

Hydroclimat et ressources thonières tropicales

par Francis MARSAC
ORSTOM – Centre de La Réunion

1. Qu'est-ce que l'hydroclimat ? Pourquoi et comment l'associer à la recherche thonière ?

L'hydroclimat, c'est l'étude du climat de l'océan, de ses variations saisonnières et interannuelles, et des interactions qui se créent entre l'océan et l'atmosphère. Ce couplage océan-atmosphère est le moteur du climat à l'échelle planétaire par une redistribution vers les hautes latitudes de l'énergie accumulée dans les zones tropicales. Le suivi des conditions hydroclimatiques dans ces zones tropicales permet d'identifier des anomalies qui vont perturber le climat moyen. Cela peut déboucher à terme sur la prévision de catastrophes climatiques comme les cyclones. Potentiellement, elles présentent donc un grand intérêt socio-économique dans les pays en voie de développement se situant dans les zones menacées.

1.1. Pourquoi l'associer à la recherche thonière ?

Le suivi hydroclimatique va contribuer à deux objectifs majeurs dans la recherche thonière actuelle :

- amélioration des évaluations sur l'état des stocks,
- meilleure compréhension des relations entre le thon et son habitat.

1) Les modèles classiques de dynamique de population reposent sur l'hypothèse d'une stabilité du système physique. Les principaux facteurs agissant sur l'abondance de la ressource sont dans ce cas : le recrutement, la croissance pour les gains; la mortalité naturelle et la mortalité par pêche pour les pertes. Or, dans certaines pêcheries, l'effet de l'environnement a entraîné de grandes divergences par rapport aux prévisions de ces modèles. Devant l'insatisfaction apportée par une gestion des ressources uniquement basée sur des statistiques de prises et d'effort, on voit se développer des modèles plus réalistes incorporant la variabilité environnementale.

Schématiquement, l'environnement physique va intervenir sur la distribution spatio-temporelle des stocks et sur leur abondance. L'hétérogénéité des conditions du milieu va favoriser le regroupement de la biomasse dans des secteurs bien précis. Ces regroupements seront parfois très limités dans le temps et dans l'espace, mais ils permettent une exploitation de la ressource. Fonteneau citait l'exemple de l'Atlantique: 2 millions de tonnes de thons réparties sur une superficie d'environ 8 millions de milles² donneraient une densité de 250 kg/mille² qui s'avérerait totalement inexploitable. On a donc dans l'océan des secteurs de forte richesse biologique et d'autres qui s'apparentent à des déserts.

- L'action sur la biomasse se traduit à deux niveaux:
- sur le niveau de recrutement (c'est-à-dire sur la quantité de juvéniles arrivant dans la pêcherie et qui deviennent accessibles aux engins de pêche), en intervenant sur la fécondité des géniteurs, sur la survie des stades larvaires et celle des juvéniles. Les stades larvaires sont une phase très critique du développement : les larves doivent se trouver concentrées dans une zone qui leur est propice, i.e. disponibilité en nourriture. Des vents anormalement forts ou des courants de surface décalés en latitude par rapport à la normale vont éparpiller les larves et leurs proies planctoniques, et diminuer d'autant leur survie;
 - sur la capturabilité des individus, en apportant de nouvelles limites dans leur habitat et les rendant plus ou moins vulnérables aux engins de pêche.

2) L'étude des relations thons-environnement est basée sur les contraintes physiologiques des espèces celles-ci, qui commencent à être bien connues, permettent d'identifier les paramètres du milieu les plus influents sur le comportement des thons. Mais il ne suffit pas de se lancer dans des corrélations tous azimuts entre tel paramètre physique et les indices d'abondance de la ressource. L'approche privilégiée actuellement est une analyse dynamique de l'écosystème basée sur l'identification des processus physiques et biologiques qui sous-tendent le déterminisme des migrations et des regroupements.

1.2. Comment l'associer à la recherche thonière ?

Deux nécessités apparaissent:

- disposer d'une base de connaissances historiques sur la zone à étudier;
- favoriser le développement de réseaux d'acquisition de données sur le milieu hauturier pour garantir la continuité des observations, élément déterminant dans les études d'environnement. Etant donné le coût élevé des campagnes à la mer et l'aspect fragmentaire à l'échelon spatio-temporel des observations acquises, on recherche tout particulièrement l'utilisation de systèmes automatisés, mouillés ou en dérive dans l'océan, ou encore embarqués à bord de satellites.

Cette stratégie a été développée dans l'océan Indien occidental dans le cadre du Projet Thonier Régional, au sein du programme de recherches mené par l'ORSTOM. Elle sera présentée plus loin.

2. Les paramètres physiques intervenant dans la répartition et la capturabilité des thons tropicaux

2.1 Température

C'est bien sûr la première limitation de l'habitat. Des études en bassin et des observations en milieu naturel ont permis de définir des gammes thermiques garantissant la survie des espèces:

- albacore..... 18 à 31° C,
- listao 17 à 32° C,
- patudo 11 à 29° C.

Ces températures délimitent ainsi une aire géographique. Dans l'océan Indien, les températures limites ne se rencontrent que dans la partie sud (autour de 35° S pour l'albacore, et 40° S pour le listao) (fig. 1). Mais, la limitation intervient également en profondeur, selon le profil de température de chaque zone.

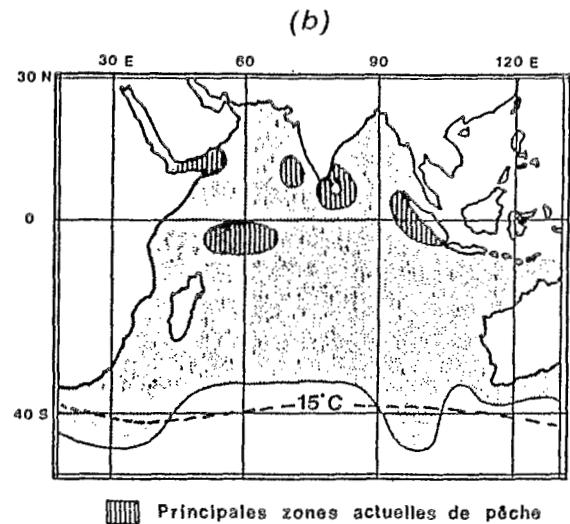
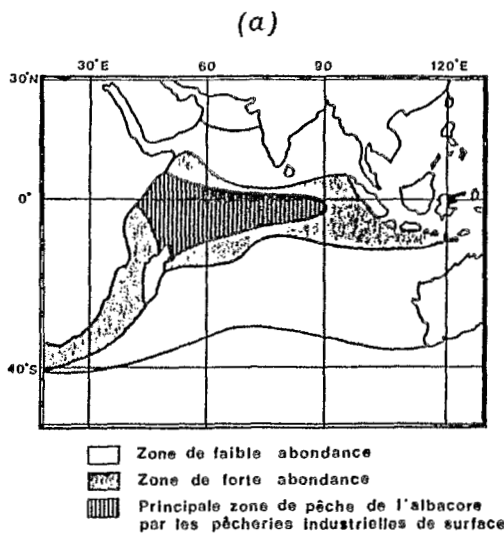


Fig. 1. - Distribution géographique de l'albacore (a) et du listao (b)

Ces premières données sont en fait d'un intérêt limité si l'on considère la superficie de l'habitat potentiel. Or, les thons se regroupent en certains

secteurs privilégiés au sein de cet habitat. Depuis longtemps, les regroupements de thons sont constatés sur les zones frontales, là où la température varie rapidement sur une faible distance (fig. 2). Ces fronts peuvent se produire en surface, par exemple lors de la mise en contact de deux masses d'eaux d'origines différentes, et en profondeur, à la transition entre les eaux superficielles chaudes et légères (car relativement dessalées) et les eaux plus profondes plus froides et plus denses. Cette zone de transition,

