilles étrangères, l'entretien de navires nationaux et étrangers, et la transformation à terre des thonidés capturés en produits à valeur ajoutée destinés au marché international (conserves, longues et/ou steaks de thon, farine de poisson, engrais et acides gras oméga-3, entre autres). En Papouasie-Nouvelle-Guinée, par exemple, la valeur halieutique du thon s'élève à environ 1,5 milliard de dollars des États-Unis (É.-U.) par an, tandis que sa valeur commerciale annuelle peut atteindre plus de 4 milliards de dollars. Chaque année, la filière rapporte près de 8 millions de dollars É.-U. en salaires pour plus de 15 000 emplois (postes à temps plein et emplois temporaires) et quelque 14 millions de dollars É.-U. grâce au commerce local direct, et nettement plus encore à travers les échanges commerciaux indirects. La modification de la distribution et de l'abondance des thonidés peut jouer sur la répartition des pêcheries et les taux de captures, ce qui pourrait avoir une incidence sur les économies nationales et régionales, la sécurité alimentaire et la situation sociale des États et Territoires insulaires océaniques.

Nous présentons ci-après une caractérisation océanographique de l'océan Pacifique et une analyse des impacts potentiels des dynamiques océan-climat sur les espèces de thonidés et les pêcheries connexes. Nous nous penchons notamment sur les modifications interannuelles observées dans l'océanographie régionale en raison de phénomènes climatiques naturels tels que le phénomène d'oscillation australe El Niño (ENSO) et l'oscillation décennale du Pacifique (ODP), et sur la manière

dont les thonidés et les pêcheries sont susceptibles de faire face à ces épisodes climatiques périodiques. Nous abordons également la question de la vulnérabilité des espèces et des pêcheries de thonidés au regard des scénarios climatiques de demain. Comprendre les informations disponibles sur la variabilité et le changement climatiques, ainsi que leur impact sur les pêcheries, revêt une importance particulière pour : 1) les pêcheurs, les gestionnaires des pêches et d'autres parties prenantes ; 2) l'élaboration de plans de gestion de la pêche thonière qui guideront les pouvoirs publics dans la prise de décision à court terme ; et 3) la mise au point et l'ajustement de stratégies permettant de limiter les répercussions potentielles de la moindre disponibilité de thonidés sur les économies nationales et, partant, sur la capacité des pays insulaires océaniques de concrétiser leurs aspirations au développement.

## Principaux courants dans l'océan Pacifique

Dans l'océan Pacifique, la circulation des eaux de surface est principalement soumise à deux grandes gyres centrées vers le 30° parallèle Nord et le 30° parallèle Sud (figure 1). Entre ces deux gyres se trouve le système de courants équatoriaux du Pacifique, celui-ci comprenant deux courants se déplaçant vers l'ouest — le courant équatorial Nord (NEC) et le courant équatorial Sud (SEC) — ainsi que deux contre-courants allant vers l'est — le contre-courant équatorial Nord (NECC) et le contre-courant équatorial Sud (SECC). Sous l'action des alizés dans chaque hémisphère, le NEC et le SEC se déplacent à une vitesse d'environ 15 à 20 cm s<sup>-1</sup> dans le Pacifique. Le long du littoral philippin, à proximité du 14° parallèle Nord, le NEC bifurque, une branche rejoignant le courant de Kuroshio dirigé

<sup>1</sup> Secrétariat général de la Communauté du Pacifique

<sup>2</sup> Institut de recherche pour le développement (IRD)

<sup>3</sup> Collecte Localisation Satellites

<sup>4</sup> Service national des pêches de la Papouasie-Nouvelle-Guinée

<sup>5</sup> Office des ressources marines des Îles Marshall

\* Courriel : simonn@spc.int

vers le nord (KUR) et l'autre le courant de Mindanao de flux sud (MC). Le KUR forme la limite occidentale de la gyre subtropicale du Pacifique Nord et le MC alimente le NECC (Toole et al. 1990). La vitesse en surface du MC avoisine les 120 cm s<sup>-1</sup>. La vitesse du KUR peut osciller entre 60 cm s<sup>-1</sup> et 120 cm s<sup>-1</sup>. Le NECC circule entre le NEC et le SEC, entre le 5° et le 10° parallèles Nord, dans le sens inverse aux alizés d'est. À une profondeur de 100 à 250 m, une partie du MC se dirige directement vers l'équateur. Le SECC se développe dans le Pacifique occidental, habituellement au 10° parallèle Sud, et divise le SEC en deux branches. La force (env. 10 cm s<sup>-1</sup>) et la direction de la branche subéquatoriale du SEC varient davantage que celles de la branche équatoriale, laquelle peut atteindre jusqu'à 50 cm s<sup>-1</sup> dans le Pacifique oriental. La branche équatoriale du SEC se dissipe au niveau du bord oriental de la warm pool, et de faibles courants d'est sont observés dans la warm pool. La branche subéquatoriale pénètre dans la mer de Corail au sud des Îles Salomon et se scinde en deux : le courant Est australien (EAC) de flux sud et le courant Nord du Queensland (NQC) de flux nord. L'EAC correspond à la limite occidentale de la gyre subtropicale du Pacifique Sud. Le NQC rejoint le courant de Hiri et finit par alimenter le NECC, après avoir circulé dans la mer des Salomon et en direction de l'équateur, à travers les détroits des Salomon et de Vitiaz. Dans le Pacifique occidental, les parties les plus profondes du SEC équatorial et subéquatorial (100–250 m) ainsi que du MC se déplaçant vers l'équateur convergent pour former le sous-courant équatorial (EUC). Ce dernier forme un tube de courant d'est centré vers 150 à 200 m en dessous de la surface dans le Pacifique occidental, et 30 à

75 m dans le Pacifique oriental, à une vitesse de 100 cm s<sup>-1</sup>. Ces courants ne sont pas constants dans le temps ; en règle générale, leur force évolue selon les saisons. Les courants varient également d'une année sur l'autre en fonction des conditions climatiques, en particulier sous l'influence d'ENSO.

Les principaux courants de surface sont générés par le vent et contribuent au transport de la chaleur, de l'oxygène dissous, des sels, du CO<sub>2</sub> et des nutriments. C'est pourquoi il n'est pas rare que la température, la salinité et la teneur en oxygène des grandes masses d'eau varient. Ce sont avant tout les phénomènes océanographiques à l'origine du déplacement des masses d'eau, tels que les remontées d'eau, qui participent à la production de phytoplancton. Le taux de croissance du phytoplancton correspond à la productivité primaire et représente la quantité de nourriture et d'énergie disponibles pour le haut de la chaîne trophique. En règle générale, la productivité et la concentration d'organismes planctoniques sont élevées dans les régions où les remontées d'eau sont importantes, car elles propulsent à la surface des eaux froides enrichies en nutriments provenant des couches inférieures. À l'inverse, les zones de plongées d'eau sont celles où la production primaire est faible. Par conséquent, les zones où les courants divergent ou convergent (figure 1) jouent un rôle crucial, car c'est là que se produisent les remontées et les plongées d'eau ainsi que d'autres phénomènes de moindre envergure (fronts, tourbillons, turbulence) qui accentuent la productivité localement et sont susceptibles de créer des zones de prospection alimentaire pour les thonidés (Grandperrin 1978).

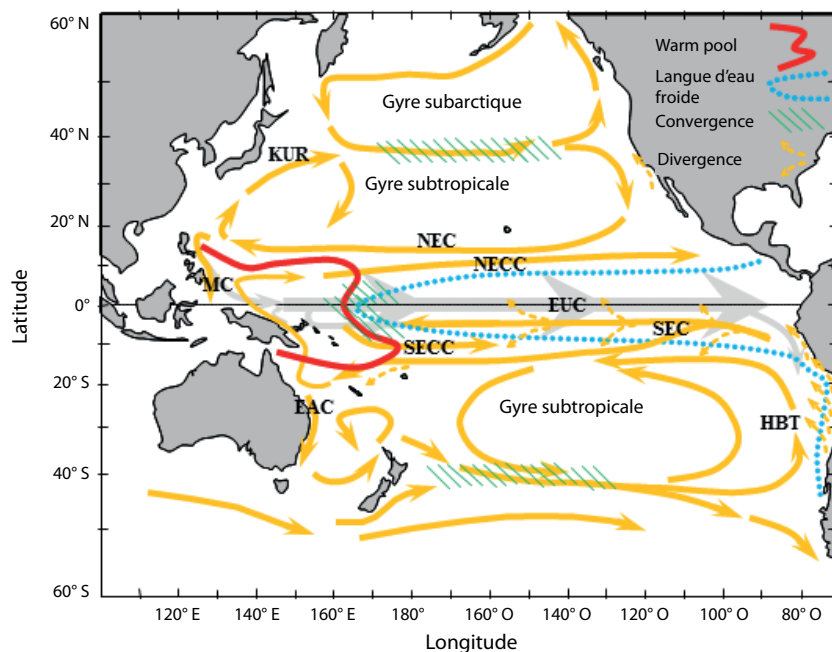


Figure 1. Direction des principaux courants dans l'océan Pacifique.

