

# Contribution des DCP fixes et dérivants à l'accroissement de la puissance de pêche des thoniers

## I - Superficies de prospection et détection de surface par optique et radar

Jean-Yves Le Gall

École nationale supérieure agronomique de Rennes, département halieutique,  
65 rue de Saint-Brieuc, 35042 Rennes Cedex, France - legall@agrorennes.educagri.fr

### Abstract

Tuna world fisheries yield 3 million tons per year; the increase rate of whole production is constant and sustained since 30 years. This original figure for marine fisheries is due to enlargement of tuna fleets and fishing grounds over all the world ocean, the continuous increase of tuna fishing power by in board equipment and remote sensing equipment for searching and scouting (on board, aircraft, satellite, telecommunication...). During the last 20 years, the log-associated tuna fishing has contributed to the local individual and tuna fleets efficiency and fishing power either for large industrial tuna seiners by radio-equipped buoys on natural (debris) or artificial man-made logs. The same trend is noted for numerous artisanal tuna and large pelagic coastal fisheries on moored fishing aggregating devices and networks. The first part of the paper is a review of data and results to assess and rank the "Surfaces prospected by in board tuna seiners and associated aircraft and satellite technics" (visual, radar, SAR-radar and satellite altimetry sensors). The final objective is the comparison with the surfaces and volumes associated to FADs. Since 20 years, tuna ecology and behaviour data from ultrasonic tagging (short-term depth/distance/time migration around logs and FADs) are used for fishing of tuna associated with floating objects, namely FADs.

### Introduction

L'estimation des efforts de pêche déployés par les unités et les flottilles thonières nécessite une réévaluation permanente de la puissance de pêche individuelle des thoniers. Celle-ci s'accroît régulièrement par la modification des navires, des engins et des techniques de pêche, des outils et des méthodes de détection. Les DCP mis en œuvre individuellement (épaves dérivantes naturelles ou artificielles) ou collectivement (réseau de DCP ancrés) constituent un élément essentiel de l'évolution de la puissance de pêche. Cette innovation peut être reliée à la détection de

surface et à la stratégie de recherche avant la phase de capture proprement dite et constitue une aide à la capture. Nous tentons ici d'évaluer la surface totale de déploiement d'une ressource, les échelles de temps et d'espace dans la stratégie de la pêche thonière, la surface prospectée et exploitée par le senneur seul ou en flottille par les techniques usuelles de prospection, repérage et détection en surface. L'objectif, dans un deuxième temps, est de placer les DCP dans l'ensemble des techniques ayant contribué à l'augmentation de la puissance de pêche en estimant la surface d'influence, le volume d'attraction-rétention d'un objet flottant de type DCP et en les comparant aux surfaces prospectées par les thoniers.

### **Éléments d'accroissement de la puissance de pêche des thoniers**

---

L'analyse de l'évaluation des puissances de pêche individuelle des navires thoniers industriels, suivant les travaux fondateurs de Robson (1966) réexaminés par Laurec (1977) notamment, a été revue par Fonteneau & Malomar, 1986; Gascuel *et al.*, 1993; Gascuel, 1995; Delgado de Molina *et al.*, 1998; Gaertner & Sacchi, 1999, pour les flottilles thonières industrielles européennes exploitant les ressources thonières tropicales.

L'accroissement de l'efficacité des thoniers senneurs dans l'Atlantique tropical est de l'ordre de 10 % par an selon Pallarés *et al.* (1998) et semble dû à une dizaine de facteurs (tab. 1) :

1. la conception du thonier, la vitesse en transit et en phase de recherche;
2. la modification de la senne (dimensions, profondeur de calée);
3. l'évolution des appareils (anneaux, gréements, treuils, power-blocks);
4. l'utilisation de radars-oiseaux;
5. l'utilisation de capteurs de thermocline et de courant;
6. l'utilisation de sonar couleurs et du sondeur multifaisceau;
7. l'exploitation d'imagerie satellitale en temps réel (température, altimétrie, vorticité);
8. l'utilisation des bouées instrumentées : radio-goniomètre, HF, Argos, GPS;
9. la réduction du nombre de thoniers qui accentue la stratégie de groupe et la pêche en flottille;
10. la pêche dirigée sous objets flottants naturels ou sous DCP.

L'accroissement de la puissance de pêche est partiellement dû au développement de la pêche sur débris, objets flottants naturels ou épaves artificielles (DCP) instrumentés ou non. Les DCP contribuent à une augmentation de la puissance globale par une amélioration de la capacité à trouver le poisson accessible dans la zone prospectée et un accroissement de la puissance locale par la capacité à capturer le poisson accessible en le rendant plus vulnérable (tab. 2).

Tableau 1 - Éléments d'accroissement de la puissance de pêche d'un thonier.

Équipage	Équipement/bord		Appareils de pêche	Détection/Approche
	Navire	Passerelle		
• Expérience	• Conception	• Optique	• Conception senne	• DCP
• Connaissance de la zone	• Vitesse	• Radar, sonar	• Vitesse de chute	• Radar
• Surface prospectée	• Treuil de pont	• Imagerie/mer	• Manœuvre	• Bouées
• Pêche en flottille	• Power-block	• Mesure de courant	• Anneaux ouvrants	• HF gonio
	• Stockage	• Profondeur de thermocline	• Capteur géométrie	• GPS
				• Balises Argos

Tableau 2 - Échelles de temps et d'espace dans la stratégie de la pêche thonière à la senne.

Stratégie pêche thonière	Unité surface/temps
Zone de pêche	x $5.10^6$ km <sup>2</sup> /mois
Prospection	x $10^3$ km <sup>2</sup> /mois
Repérage	x $10^2$ km <sup>2</sup> /jour
Détection	x $10^2$ km <sup>2</sup> /heure
Effet DCP	
Attraction	x $10^2$ km <sup>2</sup> /10 jours
Concentration	x $10$ km <sup>2</sup> /jour
Fixation	x $1$ km <sup>2</sup> /jour
Rétention	x $0,1$ km <sup>2</sup> /heure

### Superficies de prospection, de repérage et de détection en surface

La superficie de l'océan mondial est estimée à 314 millions de kilomètres carrés. Les surfaces des océans exploitées par les flottilles thonières industrielles (surface et palangre) ont été calculées par Fonteneau & Marcille, 1988 (tab. 3). Les surfaces prospectées par les thoniers dépendent de l'outil d'observation ou de détection (figure). On abordera en séquence les estimations :

- à bord d'un thonier senneur à l'aide de jumelles et de radars, y compris les radars-oiseaux ;
- à l'aide d'un hélicoptère embarqué sur le senneur ;
- à bord d'un avion par l'observation visuelle ;
- à bord d'un avion par le radar classique et le radar à ouverture synthétique (SAR) utilisé à titre expérimental ;
- à l'aide des données d'un radar altimétrique sur satellite de type ERS/Topex Poséidon.

Les sondeurs et sonars, qui ne relèvent pas de la prospection de surface proprement dite et servent essentiellement au moment du lancer de la senne, ne sont pas traités ici.

Tableau 3 - Superficies de l'océan mondial exploitées par les grandes pêcheries thonières industrielles (d'après Fonteneau &amp; Marcille, 1988).

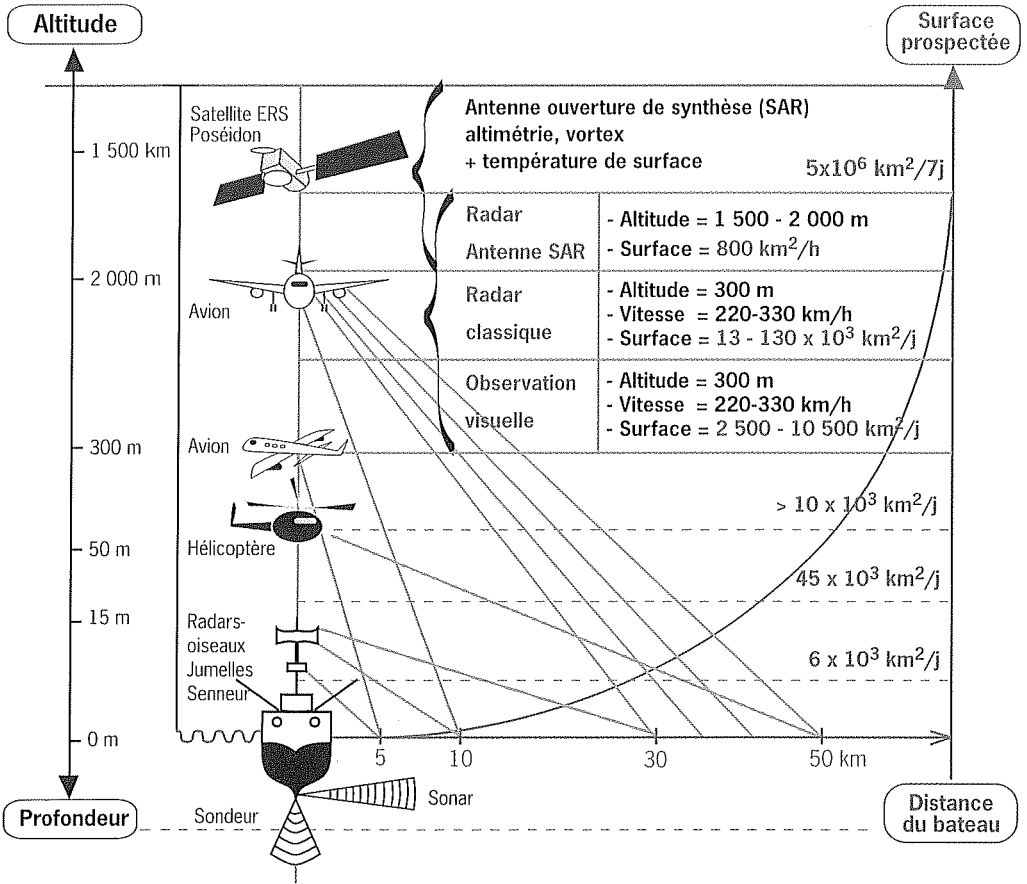
Pêcheries de surface (canniers et senneurs) (1989-1993)			
Océan	Surface 10 <sup>6</sup> milles nautiques <sup>2</sup>	Surface 10 <sup>6</sup> km <sup>2</sup>	Captures annuelles (t) albacore et listao
Indien	3,2	11	290 000
Atlantique	5,7	19,5	320 000
Pacifique Est	6,6	22,6	330 000
Pacifique Ouest	11,3	38,7	1 000 000
Captures supérieures à 5 000 t/carré de 5° x 5° en moyenne			
Pêcheries de palangre (1989-1993)			
	10 <sup>6</sup> milles nautiques <sup>2</sup>	10 <sup>6</sup> km <sup>2</sup>	
Indien	15,8	54,2	151 000
Atlantique	19,3	66,2	132 000
Pacifique Est	10,6	36,3	
Pacifique Ouest	16,3	55,9	

Les estimations préliminaires de surface prospectée par les différentes techniques sont fondées sur le simple produit de la largeur de la bande prospectée par la vitesse du vecteur porteur (du navire au satellite). En fait, ces estimations par échantillonnage sur parcours linéaires doivent être revues et réduites pour tenir compte du fait que, plus les bancs sont éloignés du parcours (trace au sol), plus la probabilité de les apercevoir est faible (Seber, 1973). On peut estimer la fonction de probabilité la mieux ajustée à la distribution des observations en fonction de la distance perpendiculaire au transect. Cette fonction de détection décroissante a été appliquée au comptage des mammifères marins (Buckland *et al.*, 1993) et calculée par Marsac (1992a, b) pour la mesure des surfaces effectives balayées par les radars-oiseaux et les observateurs embarqués à bord de l'avion. Cette fonction de détection-comptage n'est pas disponible pour les radars altimétriques qui demeurent encore du domaine expérimental et prospectif pour l'aide opérationnelle à la pêche.