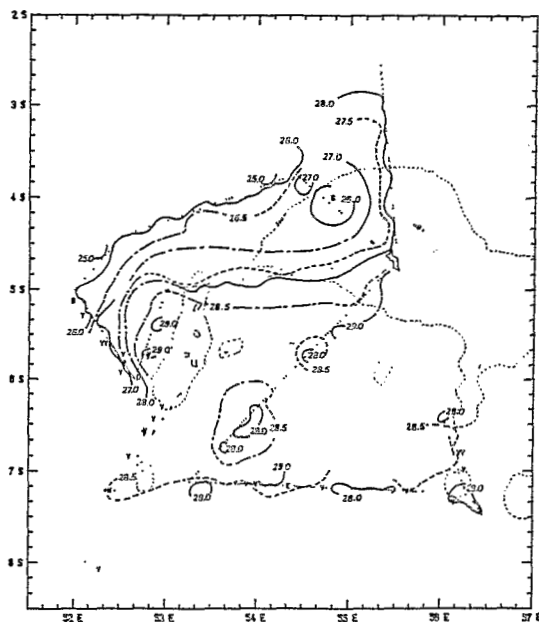


Fig. 2. - Température de surface mesurée par radiométrie aérienne infra rouge en février 1982

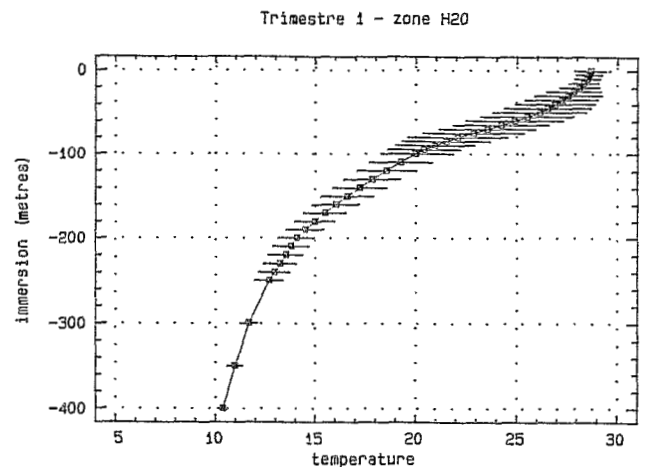


Fig. 3. - profil vertical moyen de température (zone - 0° S/ 60° E-65° E, janvier à mars)

appelée thermocline, peut être plus ou moins marquée et plus ou moins profonde. C'est ainsi qu'à l'est des Seychelles, dans le contre-courant équatorial Sud, on la trouve vers 50 m de profondeur, avec un gradient pouvant atteindre $0,5^{\circ}$ C/m (fig. 3), alors que dans le nord du canal de Mozambique, elle se situe généralement vers 100 m de profondeur, avec un gradient de seulement $0,1^{\circ}$ C/m. Lorsqu'elle est marquée, la thermocline a l'effet d'une barrière de densité sur laquelle s'accumule la « pluie » de débris organiques provenant de la partie superficielle de la couche euphotique. A ce niveau se produit également un enrichissement trophique dont bénéficient les thons. C'est ainsi que des marquages acoustiques ont montré que la thermocline est une couche de référence dans les déplacements verticaux des thons : c'est là qu'ils séjournent préférentiellement (jusqu'à 35 % de leur existence) et c'est de là qu'ils orientent leurs déplacements, soit vers des couches plus profondes, soit vers la surface pour se regrouper en bancs tels qu'on les observe depuis les navires.

En terme de capturabilité, fronts de surface et thermocline ont déjà fait leurs preuves. En présence d'un front, les thons vont évoluer sur le versant chaud, dans des eaux claires (le thon chasse à vue et principalement de jour), en pourchassant leurs proies qui se sont multipliées à partir de l'enrichissement planctonique induit au contact des eaux froides. Le rassemblement de la biomasse dans une zone réduite est mis à profit par les techniques de pêche de surface, à la canne mais surtout à la senne qui va permettre d'englober un banc en une dizaine de minutes. Dans la pêcherie d'albacore du Pacifique Est, on a pu montrer que les rendements des senneurs étaient accrus en présence d'une thermocline peu profonde (à moins de 20 m de la surface) et marquée (gradient thermique vertical supérieur à $0,55^{\circ}$ C/m), ces deux effets s'additionnant l'un à l'autre. Des résultats analogues ont également été obtenus dans l'Atlantique Est.

2.2. Oxygène dissous

C'est un paramètre important car il intervient directement dans le métabolisme des thons. Leur grande activité leur impose une forte consommation d'oxygène et les conduit donc à évoluer dans des eaux où sa teneur y est relativement élevée. Les minima ont été estimés à $0,5$ ml/l pour le patudo, $1,5$ ml/l pour l'albacore et $2,5$ ml/l pour le listao. Typiquement, dans l'océan tropical, les eaux de surface (couche homogène) sont saturées (autour de 5 ml/l), puis la teneur en oxygène dissous décroît jusqu'à un minimum avant d'augmenter de nouveau dans les couches profondes. Plus précisément, on constate deux minima, l'un vers 800-1000 m de profondeur, l'autre entre 100 et 200 m de profondeur (fig. 4). C'est ce dernier qui nous intéresse car il est présent dans la couche où évoluent préférentiellement les thons tropicaux (0-400 m). Ce maximum est proche de la surface dans la région nord de l'océan Indien, et s'enfonce peu à peu vers le sud. Les différents niveaux d'immersion de ce maximum pourront potentiellement limiter l'évolution des thons en profondeur.

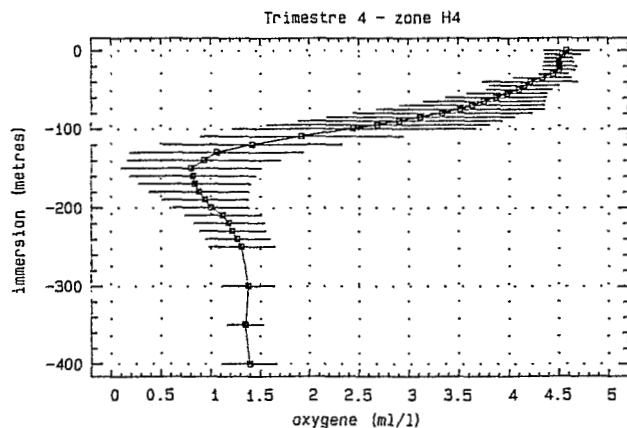


Fig. 4. — profil vertical moyen d'oxygène dissous (zone 5° N- 10° N/ 60° E- 65° E, octobre à décembre)

2.4. Salinité

Elle ne semble pas être, en temps que telle et dans ses limites de variation dans l'océan, un facteur limitant la distribution des thons. Elle constitue néanmoins un traceur de masse d'eau pouvant être utilisé dans la détermination d'un espace océanique favorable. Au sud du Japon par exemple, les meilleures années de capture du listao se sont révélées être liées à une prédominance d'eaux chaudes et significativement moins salées ($34,81$ ‰ contre $34,87$ ‰). Dans le Pacifique tropical, on a démontré que le listao avait tendance à pondre dans des eaux superficielles dessalées, surnageant au-dessus d'une couche peu profonde à maximum de salinité. Malgré un échantillonnage soutenu, peu de larves ont été trouvées en-dehors de ce type de structure. Enfin, dans le Pacifique occidental, l'isohaline 35 ‰ correspond à une convergence de courants se produisant de part et d'autre de l'équateur sur 5° N et 5° S: les prises de listao suivent le contour de l'isohaline, du côté le moins salé (fig. 5).

2.5. Courants

La circulation est la composante dynamique qui module l'évolution des paramètres physiques déjà évoqués. Les courants agiraient sur la concentration des thons en agissant d'abord sur la répartition de leurs proies, moins armées pour lutter contre le courant ou s'en échapper, mais aussi sur la répartition de la température et surtout de la topographie de la thermocline. Les zones de convergence en particulier, accumulent les proies des niveaux trophiques intermédiaires ainsi que les débris flottants de toutes sortes (les épaves) sous lesquels les thons ont tendance à se concentrer. Les divergences sont le siège de remontées d'eaux froides et riches en sels nutritifs dans la couche euphotique, où le plancton végétal va pouvoir se développer et initier une chaîne alimentaire portée par les courants. Par leur action mécanique, les courants constituent un facteur déterminant dans les migrations. On notera également que les contre-courants (coulant de l'ouest vers l'est) sont généralement des zones de pêche active.