NEC = courant équatorial Nord, SEC = courant équatorial Sud, NECC = contre-courant équatorial Nord, SECC = contre-courant équatorial Sud, KC = courant de Kuroshio, MC = courant de Mindanao, EAC = courant Est australien, EUC = sous-courant équatorial, HBT = courant de Humboldt, KUR = courant de Kuroshio.

## Structure thermique du Pacifique : système warm pool – langue d'eau froide

Le Pacifique équatorial oriental et central se caractérise par des eaux froides enrichies en nutriments qui s'élèvent à la surface sous l'effet d'un phénomène de remontée d'eau et qui forment une bande où la production primaire est élevée, connue sous le nom de langue d'eau froide (« cold tongue ») (figure 2). Jusqu'à 30 % de la production primaire planétaire peut être générée dans cette zone de remontée d'eau (Chavez et Barber 1987). Le Pacifique équatorial occidental se caractérise quant à lui par une faible production primaire et des températures de surface de la mer élevées (> 29 °C). La couche équatoriale de surface à l'ouest du 160° méridien Est (env. 0–200 m de profondeur) affiche les températures de surface les plus chaudes au monde, et est connue sous le nom de « warm pool ». Le bord

oriental de la warm pool présente un front de salinité (à environ 34,8 USP) et une isotherme de 28,5 °C (figure 2). Associée au ralentissement du SEC provoqué par l'affaiblissement des alizés à leur entrée dans le Pacifique occidental, l'intense convection atmosphérique observée dans le Pacifique occidental fait que les précipitations moyennes sont nettement supérieures à l'évaporation. Ce phénomène maintient le contraste entre les eaux fraîches du Pacifique occidental et les eaux de forte salinité à l'est, et génère une zone de convergence entre la langue d'eau froide et la warm pool (figure 2).

On observe un déplacement saisonnier des eaux de surface de la warm pool, vers le nord durant l'été boréal et vers le sud pendant l'été austral, suivant la course du Soleil (figure 3). À l'équateur, on note peu de variations saisonnières de la warm pool. D'après certaines hypothèses, les migrations des thonidés dans le Pacifique équatorial occidental et central sont corrélées

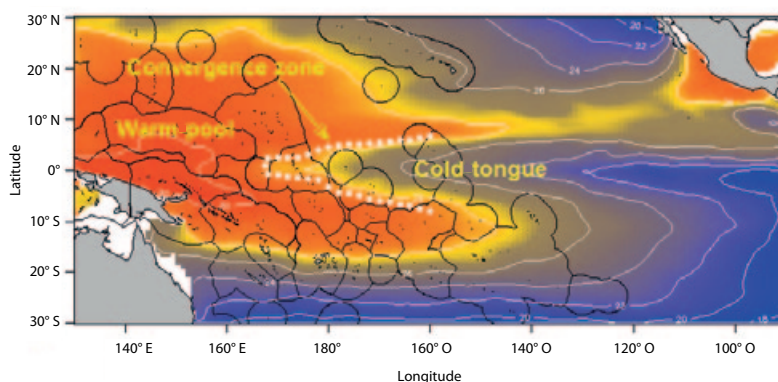


Figure 2. Répartition des températures de surface moyennes dans le Pacifique en octobre 2007. La warm pool, la langue d'eau froide (« Cold tongue ») et la zone de convergence (« Convergence zone ») dans le Pacifique équatorial sont mises en évidence. L'intervalle entre les isothermes de température est de 2 degrés.

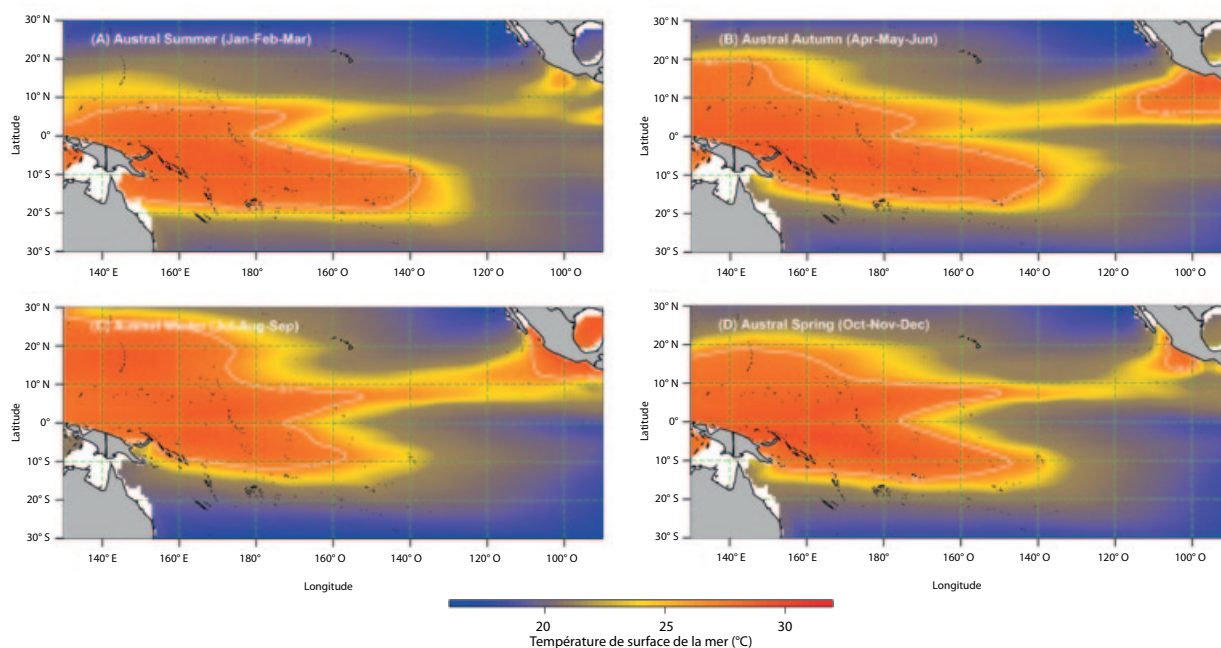


Figure 3. Variabilité saisonnière du système warm pool – langue d'eau froide dans le Pacifique : A) été austral (janvier–mars), B) automne austral (avril–juin), C) hiver austral (juillet–septembre), D) printemps austral (octobre–décembre). Il s'agit d'une moyenne des données pour la période 1990–2012, hors phases El Niño et La Niña. L'isotherme de température 28,5 °C est mise en évidence afin d'indiquer la limite de la warm pool. Source : Simple Ocean Data Assimilation (<http://www.atmos.umd.edu/~ocean/>).

à la position de la zone de convergence warm pool – langue d'eau froide (Lehodey et al. 1997). La zone riche en nutriments du Pacifique oriental abonde en nourriture, laquelle se concentre dans une bande de plusieurs centaines de kilomètres de largeur le long du bord oriental de la warm pool. Les thons suivent vraisemblablement les déplacements de cette zone de convergence du fait des fortes concentrations en proies (Lehodey 2001). De plus, les pêcheries thonières, en particulier les senneurs ciblant la bonite, semblent elles aussi se déplacer en fonction de la position de la zone de convergence warm pool – langue d'eau froide.

## Distribution de l'oxygène

C'est essentiellement la vitesse de transfert d'oxygène depuis l'atmosphère (elle-même fonction de la température et du mélange de la couche de surface) qui influe sur le taux d'oxygène dissous présent dans les eaux de surface des zones non côtières. La distribution de l'oxygène à la surface n'est donc pas homogène dans l'ensemble du Pacifique. C'est dans les hautes latitudes que l'on retrouve les zones présentant le plus d'oxygène dissous à la surface, là où l'eau est plus froide et l'oxygène plus soluble. Les parties occidentales et équatoriales du Pacifique (en particulier la warm pool) affichent quant à elles une concentration inférieure en oxygène à la surface, à 4,5 mg L<sup>-1</sup> (figure 4).

La concentration en oxygène dissous est également déterminée par la production de phytoplancton et par la vitesse d'immersion des eaux de surface riches en oxygène (O<sub>2</sub>) sous l'action des courants océaniques et des mélanges. Dans les hautes latitudes, un phénomène de subduction propulse les eaux de surface froides, denses et riches en oxygène sous les eaux moins denses et moins oxygénées de la zone subtropicale (convection à des latitudes moyennes). La quantité d'oxygène présente dans ces eaux diminue peu à peu, celui-ci étant utilisé dans le processus de reminéralisation des matières organiques par les bactéries. En tous points de la colonne d'eau, l'oxygène dissous est la somme de la teneur initiale en O<sub>2</sub>, de l'effet de la reminéralisation des matières organiques et du taux de renouvellement de l'eau par la circulation océanique. Dans les régions où la reminéralisation est importante, il arrive que le renouvellement généré par la circulation océanique ne soit pas suffisant pour compenser la consommation d'O<sub>2</sub>, ce qui débouche sur

un appauvrissement en oxygène d'une partie de la colonne d'eau et, partant, sur l'apparition de conditions hypoxiques, voire anoxiques. L'appauvrissement en oxygène intervient tout particulièrement dans les zones où la production biologique est intense. La figure 4 représente la concentration en oxygène dissous à la surface et à la thermocline (isotherme 16 °C). Au niveau de la couche de surface, la concentration en oxygène varie peu dans le Pacifique, la productivité étant toutefois manifestement supérieure au niveau de la thermocline (isotherme 16 °C) dans le Pacifique oriental.