#### Détection visuelle optique et radar à bord d'un senneur

Bard *et al.* (1985) répartissent le temps d'une marée d'un thonier senneur dans l'Atlantique tropical à 88 % en temps de recherche-prospection et 12 % en temps de pêche ; ils évaluent la surface prospectée par un senneur à 720 milles<sup>2</sup>/jour, soit environ 2 500 kilomètres carrés. Pour cette estimation, la distance de détection moyenne (jumelles) est de l'ordre de 8 milles (12,5 km). Selon Stequert & Marsac (1986, 1992), la vitesse moyenne d'un thonier senneur en phase de recherche est de 12 nœuds (=0,2 mille/min = 22,2 km/h) pour la période 1980-1990. Actuellement, elle peut atteindre 20 nœuds.

Suzuki (1992) considère que la distance perpendiculaire de détection visuelle par les thoniers senneurs japonais des objets naturels dérivants non instrumentés susceptibles de concentrer les thons est de 36 à 49 m pour l'application de la méthode des transects linéaires de Seber (*op. cit.*) à l'estimation de la densité d'objets flottants dans le Pacifique Nord et Ouest.



Les superficies prospectées par les différentes techniques de prospection de surface et d'aide à la détection thonière : jumelles optiques, radars-oiseaux, hélicoptère, avion (visuel et radar embarqué classique + radar SAR), satellite (radar SAR et capteurs d'altimétrie).

Marsac (1992b) a évalué, dans l'océan Indien, l'impact de l'utilisation des radars-oiseaux capables de détecter à plus de 20 milles (37 km) des groupes d'oiseaux volant à 10 m au-dessus d'une matre de thons et estimé que 70 % des captures avant l'utilisation intensive des DCP instrumentés (1990) étaient réalisés sur des bancs survolés d'oiseaux. Marsac (*op. cit.*) a calculé les superficies prospectées par un thonier senseur selon les hypothèses suivantes : 12 h d'observation par jour, 2 observateurs permanents avec jumelles à 15 m au-dessus du pont, une vitesse de prospection de 12 nœuds (=22,2 km/h), une distance de détection aux jumelles (de jour) de 6 milles (= 11 km), comparable à l'estimation de 5 milles par Greenblatt (1976). La surface instantanée de détection usuelle est de 36 milles carrés, de l'ordre de 130 kilomètres carrés. L'introduction et l'exploitation systématique de radars-oiseaux, depuis 1985, dans la flottille française s'est accompagnée d'une augmentation de puissance et de portée de ces radars (Marsac, 1992b) (tab. 4). À partir de ces superficies instantanées, des vitesses de prospection (12 nœuds), Marsac (*op. cit.*) a calculé les superficies prospectées en fonction du nombre d'heures

de recherche, soit un maximum de 6 000 km<sup>2</sup>/jour aux jumelles optiques et 45 500 km<sup>2</sup>/jour au radar-oiseaux (tab. 5). Sur la base de la surface balayée et prospectée, le rapport d'efficacité radar/jumelles moyen pour la marée est de 6 à 7. Mais, les gains d'efficacité de la détection radar peuvent être d'un facteur 10 dans certaines conditions de faible densité et de dispersion des bancs.

Les radars-oiseaux sont efficaces pour localiser une concentration. Ensuite, la détection des bancs se fait à l'aide de jumelles et les radars-oiseaux ne servent que pour écarter les indices peu fiables. Gaertner *et al.* (1999) ont montré, sur la flottille des thoniers du Vénézuéla, que le radar-oiseaux est utilisé pour détecter les concentrations et écarter les événements douteux, peu favorables à la présence des thons.

Tableau 4 - Puissances, distances de détection et surfaces prospectées par les radars-oiseaux à bord des thoniers senneurs français dans l'océan Indien (d'après Marsac, 1992b).

Année	Puissance		Portée		Surface instantanée balayée, prospectée	
	KW	mille	km	mille <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	
1987	10					
1989	30	15	27,8			
1991	60	20-25	31-46	628	2 150	

Tableau 5 - Superficies prospectées par les thoniers senneurs à l'aide de jumelles et de radars-oiseaux (d'après Marsac, 1992b).

Temps de recherche heure/jour	Distance parcourue		Surface balayée	
	mille	km	jumelles km <sup>2</sup>	radar km <sup>2</sup>
2,5	30	55	1 313	9 762
4	50	92	2 191	16 271
6	70	130	3 067	22 779
maximum 12	140	267	6 000	45 500

#### Hélicoptère embarqué sur senneur (1982-1984)

Bard *et al.* (1985) estimaient que, dans l'océan Atlantique, l'hélicoptère embarqué accroissait de 15 % la surface prospectée par un senneur sur une base journalière. Durant cette courte période (1982-1984), dans l'océan Indien, selon Stéquert & Marsac (1992), l'hélicoptère embarqué (de type Alouette II) effectuait 2 à 3 vols d'une heure par jour ; le rayon d'action (R) de l'hélicoptère était de l'ordre de 20 à 30 milles, soit respectivement de 37 et 55,5 km autour du thonier senneur porte-hélicoptère. On peut estimer que la surface prospectée théorique maximale était comprise entre l'hypothèse basse : 2 sorties d'un rayon d'action de 37 km, soit 8 600 km<sup>2</sup>/jour et l'hypothèse haute : 3 sorties d'un rayon d'action de 55,5 km, soit 29 000 km<sup>2</sup>/jour. Dans les derniers temps, il n'était utilisé que pour s'assurer que l'indice visuel détecté était bien associé à un banc. Les coûts d'exploitation des hélicoptères ont conduit à l'abandon de cette technique, dès 1985.

### Détection par avion

Observation visuelle à bord d'un avion et estimation des biomasses pêchables. L'avion de prospection est équipé d'un radiomètre infrarouge pour la localisation des fronts thermiques. En plus d'un pilote expérimenté, il embarque un observateur spécialisé, doté de lunettes polarisantes. L'avion se déplace, en phase de recherche et prospection, à une vitesse de 120 à 180 nœuds (220-330 km/h) à une altitude de 150 à 300 mètres. En recherche sur radiales et transects linéaires, le pas d'échantillonnage est de 10 milles (18,5 km). La largeur de bande prospectée utile sous l'avion varie selon les conditions de vol entre 2 et 4 kilomètres. Pour-suivant les prospections communes menées dans le Pacifique Sud-Ouest (Petit & Marsac, 1981), Marsac (1992a), pour l'ensemble des campagnes de prospection aérienne dans l'océan Indien (1981-1982), estime que 90 % des observations sont réalisées dans une bande unilatérale de 2 milles (= 3,7 km). La durée de vol utile est de 6 à 8 h/jour. Sous ces deux hypothèses de vitesse (haute : 330 km/h, 4 km, 8 h et basse : 220 km/h, 2 km, 6 h), les estimations de surface prospectée varient entre 2 640 et 10 560 km<sup>2</sup>/jour.

À titre d'illustration, autour de la Nouvelle-Calédonie et du Vanuatu (Pacifique Sud-Ouest), la surface prospectée de 1979 à 1984 par des observateurs expérimentés, en couplant et rapprochant les observations visuelles aéroportées et les rendements d'une flottille de senneurs, couvrait 762 500 km<sup>2</sup> (Petit & Wadsworth, 1991). La densité de biomasse exploitable de thons était évaluée à 0,12 t/km<sup>2</sup> pour des pêcheries de surface (senne), en zone favorable à la concentration d'albacores et de listaos. Sur la base d'opérations de pêche, Hilborn & Medley (1989) estimaient la biomasse vierge d'exploitation dans l'océan Pacifique Ouest à 0,25 t/km<sup>2</sup> pour l'ensemble albacore (YFT) et listao (SKJ). Cette évaluation n'a pas été immédiatement suivie d'opérations commerciales.

Le simple rapport des productions sur les surfaces à l'échelle de l'océan mondial conduit à une valeur moyenne de 0,02 t/km<sup>2</sup> pour les pêcheries de surface et de 0,002 t/km<sup>2</sup> pour les pêcheries palangrières (tab. 3).

Cette forme de prospection thonière aérienne est abandonnée par les thoniers senneurs industriels tropicaux français mais, néanmoins, conservée par les thoniers senneurs méditerranéens dans le golfe du Lion.

### Utilisation potentielle du radar embarqué sur un avion

Deux programmes de recherche et d'expérimentation permettent d'essayer les utilisations potentielles de cette technique.

- Détection par radar classique à antenne réelle physique (Petit & Wadsworth, 1991)

La largeur de la bande utile courante est de 10 à 15 km sous l'avion selon la visibilité (nébulosité) et l'état de la mer (retour de mer), pour les mêmes vitesses et temps de vols que précédemment. On peut donc évaluer la surface théorique prospectée entre deux valeurs : une valeur basse réaliste de 13 200 km<sup>2</sup> (220 km/h x 6 h x 10 km) et, très hypothétique, sauf complète automatisation, une valeur maximale de 132 000 km<sup>2</sup> (330 km/h x 8 h x 15 km), soit un rapport de 1 (pratique) à 10 (théorique).

• Détection par radar SAR, antenne à ouverture synthétique  
Suivant les résultats originaux de l'expérience Harem (Petit *et al.*, 1990), la simulation en condition réelle de vol des performances et potentialités d'un radar SAR embarqué sur satellite (ERS1), la détection des bancs de thons en surface, l'identification des opérations de sennes et du sillage des bateaux et l'évaluation de la taille des bancs sont effectives, indépendamment par définition de la climatologie, dans les conditions suivantes :

- altitude du vecteur-avion : 1 500 à 2 000 m ;
- résolution géométrique de l'ordre d'un mètre ;
- largeur de la bande (fauchée) : 4 km ;
- distance de détection : 20 km et plus ;
- surface couverte : 800 km<sup>2</sup>/h.

La combinaison de ces paramètres permet une exploitation potentielle (après automatisation du process de traitement des données) de 9 600 km<sup>2</sup>/12 h soit 19 200 km<sup>2</sup>/24 h en continu automatisé. Pratiquement, il faut envisager une durée de vol orbital utile pour une flottille de senneurs à 3 à 6 h/jour au mieux, soit 2 400 à 4 800 km<sup>2</sup>/jour.

#### **Altimétrie par satellite**

En 1999, pour la flottille thonière industrielle européenne opérant dans l'océan Indien, la synthèse des données altimétriques ERS2/Topex Poséidon est faite sur une base de 7 jours sur l'ensemble de l'océan. La zone de synthèse couvrant l'expansion possible de la flottille thonière industrielle, soit la zone centrée sur les Chagos, de 1 000 milles de latitude et de 1 500 milles de longitude, représente une superficie de l'ordre de 5 millions de kilomètres carrés. L'information synthétique finale altimétrique (cartographie des champs de pente et des zones de vortacité) est actuellement élaborée et transmise à bord des thoniers senneurs français par le service d'assistance technique des armements et contribue à la stratégie, en termes de probabilité, de mettre en pêche rapidement ou de nécessité de changer de zone (tab. 2).

#### **Conclusion et perspectives**

---

Ces estimations de surface prospectées pour les pêcheries thonières industrielles océaniques sont préliminaires et elles devront être réexaminées pour tenir compte de l'évolution des techniques et du traitement des données collectées (tab. 6). Elles permettent néanmoins de disposer d'un classement des surfaces prospectées, par et pour un thonier senneur, soit de l'ordre de 2 500 à 6 000 km<sup>2</sup>/jour aux jumelles et de 45 500 km<sup>2</sup>/jour au radar-oiseaux jusque, potentiellement, 100 000 km<sup>2</sup>/jour par radar aéroporté. On tentera de placer ces superficies couvertes en perspective des surfaces et volumes d'attraction des DCP (voir la 2<sup>e</sup> partie).



Tableau 6 - Résumé des estimations des superficies couvertes par les différents techniques de prospection thonière pour la détection, prospection et repérage des concentrations de thons en surface.