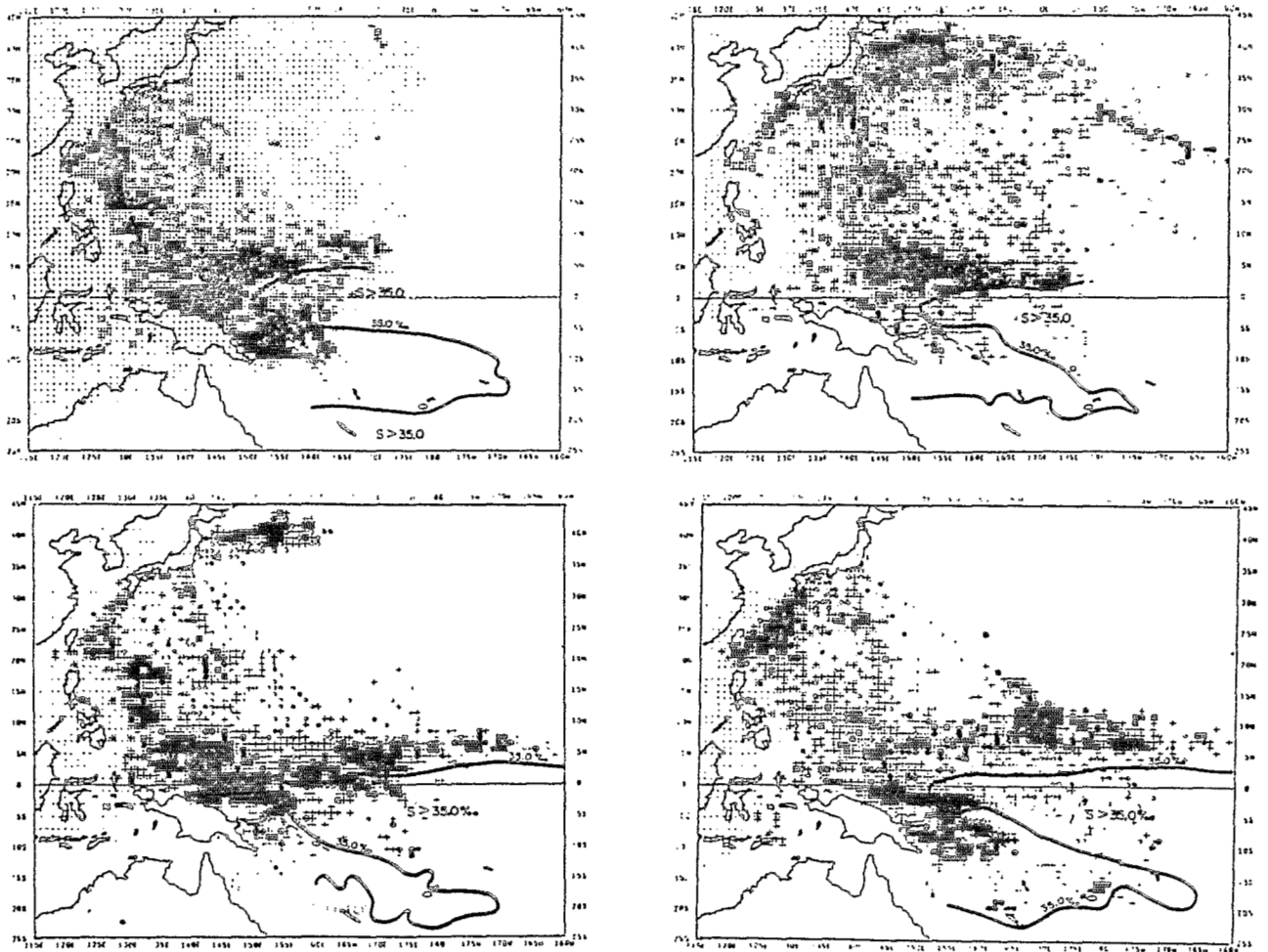


Fig. 5. — Distribution des prises de listao et salinité de surface dans le Pacifique oriental, en 1974 et 1975 (Donouy et al., 1978)

Les courants apportent aussi des limitations sur les engins de pêche. Compte tenu de leur surface, la mise à l'eau des sennes en présence de courants forts (supérieurs à 2 nœuds) peut présenter des risques d'avaries. Par ailleurs, la présence d'un sous-courant équatorial est à l'origine de bien des incidents dans la manipulation des filets (cas en Atlantique avec le sous-courant de Lomonossov). Dans le Pacifique Est, les rendements de patudos pêchés à la palangre sont diminués en présence du sous-courant qui ne permet pas aux hameçons d'atteindre les profondeurs de plus grande abondance de cette espèce.

2.6. Mélange turbulent

Le mélange turbulent est principalement dû au vent qui, en soufflant sur la surface de l'océan, va causer une agitation se propageant dans la colonne d'eau. On le définit généralement comme le cube de la vitesse du vent exprimée en nœuds. L'effet sur la production biologique peut se faire sentir dans une zone à thermocline peu profonde : la stratification va être brisée et les échanges entre les eaux sous-jacentes riches et l'eau de surface appauvrie vont causer des blooms planctoniques.

Le mélange turbulent va principalement intervenir sur l'écologie larvaire. Nous avons déjà signalé que ce mélange peut être à l'origine d'une dispersion des larves et de leur nourriture, entraînant une diminution de leur survie. Des auteurs américains ont montré une relation inverse entre l'indice de mélange d'une année et l'abondance des listaos dans les prises des senneurs l'année suivante. A un indice élevé lors d'une année N correspond une classe d'âge déficitaire à l'année N + 1, et vice versa. Ceci traduit l'effet des conditions de milieu sur le recrutement par action sur la survie larvaire.

Si ce mélange se produit avant la ponte des adultes et l'éclosion des larves, il peut en revanche avoir un effet bénéfique en rendant disponible un potentiel trophique utilisable immédiatement par les larves. Dans ce sens, nous tendons de mieux comprendre le déterminisme des rassemblements d'albacores à l'Est des Seychelles, durant la premier trimestre. Ces rassemblements massifs semblent avoir en premier lieu une motivation liée à la reproduction. La grande majorité des individus capturés sont des adultes matures. La périodicité annuelle de ces regroupements en des lieux similaires lorsque les conditions hydroclimatiques restent inchangées d'une année à l'autre peut être expliquée par l'hypothèse selon

laquelle l'appartenance à une population requiert pour les individus, de se regrouper au bon endroit à des moments précis du cycle vital de l'espèce. La reproduction est une phase critique au cours de laquelle la première contrainte est la présence simultanée des deux sexes. Pour garantir le succès de la reproduction, on peut supposer que les regroupements se feront dans des secteurs privilégiant d'abord la survie des larves. A ce stade, des questions restent posées : ces secteurs correspondent-ils avec les lieux où l'abondance en proies pour les adultes est maximale ? Il n'en est pas certain. D'une certaine manière, les adultes auraient-ils donc la capacité d'identifier les secteurs propices à leur progéniture ? Les recherches futures tenteront d'apporter des réponses.

2.7. Monts sous-marins

La topographie du fond de l'océan est parfois à l'origine de rassemblements de bancs de thons. De tels regroupements dans des secteurs très limités ont en effet pu être mis en relation avec la présence de guyots situés à quelques centaines de mètres de profondeur. Dans l'Atlantique comme dans l'océan Indien, de tels secteurs maintenant bien connus sont exploités régulièrement. On ignore encore exactement les raisons qui sont à l'origine de ce phénomène, mais vraisemblablement, trois effets pourraient être

invoqués : enrichissements localisés résultant de perturbations hydrodynamiques dans la colonne d'eau, présence visible par les thons d'une masse agissant comme un repère dans un milieu à trois dimensions, et anomalie gravimétrique causée par le mont sous-marin, et à laquelle les thons sont sensibles puisqu'ils seraient à même de s'orienter au cours de leurs déplacements à partir du champ magnétique terrestre.