Le comportement des poissons pélagiques, tels que les thonidés, est influencé par la disponibilité d'oxygène dissous et par les capacités de leur appareil respiratoire et circulatoire. En effet, les thons ne peuvent pas maintenir leur taux métabolique lorsque l'oxygène descend à 1 mg L<sup>-1</sup> ; le seuil létal varie quant à lui considérablement d'une espèce à l'autre (Brill 1994). Par conséquent, la distribution d'oxygène dissous dans la colonne d'eau joue également sur la distribution horizontale et verticale des thonidés, ces derniers ayant besoin de suffisamment d'oxygène dissous pour leur survie et leur croissance.

## Variabilité interannuelle

Dans le Pacifique occidental et central, la forte variabilité interannuelle observée dans la dynamique océan-atmosphère est en majeure partie due au phénomène d'oscillation australe El Niño. Ce processus climatique est le plus marqué entre le 10° parallèle Nord et le 10° parallèle Sud dans l'océan Pacifique tropical, mais ses effets sur le climat se font ressentir dans le monde entier. ENSO est une oscillation climatique qui se manifeste de manière irrégulière tous les trois à sept ans, avec une alternance d'épisodes chauds (El Niño) et froids (La Niña) qui évoluent sous l'influence de l'interaction dynamique entre l'atmosphère et l'océan (Philander 1990). Le phénomène ENSO a une influence considérable sur les régimes des vents et la direction des courants, et en particulier sur l'avancée de la warm pool vers l'est (figure 5). Dans des conditions moyennes, la zone de convergence de la warm pool oscille faiblement autour de 180°, mais des déplacements très importants se produisent dès que le signal ENSO change. Par ailleurs, dans des conditions normales, on observe une thermocline peu profonde (environ 15–50 m) dans le Pacifique oriental, laquelle s'enfonce progressivement en direction de l'ouest (environ

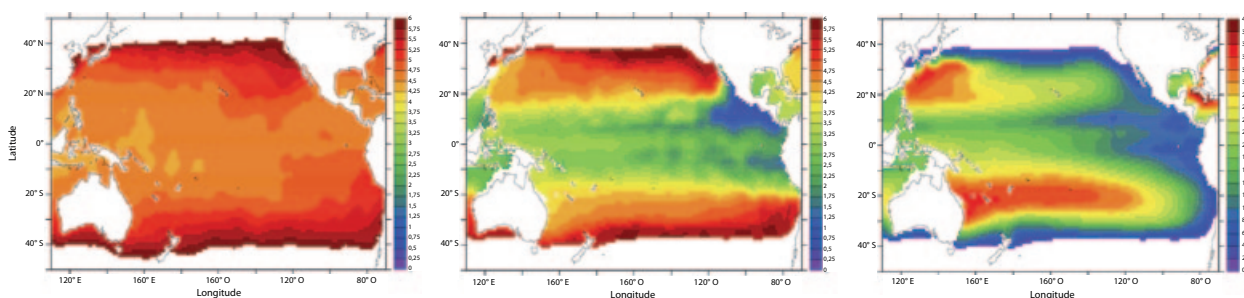


Figure 4. Distribution annuelle de l'oxygène dissous (en mg L<sup>-1</sup>) dans l'océan Pacifique à la surface (graphique de gauche) et au niveau de la thermocline (isotherme 16 °C) (graphique du milieu) ; et profondeur de la thermocline (isotherme 16 °C) en mètres (graphique de droite). Source : <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/LEVITUS94/ANNUAL/O2/>

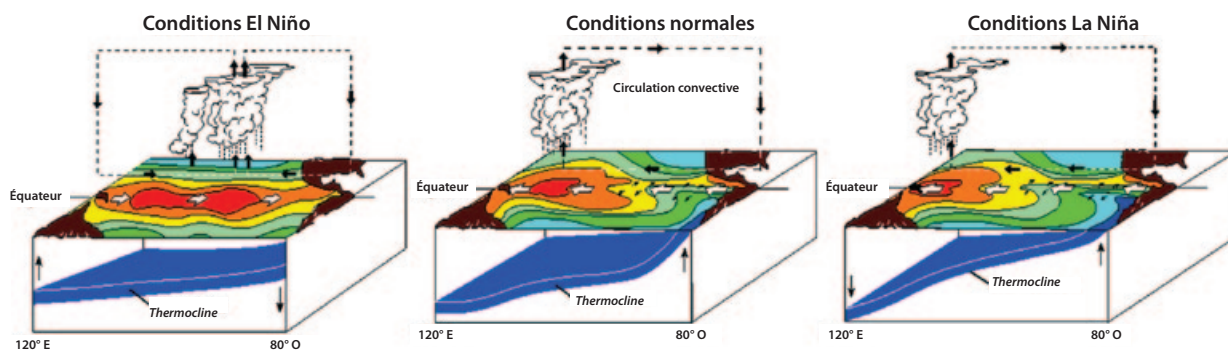


Figure 5. Interactions entre l'océan et l'atmosphère dans le Pacifique équatorial, et variabilité des alizés, de la warm pool, de la convection et de la profondeur de la thermocline en fonction du statut dominant du phénomène d'oscillation australe El Niño. (Source : <http://www.pmel.noaa.gov/tao/elnino/nino-home.html>).

150 m dans la warm pool). Lors d'un épisode El Niño, la masse d'eau chaude de la warm pool se déplace en direction de l'est et la thermocline s'enfonce dans le Pacifique central et oriental, tandis qu'elle remonte dans le Pacifique occidental (figure 5). Dans certains cas extrêmes, cela entraîne le déplacement de la zone de convergence de plus de 50° de longitude vers l'est. Lors d'un épisode La Niña, la warm pool se déplace vers l'ouest et se contracte généralement dans l'extrémité occidentale du Pacifique équatorial (Picaut et al. 1996), ce qui fait que la thermocline s'enfonce encore davantage dans cette zone (> 200 m). Les dynamiques d'un épisode El Niño et La Niña apparaissent généralement dans le Pacifique occidental au début de l'année et atteignent un pic dans le Pacifique central ou dans le Pacifique oriental durant l'été austral suivant, à savoir entre 9 et 15 mois plus tard dans la plupart des cas.

On observe depuis toujours une importante variabilité dans le cycle ENSO d'une décennie sur l'autre. Dans les années 80 et 90, le phénomène d'oscillation australe était très actif, avec deux épisodes El Niño extrêmes (1982/1983 et 1997/1998) et deux épisodes La Niña forts (1988/1989 et 1998/1999). Au cours de cette période, on a également relevé deux épisodes El Niño consécutifs entre 1991 et 1995, sans alternance avec une phase La Niña. Depuis le début des années 2000, trois épisodes El Niño modérés (2002–2003, 2006–2007 et 2009–2010) et deux épisodes La Niña modérés (2007–2008 et 2010–2011) ont été enregistrés. L'incidence d'El Niño sur le Pacifique occidental et central peut varier dans les latitudes extérieures à la zone équatoriale 10° S–10° N. Ainsi, lors de l'épisode El Niño de 1997–1998, peu d'impacts climatiques ont été observés dans les hautes latitudes (> 10° S) du Pacifique Sud par rapport à la phase El Niño de 1986–1987. En revanche, les épisodes de 1986–1987 et de 1997–1998 ont eu des répercussions catastrophiques entre le 10° parallèle Sud et le 10° parallèle Nord.

Plusieurs indicateurs servent à déterminer l'intensité des épisodes ENSO, notamment l'indice d'oscillation australe (SOI) qui correspond à la différence de pression de surface normalisée entre Tahiti et Darwin. Du fait du déplacement vers l'est de masses convectives durant les épisodes El Niño, la pression atmosphérique diminue dans le Pacifique oriental

et augmente dans le Pacifique occidental (et inversement lors des phases La Niña). Par conséquent, l'indice d'oscillation australe est négatif durant El Niño et positif pendant La Niña. Les épisodes El Niño se caractérisent par de longues périodes (généralement supérieures à trois mois) où les valeurs de l'indice SOI sont de plus en plus négatives, tandis que, pendant les phases La Niña, ces valeurs sont positives pendant des périodes prolongées. Une autre méthode couramment utilisée est basée sur l'indice ONI (Oceanic El Niño index) 3.4, qui correspond à l'écart entre la température de surface mensuelle et la moyenne des températures de surface relevées dans la région 3.4 sur une longue période (5° N–5° S, 120°–170° O) comme indiqué à la figure 6. Contrairement à l'indice d'oscillation australe, l'indice ONI 3.4 est positif pendant les phases El Niño (les températures sont plus élevées que d'habitude dans le Pacifique central) et négatif durant les épisodes La Niña. Le Bureau australien de météorologie (<http://www.bom.gov.au/climate/enso/index.shtml>) assure un suivi régulier et établit des prévisions à court terme du signal ENSO ; vous trouverez des échanges sur les prévisions climatiques fondées sur des modélisations mondiales à l'adresse <http://www.pmel.noaa.gov>.