Engins/Techniques	Superficies	Source/Auteurs
Senneurs/jumelles	2 500 km <sup>2</sup> /jour (= 12 h)	Bard <i>et al.</i> , 1985
Senneurs/jumelles	6 000 km <sup>2</sup> /jour	Marsac, 1992a, b
Senneurs/radar-oiseaux	45 500 km <sup>2</sup> /jour	Marsac, 1992a, b
Hélicoptère/senneur	2 500*15 % = 3 750 km <sup>2</sup> /jour	Bard <i>et al.</i> , 1985
Hélicoptère/senneur	8 600-29 200 km <sup>2</sup> /jour	<sup>(1)</sup> d'après données de Stéguert & Marsac (1986, 1992)
Avion/détection visuelle	2 640-10 560 km <sup>2</sup> /jour	<sup>(1)</sup> d'après Petit & Marsac, 1981 et Stéguert & Marsac (1986, 1992)
Avion radar classique	13 200 km <sup>2</sup> /jour 132 000 km <sup>2</sup> /jour (maximum théorique)	<sup>(1)</sup> d'après les données Petit <i>et al.</i> , 1991
Avion radar SAR	2 400-4 800 km <sup>2</sup> /jour	<sup>(1)</sup> d'après les données Petit <i>et al.</i> , 1990
Satellite altimétrique	5.10 <sup>6</sup> km <sup>2</sup> /7 jours	Comm. pers. Bodilis, Armement CMB synthèse hebdomadaire des pentes et zone de vorticitée pour la flottille

Citation ou <sup>(1)</sup> calcul et estimations d'après les données des auteurs cités.

### Références bibliographiques

- Bard F.-X., Stretta J.-M., Slepoukha M., 1985. Les épaves artificielles comme auxiliaires de la pêche thonière en océan Atlantique. Quel avenir? *Pêche Marit.*, 64(1291), 655-659.
- Buckland S.T., Anderson D.R., Burnham J.L., 1993. Distance sampling: estimating abundance of biological populations. Chapman & Hall (eds), New York and London, 446 p.
- Delgado de Molina A., Santana J.C., Ariz Telleria J., 1998. La pesca con « manchas » en las islas Canarias. A portación al conocimiento de este tipo de pesca. Symposium ICCAT sur les thonidés, Açores, juin 1996. *Recl. Doc. Sci. ICCAT*, 50(1), 637-638 (résumé).
- Fonteneau A., Marcille J., 1988. Ressources, pêche et biologie des thonidés tropicaux de l'Atlantique Centre-Est. *FAO Doc. Tech. Pêches*, 292, 391 p.
- Fonteneau A., Malomar J.M., 1986. Puissance de pêche des thoniers senneurs français, ivoiriens, sénégalais et espagnols. *Comptes rendus de la conférence ICCAT sur le programme de l'année internationale du listao*, 145-150.
- Gartner D., Sacchi J., 1999. Observations sur l'évolution de la dimension des sennes utilisées par la flottille française de senneurs tropicaux opérant dans l'océan Atlantique. *ICCAT/SCRS*, 99/81, 11 p., 8 fig.
- Gartner D., Paganino M., Marcano J., 1999. Influence of fisher's behaviour on the catchability of surface schools in the Venezuelan purse seiner fishery in the Caribbean Sea. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 56, 394-406.

- Gascuel D., 1995. Efforts et puissances de pêche : redéfinition des concepts et exemple d'application. *In*: Les recherches françaises en évaluation quantitative et modélisation des ressources et des systèmes halieutiques. Gascuel D., Durand J.-L. & Fonteneau A. (eds). Actes du premier forum halieumétrique de Rennes, 159-181.
- Gascuel D., Fonteneau A., Foucher E., 1993. Analyse de l'évaluation des puissances de pêche par l'analyse des cohortes : application aux senneurs exploitant l'albacore (*Thunnus albacares*) dans l'Atlantique Est. *Aquat. Living Resour.*, 6, 15-30.
- Greenblatt P.R., 1976. Factors affecting tuna purse seine fishing effort. *Recl. Doc. Sci. ICCAT/SCRS*, 76/75, 18-30.
- Hilborn R., Medley P., 1989. Tuna purse seine fishing with Fish Aggregating Devices (FADs) models of tuna FADs interactions. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 46, 28-32.
- Laurec A., 1977. Analyse et estimation des puissances de pêche. *J. Cons. Int. Explor. Mer*, 37, 173-185.
- Marsac F., 1992a. Étude des relations entre l'hydroclimat et la pêche des thonidés hauturière tropicale dans l'océan Indien occidental. Thèse de doctorat, université de Bretagne occidentale, Brest, 350 p.
- Marsac F., 1992b. Les radars à oiseaux : quelques effets en attendre sur l'amélioration des rendements des thoniers ? XII<sup>e</sup> semaine des pêches des Açores, mars 1992, 9 p., 2 tab., 8 fig.
- Pallarés P., Fonteneau A., Nordstrom V., Delgado de Molina A., Santana J.C., Ariz Telleria J., 1998. Analisis de las capturas de atunes, asociadas a objectas flotantes, efectuadas por las flotas de cerco en el oceano Atlántico. Symposium ICCAT sur les thonidés, Açores, juin 1996. *Recl. Doc. Sci. ICCAT*, 50(2), 449-474.
- Petit M., Marsac F., 1981. Pêche et télédétection : présentation des opérations de radiométrie aérienne et prospection thonière dans le Pacifique tropical Sud. *Pêche Marit.*, 1245, 735-739.
- Petit M., Wadsworth A., 1991. La composante télédétection dans le développement de l'océanographie opérationnelle des pêches. *Bull. Inst. Océanogr., Monaco*, n° spécial, 6 : Halieutique, océanographie et télédétection, 27-57.
- Petit M., Stretta J.-M., Farrugio H., Wadsworth A., 1990. Harem, Halieutique et radar, expérimentation en Méditerranée. Potentialités du radar SAR en halieutique. Application à la pêche thonière de surface et à la pêche artisanale. Étud. Thèses Inst. Fr. Rech. Sci. Dév. Coop., 118 p.
- Robson D.S., 1966. Estimation of the relative fishing power of individual ships. *ICNAF Res. Bull.*, 3, 5-15.
- Seber G.A.F., 1973. The estimation of animal abundance. *Hafner publ.*, New York, 506 p.

- Stéquert B., Marsac F., 1986. La pêche de surface des thonidés tropicaux dans l'océan Indien. FAO Doc. Tech. Pêches, 282, 213 p.
- Stéquert B., Marsac F., 1992. Pêche thonière à la senne (2<sup>e</sup> édition). Évolution de la technique et bilan de dix années d'exploitation dans l'océan Indien. Éd. Orstom, Sér. Didact., 39 p.
- Suzuki Z., 1992. General description on tuna biology related to fishing activities on floating objects by Japanese purse seine boats in the Western and Central Pacific. *In*: Proceedings of the international workshop on the ecology and fisheries for tunas associated with floating objects. Scott M.D., Bayliff W.H., Lennert-Cody C.E. & Schaefer K.M. (comp.). Spec. Rep. I-ATTC, 11, 9 p., 9 fig., 6 tab. Backgr. Pap.

# Contribution des DCP fixes et dérivants à l'accroissement de la puissance de pêche des thoniers

## II - Estimation des volumes d'attraction et rétention des DCP

---

Jean-Yves Le Gall

École nationale supérieure agronomique de Rennes, département halieutique,  
65 rue de Saint-Brieuc, 35042 Rennes Cedex, France - legall@agrorennes.educagri.fr

### Abstract

---

The second part of this paper is an "Assessment of FAD's aggregating associated surface and volume" linked with oceanographic data: large oceanic geostrophic current and observed drift speed of radio-equipped FADs in the Indian Ocean.

Using the available data on FADs, tuna fishing technology linked with oceanographic and biological data results from ultrasonic tuna tracking experiments, the paper is an attempt to identify and place the FADs technology in the scale of tuna fishing devices as a contribution to the increase of tuna fishing power either individual tuna boat or tuna fleets.

### Introduction

---

L'utilisation des dispositifs de concentration de poissons (DCP) fixes ou dérivants dans les pêcheries thonières artisanales côtières et industrielles océaniques a considérablement augmenté la puissance de pêche individuelle des thoniers, depuis 1985 environ, pour les flottes européennes. Les DCP peuvent être mis en œuvre individuellement (épaves dérivantes naturelles ou artificielles) ou collectivement (réseau de DCP ancrés) et constituent un élément essentiel de l'évolution de la puissance de pêche. Les DCP contribuent à une augmentation de la puissance globale du sennear ou de la flottille par une amélioration de la capacité à trouver le poisson accessible dans la zone prospectée. Les DCP augmentent la puissance de pêche locale du thonier par la concentration du poisson et l'augmentation de sa vulnérabilité aux techniques spécifiques. L'estimation du volume d'influence ou d'attraction d'un DCP sur les thons nécessite de bien connaître, par la télémétrie acoustique, les mouvements des thons autour d'un objet attractant et les vitesses de dérive de cet objet dans la masse d'eau ambiante ou de dérive de la masse d'eau ambiante autour du DCP fixe. À partir du rapprochement de ces données biologiques et environnementales, il est possible d'analyser et d'interpréter les situations en termes de distance entre objets attractants fixes ou dérivants, de recrutement, de concentration et accumulation de biomasse et de succès des pêches successives.

## Migrations et mouvements des thons : amplitude, fixation, rétention, fidélité, attachement

---

### Amplitude et échelles de distance des migrations, déplacements et mouvements

Le bilan sur la dynamique des mouvements de thons permet de distinguer les migrations de longue distance à l'échelle transocéanique, telle celle record de l'albacore (*Thunnus albacares*) de 2 765 milles en 138 jours de liberté, des mouvements de courte distance dans un temps bref, particulièrement autour des objets flottants naturels ou artificiels, ancrés ou dérivants (Hunter *et al.*, 1986; Bayliff, 1993a, b). Ces mouvements ont été essentiellement étudiés par le marquage ultrasonique suivant l'expérience fondatrice de Yuen (1970) sur le listao, suivi de marquages ultrasoniques de Laurs *et al.* (1977) sur le germon en Californie, Carey & Lawson (1973) sur le thon rouge, Levenez (1982) sur l'albacore au-dessus d'un mont sous-marin en Afrique de l'Ouest (Sénégal), Carey & Olson (1982) sur 5 thons albacores, Yonemari (1982) sur 2 albacores, Holland *et al.* (1990) et Cayré & Chabanne (1986) sur l'albacore et le listao en Polynésie, Holland *et al.* (1990) sur l'albacore à Hawaï, Cayré (1991) aux Comores en relation avec le réseau de DCP. Bard *et al.* (1998) ont établi un inventaire des expériences de marquage acoustique ultrasonique ayant fait l'objet de publication de résultats entre 1970 et 1997. Brill *et al.* (1996), Klimley & Holloway (1999) ont élargi l'expérience en temps et en espace par le marquage de 38 albacores à l'aide de marques ultrasonores dans un réseau de DCP ancrés équipés de récepteurs-détecteurs à Hawaï. Le marquage ultrasonore acoustique permet de décrire, comprendre et modéliser le comportement des thons autour d'un DCP, ou dans un réseau de DCP, en prenant en compte les paramètres de l'environnement (gradients de température et d'oxygène). Dans cette voie, Josse *et al.* (1998) ont particulièrement analysé les mouvements verticaux d'albacores marqués, en relation avec la migration des proies en Polynésie (Pacifique). Cette modélisation du comportement de déplacement de l'albacore et du listao autour d'un DCP sous contraintes environnementales a été réalisée par Cayré & Marsac (1993) et modélisée par Marsac & Cayré (1998).

### Distance, surface et volume de la sphère d'attraction et de rétention des objets flottants et DCP

Durant les premiers jours après le marquage, le comportement de quelques individus ne représente pas de façon certaine celui de l'ensemble du banc d'origine et l'extrapolation au banc peut être hasardeuse. Cette extrapolation autour des DCP (fixes et dérivants) doit être décrite en prenant en compte les trois caractéristiques de l'association thon-DCP : distance d'attraction d'un DCP, surface et volume de prospection d'un thon au voisinage d'un DCP et durée de la période d'attachement en fidélité à l'objet flottant identifié.