Il est certain qu'une meilleure connaissance de la topographie sous-marine pourrait aider à identifier de nouveaux secteurs de concentration. Ceci pourra être fait grâce aux données des satellites équipés de radars altimétriques capables de mesurer avec une précision de 2 à 5 cm les anomalies de la surface de l'océan qui traduisent en partie les pentes du relief sous-marin.

Tous ces éléments mettent l'accent sur la complexité des relations entre l'environnement océanique et les thons. Même si certains de ces facteurs prédominent sur d'autres, en particulier le couple température-oxygène, il faut bien être conscient de la synergie liant tous ces paramètres et que l'effet d'un facteur peut être amplifié ou au contraire amoindri selon l'état des autres facteurs. A défaut de pouvoir intégrer l'ensemble des paramètres, nos analyses tentent d'identifier les facteurs clefs intervenant dans les processus physico-chimiques qui vont guider la répartition et la capturabilité des espèces étudiées.

3. Moyens mis en œuvre pour le suivi hydroclimatique dans le Sud-Ouest de l'océan Indien

Les données hydroclimatiques sont examinées sur deux plans :

- Un plan historique qui permet de dresser des situations moyennes. C'est ainsi que dans le cadre du Projet Thonier Régional, une base de données océanographiques remontant à 1906 a été constituée et se trouve désormais accessible sur micro-ordinateur (plus de 28 000 profils). Une chaîne de logiciels permettant l'analyse et la cartographie de ces données a également été mise en place. Cette base est remise à jour périodiquement, au fur et à mesure qu'arrivent de nouvelles informations.
- Un plan temps réel, rendu possible par l'acquisition de données à travers des réseaux de télécommunication et par l'utilisation de thermographies satellitaires grâce à la station de réception NOAA installée à La Réunion. Nous disposons

ainsi quotidiennement de mesures de la température de la surface de la mer et du vent faites par des navires commerciaux le long de leurs trajets. Ces données vont être incorporées dans le champ des températures calculées à partir des images satellitaires pour fournir une vision la plus large et la plus précise possible des températures superficielles dans une zone couvrant tout le bassin Sud-Ouest de l'océan Indien. Par ailleurs, des mesures de la température en profondeur effectuées par des thoniers sont transmises par balise ARGOS. Elles sont rendues disponibles généralement dans les quatre heures qui suivent la réalisation du profil. Nous avons également accès aux mesures faites par d'autres navires, par périodes de trois jours. Cet ensemble alimente un fichier « temps réel » qui est par la suite incorporé dans la base historique.

4. Principaux résultats obtenus dans l'océan Indien

4.1. Etudes de zones typiques

Trois zones ont particulièrement retenu notre attention car elles caractérisent trois écosystèmes bien spécifiques :

- la région somalienne où un très puissant upwelling est engendré par la mousson de sud-ouest ;
- la région des Seychelles, traversée par un contre-courant limité au nord par une convergence et au sud, par une divergence ;

- le canal de Mozambique, région toujours chaude surtout dans sa partie nord, donc à faible variabilité saisonnière, et qui est le siège d'un grand tourbillon convergent dans le bassin nord et d'une circulation en méandres dans le bassin sud.

4.1.1. La région somalienne

C'est la région de l'océan Indien où l'on enregistre la plus forte variabilité saisonnière. En l'espace d'une dizaine de jours, de fin mai à mi-juin selon les années, on passe d'une situation de vent modéré de nord-est à une situation d'alizé puissant de sud-ouest, pouvant atteindre 35 nœuds. L'océan réagit rapidement à ce forcing par l'apparition d'un fort courant côtier (dépassant 6 nœuds au Ras Afir) qui dévie rapidement vers le large en créant deux tourbillons, l'un au nord du bassin, l'autre au sud. L'upwelling se met rapidement en place et la renverse de cette saison est parfois à l'origine de mortalités massives d'espèces à affinité chaude qui se trouvent piégées dans des masses d'eau froide remontée en surface par l'upwelling. Les températures décroissent de 3° C en moyenne à la côte mais localement, on a pu mesurer des diminutions de température bien supérieures. Deux pôles de refroidissement apparaissent, l'un vers 4° N, l'autre vers 8°-9° N et correspondent chacun à une déviation du courant vers le large (fig. 6). Les températures les plus basses sont atteintes dans la partie nord : 17° C en 1979, 13,2° C en 1964, températures généralement trouvées entre 100 et 200 m de profondeur. Une fois le phénomène enclenché, il s'établit une chaîne trophique à partir des eaux riches en sels nutritifs dans lesquelles le plancton végétal va se développer. Ces eaux enrichies vont se disperser vers le large. Mais une partie de

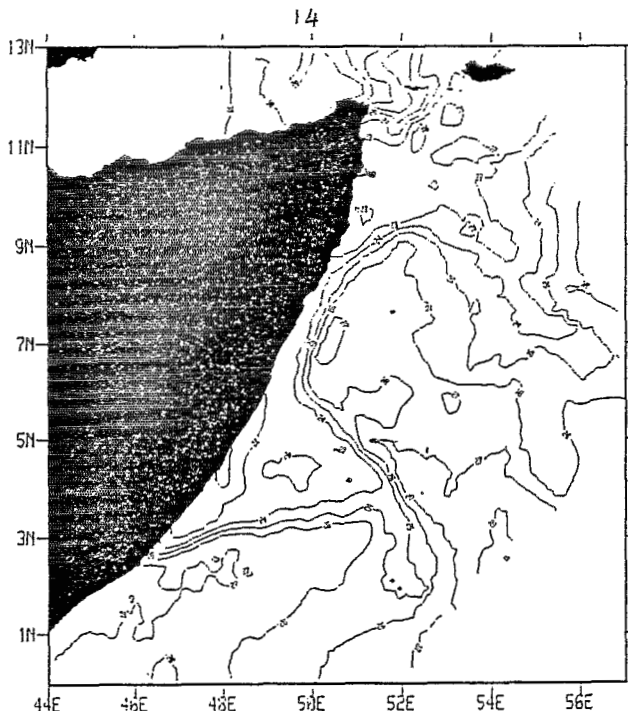


Fig. 6. — Carte de température mettant en évidence l'upwelling de Somalie et le grand tourbillon anticyclonique du 8 au 15 juin 1985

cette production est récupérée dans le grand tourbillon nord qui devient une zone de pêche active à partir de fin août.

Cette zone a fait l'objet d'une campagne océanographique conduite avec des chercheurs de l'ORSTOM et de la Seychelles Fishing Authority, en octobre 1987, au début de la période dite d'intermousson. Les secteurs de pêche les plus productifs se situaient de 3° N à 6° N, de 50° E à 54° E. Les principales caractéristiques de cette zone étaient :

- une rapide remontée de la thermocline du nord vers le sud, délimitant la bordure méridionale du grand tourbillon;
- de fortes teneurs en oxygène dissous;
- proximité de biomasses zooplanctoniques élevées dans la couche 0-300 m qui est celle où albacores et listaos se nourrissent activement.

Par conséquent, une forte abondance se trouvait concentrée dans un habitat frontière caractérisé par une variation rapide des paramètres du milieu sur des distances relativement courtes. Il n'est pas surprenant de trouver de tels regroupements dans des eaux riches en oxygène compte tenu du métabolisme élevé des thons (en particulier le listao qui est, dans ce secteur, l'espèce dominante). Les courants qui dispersent les floraisons phytoplanctoniques, le broutage par les zooplanctontes au cours de la dérive des eaux dans le système tourbillonnaire, la présence de systèmes frontaux périphériques créent des conditions favorables au développement de réseaux trophiques aboutissant aux thons. En outre, des épaves en dérive sont piégées dans le tourbillon et contribuent à accroître les potentialités de pêche en particulier pour les engins de surface.