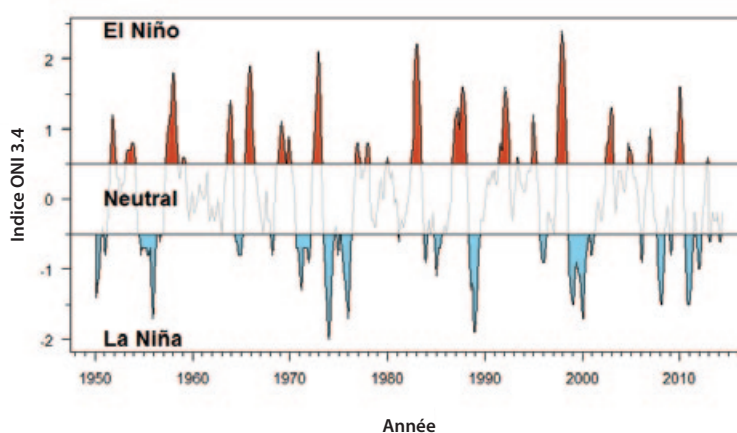


Figure 6. Évolution de l'indice ONI 3.4 entre 1950 et 2014, celui-ci équivalant à la moyenne trimestrielle des anomalies de la température de la surface de la mer dans la région 3.4. Les valeurs supérieures à 0,5 correspondent aux phases El Niño, tandis que les valeurs inférieures à -0,5 signalent des épisodes La Niña. (Source : [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears\\_1971-2000\\_climo.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears_1971-2000_climo.shtml)).

Les épisodes El Niño ont une incidence sur l'habitat et la distribution des thonidés dans le Pacifique. Par exemple, la distribution longitudinale des prises de bonite dans le Pacifique équatorial est liée aux épisodes ENSO (Lehodey et al. 2011). L'extension spatiale, en direction de l'est, de l'habitat de prédilection de la bonite durant les phases El Niño entraîne un accroissement de l'effort de pêche dans le Pacifique central, ce qui s'explique par le déplacement vers l'est de la zone de convergence entre la langue d'eau froide et la warm pool (figure 7). La progression vers l'est d'El Niño provoque cependant une remontée de la thermocline dans la warm pool et des forces de vent plus importantes que d'habitude dans le Pacifique occidental, ce qui finit par occasionner une hausse de la production primaire dans l'ouest du Pacifique équatorial (due au mélange des eaux et à une recrudescence des phénomènes d'upwelling). Dans le Pacifique occidental, cette productivité primaire accrue contribue à améliorer l'habitat des thonidés, ce qui pourrait expliquer la hausse des prises dans les pays de l'ouest de la région (Îles Salomon et Papouasie-Nouvelle-Guinée) vers la fin des phases El Niño (Lehodey 2001). Lors des épisodes La Niña, en revanche, une langue d'eau froide riche en chlorophylle s'étend très largement vers l'ouest, jusqu'au 160° méridien Est, et l'habitat des bonites se contracte, ce qui entraîne une diminution de l'effort de pêche dans le Pacifique central (figure 7).

Par ailleurs, la modification de la profondeur de la thermocline dans la warm pool, sous l'effet d'épisodes ENSO, est susceptible d'influer sur la capturabilité. En effet, des thons jaunes et des thons obèses adultes sont présents dans la thermocline et les couches plus profondes. Dans le Pacifique occidental, El Niño provoque la remontée de leurs habitats de prédilection en termes de conditions thermiques et d'alimentation (Lehodey 2004). Lors des phases La Niña, l'effet inverse se produit, car l'augmentation de la profondeur de la thermocline agrandit l'habitat vertical du thon jaune et du thon obèse. Ainsi, il est possible que la fourchette de profondeurs optimales pour les activités de pêche à la palangre ciblant les thons jaunes et les thons obèses adultes se contracte lors d'El Niño et s'étende pendant La Niña. En ce qui concerne le germon du sud, dans le Pacifique Sud subtropical, les taux de prises enregistrés sont plus importants durant les six mois précédant El Niño ou à l'apparition d'un tel épisode (Lu et al. 1998). Cette situation pourrait être due à la moindre profondeur de la couche de mélange dans les eaux équatoriales et à un resserrement des isothermes 18–25 °C dans la colonne d'eau, sachant qu'il s'agit de la fourchette de température de prédilection du germon adulte. La capturabilité de la bonite semble moins affectée par ENSO. En effet, étant donné que la bonite occupe la couche épipelagique (0–100 m de profondeur), la modification de la profondeur de la thermocline

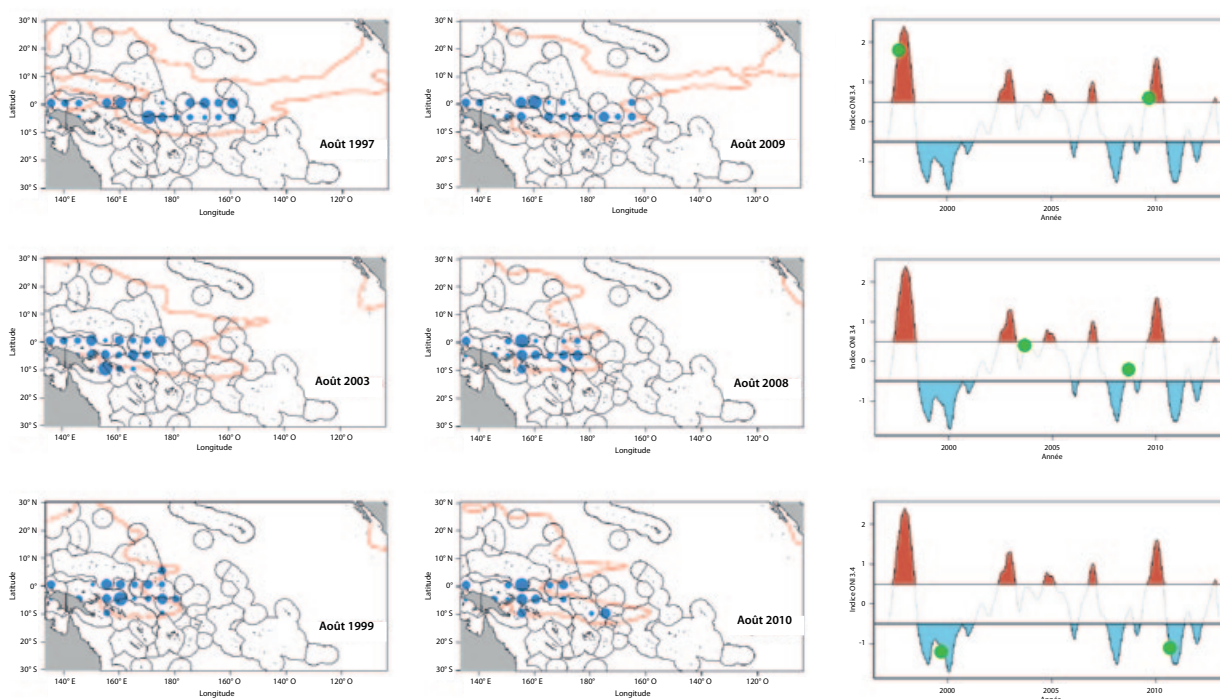


Figure 7. Exemples de répartition de l'effort de pêche à la senne durant des phases El Niño, La Niña ou neutres du phénomène ENSO. Les ronds bleus représentent la racine carrée du nombre de jours de pêche par carré de 5 degrés de longitude et de latitude. Signalée en rouge, l'isotherme de température à la surface de la mer de 28,5 °C délimite la warm pool. Les graphiques du haut représentent l'effort de pêche pour août 1997 et août 2009 (phases El Niño), ceux du milieu l'effort de pêche pour août 2003 et août 2008 (phases neutres), et ceux du bas l'effort de pêche pour août 1999 et août 2010 (phases La Niña). Les graphiques tout à droite indiquent l'intensité de la phase ENSO (ronds verts). Source : Données de pêche publiques de la Commission des pêches du Pacifique occidental et central et [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears\\_1971-2000\\_climo.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears_1971-2000_climo.shtml).

induite par ce phénomène n'a vraisemblablement qu'une incidence minimale sur cette espèce.