## Distribution et répartition en surface et en profondeur

## • Répartition en surface (tab. 1)

Selon les résultats de Hampton & Bailey (1999), fondés sur un marquage de 3 albacores (YFT) autour d'un DCP ancré, la projection en surface du volume d'attachement s'inscrit dans une ellipse de 24 milles (43 km) de grand axe et de 12 milles (23 km) de petit axe dans une veine de courant ambiant d'une vitesse de 0,7 à 1,6 nœud (1,4 km/h; 0,38 m.s<sup>-1</sup>). Dans un réseau de DCP ancrés à Hawaï, Holland *et al.* (1990) ont démontré que l'orientation et la navigation d'albacores et de patudos autour d'un DCP sur un rayon moyen de 5,25 milles (9 à 10 km) se fondent sur la couche de gradient à une profondeur de 50 à 90 m durant le jour et de 190 à 250 m la nuit, en se calant sur l'isobathe des accores à 90 m à la côte.

Marsac & Cayré (1998) ont résumé, actualisé et modélisé les résultats de trente années de marquage acoustique sur l'albacore et le listao et défini les caractéristiques du volume d'attraction-rétention d'un DCP, en prenant en compte les caractéristiques de l'environnement : gradients de température et d'oxygène dissous. La distance moyenne d'écartement par rapport au DCP durant la journée est de 0,9 à 1,8 kilomètre. Elle est sensiblement supérieure durant la nuit, centrée sur 1,8 à 2,7 kilomètres. Le thon quitte le DCP de rattachement à la tombée de la nuit et effectue des déplacements pouvant atteindre 9 km pour se nourrir. Les distances d'écartement sont confinées à moins de 9,3 km avec des excursions à 13 km (Comores) et 11 km (Polynésie); en termes de fidélité et temps de résidence, 77 % du temps de résidence se situent dans un cercle de 1,8 à 2 km de rayon. Les thons albacore et patudo demeurent fortement liés et associés à un DCP à l'intérieur d'un cercle de 2 km de rayon durant le jour avec des excursions nocturnes dans un cercle ou une ellipse de 10 à 11 km de rayon, soit une aire de projection en surface de l'ordre de 300 kilomètres carrés. La distance maximale de rupture avec le DCP de rattachement ou de référence est de l'ordre de 9 km et la distance optimale entre deux DCP dans un réseau ne doit pas être inférieure à 18 km, pour éviter les concurrences et émigrations.

Tableau 1 - Estimations du rayon moyen d'attraction d'un DCP sur les thons albacore, patudo et listao.

Auteur(s)	mille	km
Cayré & Chabanne (1986)	6	11,1
Hilborn & Medley (1989)	4,3	7,9
Holland <i>et al.</i> (1990)	5	9,2
Cayré (1991)	7	3,7
Hampton & Bailey (1999)	1,6-2,7	3-5
Marsac & Cayré (1998)	5	9,2
Hilborn & Medley (1989)	5-6	10
Hampton & Bailey (1999)*	16-22	29-40

\* Marquage-recapture classique non ultrasonore sur épave (DCP dérivant).

Autour des DCP dérivants, la distance moyenne d'écartement est mal connue mais semble supérieure d'un facteur 4 à 5 selon l'intensité du courant, et aller jusqu'à 40 km dans l'axe du courant portant, selon les estimations de Hampton & Bailey (1999) faites à partir de marquages-recaptures classiques (non ultrasoniques) sur grosses épaves dérivantes. Suivant ces données, on peut construire pour les DCP dérivants une surface d'attraction en forme d'ellipse de 60 km de grand axe et de 20 km de petit axe, soit une superficie de 940 kilomètres carrés.

#### • Répartition en profondeur

L'interprétation des résultats de marquage ultrasonique et de télémétrie acoustique récents de Holland *et al.* (1990), Cayré & Marsac (1993), Josse *et al.* (1998) utilise les caractéristiques de l'environnement physicochimique (température, oxygène dissous) et biologique (quantité de nourriture et proies disponibles) pour décrire la répartition en profondeur des thons marqués. Marsac & Cayré (1998) ont affiné cette description en modélisant la distribution en profondeur et représenté la répartition d'une biomasse dans le volume de rétention d'un DCP par une projection sur un plan vertical. Il apparaît nettement que la distribution et le comportement de nage des thons intertropicaux (albacore, listao, patudo) sont fortement limités, en profondeur, par la répartition des gradients de température et de concentration en oxygène dissous, matérialisée par la profondeur et l'épaisseur de la thermocline. Des incursions assez longues, néanmoins, sous la thermocline sont décrites par Josse *et al.* (1998) en Polynésie (Pacifique) pour un patudo (BET) qui suit jusqu'à moins 350 m la migration en profondeur de la couche diffusante profonde (DSL) au lever du jour.

La modélisation environnementale de Marsac & Cayré (1998) sur l'océan Indien central montre que 95 % du temps de résidence est passé dans la couche superficielle épipelagique de mélange suprathermo-clinal au-dessus de 120-150 m dans l'océan intertropical, avec un maximum entre 50 et 100 m, selon les zones et les saisons. On retiendra, de façon schématique, comme plancher du volume d'attraction-rétention pour les trois espèces citées (albacore, patudo, listao), deux valeurs soit -100 m et -150 m (fig. 1).

**Fidélité, durée de l'attachement, temps de résidence, vitesse de déplacement**  
Sur de courtes périodes, de l'ordre de quelques jours, la télémétrie acoustique évalue à 77 % du temps la durée de résidence dans un cercle de rayon de 1,8 à 2 km autour des DCP ancrés en océan Indien selon Marsac & Cayré (1998). Les contributions récentes de Brill *et al.* (1996), Klimley & Holloway (1996, 1999) ont permis le repérage et le suivi acoustique durant 7 mois (à la date de la communication) de 27 individus des 38 albacores (YFT) portant des marques ultrasoniques dans un réseau de DCP ancrés, équipés de récepteurs-détecteurs. Ces auteurs démontrent la fidélité des thons au DCP sous lequel ils ont été marqués

avec des périodes d'absence de 1 à 18 jours et un nombre de retours détectés variant de 1 à 10 selon les individus et des visites à d'autres DCP à l'intérieur d'un cercle de 6 milles de rayon. On note un retour simultané (une minute de décalage) de deux thons marqués revenant ensemble au DCP d'origine après plusieurs mois (5 à 6) d'absence. Durant les absences, les visites aux autres DCP sont rares. La conclusion essentielle est la présence continue des albacores dans le réseau de DCP ancrés durant 6 à 7 mois minimum. Ces résultats démontrent une très forte sédentarité dans la zone, une fidélité à un repère et la permanence de l'association entre individus en bancs de faible effectif.

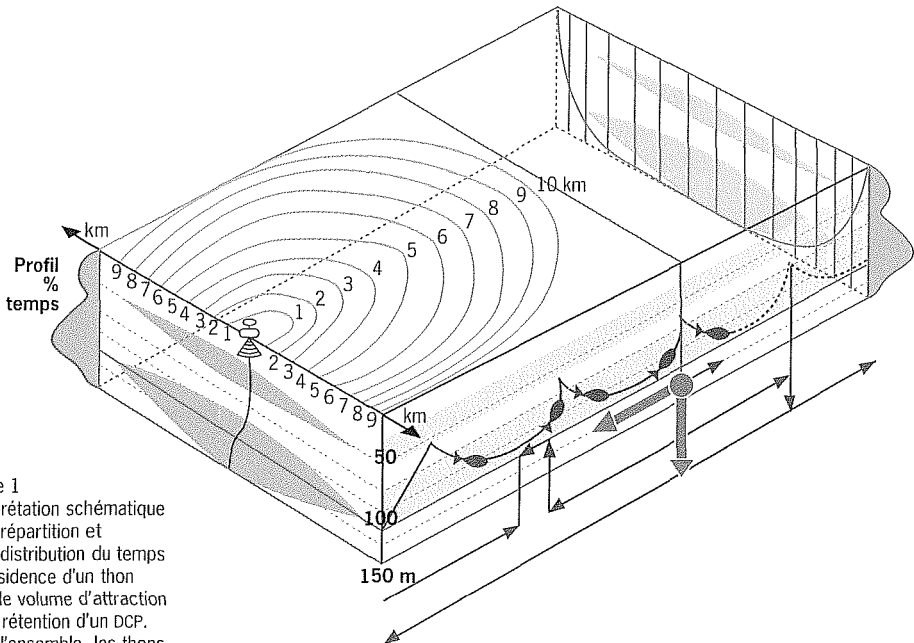


Figure 1  
Interprétation schématique de la répartition et de la distribution du temps de résidence d'un thon dans le volume d'attraction et de rétention d'un DCP. Dans l'ensemble, les thons marqués, confinés dans le compartiment suprathermoclineal de 100 à 150 m d'épaisseur, peuvent effectuer des plongées courtes au-dessous de la thermocline (ex : un thon obèse marqué par Josse *et al.*, 1998) et, éventuellement, quitter le volume d'attraction pour un autre objet (d'après les données de Holland *et al.*, 1990; Marsac & Cayré, 1998).

Pour des durées de suivi plus longues, les marquages classiques ont permis d'estimer, dans quelques rares expériences, les temps de résidence d'un thon marqué autour d'un objet flottant ou d'un DCP ancré, soit 11 à 14 jours pour l'albacore (YFT), 9 jours pour le listao (SKJ) (Hunter & Michell, 1968) par marquage-recapture classique et, de 10 jusqu'à 90 jours sous un même DCP dans l'océan Indien (Takahashi *et al.*, 1988). Ceci est à rapprocher d'un cas particulier de longue fidélité à un objet : le thonier canneur par rétention active décrit en Afrique de l'Ouest du Sénégal (Hallier & Delgado de Molina, 2000) aux Canaries (Pallarés *et al.*, 1998); dans ce cas, la rétention du banc exploité et renouvelé par une exploitation et un recrutement continu peut être maintenue durant des mois au profit de deux canneurs en alternance.



La télémétrie acoustique permet de disposer de mesures instantanées, ou d'estimation moyenne sur une distance courte, des vitesses de déplacement des thons marqués (généralement d'une taille inférieure à 1 m), dans un réseau ou à proximité d'un DCP ancré (tab. 2).

Tableau 2 - Estimation directe par télémétrie acoustique des vitesses de déplacement de thon albacore (YFT), thon obèse (BET) et listao (SKJ) au voisinage de DCP ancrés.

Auteur(s)	Espèce	Moyenne		Échelle de variations	
		km.h <sup>-1</sup>	m.s <sup>-1</sup>	km.h <sup>-1</sup>	m.s <sup>-1</sup>
Carey & Olson, 1982	YFT	4,27		2,4-7,8	0,67-2,17
Cayré & Chabanne, 1986	YFT				0,14-0,20
	SKJ		1,06		0,71-1,02
Holland <i>et al.</i> , 1990	YFT	4,46	1,24	3,2-6,5	0,89-1,81
	BET		1,15		
Cayré, 1991	SKJ				
	YFT			2,22-4,44	2,96-7,4
Cayré & Marsac, 1993	YFT	7,5			0,87-1,24
Klimley & Holloway, 1996, 1999	YFT				
	SKJ				
Brill <i>et al.</i> , 1996	YFT				
	SKJ				
Marsac & Cayré, 1998	YFT		1,20		0,9-1,4

Les données sur DCP dérivants sont rares et proviennent de marquages-recaptures classiques à proximité d'une grosse épave dérivante. Dans ce domaine, Takahashi *et al.* (*op. cit.*, 1988) ont calculé, pour des jeunes albacores et listaos de 50 cm dans l'océan Indien, des distances parcourues entre capture et recapture sous un même DCP de 30 à 144 milles en 2 à 10 jours, soit des vitesses apparentes de déplacement de 0,3 à 0,4 m.s<sup>-1</sup>, vitesses proches de celles des courants porteurs équatoriaux, comme celles citées par Léontiev (1992) pour la même zone.