Une analyse rétrospective des rendements de pêche, de la température de surface et du vent a montré :

- des évolutions inverses de la vitesse du vent et de la température de surface à la fin de la mousson d'été, ce qui est guère étonnant, l'upwelling disparaissant peu à peu au cours de la décroissance de l'intensité du vent. Le réchauffement des eaux est dû à la fois à la disparition de l'upwelling, à une réduction de l'évaporation et à un brassage vertical moindre;
- une non-linéarité du processus associant la production thonière aux conditions du milieu, ce qui introduit au concept de fenêtre environnementale optimale apte à favoriser la capturabilité des bancs.

Il existe un effet à retardement dans le processus qui conduit à la concentration des thonidés. Lorsque le vent commence à diminuer (fin de mousson), la production planctonique trouverait alors son plein épanouissement, tirant parti des enrichissements en sels nutritifs résultant de l'upwelling, et du calme relatif des eaux limitant une trop rapide dispersion des zooplanctontes. Les indices d'abondance en thons augmentent jusqu'à un maximum atteint 3 semaines après que l'intensité du vent ait commencé à décroître. Ce délai pourrait correspondre à la durée minimale requise pour constituer dans un tel écosystème, un réseau trophique utilisable par les thons.

4.1.2. La région des Seychelles

De décembre à mars, la région des Seychelles concentre l'essentiel de l'effort de pêche des cinquante senneurs en activité dans l'océan Indien occidental. Elle est parcourue par le contre-courant équatorial sud qui s'écoule vers l'est à une vitesse moyenne de 1 à 1,5 nœud. Des observations conduites sur plusieurs années à partir de senneurs confirment qu'une certaine variabilité interannuelle existe et qu'elle pourrait expliquer les déplacements des concentrations d'albacore. Néanmoins, ces observations plus fines à l'aide de bouées dérivantes s'avèreraient maintenant nécessaires pour mieux suivre cette évolution.

Il s'agit principalement d'une « zone à albacore ». Cette espèce représente en effet 65 à 80 % des prises selon les années. La zone de pêche est centrée sur 5° S, de 55° E à 65° E, entre décembre et février. A partir de mars, elle se localise plutôt au sud et au sud-ouest des Seychelles, jusque vers 10° S. Ce déplacement constaté de 1983 à 1986 s'est quelque peu modifié de 1987 à 1989. Les secteurs de plus forte abondance se localisaient plus au sud que les années précédentes. En première analyse, on s'aperçoit que la zone de pêche active est bien limitée dans l'espace par deux frontières hydrologiques, une divergence au sud et une convergence au nord. Les concentrations d'albacore se situent principalement sur la pente thermoclinale qui s'élève vers la surface du nord vers le sud. L'extension de la convergence de janvier à mars, en même temps qu'un déplacement vers le sud du dôme thermoclinale semble ainsi diriger en partie le déplacement des secteurs d'abondance.

Un décalage dans le temps de cette évolution pourra donc se traduire par une avance ou un retard dans l'apparition des concentrations dans les zones classiques de pêche.

La confrontation des données hydroclimatiques de la décennie 1980-1989 avec les données de pêche des flottilles de senneurs (données collectées sous la responsabilité de l'ORSTOM aux Seychelles) suggère un effet très sensible de la variabilité hydroclimatique sur le recrutement et la capturabilité des albacores. Le recrutement semble avoir été favorisé au début des années 1984 et 1988, périodes marquées par des vents anormalement faibles (et en conséquence, des températures de surface anormalement élevées) limitant le brassage qui potentiellement, peut avoir un effet néfaste sur la survie larvaire. La faible mortalité larvaire aurait produit au cours de l'année suivante (1985 et 1989) une forte classe d'âge recrutée dans la pêcherie, tels que le suggèrent les indices d'abondance calculés sur les albacores de 1 an. Pour ce qui concerne la capturabilité, elle semble avoir été particulièrement accrue en 1985 et 1988, alors que la thermocline se trouvait anormalement proche de la surface. L'année 1988, qui a été un record historique en terme de prises et de rendements (surtout sur les gros albacores adultes), a combiné les effets positifs de conditions d'environnement accroissant la capturabilité, et de l'exploitation des individus issus de la forte classe d'âge recrutée en 1985. Un retour à des conditions de thermocline infra-optimales dès 1989 s'est traduit par une diminution sensible de l'indice d'abondance des gros individus dans la pêcherie (traduisant principalement une réduction de la capturabilité). Cette évolution est bien traduite dans la figure 7.

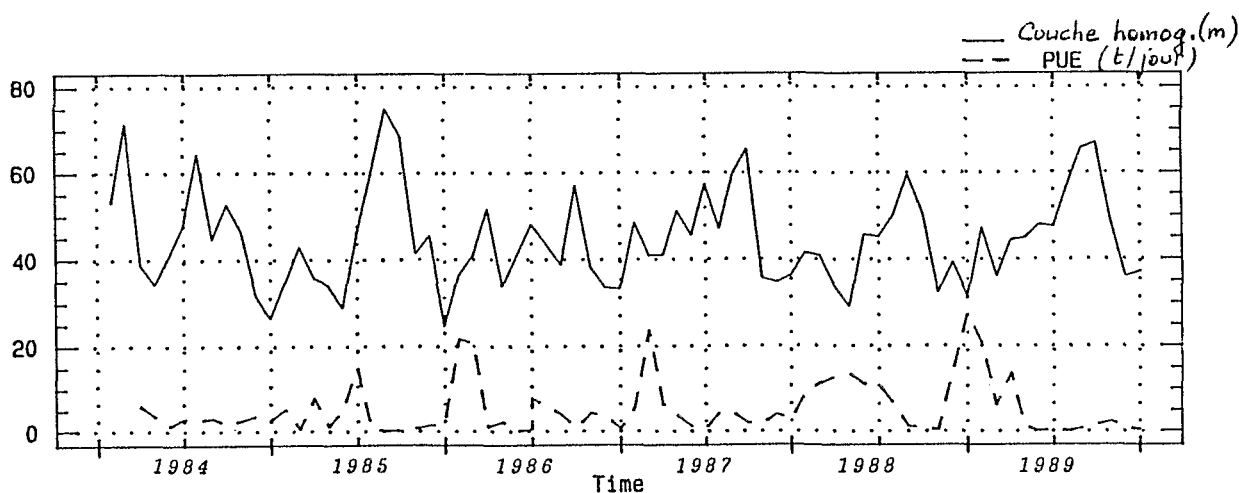


Fig. 7. — Prises par unité d'effort mensuelles de gros albacores (poids supérieur à 30 Ko) et épaisseur de la couche homogène dans le contre-courant équatorial sud, de 1984 à 1989

4.1.3. Le canal de Mozambique

Le canal de Mozambique est exploité durant une courte période de l'année, principalement en avril et mai. L'espèce la plus représentée dans les prises est le listao. Depuis 1985 que ce secteur est exploité, deux années (1986 et 1987) ont été marquées par d'excellents rendements. L'année 1988 a été par-

ticulièrement mauvaise, alors qu'il s'agissait d'une excellent année pour l'albacore, dans la région des Seychelles, même en avril-mai. La persistance d'albacore, de plus forte valeur commerciale, à l'ouest des Seychelles a peut-être limité les prospections dans le canal; les rendements des senneurs sous-estimeraient donc l'abondance réelle.