Outre son impact sur la migration des thonidés et leur disponibilité locale, la variabilité liée à ENSO a également des répercussions sur le recrutement et, partant, sur l'abondance des populations de thonidés. Des études antérieures fondées sur des prévisions tirées du modèle statistique de dynamique des populations Multifan-CL (Fournier et al. 1998) donnent à penser qu'il y aurait un lien entre le recrutement des thonidés et les variations climatiques, et indiquent que les diverses espèces de thonidés réagissent différemment lors des épisodes ENSO. D'après les résultats obtenus à l'aide du modèle SEAPODYM<sup>6</sup> (Lehodey et al. 2008 ; Langley et al. 2009), le recrutement du thon jaune et de la bonite augmenterait dans le Pacifique occidental et central durant les phases El Niño, vraisemblablement sous l'effet des quatre mécanismes suivants :

1. L'extension des eaux de surface chaudes (26–30 °C) plus à l'est, ce qui donne lieu à des conditions de reproduction favorables pour ces deux espèces.
2. L'accroissement de la nourriture disponible pour les larves de thon en raison de l'augmentation de la production primaire dans l'ouest de la région.
3. La moindre prédation des larves de thon.
4. La rétention des larves dans ces zones favorables sous l'action des courants océaniques.

Lors des épisodes La Niña, la situation s'inverse : le déplacement vers l'ouest des eaux froides réduit les taux de réussite du frai pour le thon jaune et la bonite dans le Pacifique central. La grande majorité du recrutement se produit alors dans les eaux chaudes de la partie équatoriale du Pacifique occidental. Une étude montre par ailleurs que l'étendue de la warm pool pourrait être un indicateur intéressant pour observer les effets de la variabilité environnementale sur le recrutement du thon jaune (Kirby et al. 2007). L'extension des eaux chaudes dans le Pacifique central pendant les épisodes El Niño entraîne l'agrandissement des frayères des thons tropicaux, mais pourrait réduire les zones de frai du germon (Lehodey et al. 2003).

Sur de plus longues échelles de temps, les variations de l'intensité des vents d'ouest à des latitudes moyennes occasionnent des modifications du régime climatique, comme celles enregistrées dans le Pacifique en 1925, 1947, 1976–1977, 1989, et peut-être en 1997–1998, dont les répercussions sur l'écosystème et les pêcheries ont été considérables (Beamish et al. 1999 ; Chavez et al. 2003 ; Hare et Mantua 2000 ; Peterson et Schwing 2003 ; Polovina 2005). Les changements de régime se caractérisent par des transformations brutales analogues à celles observées lors des phénomènes ENSO et pouvant durer plusieurs décennies. En règle générale, ces évolutions sont associées à l'oscillation interdécennale du Pacifique (OIP) ou étroitement liées à l'oscillation décennale du Pacifique (ODP). D'après certaines hypothèses, le rapport entre l'ODP et ENSO pourrait être dû au fait que ce signal apparaît à la suite d'une succession d'épisodes El Niño et La Niña (Newman et al. 2003). C'est dans le Pacifique Nord que le signal est le plus fort, tandis qu'il est faible dans le Pacifique tropical occidental. Il est également fort dans la partie subtropicale du Pacifique Sud, ainsi que dans le Pacifique central et oriental (Mantua et

Hare 2002). L'hypothèse a été avancée que la prédominance de phases El Niño ou La Niña pendant plusieurs années, éventuellement en corrélation avec l'ODP, pourrait donner lieu à des régimes de haute et de faible productivité chez les populations de thonidés (Kirby et al. 2004 ; Lehodey et al. 2003 ; Lehodey et al. 2006). Néanmoins, les séries chronologiques du recrutement des thonidés ne font pas systématiquement état de changements particulièrement marqués de l'environnement (Briand et Kirby 2006), ce qui signifie que le lien entre recrutement des thonidés et oscillations climatiques n'est pas linéaire et pourrait être fonction de plusieurs facteurs interdépendants, notamment l'adaptation des reproducteurs à la variabilité environnementale.

## Incidences potentielles du changement climatique sur les stocks et les pêcheries de thonidés

D'après des simulations récemment réalisées par modélisation, l'impact accru des gaz à effet de serre sur la dynamique des océans pourrait également jouer sur la distribution et l'abondance futures des quatre grandes espèces de thonidés (thon obèse, thon jaune, germon et bonite), en raison des changements enregistrés dans la température de l'eau, la teneur en oxygène dissous, les courants océaniques et l'acidification des océans, ainsi que sous l'influence indirecte d'évolutions survenues dans la structure du réseau trophique (Bromhead et al. 2014 ; Lehodey et al. 2010, 2011). Cette analyse se fonde sur le modèle couplé du climat (IPSL-CM4) de l'Institut Pierre Simon Laplace et sur les moyennes multi-modèles obtenues à partir de l'ensemble de données multi-modèles cmIP3 (troisième phase du projet de comparaison des modèles couplés). Ces simulations de pointe ont servi de base à l'élaboration du quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (Solomon et al. 2007). Ce rapport donne souvent une moyenne multi-modèles pour un grand nombre de projections climatiques relativement indépendantes, de manière à tenir compte de la variabilité intermodale. Le fait d'établir des moyennes permet généralement de corriger les biais contradictoires des modèles, et l'on estime qu'il s'agit d'une méthode intéressante pour obtenir des produits utiles, même si des extrêmes climatiques potentiellement réels risquent d'être supprimés. Malgré les incertitudes liées à l'impact du changement climatique sur les pêcheries de thonidés, d'importants travaux sont actuellement menés, et diverses observations et hypothèses ont déjà été émises.

## Incidences du climat sur les températures et les taux d'oxygène à l'avenir

Un réchauffement de la température moyenne de la mer est observé dans le monde entier. La température à la surface de la mer aurait ainsi augmenté de 0,67 °C entre 1901 et 2005, en particulier dans la région de la warm pool (Bindoff et al. 2007 ; Cravatte et al. 2009). De plus, d'après des simulations obtenues grâce au modèle IPSL-CM4 sur la base du scénario le plus pessimiste du GIEC (A2), les eaux de surface devraient

<sup>6</sup> SEAPODYM = modèle de simulation de l'écosystème spatial et de la dynamique des populations.

gagner entre 1,5 et 6 °C d'ici 2100 dans le Pacifique tropical. À une profondeur de 80 m, on anticipe une hausse de la température de l'eau de 0,5 °C d'ici 2035 et de 1,5 °C d'ici 2100 (Ganachaud et al. 2011). Dans le centre et l'est du Pacifique équatorial, le réchauffement des eaux de surface devrait être plus important que dans le Pacifique occidental. Par ailleurs, d'après les projections établies à partir du scénario le plus pessimiste, la warm pool devrait s'accroître de 250 % d'ici 2035 et de 770 % d'ici 2100 (Ganachaud et al. 2011), bien que des incertitudes majeures demeurent quant à l'évolution de sa dynamique (Brown et al. 2014). La concentration en oxygène de l'eau étant fonction de la température, ces modèles prévoient également une légère baisse en O<sub>2</sub> dans les eaux de surface d'ici 2100, en raison de la moindre solubilité de l'oxygène dans les eaux plus chaudes. Dans les eaux de la subsurface, la hausse des températures et la stratification de l'océan à des latitudes plus élevées devraient faire décroître le transfert d'O<sub>2</sub> de l'atmosphère à l'océan du fait de la ventilation et de l'advection réduites, ce qui entraînera des concentrations d'O<sub>2</sub> plus faibles dans la thermocline tropicale (Ganachaud et al. 2011). Par ailleurs, on apprécie très mal les changements des taux d'oxygène à une échelle régionalisée.

## Incidences du climat sur les régimes de courants et de circulation à l'avenir

Le réchauffement des eaux de surface influe sur la pression atmosphérique, laquelle induit la génération éolienne. Il a été avancé que les changements relevés dans la vitesse et la direction du vent étaient susceptibles de modifier non seulement les conditions météorologiques, mais également l'intensité et la direction des principaux courants de surface. D'après de récentes observations, il apparaît que l'intensité de la gyre du Pacifique Sud a augmenté sous l'effet d'une intensification des vents extratropicaux vers le sud (Roemmich et al. 2007). Ce phénomène a perturbé le système de courants complexe du Pacifique Sud-Ouest et modifié la structure de la température de l'eau dans la région. Selon les simulations, dans la majorité de l'océan Pacifique tropical, les courants de la colonne d'eau supérieure devraient perdre en intensité à l'avenir, avant tout en raison de l'affaiblissement des régimes de vents aux basses latitudes et du renforcement des vents dans la partie subtropicale de l'hémisphère Sud (Ganachaud et al. 2011). Le transport des masses d'eau par le SEC au niveau de l'équateur devrait diminuer de 10 à 20 % d'ici 2100. D'après les prédictions, des changements plus importants encore sont anticipés pour le SECC, dont la vitesse reculera probablement de 30 à 60 %. Par conséquent, les tourbillons et les remontées d'eau associés au SEC et au SECC devraient également s'affaiblir du fait du ralentissement de la circulation tropicale. Dans le Pacifique tropical, on s'attend en outre à ce que la couche de mélange maximale remonte de 20 m (Ganachaud et al. 2011).