En moyenne, les vitesses de déplacement de l'albacore autour ou entre DCP ancrés sont de l'ordre de 4 à 7,5 km/h, soit 1 à 1,25 m.s<sup>-1</sup> (deux fois la longueur du corps) pouvant aller jusqu'à 2,57 m.s<sup>-1</sup> en phase de recherche de proies, soit 4,6 fois la longueur du corps. Les vitesses estimées ne sont pas toujours en accord, voire quelquefois inférieures au minimum théorique de vitesse d'équilibre hydrostatique et physiologique calculé par la formule de Magnuson & Weinger (1978).

La probabilité de rencontre d'un DCP par un thon listao a été abordée, estimée simplement par Hilborn & Medley (1989) sur la base d'une vitesse de nage de 5 km/h, durant 12 h/jour, pendant 30 j/mois, et de la capacité d'un thon (SKJ) à détecter un DCP à 25 m, en réduisant l'orientation vers le DCP à la simple détection visuelle. Ces hypothèses simples conduisent à une surface prospectée par le listao de 90 km<sup>2</sup>/mois.

## Vitesse de dérive des DCP dans la masse d'eau ambiante

---

Dans l'ensemble des pêcheries thonières industrielles de surface, en zone intertropicale, les pêches à la senne sur objets flottants naturels ou artificiels sont très actives dans les zones de courants saisonniers dus aux phénomènes climatiques tels que les moussons. Dans le Pacifique, Hampton & Bailey (1999) ont montré la superposition géographique entre les pêcheries thonières de surface sur objets flottants et la bande latitudinale de balancement de la zone intertropicale de convergence (ITCZ) (Hall & Lennert-Cody, 1992; Caddy & Majkowski, 1996). Dans ces grandes cellules de rétention, les objets flottants peuvent être piégés durant des mois, voire des années, et constituer un piège écologique (Marsac *et al.*, 2000).

La vitesse de déplacement de ces masses d'eau océanique est estimée par le suivi des bouées océanographiques dérivantes et celui des radiobalises fixées sur les objets dérivants naturels ou artificiels. La vitesse de dérive des DCP dans ces masses d'eau ou courant océanique varie selon la structure de l'objet flottant. À titre d'exemple, dans le courant actif CCE en océan Indien (4° S et 64° E du 3 au 4 mars 1988), Leontiev (1992) a mesuré une vitesse de dérive d'un DCP mesurant 4 x 3 x 4 m : 0,45 à 2 nœuds, soit 0,25 à 1 mètre par seconde.

Pour notre étude, les trajectoires de cinq radeaux DCP d'une flottille de thoniers senniers français dans l'océan Indien ont été analysées pour la période allant de décembre 1998 à avril 1999 dans quatre zones de pêche active :

- sud-ouest Seychelles-Nord de Madagascar, dérive est-ouest ;
- courant et upwelling de Somalie, courant sud-nord ;
- courant Sud Équateur (CSE) est-ouest ;
- contre-courant sud équatorial (CCSE) ouest-est.

La segmentation des trajectoires (tab. 3, fig. 2) permet de calculer des vitesses de dérive des DCP qui semblent proches des vitesses des courants géostrophiques porteurs. Les vitesses de dérive des DCP (radeau avec bouées Argos) calculées varient de 0,2 m/s dans la dérive est-ouest au nord de Madagascar (bouée n° 1, secteur 1), à 0,5 m/s en moyenne pour le CCSE (bouées n° 2, 3, 4, 5-secteur 2) et un maximum calculé de 0,91 m/s dans le courant côtier sud-nord le long de la côte de Somalie.

Les valeurs moyennes de vitesse de la dérive sont calculées sur des trajets homogènes de 15 à 40 jours ; les distances parcourues en moyenne varient de 20 à 80 km par jour. La distance maximale de suivi Argos pour cet échantillon de cinq bouées est de 3 500 km en 60 jours (bouées DCP n° 2, tab. 3). On ne peut actuellement donner avec précision la différence entre vitesse de dérive du DCP et vitesse du courant porteur. On optera arbitrairement pour deux valeurs extrêmes de 0,5 et 0,9 du rapport entre la vitesse du courant et la dérive du DCP. Ceci peut être exprimé en termes de différence entre la vitesse de dérive du DCP et la vitesse du courant ambiant qui porte le DCP, soit la moitié dans le

premier cas et 10 % dans le second cas. Cela permet d'estimer le volume « instantané », approché par le volume par seconde, de la masse d'eau dérivante (courant ambiant) sous influence attractive du DCP, ou volume attracté « filtré ». Si ce DCP est fixe, toute la masse d'eau dérivante dans la demi-sphère d'influence du DCP est considérée comme « filtrée ». Si le DCP dérive dans la masse d'eau et si le rapport entre les deux vitesses (courant et DCP) est égal à 0,5, 50 % du volume sont « filtrés ». Si le rapport est de 0,9 (valeur observée), le volume filtré est égal à 10 % de la masse d'eau dérivante (tab. 4).

Tableau 3 - Vitesse de dérive de 5 radeaux DCP équipés de bouées Argos dans l'océan Indien (décembre 1998 - avril 1999). Les distances linéaires minimales sont discrétisées en segment approché par l'arc de cercle le plus proche.

DCP Bouée Argos n°	Zone et section	Dates de suivi Argos début-fin	Distance minimale parcourue mille/km	Temps durée (jour)	Vitesse minimale calculée			
					km.j <sup>-1</sup>	km.h <sup>-1</sup>	m.s <sup>-1</sup>	Noeud
1	Nord Madagascar	26/02/99	350/648	41	15,8	0,65	0,18	0,35
	Est-Ouest (1)	8/04/99						
	Côte Somalie	8/04/99	557/1 031	13	79,3	3,30	0,91	1,76
	Sud-Nord (2)	21/04/99						
2	CCSE							
	3° S-0° (1)	26/02/99	976/1 807	28	69,5	2,9	0,8	0,43
	60° E-90° E (2)	24/03/99	912/1 689	32	70,4	2,93	0,81	0,43
		26/04/99						
3	CCSE							
	5° S-3° S (1)	26/02/99	246/455,6	13	35	1,46	0,40	0,2
	70° E-90° E	11/03/99						
	Est Chagos (2)	11/03/99	759/1 405	30	46	1,95	0,54	0,3
	à	10/04/99						
	Est Sumatra (3)	10/04/99	308/570	13	43,8	1,83	0,50	0,27
		24/04/99						
4	CCSE							
	Est Chagos (1)	26/02/99	812/1 503	30	50,1	2,08	0,58	0,31
	à	28/03/99						
	Est Sumatra (2)	28/03/99	276/1 250	24	52,0	2,17	0,60	0,32
		24/04/99						
5	CSE (1)	22/12/98	170/314	15	20,9	0,87	0,24	0,13
	S-O Seychelles	06/01/99						
	CCSE (2)	06/01/99	370/685	18	38,0	1,58	0,44	0,23
	Nord Chagos (3)	24/01/99	456/844,5	27	31,27	1,30	0,36	0,19
		(4)	20/02/99	182/337	7	48,1	2,00	0,55
		27/02/99						

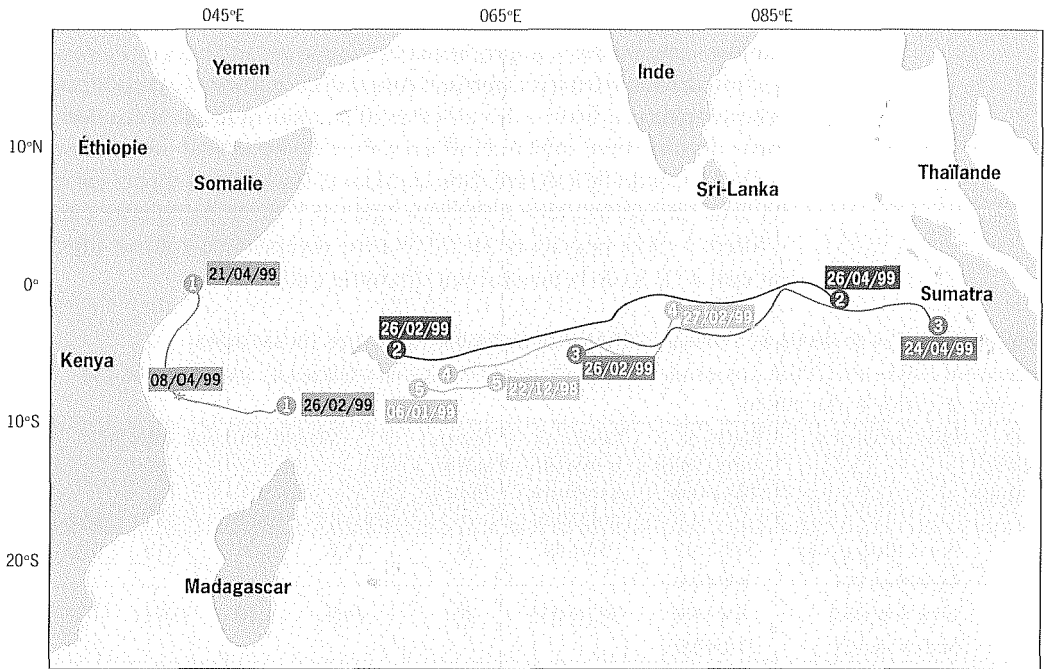


Figure 2  
Suivi des dérives de radeaux DCP équipés de bouées Argos d'un thonier sennear français dans l'océan Indien (décembre 1998 - avril 1999); communication de MM. Labbé & Bodilis de l'armement thonier industriel CMB à Concarneau, France (voir tableau 3).

### Estimation du volume d'influence ou d'attraction du DCP

Les données expérimentales et les hypothèses pour calculer la surface et le volume d'attraction-rétention proviennent des paragraphes et tableaux précédents. Le calcul purement théorique et déductif sera conduit selon deux hypothèses ou valeurs de paramètres basses ( $H_1$ ) et haute ( $H_2$ ), (tab. 4).

Deux modèles ont été retenus pour le calcul de la surface d'attraction-rétention. Le premier modèle est discoïde correspondant à un DCP fixe ancré dans un courant ambiant apparent de  $0,1 \text{ m.s}^{-1}$ ; la projection en surface forme un disque d'un rayon de  $10 \text{ km}$  ( $S=314 \text{ km}^2$ ); on affectera à ce modèle une profondeur de la couche de gradient de  $100$  mètres. La section dans un plan vertical de ce volume, quelle que soit la direction, est de  $1,57$  kilomètre carré. Le volume de ce demi-disque est  $2,61$  kilomètres cubes. Hilborn & Medley (1989) avaient estimé la surface d'attraction d'un DCP océanique à  $250$  kilomètres carrés.

Le deuxième modèle, plus adapté au DCP dérivant dans un courant océanique, est un demi-ellipsoïde. Le volume d'attraction d'un DCP est assimilé à un demi-ellipsoïde à trois axes inégaux. Un modèle ellipsoïdal a été utilisé pour la description et le calcul de la surface de pêche d'un casier à mollusque gastéropode (le bulot, *Buccinum undatum*) dans la Manche, en zone de fort courant alternatif de marée par Gros & Santarelli (1986) suivant le développement de modèles diffusifs en

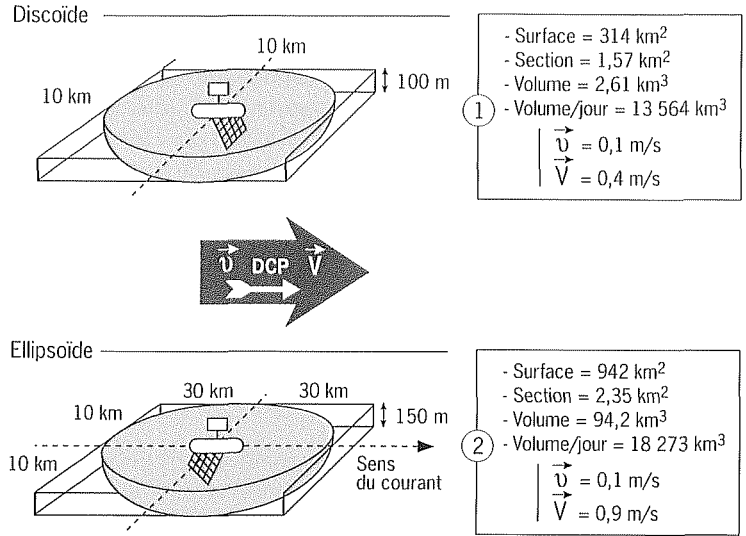
écologie (Okubo, 1980) et leur application à la détermination de la surface d'impact d'engins de pêche appâtés : palangres et casiers (Eggers *et al.*, 1982). L'adoption du modèle ellipsoïdal ou elliptique en surface (voir ci-dessus répartition en surface autour d'un DCP dérivant suivant Hampton & Bailey, 1999) pour le DCP, est fondée sur le fait que le gradient de concentration des éléments biochimiques marqueurs du DCP, susceptibles de permettre la localisation (par chémoréception, pour n'évoquer que ce mécanisme) d'un objet mobile diffusant dans une masse d'eau dérivante peut être construit comme la somme vectorielle des deux vecteurs d'advection et de diffusion. Dans le sens du courant, le coefficient d'advection s'ajoute au coefficient de diffusion qui s'applique dans toutes les directions et, notamment, pour structurer le champ dans la direction perpendiculaire à la résiduelle de courant.