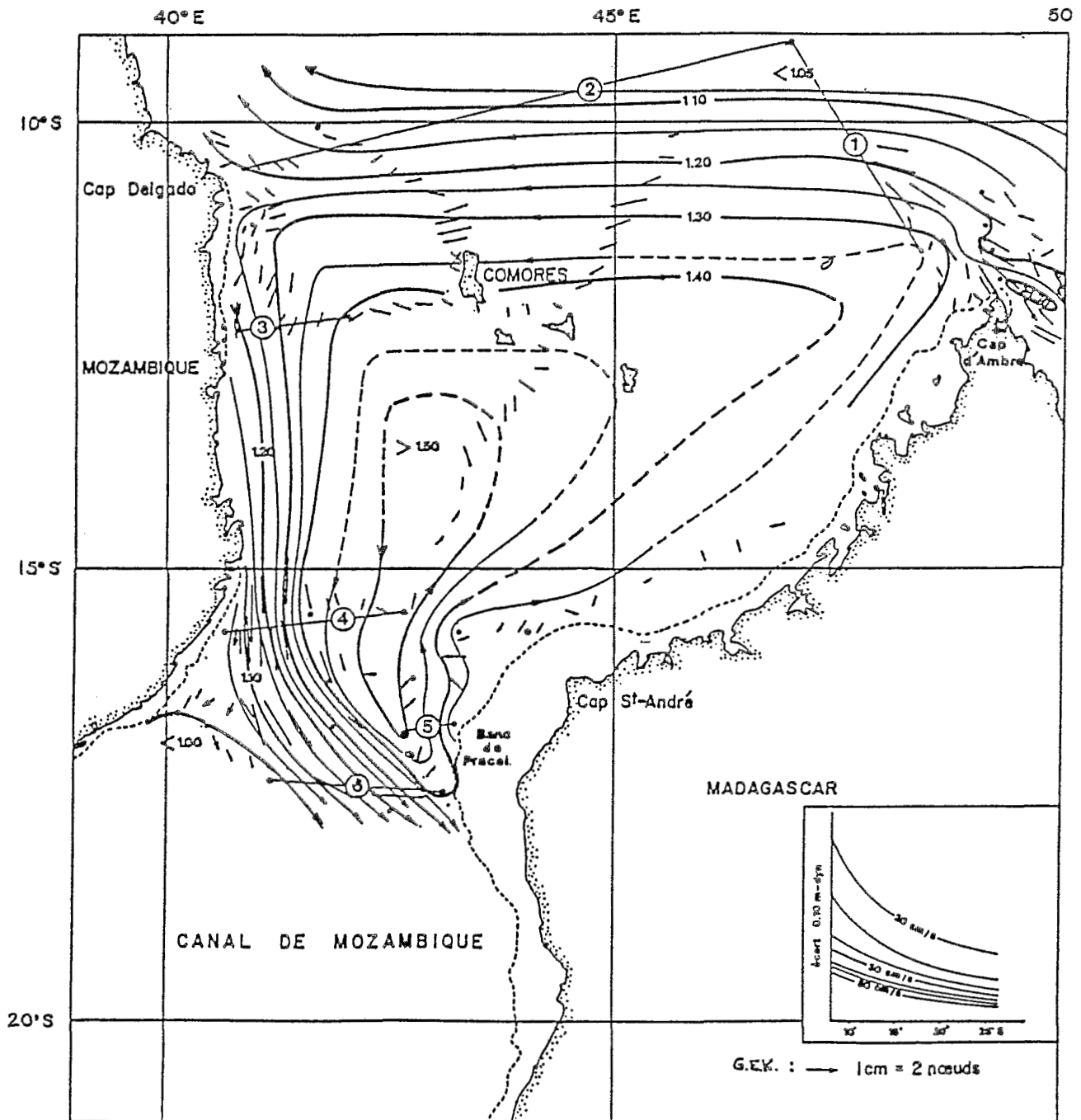


Fig. 8. — Courants de surface déduits des anomalies de hauteurs dynamiques de la surface par rapport à 500 décibars et de mesures au GEK (Piton, 1989)

La partie centrale du canal est chaque année le siège de fortes prises. Ce secteur correspond à la divergence du courant traversier qui a pris naissance le long des côtes du Mozambique, et qui transporte des eaux enrichies par un upwelling côtier (fig. 8); c'est également un secteur où se concentrent de grands cétacés. Signalons enfin qu'il y existe des hauts fonds (bancs affleurant à 45 m de la surface) et que l'île de Juan de Nova située par 17° S et 43° E était anciennement exploitée pour son guano. Ces éléments témoignent d'une forte richesse trophique de la zone.

4.2. Modélisation de la distribution verticale des thons

Dans le but de corriger des évaluations d'abondance de thons issues de prospections par avion ne prennent en compte que les observations de bancs visibles en surface, nous avons été amenés à rechercher une fonction qui fournirait une image de la répartition des thons avec la profondeur et qui aboutirait à une estimation d'abondance intégrée dans la colonne d'eau, donc plus réaliste.

Pour ce faire, nous avons associé les résultats de marquages soniques de thons et les connaissances sur les exigences physiologiques des espèces pour obtenir des courbes de répartition dépendant de la température et de la teneur en oxygène dissous. Dans un premier temps, on définit des probabilités de présence dans des couches de température de 1° C, de la surface jusqu'à la profondeur maximale atteinte par les thons marqués. Dans un second temps, on examine les teneurs en oxygène dissous qui modifieront la courbe de répartition à partir d'un seuil limite propre à chaque espèce. Ils ont été définis à 0,5 ml/l pour le patudo, 1,5 ml/l pour l'albacore et 2,5 ml/l pour le listao.

qui s'y regroupent. Il faudrait alors considérer le rôle joué par la thermocline dans l'orientation horizontale des individus lors de leurs déplacements (notion d'interface dans un milieu à trois dimensions). Un système ancré, apportant une composante verticale visible par les thons, pourrait modifier la réaction du thon par rapport au repère que constitue la thermocline. Les répartitions diffèrent également selon l'espèce. Globalement, dans notre région, les albacores et les listaos ont des probabilités de présence qui deviennent négligeables en-dessous de 150 m. Les patudos ont par contre un habitat plus profond. Les marquages acoustiques situent un maximum de présence dans des eaux à 15°-16° C que

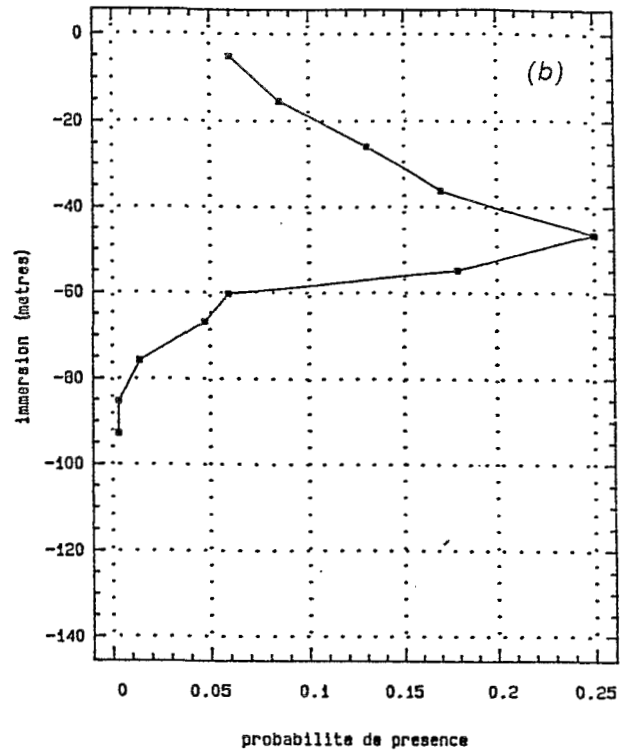
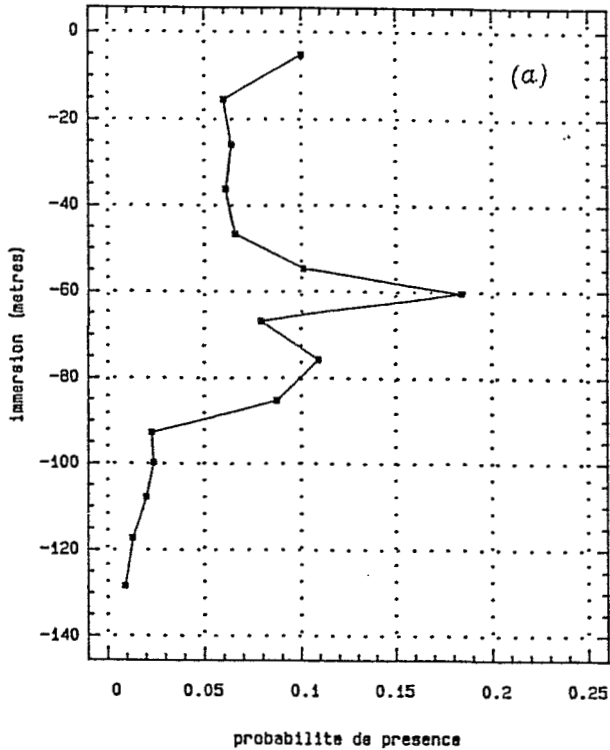