De plus, la modification de la circulation risque d'influer sur la période, la localisation et la portée des phénomènes d'upwelling dont est tributaire la majeure partie de la productivité primaire de l'océan. Les simulations à long terme établies à partir de six modèles climatiques font apparaître un affaiblissement de la production primaire dans les tropiques, les régimes et l'amplitude variant toutefois considérablement selon les modèles (Henson et al. 2013). D'après l'un des modèles climatiques (IPSL-CM4, Leborgne et al. 2011) et une étude régionale

poussée, une réduction de 9 % devrait être observée pour le phytoplancton dans la warm pool, ainsi qu'une diminution de 20 à 33 % dans les bassins archipélagiques profonds des zones sud-ouest. Un recul du zooplancton est anticipé dans ces régions, tandis que la charge en nutriments devrait s'appauvrir dans la langue d'eau froide équatoriale. Cela signifie qu'un déclin du système d'upwelling dans le centre et l'est du Pacifique équatorial pourrait déboucher sur une diminution de la productivité à l'échelon régional. À l'heure actuelle, cette dernière suit les courants, vers l'ouest du Pacifique équatorial, et constitue l'un des principaux facteurs conditionnant la présence de stocks de thonidés. Il convient de noter qu'il est particulièrement difficile de modéliser la production biologique, puisque, pour ce faire, il faut intégrer dans les modèles les évolutions annoncées des paramètres physiques et chimiques de l'océan. À l'échelle internationale, les prédictions demeurent incertaines, car les simulations réalisées depuis 50 ans à l'aide de la plupart des modèles du GIEC pour les remontées d'eau dans la province de divergence équatoriale du Pacifique n'ont pas donné de résultats satisfaisants (Ganachaud et al. 2011). Plus récemment, Matear et ses co-auteurs (2014) ont mis au point un modèle à la résolution plus élevée et ont établi des prévisions concernant les conditions climatiques dans le Pacifique occidental et central jusqu'en 2060. Malgré la meilleure résolution de leur modèle et la possibilité ainsi offerte d'appréhender des processus à une échelle plus fine, ils n'ont pas observé de changements majeurs pour ce qui est de la productivité primaire dans la warm pool.

## Incidences du climat sur la distribution et les pêcheries de thonidés à l'avenir

Le réchauffement anticipé de l'océan Pacifique tropical pourrait avoir deux répercussions majeures sur la distribution spatiale des quatre espèces de thonidés nous intéressant. En premier lieu, des modifications pourraient être observées au niveau des sites et de la période de reproduction, ainsi que de l'efficacité du recrutement. Si les effets en question dépendront avant tout de l'adaptation phénologique de chaque espèce, la sensibilité et la vulnérabilité de chaque espèce de thonidé aux variations des températures de surface et de la teneur en oxygène devraient être plus importantes aux premiers stades du cycle de vie qu'à l'âge adulte (Lehodey et al. 2011 ; Bromhead et al. 2014). En second lieu, la distribution des thonidés en dehors de la période de frai pourrait évoluer. Il est possible que la stratification accrue de la colonne d'eau modifie la distribution verticale des thonidés et ait des conséquences sur leur accès aux organismes pélagiques dont ils se nourrissent. Les variations de la température et du taux d'O<sub>2</sub> dans les eaux de la subsurface devraient avoir moins d'incidence sur les bonites, car celles-ci occupent les eaux superficielles. En revanche, ces variations devraient affecter davantage les espèces évoluant entre la surface et la subsurface (thon jaune et germon) et vers les couches profondes (thon obèse). Compte tenu de sa plus grande tolérance à de faibles niveaux d'O<sub>2</sub>, le thon obèse pourrait être moins touché, à moins que des conditions anoxiques ou des « zones mortes » ne se développent (concentration en O<sub>2</sub> < 1 mg L<sup>-1</sup>).

L'évolution prévue de la distribution verticale et horizontale des thonidés aura très vraisemblablement une incidence sur les opérations de pêche. L'emplacement des meilleurs sites de



pêche pourrait ainsi changer, et il est possible que l'on enregistre des modifications similaires à celles observées lors des épisodes ENSO pour ce qui est des taux de captures des thonidés par les navires pratiquant la pêche de surface ou à la palangre. Un déplacement plus marqué des zones de pêche vers l'est, le long de l'équateur, ou vers des latitudes plus élevées est notamment envisageable (Bell et al. 2013 ; Lehodey et al. 2012, 2013). Quel que soit l'endroit où les activités de pêche se concentrent, la stratification accrue pourrait entraîner une hausse des taux de captures des bonites et des thons jaunes évoluant à la surface, là où les températures se trouvent dans leur fourchette de prédilection. De même, compte tenu des variations des taux d'O<sub>2</sub>, les thons jaunes pourraient se cantonner aux eaux superficielles et s'exposer davantage aux engins de surface (Lehodey et al. 2011). Les simulations concernant la distribution future du stock de germon dans le Pacifique Sud ont avant tout été fondées sur les variations de la concentration en O<sub>2</sub>, sachant que, si les diminutions anticipées des taux d'O<sub>2</sub> dans la région équatoriale se produisent bel et bien, la principale aire de répartition se déplacera en direction de l'est et vers des latitudes plus élevées (Lehodey et al. 2014).

La stratification des eaux due à la circulation océanique a une incidence sur les thonidés. Conjugée au réchauffement des eaux, la modification de la circulation devrait influencer sur l'habitat et les prises de certaines espèces de thonidés. Ainsi, une remontée de la thermocline dans la partie occidentale (comme lors d'épisodes El Niño) implique une hausse des taux de captures du thon jaune en surface dans la warm pool, en raison de la contraction de l'habitat vertical de cette espèce (Lehodey 2000). Des changements sont également anticipés pour ce qui est des frayères des thonidés, compte tenu du ralentissement des principaux courants qui devrait limiter la formation de tourbillons et accroître la stabilité des masses d'eau. En période de frai, les thonidés se détournent des zones où les températures sont trop élevées afin d'éviter les problèmes de surchauffe, et on peut s'attendre à un déplacement des frayères vers l'est et vers des latitudes plus élevées (Lehodey et al. 2011). Des différences devraient être notées entre les diverses espèces : en effet, le thon obèse et le germon se reproduisent dans des lieux où la température de surface est supérieure à 24–25 °C, tandis que la bonite privilégie les températures de plus de 28–29 °C.

Par ailleurs, l'évolution projetée de la productivité est susceptible d'avoir un impact sur la reproduction des thonidés. On pourrait assister à un déplacement des zones de frai vers la partie orientale du Pacifique équatorial où, d'après les projections, la productivité primaire devrait rester relativement élevée, ce qui permettra aux larves de disposer de nourriture. Par conséquent, l'évolution de la productivité pourrait avoir des effets directs sur l'abondance et/ou la distribution des larves et des juvéniles, ainsi que sur l'efficacité de la reproduction (Lehodey et al. 2011). Il semblerait en outre que les populations puissent être affectées par la variation de la productivité du micronecton dont elles se nourrissent. La moindre disponibilité de micronecton entraînerait très probablement une augmentation de la mortalité naturelle des thons et une diminution de leur production globale dans la région. La distribution des thonidés devrait vraisemblablement évoluer, car les espèces ciblées suivent généralement les zones productives. Il a été suggéré que le déplacement vers l'est de la zone de convergence pourrait provoquer une chute des stocks de thonidés dans la warm pool, à savoir là où la productivité primaire est relativement faible (Lehodey et al. 2011). Par

ailleurs, il est possible que la hausse des précipitations enrichisse l'apport en nutriments dans les eaux archipélagiques de la Papouasie-Nouvelle-Guinée et crée des aires d'alimentation potentielles. En l'absence de contraintes physiologiques, les thonidés — espèces très mobiles — devraient pouvoir se déplacer vers de nouvelles aires d'alimentation plus riches pour compenser la disponibilité réduite des proies micronectoniques (Lehodey et al. 2011).

Associées à leur cycle de vie, les relations entre les thons et leur environnement peuvent générer des interactions complexes, notamment des boucles de rétroaction et des effets non linéaires. Des simulations de ces interactions complexes peuvent toutefois être établies grâce au modèle dynamique SEAPODYM (Lehodey et al. 2008 ; Senina et al. 2008) qui permet d'évaluer simultanément les interactions entre changements environnementaux, fonctions biologiques et dynamique spatiale des populations de thonidés. Ce modèle a permis de réaliser des simulations préliminaires dépeignant l'incidence du réchauffement planétaire sur le germon (Lehodey et al. 2014), la bonite (Lehodey et al. 2012) et le thon obèse (Lehodey et al. 2010 ; 2013). Les premiers résultats laissent entrevoir une diminution de l'abondance et un déplacement des populations vers la partie orientale du Pacifique, en raison de l'affaiblissement de l'upwelling équatorial et des systèmes de courants équatoriaux anticipé par le modèle IPSL. De plus, selon des hypothèses formulées sur la base de certains scénarios climatiques, des conditions analogues à celles observées lors des épisodes El Niño devraient devenir plus fréquentes (Timmermann et al. 1999 ; 2004) et, dans de telles conditions, on peut s'attendre à un déplacement vers l'est des opérations de pêche à la senne dans le Pacifique occidental et central (Lehodey et al. 1997 ; figure 7).