Tableau 4 - Surfaces et volumes d'influence ou d'attraction d'un DCP dérivant.

Volume « instantané » (assimilé à « par seconde »), par heure, par jour. H<sub>1</sub> : hypothèse basse : petit rayon d'attraction, 10 km sur 100 m de profondeur sur un modèle hémisphérique et une forte différence (50 %) entre la vitesse de dérive du courant et la vitesse de dérive du DCP. H<sub>2</sub> : hypothèse haute : modèle ellipsoïdal d'attraction de 60 sur 20 km, 150 m de profondeur et peu de différence (10 %) entre la vitesse de dérive du DCP et celle du courant porteur.

Valeur des paramètres	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>
Vitesse de dérives observées	0,2 m.s <sup>-1</sup>	0,9 m.s <sup>-1</sup>
Rapport entre vitesse de dérive du DCP et de la masse d'eau	0,5	0,1
Rayon moyen d'attraction et de fidélité	Hémisphère de 10 km de rayon DCP fixe ou faiblement dérivant	Ellipse de 60 sur 20 km DCP dérivant
Surface de projection du volume d'attraction	314 km <sup>2</sup>	942 km <sup>2</sup>
Profondeur d'influence	0,1 km	0,15 km
Volume d'attraction/influence	2,61 km <sup>3</sup>	94,2 km <sup>3</sup>
Volume d'eau de la veine d'eau ambiante en transit sous influence potentielle du DCP		
• Section perpendiculaire au courant	1,57 km <sup>2</sup>	2,35 km <sup>2</sup>
• Vitesse masse d'eau ambiante	0,2 * 0,5 = 0,1 m.s <sup>-1</sup>	0,9 * 0,1 = 0,09 m.s <sup>-1</sup>
• Volume d'eau « instantané » (assimilé à « par seconde »)	0,157 km <sup>3</sup>	0,211 km <sup>3</sup>
• Volume d'eau/heure	565,2 km <sup>3</sup>	761,4 km <sup>3</sup>
• Volume d'eau/jour	13 564 km <sup>3</sup>	18 273 km <sup>3</sup>
Volume d'eau « filtré » par le DCP/jour		
• Hypothèse 1 : 50 % de la veine d'eau	13 564 km <sup>3</sup>	
• Hypothèse 2 : 10 % de la veine d'eau		18 273 km <sup>3</sup>
Volume d'eau prospecté par un thon albacore jeune		
• Vitesse moyenne	1,20 m.s <sup>-1</sup>	
• Distance/jour	103 km	
• Distance de perception visuelle uniquement	25 m	
• Section du cylindre	1962 m <sup>2</sup>	
• Volume du cylindre/jour	0,203 km <sup>3</sup>	

Figure 3  
Surfaces et volumes d'influence et d'attraction d'un DCP selon le modèle d'attraction discoïde ou ellipsoïde et le différentiel de vitesse de dérive entre le DCP ( $\vec{v}$ ) et le courant porteur ( $\vec{V}$ ).



Ce modèle est appliqué à un volume ellipsoïdal de grand axe de 60 km dans le sens du courant et petit axe de 20 km perpendiculaire au courant porteur, en zone océanique dans un courant géostrophique porteur dont la profondeur maximale de la couche de gradient ou plancher du volume d'attraction du DCP dérivant est de 150 mètres. La projection en surface de l'ellipsoïde est de 942 kilomètres carrés. La section de l'ellipsoïde selon le petit axe, perpendiculaire au courant, est de 2,35 kilomètres carrés. Ces trois axes déterminent un volume sous influence sous la surface de 94,2 kilomètres cubes.

Schématiquement et théoriquement, le calcul déductif permet de mettre en perspective les volumes d'eau prospectés par les thons, les volumes d'eau sous influence des DCP et les masses d'eau en transit :

- le volume d'eau prospecté en une journée par un thon de type listao est de l'ordre de 0,2 km<sup>3</sup> par jour ( $200 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$ ) estimé simplement sur la base d'une vitesse de nage de 5 km/h, durant 12 h/jour, pendant 30 j/mois, en réduisant la localisation à la simple détection visuelle d'un DCP par un thon (SKJ) à 25 mètres. Ces hypothèses simples conduisaient à une surface prospectée par le listao de 90 km<sup>2</sup> par mois par Hilborn & Medley (1989), ce qui correspond au tiers du modèle DCP discoïde ancré et au dixième du modèle ellipsoïde dérivant ;
- le volume d'influence (attraction-rétention) d'un DCP est de l'ordre de 2 à 94 km<sup>3</sup> (2 à  $94 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ ) ;
- le rapport entre volume d'influence autour d'un DCP et volume prospectable visuellement par un thon en une journée est de l'ordre de 1/100 000 ( $1 \cdot 10^{-5}$ ) ;
- le volume d'eau du courant ambiant sous influence potentielle du DCP, pour les hypothèses retenues, est de l'ordre de 13 000 à 18 000 km<sup>3</sup> par jour ( $13\text{-}18 \cdot 10^{12} \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$ ).

- les grands courants océaniques géostrophiques concernés mobilisent un compartiment superficiel sur une épaisseur de 300 à 500 m d'épaisseur et 200 km de large et entraînent un transport de masse de l'ordre de  $40 \text{ à } 50 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (courant de Somalie; Swallow & Bruce, 1966) et  $24 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (CSE nord de Madagascar; Piton & Magnier, 1975).

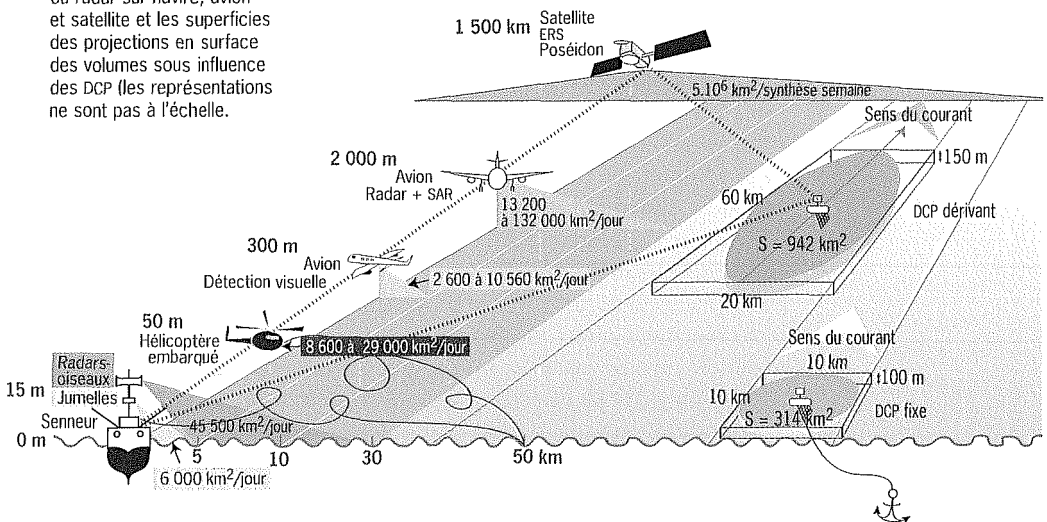
### Applications opérationnelles de la pêche thonière associée aux DCP

#### Exploitation des radio-balises sur DCP, distances entre DCP et durée optimale de dérive

On peut tenter d'établir un rapprochement et une liaison opérationnelle entre les superficies prospectées par le senneur et la superficie sous influence d'un DCP (fig. 4). En phase de prospection diurne (voir article supra I, tab. 6), les surfaces prospectées par un senneur sont de l'ordre de  $2\,650 \text{ à } 6\,000 \text{ km}^2/12 \text{ h}$  de jour et de  $45\,500 \text{ km}^2/12 \text{ h}$  au radar-oiseaux. Selon les modèles discoïde et ellipsoïde décrits (tab. 4), la superficie de la projection en surface du volume sous influence d'un DCP est de l'ordre de  $172 \text{ à } 777 \text{ km}^2$  pour des vitesses de dérive respectives de  $0,2$  et  $0,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  durant  $12 \text{ h}$  dans les grands courants équatoriaux. L'optimisation de la stratégie de pêche consiste à exploiter successivement les DCP en allant de l'un à l'autre.

L'utilisation, progressive depuis 1990 et intensive depuis 1996, des radio-balises fixées à un objet flottant naturel ou artificiel permet, par émission radio HF (7 à 8 MHz), la localisation à 15 milles (= 27 km) par positionnement goniométrique. Les balises modernes adoptées depuis 1998 par la flotte française utilisent une émission-réception radio HF, commandée du positionnement Argos (précision de 500 m) ou GPS programmée selon les éphémérides des satellites. Elles permettent,

Figure 4  
Rapprochement des superficies prospectées par méthodes optique ou radar sur navire, avion et satellite et les superficies des projections en surface des volumes sous influence des DCP (les représentations ne sont pas à l'échelle).



pour une durée de vie de 5 à 6 mois, la localisation et le renseignement à une distance de 100 à 1 000 milles (200 à 1 800 km), complétés par une approche locale goniométrique. Cela détermine donc la stratégie globale (changement de zone d'une marée à l'autre) et la stratégie locale, généralement fondée pour les senneurs français sur la localisation et le suivi rapproché d'un DCP marqué lors de la marée précédente, avant de passer à l'exploitation d'un autre DCP marqué et instrumenté. On peut considérer que le temps de « maturation » d'une épave est de l'ordre de 3 jours, pour les senneurs français, ce qui correspond à une distance de dérive moyenne de 60 à 320 km dans les zones actives du contre-courant équatorial et les cellules tropicales de haute vorticité (tab. 3). La zone d'intervention de la flottille des thoniers senneurs fran-  
  ais dans l'océan Indien couvre un secteur géographique de 1 000 milles en latitude et 1 500 milles en longitude, soit une surface de 5 millions de kilomètres carrés, centré géographiquement sur l' quateur et l'axe Chagos-Seychelles-Somalie-Mozambique. Pour couvrir cette zone d'intervention, les senneurs fran-  
  ais peuvent disposer, en 1999, de quelques dizaines de bouées radio par senneur et les grands senneurs espagnols semblent disposer de l'ordre d'une centaine de balises par senneur.