Fig. 9. — Modèle de répartition verticale de l'albacore sur mattes libres (a) et autour de DCP (b)

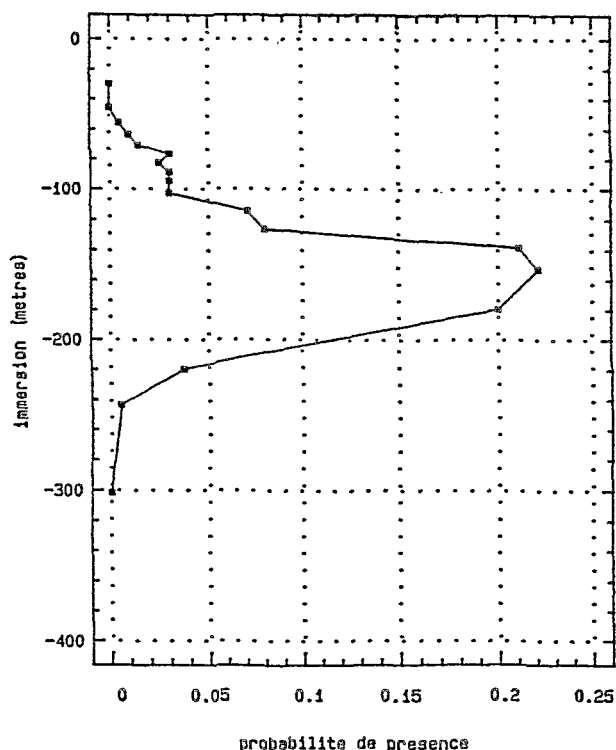
Des résultats différents ont été obtenus selon le type de banc (fig. 9). Sur mattes libres, en dehors de l'effet d'une épave ou d'un système concentrateur, les albacores montrent des probabilités de présence maximales vers le sommet de la thermocline, au niveau du gradient maximal de température. Sur épaves, la répartition est graduelle au sein de la couche homogène et les plus fortes probabilités de présence se situent juste au-dessus de la thermocline. Les probabilités diminuent ensuite rapidement bien que les températures soient encore élevées (26° C à 60 m dans le contre-courant équatorial Sud). Il n'est pas impossible que le DCP soit à l'origine d'une redistribution du potentiel trophique habituellement localisé sur la thermocline, et qui serait alors moins lié à la température. Mais, cette hypothèse est très incomplète car la biomasse de proies potentielles susceptible d'être attirée par une épave est insuffisante pour la survie des bancs de thons

l'on trouve vers 160-180 m dans la région équatoriale. Il n'y a pas de limitation supplémentaire apportée par des teneurs limites en oxygène dissous pour cette espèce, à ces profondeurs. Dans le contre-courant équatorial Sud, le premier minimum d'oxygène se situe à 160 m, avec des teneurs de 2,3 ml/l alors que l'habitat potentiel du patudo peut atteindre 300 m. Dans la zone nord de la pêcherie (5° N-10° N) l'habitat potentiel irait jusqu'à 380 m où l'on trouve encore 1 ml/l d'oxygène dissous (fig. 10).

A des fins de validation, nous avons comparé les profils de répartition du modèle avec des échosondages obtenus par des senneurs en pêche, pour lesquels nous disposons également de profils XBT:

— 11 avril 1982 (fig. 11) : détection obtenue sur épave dérivante. Le modèle est appliqué sur l'albacore et le listao avec les données du profil de température. Aucune limitation n'est apportée par

(2S - 7S / 60E - 65E ** janvier-février)



(5N - 10N / 60E - 65E ** Trimestre 1)

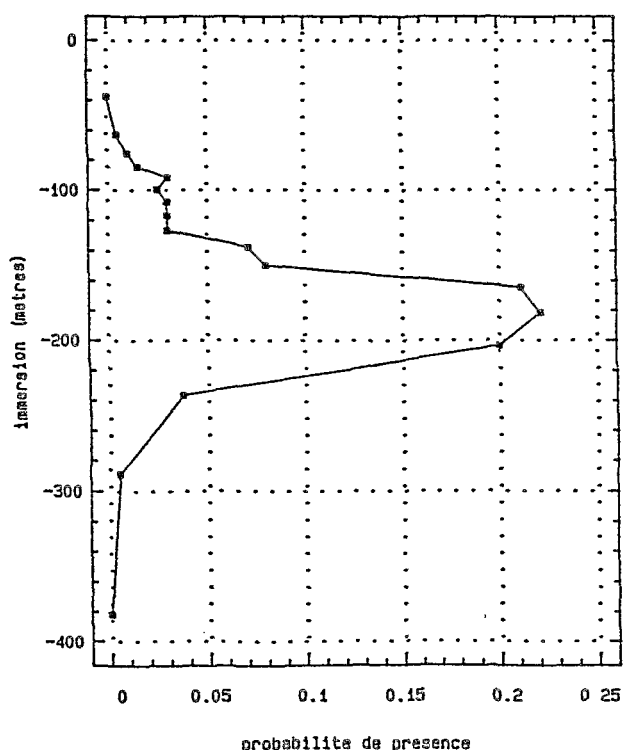


Fig. 10. - Modèle de répartition verticale du patudo selon les secteurs de la pêche

l'oxygène. Le listao se cantonne exclusivement dans la couche homogène alors que l'albacore se répartit de part et d'autre de la thermocline. Ces différences apparaissent sur la trace de l'échouage.

- 15 juin 1984 (fig. 12) détection obtenue sur matte

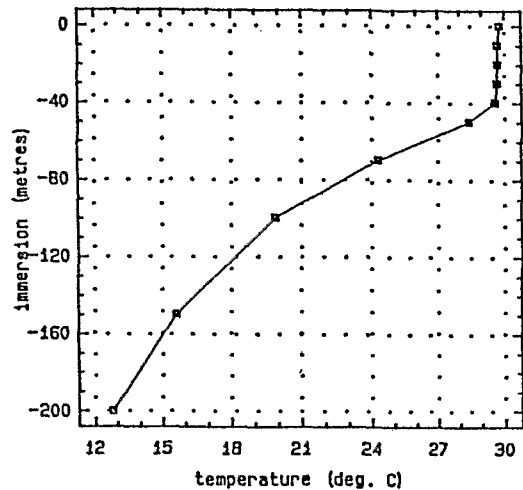
libre, avec albacore et patudo. Le modèle montre un chevauchement des distributions et l'on constate un aspect très allongé de la trace. L'albacore prédomine entre 50 et 80 m; le patudo est plus abondant entre 120 et 170 m. On notera cependant une surestimation, par le modèle de la probabilité de présence d'albacore en surface.