Le changement climatique est synonyme de défis de taille et de répercussions considérables pour la pêche thonière. Les flottilles de pêche devraient être capables de s'adapter à la nouvelle distribution spatiale et aux changements dans l'abondance des stocks. Néanmoins, les flottilles nationales qui n'ont pas scellé d'accords les autorisant à pêcher au-delà de leurs frontières nationales risquent d'être davantage exposées aux fluctuations de la biomasse des thonidés au sein de leur zone économique exclusive. Afin de pérenniser les activités de ce type de flottilles, il pourrait être utile de conclure des accords d'accès ou de renforcer les capacités de pêche en dehors des limites nationales. Ce sont probablement les usines de transformation à terre qui seront le plus touchées par l'évolution de la distribution des thonidés. Or, ces infrastructures génèrent de nombreux emplois locaux et, indirectement, des échanges commerciaux entre les États et Territoires insulaires océaniques (Samoa américaines, Fidji, Îles Marshall, Papouasie-Nouvelle-Guinée et Îles Salomon, notamment). L'approvisionnement aléatoire de ces usines pourrait avoir des répercussions sur la sécurité de l'emploi et sur d'autres enjeux de développement touchant en particulier les femmes et la jeunesse (les femmes et les jeunes risquant de pâtir d'un marché du travail atone ou de l'irrégularité de l'emploi). Si l'on veut renforcer la résilience de ce segment de la filière au changement climatique, il convient d'envisager d'élaborer des stratégies visant à garantir l'approvisionnement en thon ou à favoriser la diversification des entreprises concernées.

Dans le cadre des politiques halieutiques, des mesures devront être mises en œuvre afin de limiter les effets du changement

environnemental sur la viabilité du secteur, sans pour autant compromettre les perspectives de développement à court et à long termes. Les transformations à grande échelle que connaîtra la filière thonière auront un coût. Toutefois, on ignore encore largement quand et comment les changements climatiques impacteront la distribution et l'abondance des thonidés. Si l'on veut que les mesures d'adaptation retenues soient opportunes et adaptées, il est essentiel de détecter tout signe précoce de changement, de sorte à éviter les initiatives prématurées ou inutiles. Des recherches en cours ont permis d'identifier des organismes se trouvant à un niveau trophique inférieur aux thonidés qui peuvent servir d'indicateurs d'alerte précoce des changements environnementaux en raison de leur sensibilité aux variations chimiques de l'eau. Étant donné que ces organismes sont des proies des thonidés, l'analyse du contenu stomacal de ces derniers s'est révélée être une méthode très efficace pour surveiller ces maillons inférieurs. Les estomacs étant des sous-produits des captures de thonidés, les pouvoirs publics et les entreprises du secteur pourraient envisager d'avoir recours à cette technique efficace et très bon marché afin d'instaurer un « système d'alerte précoce » concernant les effets climatiques. Cette solution suppose simplement d'effectuer des analyses du contenu stomacal et de modéliser les données obtenues.

## Enjeux climatiques et sécurité alimentaire dans le Pacifique

Les États et Territoires insulaires océaniques enregistrent les plus forts taux de diabète et d'obésité au monde, ce qui s'explique par l'évolution des modes de vie et l'accroissement des importations de denrées alimentaires bon marché, mais très caloriques et à faible qualité nutritionnelle. Les autorités sanitaires s'emploient à promouvoir la consommation de poisson pour lutter contre les maladies chroniques non transmissibles, mais l'envol démographique entraîne une diminution des ressources halieutiques côtières disponibles par habitant, pourtant nécessaires à une alimentation saine. Pour venir à bout de ce problème, il est jugé prioritaire de consacrer une plus grande part des ressources thonières de la région à la sécurité alimentaire locale, et de faciliter l'accès à moindre coût des populations rurales et urbaines au thon. En l'absence de telles mesures, les gains économiques tirés de la pêche thonière risquent bien d'être annulés par l'accroissement des dépenses de santé.

Si l'on analyse les projections démographiques actuelles et futures (2020 et 2035) et la superficie de la zone récifale (lieu utilisé comme indicateur indirect de la production récifale) de chaque pays insulaire océanique, il apparaît que 16 des 22 pays de la région auront de plus en plus de mal à produire suffisamment de poissons récifaux pour satisfaire leurs besoins essentiels ou traditionnels en poisson, ou qu'il leur sera difficile d'en assurer l'acheminement des récifs isolés aux centres urbains. Le problème est particulièrement préoccupant en Mélanésie, où vivent une grande partie des Océaniques.

Si l'on veut pouvoir fournir la quantité de poisson préconisée pour une alimentation saine ou maintenir les niveaux élevés de consommation de poisson qui caractérisent la région, le thon devra combler 12 % des besoins en poisson dans l'ensemble des pays insulaires océaniques d'ici 2020, et même 25 % d'ici

2035 (Bell et al. 2011). En termes relatifs, ce n'est qu'un faible pourcentage des thons capturés dans la région qu'il faudra réserver à la consommation locale en 2020 et 2035, soit respectivement 2,3 % et 6,2 % des prises moyennes de thonidés actuellement réalisées par la filière (Bell et al. 2011). C'est à Kiribati, en Papouasie-Nouvelle-Guinée et aux Îles Salomon que la demande sera la plus importante (Bell et al. 2011). En plus de promouvoir la pêche thonière artisanale à petite échelle en vue de combler ce déficit vivrier, il faudra continuer d'exploiter les prises accessoires et les thons de petite taille capturés par les senneurs industriels. Or, l'accès à ces ressources se fait plus efficacement lorsque les senneurs débarquent leurs prises sur des navires transporteurs, qui transfèrent à leur tour le poisson dans des usines de transformation à terre. En règle générale, les ports où s'effectue ce type de débarquements sont ceux où la demande en thon destiné au maintien de la sécurité alimentaire est très forte. Si, au vu des scénarios climatiques de demain, la distribution des thonidés suit l'expansion anticipée vers l'est de la principale aire de répartition, il est possible que Kiribati bénéficie d'un accès plus stable à la ressource. En revanche, dans les pays du Pacifique occidental tels que les Îles Salomon et la Papouasie-Nouvelle-Guinée, l'accès risque de devenir plus fluctuant. Il convient de noter que les prévisions actuelles relatives aux ressources thonières du Pacifique, couplées aux scénarios climatiques futurs, annoncent toutes un effondrement de la biomasse totale de thonidés. Il reste encore à déterminer si, dans un scénario de réduction de la biomasse, il sera plus intéressant de débarquer les thons de petite taille ou de transformer les individus appartenant à ces classes de taille, puis de les réexpédier sous la forme de conserves dans les pays insulaires océaniques.

## Bibliographie

- Beamish R.J., Noakes D.J., McFarlane G.A., Klyashtorin L., Ivanov V.V. and Kurashov V. 1999. The regime concept and natural trends in the production of Pacific salmon. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 56:516–526.
- Bell J.D., Reid C., Batty M.J., Allison E.H., Lehodey P., Rodwell L., Pickering T.D., Gillett R., Johnson J.E., Hobday A.J. and Demmke A. 2011. Implications of climate change for contributions by fisheries and aquaculture to Pacific Island economies and communities. Chapter 12, Vulnerability of tropical Pacific fisheries and aquaculture to climate change. Secretariat of the Pacific Community.
- Bell J.D., Ganachaud A., Gehrke P.C., Griffiths S.P., Hobday A.J., Hoegh-Guldberg O., Johnson J.E., Le Borgne R., Lehodey P., Lough J.M., Matear R.J., Pickering T.D., Pratchett M.S., Sen Gupta A., Senina I. and Waycott M. 2013. Mixed responses of tropical Pacific fisheries and aquaculture to climate change. *Nature Climate Change* 3:591–599.
- Bindoff N.L., Willebrand J., Artale V., Cazenave A., Gregory J.M., Gulev S., Hanawa K., Le Quere C., Levitus S., Nojiri Y., Shum C., Talley L. and Unnikrishnan A. 2007. Observations: Oceanic climate change and sea level. Chapter 5, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