Selon Okamoto *et al.* (1998), pour la flottille de senneurs japonais dans l'océan Indien Nord-Est, équipés chacun de 15 à 50 balises, le temps de « maturation » moyen d'une épave instrumentée est de 30 à 60 jours après la mise à l'eau. L'analyse des pêches depuis 1983 montre que la distance moyenne entre deux coups de sennes sur épaves instrumentées était de 70 à 80 km en 1980 et de 80 à 100 km en 1990 ; actuellement, en 1995-1996, la distance entre deux coups de sennes sur DCP est de l'ordre de 100 à 150 kilomètres. Le nombre de journées opérationnelles (avec pêche) a augmenté de 50 % en 1983   75 % en 1997. Les augmentations du nombre de journées opérationnelles et de la distance moyenne entre deux coups de sennes peuvent être respectivement per-  
  ues comme un indice de l'augmentation de la puissance de pêche et un indice de diminution de la densité des bancs, en relation directe avec l'utilisation intensive des DCP efficaces et instrumentés.

Dans le Pacifique Ouest, Farman (1985) rapporte que les captures des senneurs américains, qui disposent de 50 balises par senneur en début de saison pour des marées de 25 jours, varient entre 11 et 35 tonnes par coup, en exploitant les radeaux DCP dans des intervalles de 10 à 30 jours, ce qui correspond à un potentiel de 11   105 tonnes par mois et par DCP toutes latitudes et zones confondues. Le recrutement des thons par le DCP peut se réaliser dans un laps de temps variant de 1 à 60 jours, le recrutement étant plutôt brutal (discret) que continu et à forte variance, effectué par banc plutôt que par des individus isolés et sans corrélation entre les caractéristiques du DCP et la taille du banc. Cette discontinuité explique la quasi-impossibilité de calculer un taux moyen de recrutement.



### Optimisation des distances entre DCP ancrés sur îles ou archipels

Sur les mêmes hypothèses citées, Hilborn & Medley (1989) estiment que la zone d'attraction d'un DCP océanique est de 250 km<sup>2</sup>, ce qui correspondrait à un cercle d'un rayon de 8 à 9 km, avec des distances entre DCP de 16 kilomètres. Une autre estimation par Kleiber & Hampton (1994), pour des DCP côtiers ou un système d'archipel océanique tel que Hawaï, conduit à une densité optimale de 4 à 5 DCP par 50 km<sup>2</sup> pour réduire de moitié les émigrations de thons hors du réseau de DCP. Pratiquement, aux îles Fidji, le réseau opérationnel de DCP ancrés en haute mer est effectivement constitué de DCP distants de 16 km, pouvant compter jusqu'à 60 DCP ancrés par senneur (Preston, 1982).

Dans l'océan Indien, Marsac & Cayré (1998), se fondant sur la télémétrie acoustique d'albacores et de listaos dans un réseau de DCP ancrés à l'île de la Réunion, recommandent que la distance entre deux DCP ancrés ne soit pas inférieure à 18 km pour éviter le recouvrement ou l'interférence des sphères d'attraction entre deux DCP proches.

### Les biomasses accumulées autour des DCP

L'interprétation des résultats de marquage acoustique ultrasonique en termes de dynamique de l'association thon-objet par le recrutement, la mortalité apparente due à la pêche ou/et l'immigration, pour la gestion spatialisée des interactions entre pêcheries autour des DCP, a été abordée à Hawaï (Hilborn & Medley, 1989; Sibert *et al.*, 2000).

Les biomasses accumulées ont fait l'objet de quelques rares évaluations par la technique simpliste de Petersen de marquage-recapture sur DCP fixes et épaves dérivantes (tab. 5; Hampton & Bailey, 1999).

Une interprétation de ces résultats conduit à une estimation de l'effectif (taille) des bancs associés qui s'échelonnent de quelques centaines d'individus (valeur minimale : 600 BET sur épaves dérivantes) à quelques dizaines de milles (valeur maximale : 32 000 listaos sur DCP ancrés). Ces estimations d'effectifs de bancs sont en accord avec les calculs du nombre d'individus (par le ratio capture totale-poids moyen) de bancs sous épaves entièrement pêchés par les senneurs : de quelques centaines de gros albacores à des dizaines de milliers de petits listaos.

Tableau 5 - Estimations des populations de thons associées aux DCP (Hampton & Bailey, 1999).

			Estimation (nombre)	Écart type
Philippines	DCP ancrés	Listao (SKJ)	16 713	5 822
Philippines	DCP ancrés	Listao (SKJ)	3 452	370
		Albacore (YFT)	4 120	1 176
Indonésie	DCP ancrés	Listao (SKJ)	24 888	7 125
		Albacore (YFT)	13 148	3 114
FSM	Épave dérivante	Listao (SKJ)	3 614	1 613
		Albacore (YFT)	3 194	1 056
		Patudo (BET)	1 596	916

Bard *et al.* (1985) ont émis l'hypothèse que le rayon d'action d'une épave serait fonction de la densité et de la taille (effectif) des bancs dans la zone. Les observations dans toutes les pêcheries thonières de surface montrent qu'il existe une relation inverse entre le nombre d'individus (effectif) dans un banc et la taille (ou poids) moyenne individuelle, pour toutes les espèces et particulièrement pour le listao. Les deux situations extrêmes pour le listao (SKJ) sont, d'une part, des bancs à très fort effectif (5 000 à 20 000 individus de 0,5 à 3 kg) et, d'autre part, des bancs à faible effectif (500 à 1 000 individus de 8 kg et plus) (Dagorn, 1994). L'interprétation fonctionnelle de cette agrégation est que les thons cherchent à constituer des bancs à effectif optimal entre ces deux extrêmes : beaucoup de petits thons ou peu de gros pour une même quantité de nourriture disponible potentiellement sous DCP et pour les bancs libres également. La création de bancs de faible effectif (quelques centaines) se réalise plus facilement et à moindre coût énergétique. Les DCP, dispositifs de concentration, favorisent énergétiquement plus l'agrégation des petits individus (jeunes) que celle des gros individus qui forment naturellement, à moindre coût, des bancs à effectifs plus réduits (Fréon & Misund, 1999).

### **Les pêches successives : épuisement, remplacement, recrutement par les DCP**

Plusieurs observateurs ont rapporté les résultats de pêches successives à la senne sur DCP dérivants naturels ou artificiels (Hall *et al.*, 1999; Hallier & Parajua, 1992; Ariz Telleria *et al.*, 1999). Le record cité par Hampton & Bailey (1999) semble être des captures totales cumulées de 1 500 t en deux semaines par des pêches successives sur un arbre flottant de 80 m de long dans le Pacifique. Des pêches successives ont été analysées par Hallier & Parajua (1992) dans l'océan Indien, au large du Sénégal (Hallier & Delgado de Molina, 2000), par Ianelli (1987) et Hampton & Bailey (1999) sur les senneurs américains du Pacifique Ouest et par Suzuki (1992) sur les senneurs japonais du Pacifique Ouest et Central. Le plus fréquemment, les pêches successives sur un même DCP sont au nombre de 6 à 7 en 8 jours maximum et conduisent à des réductions de capture de listao par coup de senne de 50 à 10 tonnes. La réduction d'abondance est nette sur le listao (SKJ), essentiellement entre le premier et le second coups de senne. L'incidence est moins nette, voire insensible, sur le patudo (BET).

On peut envisager un remplacement progressif des individus pêchés par un « recrutement de remplacement ». Des individus plus gros, plus âgés, situés plus profondément remplacent les petits individus pêchés au début. Cette substitution pourrait se faire entre espèces. La réduction du nombre de listaos (SKJ) permettrait aux thons obèses (BET) de remonter en surface.

Le recrutement par attraction et concentration d'individus isolés en de petits bancs semble un phénomène progressif correspondant à la somme des probabilités de rencontre et de détection par le thon d'un gros objet

dérivant, de dimension minimale 1 à 1,5 m de long sur 0,1 m de diamètre, repérable par le thon à 25 m maximum, selon Hampton & Bailey (1999).

Selon Ianelli (1987), fondés sur l'analyse de 165 coups de senne dans le Pacifique Ouest, les résultats du modèle conduiraient en moyenne à un recrutement sur DCP de 7,5 t/jour, une exploitation de la biomasse accumulée initiale de 104 t avant pêche, soit un renouvellement de la biomasse autour des DCP en 20 jours.

Bien que les processus de recrutement d'une population de thons par un DCP aient été modélisés par Ianelli (1987) et fait l'objet d'observations sur la flottille japonaise (Itano, 1991), il n'apparaît pas clairement de schéma type de recrutement mais une forte diversité dans ce processus. Des recrutements massifs de quelques tonnes à quelques dizaines de tonnes sont réalisés en peu de temps, soit quelques heures à un jour, lorsque le banc est déjà constitué et trouve un objet attractant. En fait, il ne s'agit pas, dans ce cas, de concentration mais de fixation et de rétention d'un banc préexistant.

### **Discussion : une surdensité de DCP peut entraîner la redispersion et la déconcentration des poissons**

---

La multiplication exponentielle du nombre de DCP dérivants (instrumentés ou non) depuis quinze années à l'échelle mondiale s'est développée en trois phases.

Au cours de la première phase, les DCP artificiels augmentent le nombre d'objets dérivants et, dans un océan relativement vide d'objets attractants, entraînent effectivement la concentration, l'agrégation, la rétention des thons. C'est une phase de dissémination de DCP favorable à la formation de bancs et bénéfique pour les thoniers.

Au cours de la deuxième phase dans laquelle se trouvent en 1999 les flottilles industrielles européennes (France et Espagne) et japonaises en océan Indien, une forte concurrence apparaît pour la ressource thonière et l'espace disponible et se traduit par la « guerre » des DCP radio-balisés. L'augmentation du nombre de DCP s'exerce en termes de concurrence et affecte les résultats économiques des unités comme dans toute pêcherie ouverte (Samples & Sproul, 1985 ; Hilborn & Medley, 1989).

Au cours de la troisième phase, actuellement en cours de développement, le nombre de DCP instrumentés disséminés est tel qu'ils rentrent, en tant que concentrateurs, en concurrence pour une biomasse commune limitée et dispersée. Cette surdensité de DCP, ajoutée aux objets et débris flottants naturels abondants qui ont fait l'objet d'une estimation objective dans le Pacifique Ouest et Central par Suzuki (1992), limitent la concentration en gros bancs et favorisent la redispersion et la déconcentration du poisson. Pour lutter contre cette surdispersion, Hampton & Bailey (1999) rapportent que la stratégie des senneurs américains dans le Pacifique Ouest est de réduire le nombre de petits objets flottants en les collectant, les rassemblant et les attachant en un amas central attractant doté d'une balise équipée de radio-émetteur pour exploitation ultérieure.

Il est préoccupant de constater que, sur le plan strictement opérationnel, sans évoquer l'impact sur la ressource (Marsac *et al.*, 2000), la technique d'aide à la pêche du thon à la senne sur DCP artificiels dérivants instrumentés semble avoir achevé en moins de vingt ans, à l'échelle de l'océan Indien au moins, le cycle des trois phases :

- gain d'efficacité pour tous les senneurs ;
- concurrence économique sur une ressource en accès libre par l'accroissement technologique des puissances de pêche individuelle et de flottille ;
- redispersion de la ressource par la multiplication des objets attractants artificiels et dissipation des gains de la première phase.

#### **Remerciements**

Je remercie très sincèrement et très chaleureusement Pierre Fréon et Daniel Gaertner de l'IRD pour le travail de lecture critique du texte très imparfait qui leur a été soumis ; leurs corrections salutaires ont permis d'améliorer de façon très nette et de rendre lisible le texte soumis ; je regrette de n'avoir pas pu prendre en compte, pour ce présent texte et faute de temps et de données, toutes leurs critiques et suggestions pertinentes.