Conclusion

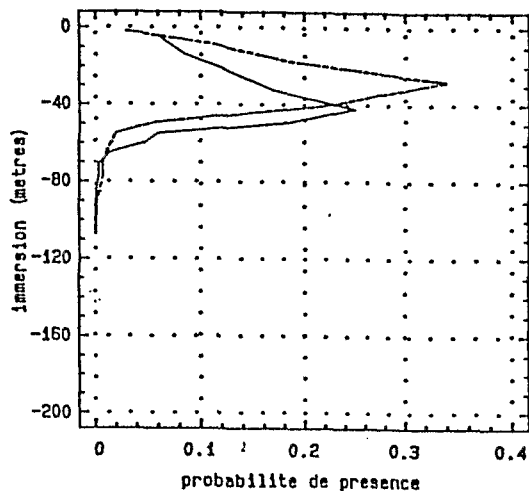
Il ressort de cette présentation que la réaction des stocks de thonidés à la variabilité hydroclimatique est complexe. Les indices d'abondance tirés de l'analyse fine des statistiques de pêche peuvent être biaisés par une modification difficilement contrôlable de la puissance de pêche des navires, ou par les différentes stratégies qui peuvent évoluer d'une flottille à l'autre. L'homogénéité des données de pêche est rarement obtenue sur les pêcheries récentes comme celle de l'océan Indien, en raison d'un apprentissage progressif sur la zone et des éventuelles adaptations du mode de pêche. En second lieu, les données élémentaires sur le milieu, en particulier les profils

verticaux de température, ne sont pas toujours réparties au mieux par rapport aux zones de pêche, la plus forte contribution étant le fait de navires marchands traversant l'océan le long de routes fixes et régulières. Il serait donc souhaitable de multiplier les systèmes de mesures sur les unités de pêche. En outre, pour fournir une vision synoptique de l'ensemble du bassin océanique, la télédétection représente désormais un outil d'investigation indispensable. Un autre pas sera franchi lorsqu'il sera possible de modéliser de façon réaliste la structure thermique de subsurface à partir de données de température et de vent de surface; des travaux déjà bien avancés dans ce sens sont actuellement en cours dans l'Atlantique et les premières tentatives vont débuter dans l'océan indien.

Profil vertical de temperature
11/04/1982 ** 8 14 S - 52 40 E



Distributions de l'albacore et du listao
11/04/1982 ** 8 14 S - 52 40 E



Profil vertical d'oxygene dissous
(7S - 9S / 50E - 53E ** avril)

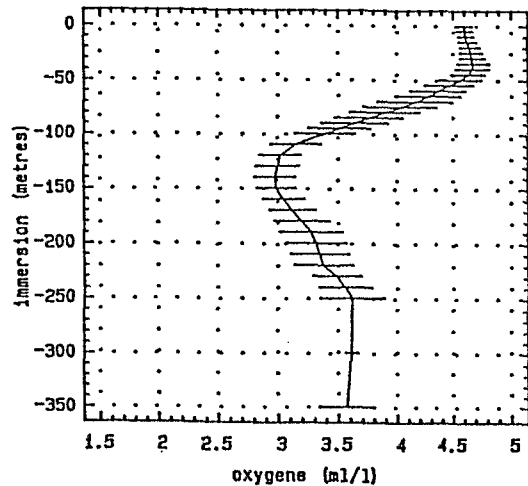
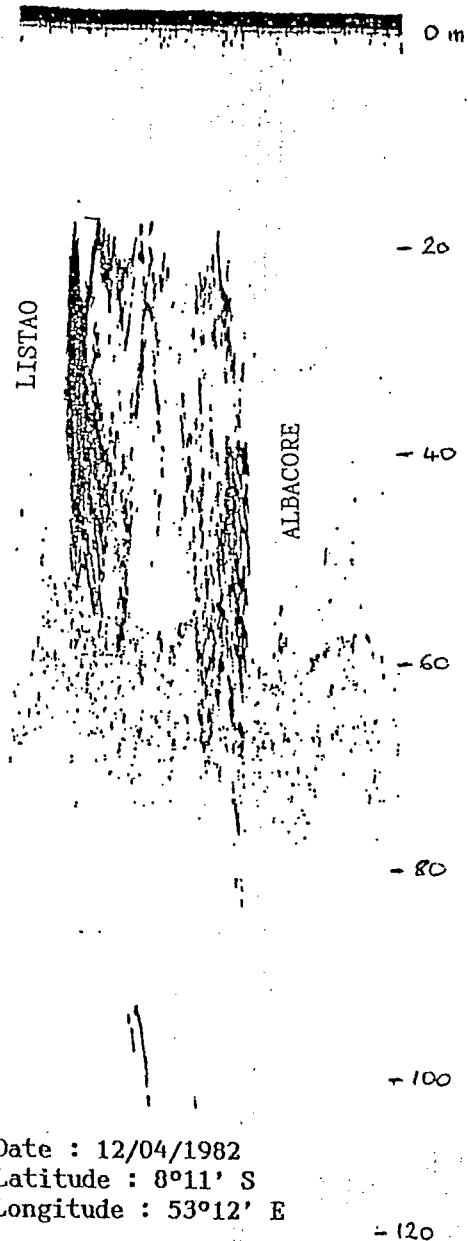
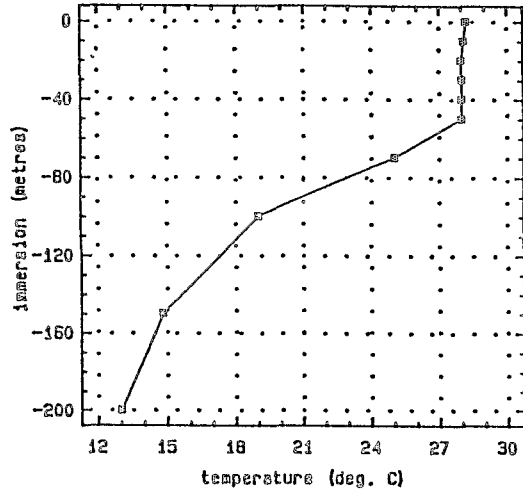


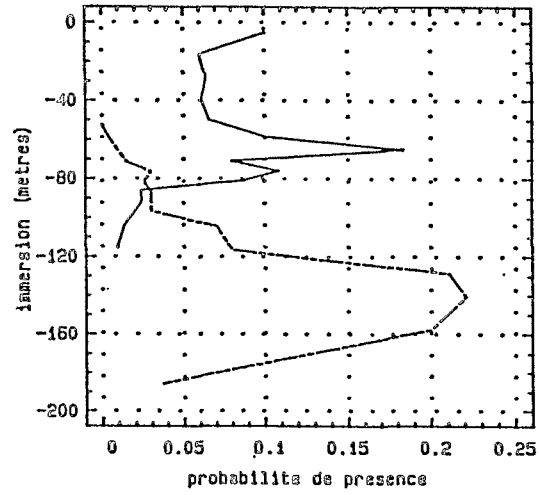
Fig. 11. - Comparaison des modèles de répartition de l'albacore et du listao avec les traces d'échosondage



Profil vertical de temperature
15/06/1984 # 4 15 S - 64 48 E



Distributions de l'albacore et du patudo
15/06/1984 # 4 15 S + 64 48 E



Profil vertical d'oxygene dissous
(2S - 4S / 65E # juin)

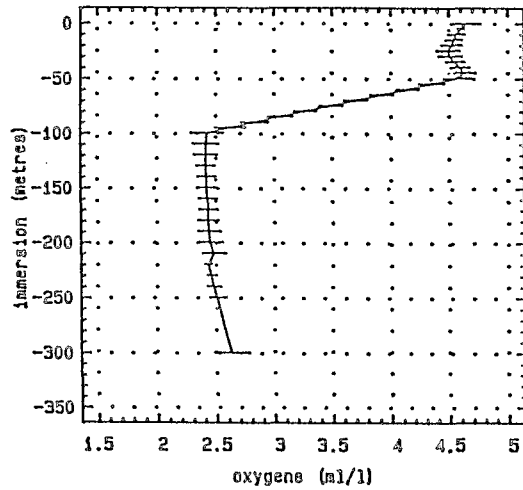


Fig. 12. - Comparaison des modes de répartition de l'albacore et du patudo avec les traces d'échosondage