- Bour W., Marcille J. and Rebert J.P. 1981. Pêche thonière et conditions hydrologiques dans le Pacifique Ouest. *La Pêche maritime* 1245:752–758.
- Briand K. and Kirby D. 2006. Multivariate indicators for ecosystem regime shifts and links with long-term recruitment variability for target species. WCPFC-SC2-EB-WP02. Western and Central Pacific Fisheries Commission.
- Brill R.W. 1994. A review of temperature and oxygen tolerance studies of tunas pertinent to fisheries oceanography, movement models and stock assessments. *Fisheries Oceanography* 3:204–216.
- Bromhead D., Scholey V., Nicol S.J., Margulies D., Wexler J., Stein M., Hoyle S., Lennert-Cody C., Williamson J., Havenhand J., Ilyina T. and Lehodey P. 2014. The potential impact of ocean acidification upon eggs and larvae of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*). *Deep Sea Research II* (2014) doi:10.1016/j.dsr2.2014.03.019.
- Brown J., Langlais C. and Maes C. 2014. Zonal structure and variability of the western Pacific dynamic warm pool edge in CMIP5. *Climate Dynamics* 42:3061–3076.
- Chavez F.P. and Barber R.T. 1987. An estimate of new production in the equatorial Pacific. *Deep Sea Research* 34:1221–243.
- Chavez F.P., Ryan J.P., Lluch-Cota S. and Niquen M. 2003. From anchovies to sardines and back: Multidecadal change in the Pacific Ocean. *Science* 299:217–221.
- Cravatte S., Delcroix T., Zhang D., McPhaden M. and Leloup J. 2009. Observed freshening and warming of the western Pacific warm pool. *Climate Dynamics* 33:565–589.
- Fournier D., Hampton J. and Sibert J.R. 1998. MULTIFAN-CL: A length-based, age-structured model for fisheries stock assessment, with application to South Pacific albacore, *Thunnus alalunga*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55:2105–2116.
- Fromentin J.M. and Fonteneau A. 2001. Fishing effects and life history traits: A case study comparing tropical versus temperate tunas. *Fisheries Research* 53:133–150.
- Ganachaud A.S., Sen Gupta A., Orr J.C., Wijffels S.E., Ridgway K.R., Hemer M.A., Maes C., Steinberg C.R., Tribollet A.D., Qiu B. and Kruger J.C. 2011. Observed and expected changes to the tropical Pacific Ocean. Chapter 3, Vulnerability of tropical Pacific fisheries and aquaculture to climate change. Secretariat of the Pacific Community.
- Govoni J.J. 2005. Fisheries oceanography and the ecology of early life histories of fishes: A perspective over fifty years. *Scientia Marina* 69:125–137.
- Grandperrin R. 1978. Influence of currents on the production of tropical seas: Consequences for fisheries. *SPC Fisheries Newsletter* 17:14–20.
- Hare S.R. and Mantua N.J. 2000. Empirical evidence for North Pacific regime shifts in 1977 and 1989. *Progress in Oceanography* 47:103–145.
- Henson S., Cole H., Beaulieu C. and Yool A. 2013. The impact of global warming on seasonality of ocean primary production. *Biogeosciences* 10:4357–4369.
- Kirby D.S., Lehodey P., Hampton J., Langley A. and Allain V. 2004. Regime shifts in western and central Pacific Ocean tuna fisheries. Standing Committee on Tuna and Billfish 17, Working paper ECO-5.
- Kirby D.S., Langley A., Allain V., Briand K., Coudron M.L. and Murtugudde R. 2007. Regime shifts and recruitment in the western and central Pacific Ocean. *Pelagic Fisheries Research Program Newsletter* 12:1–3.
- Langley A., Briand K., Kirby D.S. and Murtugudde R. 2009. Influence of oceanographic variability on recruitment of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the western and central Pacific Ocean. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 66:1462–1477.
- Le Borgne R., Allain V., Griffiths S.P., Matear R.J., McKinnon A.D. and Richardson A. 2011. Vulnerability of open ocean food webs in the tropical Pacific to climate change. Chapter 4, Vulnerability of tropical Pacific fisheries and aquaculture to climate change. Secretariat of the Pacific Community.
- Lehodey P. 2000. Impacts of the El Niño Southern Oscillation on tuna populations and fisheries in the tropical Pacific Ocean. Standing Committee on Tuna and Billfish 13, Working Paper RG-1.
- Lehodey P. 2001. The pelagic ecosystem of the tropical Pacific Ocean: Dynamic spatial modelling and biological consequences of ENSO. *Progress in Oceanography* 49:439–468.
- Lehodey P. 2004. Climate and fisheries: An insight from the Central Pacific Ocean. p. 137–146, *Marine ecosystems and climate variation. The North Atlantic: A comparative perspective*. Oxford University Press.
- Lehodey P., Bertignac M., Hampton J., Lewis A. and Picaut J. 1997. El Niño Southern Oscillation and tuna in the western Pacific. *Nature* 389:715–718.
- Lehodey P., Chai F. and Hampton J. 2003. Modelling climate-related variability of tuna populations from a coupled ocean-biogeochemical-populations dynamics model. *Fisheries Oceanography* 12:483–494.
- Lehodey P., Alheit J., Barange M., Baumgartner T., Beaugrand G., Drinkwater K., Fromentin J.M., Hare S.R., Ottersen G., Perry R.I., Roy C., Van der Lingen C.D. and Werner F. 2006. Climate variability, fish and fisheries. *Journal of Climate* 19:5009–5030.
- Lehodey P., Senina I., Sibert J. and Hampton J. 2008. A spatial ecosystem and populations dynamics model (SEAPO-DYM) — Modelling of tuna and tuna-like populations. *Progress in Oceanography* 78:304–318.
- Lehodey P., Senina I., Sibert J., Bopp L., Calmettes B., Hampton J. and Murtugudde R. 2010. Preliminary forecasts of population trends for Pacific bigeye tuna under the A2 IPCC scenario. *Progress in Oceanography* 86:302–315.
- Lehodey P., Hampton J., Brill R.W., Nicol S., Senina I., Calmettes B., Pörtner H.O., Bopp L., Ilyina T., Bell J.D. and Sibert J. 2011. Vulnerability of oceanic fisheries in the tropical Pacific to climate change. Chapter 8, Vulnerability of tropical Pacific fisheries and aquaculture to climate change. Secretariat of the Pacific Community.

- Lehodey P., Senina I., Calmettes B., Hampton J. and Nicol S. 2012. Modelling the impact of climate change on Pacific skipjack tuna population and fisheries. *Climatic Change* 119:95–109.
- Lehodey P., Senina I., Titaud O., Calmettes B., Nicol S., Hampton J., Caillot S. and Williams P. 2013. SEAPODYM applications in WCPO — Progress report Rev 1 (8 August 2013). WCPFC-SC-EB-WP-03. Western and Central Pacific Fisheries Commission.
- Lehodey P., Senina I., Titaud O., Calmettes B., Conchon A., Dragon A., Nicol S., Hampton J., Caillot S. and Williams P. 2014. Modelling the impact of climate change on South Pacific albacore tuna. *Deep Sea Research II*.
- Lu H.J., Lee K.T. and Liao C.H. 1998. On the relationship between El Niño Southern Oscillation and South Pacific albacore. *Fisheries Research* 39:1–7.
- Mantua N.J. and Hare S.R. 2002. The Pacific decadal oscillation. *Journal of Oceanography* 58:35–44.
- Matear R.J., Chamberlain M.A., Sun C. and Feng M. 2014. Climate change projection for the western tropical Pacific Ocean using a high-resolution ocean model: Implications for tuna fisheries. *Deep Sea Research II* (2014) doi: 10.1016/j.dsr2.2014.07.003.
- Newman M., Compo G.P. and Alexander M.A. 2003. ENSO-Forced Variability of the Pacific Decadal Oscillation. *Journal of Climate* 16:3853–3857.
- Peterson W.T. and Schwing F.B. 2003. A new climate regime in northeast Pacific ecosystems. *Geophysical Research Letters* 30: 10.1029/2003GL017528.
- Philander S.G.H. 1990. *El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation*. Academic Press. 293 p.
- Picaut J., Ioualalen M., Menkes C., Delcroix T. and McPhaden M. 1996. Mechanism of the zonal displacements of the Pacific warm pool, implications for ENSO. *Science* 274:1486–1489.
- Polovina J.J. 2005. Climate variation, regime shifts, and implications for sustainable fisheries. *Bulletin of Marine Sciences* 76:233–244.
- Roemmich D., Gilson J., Davis R., Sutton P., Wijffels S. and Riser S. 2007. Decadal spinup of the South Pacific subtropical gyre. *Journal of Physical Oceanography* 37:162–173.
- Rothschild B.J. 2000. “Fish stocks and recruitment”: The past thirty years. *ICES Journal of Marine Science* 57:191–201.
- Senina I., Sibert J. and Lehodey P. 2008. Parameter estimation for basin-scale, ecosystem-linked population models of large pelagic predators: Application to skipjack tuna. *Progress in Oceanography* 78:319–335.
- Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M. and Miller H.L. 2007. “Technical Summary,” *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Timmermann A., Oberhuber J., Bacher A., Esch M., Latif M. and Roeckner E. 1999. Increased El Niño frequency in a climate model forced by future greenhouse warming. *Nature* 398:694–696.
- Timmermann A., Jin F.F. and Collins M. 2004. Intensification of the annual cycle in the tropical Pacific due to greenhouse warming. *Geophysical Research Letters* 31:L12208.
- Toole J.M., Millard R.C., Wang Z. and Pu S. 1990. Observations of the Pacific North Equatorial Current bifurcation at the Philippine coast. *Journal of Physical Oceanography* 20:307–318.

## Remerciements

Les présents travaux ont été réalisés grâce au concours financier du dixième Fonds européen de développement (appui scientifique en vue de la gestion des pêches côtières et hauturières dans le Pacifique occidental et central), du Programme d'aide australien (CPS-projet australien sur le changement climatique 2011–2013) et de l'Agence allemande de coopération internationale (GIZ) (projet d'amélioration des estimations de l'incidence du changement climatique sur les thonidés dans le Pacifique occidental et central).