#### **Références bibliographiques**

- Ariz Telleria J., Delgado de Molina A., Delgado de Molina R., Pallarés P., Santana J.C., 1999. Resultados de la explotación de los cardumenes de tunidos asociados a un dispositivo agregador de peces, mediante diez pescas consecutivas. Doc. ICCAT, SCRS/99/63, submitted for Recl. Doc. Sci. ICCAT.
- Bard F.-X., Stretta J.-M., Slepoukha M., 1985. Les épaves artificielles comme auxiliaires de la pêche thonière en océan Atlantique. Quel avenir ? *Pêche Marit.*, 64(1291), 655-659.
- Bard F.-X., Bach P., Josse E., 1998. Habitat, écophysiologie des thons : quoi de neuf depuis 15 ans ? *In*: Symposium ICCAT sur les thonidés, Açores, juin 1996. Recl. Doc. Sci. ICCAT, 50(1), 319-340.
- Bayliff W.H. (comp.), 1993a. An index bibliography of papers on tagging of tunas and billfishes. Spec. Rep. I-ATTC, 8, 91 p.
- Bayliff W.H., 1993b. Additional references on tuna and billfish tagging to I-ATTC. Addendum to Spec. Rep. I-ATTC, 8, 3 p.
- Brill R.W., Block B., Boggs C., Bigelow K., Freund E., Marcinek D., 1996. Horizontal and vertical movements of adult yellowfin tuna near the Hawaiian islands observed by acoustic telemetry. *In*: Sustaining tuna fisheries: issues and answers. Proceedings of the 47th tuna conference. Jackson A., Rasmussen R., Bartoo N., (eds). NOAA/NMFS, Southwest Fishery Science Center, La Jolla, CA.
- Caddy J., Majkowski J., 1996. Tunas and trees: a reflection on the long-term perspectives for tuna fishing around floating logs. *Fish. Res.*, 25, 369-376.

- Carey E.G., Lawson T., 1973. Temperature regulation in free-swimming bluefin tuna. *Comp. Biochem. Physiol.*, 44A, 375-392.
- Carey F.G., Olson R., 1982. Sonic tracking experiment with tuna. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 17, 458-466.
- Cayré P., Chabanne J., 1986. Marquage acoustique et comportement de thons tropicaux (albacore : *Thunnus albacares* et listao : *Katsuwonus pelamis*) au voisinage d'un dispositif concentrateur de poissons. *Océanogr. Trop.*, 21, 167-183.
- Cayré P., 1991. Behaviour of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) around Fish Aggregating Devices (FADs) in the Comores Islands as determined by ultrasonic tagging. *Aquat. Living Resour.*, 4, 1-12.
- Cayré P., Marsac F., 1993. Modelling the yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) vertical distribution using sonic tagging results and local environmental parameters. *Aquat. Living Resour.*, 6, 1-14.
- Dagorn L., 1994. Le comportement des thons tropicaux modélisé selon les principes de la vie artificielle. Thèse de doctorat en halieutique, école nationale supérieure agronomique, Rennes. *Trav. Doc. Inst. Fr. Rech. Sci. Dév. Coop.*, 133, 250 p.
- Farman R.S., 1985. The dynamics of tuna aggregation under anchored rafts. Tuna and billfish assessment programme. *SPC Intern. Rep.*, 8, 7 p.
- Eggers D.M., Rickard N.A., Chapman D.G., Whitney R.R., 1982. A methodology for estimating area fished for baited hooks and traps along a ground line. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 39, 448-453.
- Fréon P., Misund O.A., 1999. Dynamics of pelagic fish, distribution and behaviour: effects on fisheries and stock assessment. *Fishing News Books*, 348 p.
- Gros P., Santarelli L., 1986. Méthode d'estimation de la surface de pêche d'un casier à l'aide d'une filière expérimentale. *Oceanol. Acta*, 9(1), 81-85.
- Hall M., García M., Lennert-Cody C.E., Arenas P., Miller F., 1999. The association of tunas with floating objects and dolphins in the Eastern Pacific Ocean: a review of the current purse seine fishery. *In: Proceedings of the international workshop on the ecology and fisheries for tunas associated with floating objects.* Scott M.D., Bayliff W.H., Lennert-Cody C.E. & Schaefer K.M. (comp.). *Spec. Rep. I-ATTC*, 11, 87-194.
- Hall M., Lennert-Cody C.E., 1992. The association of tunas with floating objects and dolphins in the Eastern Pacific Ocean. VIII: A proposed migratory circuit for yellowfin tuna in the Eastern Pacific Ocean. *In: Proceedings of the international workshop on the ecology and fisheries for tunas associated with floating objects.* Scott M.D., Bayliff W.H., Lennert-Cody C.E. & Schaefer K.M. (comp.). *Spec. Rep. I-ATTC*, 11, 10 p., 9 fig. Backgr. Pap.

- Hallier J.-P., Parajua J.I., 1992. Fishing for tunas on the same floating object. *In: Proceedings of the international workshop on the ecology and fisheries for tunas associated with floating objects.* Scott M.D., Bayliff W.H., Lennert-Cody C.E. & Schaefer K.M. (comp.). Spec. Rep. I-ATTC, 11, 4 p., 2 tab., 4 fig. Backgr. Pap.
- Hallier J.-P., Parajua J.I., 1992. Tropical tuna at sea: what are they associated with? *In: Proceedings of the international workshop on the ecology and fisheries for tunas associated with floating objects.* Scott M.D., Bayliff W.H., Lennert-Cody C.E. & Schaefer K.M. (comp.). Spec. Rep. I-ATTC, 11, 13 p., 7 tab., 5 fig. Backgr. Pap.
- Hallier J.-P., Delgado de Molina A., 2000. Baitboat as a tuna aggregating device. *In: Pêche thonière et dispositifs de concentration de poissons.* Le Gall J.-Y., Cayré P., Taquet M. (eds). Éd. Ifremer, Actes Colloq., 28, 553-578.
- Hampton J., Bailey K., 1999. Fishing for tunas associated with floating objects: review of Western Pacific fishery. *In: Proceedings of the international workshop on the ecology and fisheries for tunas associated with floating objects.* Scott M.D., Bayliff W.H., Lennert-Cody C.E. & Schaefer K.M. (comp.). Spec. Rep. I-ATTC, 11, 222-284.
- Hilborn R., Medley P., 1989. Tuna purse seine fishing with Fish Aggregating Devices (FADs) models of tuna FADs interactions. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 46, 28-32.
- Holland K.N., Brill R.W., Chang R.H.C., 1990. Horizontal and vertical movements of yellowfin and bigeye tuna associated with Fish Aggregating Devices. *Fish. Bull.*, 88, 493-507.
- Hunter J.R., Mitchell C.T., 1968. Field experiments on the attraction of pelagic fish to floating objects. *J. Cons. Int. Explor. Mer*, 31(3), 427-434.
- Hunter J.R., Argue A.W., Bayliff W.H., Dizon A.E., Fonteneau A., Goodman D., Seckel G.R., 1986. The dynamics of tuna movements : an evaluation of the past and future research. *FAO Fish. Tech. Pap.*, 277, 78 p.
- Ianelli J., 1987. A method for estimating recruitment patterns of tunas to floating objects using removal data. *Tuna and billfish assessment programme.* SPC Intern. Rep., 11 p.
- Itano D.G., 1991. Tuna tagging and observations on Japanese group purse seine vessels (9-28 April 1990). *Tuna and billfish assessment programme.* SPC Tech. Rep., 23.
- Josse E., Bach P., Dagorn L., 1998. Simultaneous observations of tuna movements and their prey by sonic tracking and acoustic surveys. *Hydrobiologia*, 371/372, 61-69.
- Kleiber P., Hampton J., 1994. Modeling effects of FADs and islands on movements of skipjack (*Katsuwonus pelamis*) estimating parameters from tagging data. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 51, 2642-2653.

- Klimley A.P., Holloway D., 1996. Automated monitoring of yellowfin tuna and Hawaiian FADs. NOAA/NMFS. Tuna Newslet., November 1996.
- Klimley A.P., Holloway C.F., 1999. School fidelity and homing synchronicity of yellowfin tuna *Thunnus albacares*. Mar. Biol., 133, 307-317.
- Lauris R.M., Yuen H.S., Johnson J.H., 1977. Small-scale movements of albacore, *Thunnus alalunga*, in relation to ocean features as indicated by ultrasonic tracking and oceanographic sampling. Fish. Bull., 75, 347-355.
- Leontiev S., 1992. Characteristics of formation and behaviour of associated aggregations of tunas in the Western Indian Ocean. In: Proceedings of the international workshop on the ecology and fisheries for tunas associated with floating objects. Scott M.D., Bayliff W.H., Lennert-Cody C.E. & Schaefer K.M. (comp.). Spec. Rep. I-ATTC, 11, 5p., 5 fig. Backgr. Pap.
- Levenez J.J., 1982. Note préliminaire sur l'opération sénégalaise de tracking de listao. Recl. Doc. Sci. ICCAT, 17, 189-194.
- Magnuson J.J., Weininger D., 1978. Estimation of minimum sustained speed and associated body drag of scombrids. In: The physiological ecology of tunas. Sharp G.D., Dizon A.E. (eds). Academic Press, 293-312.
- Marsac F., Cayré P., 1998. Telemetry applied to behaviour analysis of yellowfin tuna (*Thunnus albacares* Bonnaterre, 1788) movements in a network of Fish Aggregating Devices. Hydrobiologia, 371/372, 155-171.
- Marsac F., Fonteneau A., Ménard F., 2000. Drifting FADs used in tuna fisheries : an ecological trap? In: Pêche thonière et dispositifs de concentration de poissons. Le Gall J.-Y., Cayré P., Taquet M. (eds). Éd. Ifremer, Actes Colloq., 28, 537-552.
- Okubo A., 1980. Diffusion and ecological models: Biomathematics, 10, Springer-Verlag (ed.), Berlin, Heidelberg, New-York, 254 p.
- Okamoto H., Hirokawa S., Miyabe N., 1998. Trend of some features and possible factors which affect fishing performance of the Japanese purse seine fishery in the Indian and Pacific Oceans. ICCAT/SCRS, 98/37, 6 p., 8 fig., 1 tab.
- Pallarés P., Fonteneau A., Nordstrom V., Delgado de Molina A., Santana J.C., Ariz Telleria J., 1998. Analisis de las capturas de atunes, asociadas a objectas flotantes, efectuadas por las flotas de cerco en el oceano atlantico. Symposium ICCAT sur les thonidés, Açores, juin 1996. Recl. Doc. Sci. ICCAT, 50(2), 449-474.
- Piton B., Magnier Y., 1975. Remarques sur la circulation et les caractéristiques hydrologiques de la couche superficielle entre Madagascar et l'équateur. Cah. Orstom (Sér. Océanogr.), 13(2), 117-132.

- Preston G.L., 1982. The Fijian experience in the utilization of Fish Aggregation Devices. 14th Reg. Tech. Meeting on Fisheries. SPC Work. Pap., 25.
- Samples K., Sproul, 1985. Fish Aggregating Devices and open-access commercial fisheries; a theoretical inquiry. Bull. Mar. Sci., 37(1), 305-317.
- Sibert J., Holland K.N., Irano D., 2000. Exchange rates of yellowfin and bigeye tunas and fisheries interaction between Cross Seamount and near-shore FADs in Hawaiï. Aquat. Living Resour., 13(4), 223-230.
- Suzuki Z., 1992. General description on tuna biology related to fishing activities on floating objects by Japanese purse seine boats in the Western and Central Pacific. *In*: Proceedings of the international workshop on the ecology and fisheries for tunas associated with floating objects. Scott M.D., Bayliff W.H., Lennert-Cody C.E. & Schaefer K.M. (comp.). Spec. Rep. I-ATTC, 11, 9 p., 9 fig., 6 tab. Backgr. Pap.
- Swallow J.C., Bruce J.G., 1966. Current measurements off the Somali Coast during the southwest monsoon of 1964. Deep-Sea Res., 13(5), 861-888.
- Takahashi M., Urakawa T., Kasahara F., Kanda A., 1988. Jamarc's activities on tagging tunas in Indian Ocean. Expert consultation on stock assessment of tunas in the Indian ocean, Mauritius, 22-27 June 1988. IPTP Collect. Vol. Work. Doc., 3, 208-223.
- Yonemari T., 1982. Study of tuna behaviour, particularly their swimming depths, by use of sonic tags. Far Sea Fish. Res. Lab. (Shimizu) Newslet., 44, 1-5.
- Yuen H.S., 1970. Behaviour of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, determined by tracking with ultrasonic devices. J. Fish. Res. Bd. Canada, 27, 2071-2070.