

UNE ESTIMATION DE L'ABONDANCE ESTIVALE
DU DAUPHIN BLEU ET BLANC *STENELLA COERULEOALBA* (MEYEN, 1833)
DANS LE FUTUR SANCTUAIRE MARIN INTERNATIONAL
DE MÉDITERRANÉE NORD-OCCIDENTALE

Alexandre GANNIER*

INTRODUCTION

L'espèce la plus abondante dans le nord de la Méditerranée occidentale est sans conteste le Dauphin bleu et blanc (*Stenella coeruleoalba*, Meyen 1833), un petit dauphin pélagique que l'on rencontre depuis le bord du plateau continental jusqu'au grand large (Gannier, 1995). Le Dauphin bleu et blanc est présent toute l'année dans le bassin liguro-provençal, mais c'est au cours de l'été que sa densité de population est maximale (Gannier & Gannier, 1997). C'est notamment pour protéger cette espèce, durement éprouvée par la pêche au filet dérivant (Di Natale & Notarbartolo di Sciara, 1995), et frappée par une épizootie de *morbillivirus* en 1990-91 (Aguilar & Raga, 1993), que fut décidée la création du Sanctuaire Marin International en mars 1993. Les indications disponibles montrent en effet que la densité de population estivale de Dauphin bleu et blanc est relativement élevée dans le bassin liguro-provençal, par comparaison à la moyenne du bassin, et aux secteurs méridionaux de Méditerranée occidentale (Forcada *et al.*, 1994 a et b). La protection de ce secteur est importante pour *S. coeruleoalba*, car l'espèce s'y reproduit et s'y alimente durant l'été (Gannier, 1995). Plusieurs estimations d'abondance par la méthode du transect linéaire (Buckland *et al.*, 1993) ont été réalisées dans le bassin liguro-provençal à cette saison (Forcada *et al.*, 1995 ; Gannier, 1995, 1996). Cependant aucune n'a bénéficié des récents développements mis au point pour améliorer la robustesse de cette méthode, particulièrement dans le cas des petits Cétacés (Buckland & Turnock, 1992 ; Hammond *et al.*, 1995). Dauphins et marsouins se caractérisent en effet par une détectabilité plus faible et plus variable que les baleines, pour lesquelles la méthode du transect linéaire est utilisée depuis plusieurs décennies (Hiby & Hammond, 1989). De plus, ces petits Cétacés montrent une propension plus élevée à un mouvement de réponse par rapport au bateau, comportement susceptible de biaiser les estimations (Turnock et Quinn, 1991). Ces travaux concluent à la nécessité d'utiliser des bateaux aménagés

* Laboratoire d'Ecologie Marine, Université Française du Pacifique, BP 6570 FAAA Aéroport, Tahiti.
également : Groupe de Recherche sur les Cétacés, Villa Aurelia 13, 741 chemin des Moyennes Bréguières, 06600 Antibes.

pour permettre à deux équipes indépendantes d'observateurs d'opérer simultanément. Mais quelles que soient l'exactitude et la robustesse de la méthode employée, l'estimation d'abondance est une image instantanée de la population — l'instant pouvant valoir une semaine ou un mois — et le sanctuaire est un secteur ouvert qui n'abrite à un moment donné qu'une fraction de la population de Cétacés de Méditerranée. Dès lors surgissent des problèmes méthodologiques particuliers car, d'une année sur l'autre, la distribution globale d'un Cétacé non sédentaire peut varier sous l'effet d'une « histoire » hydroclimatique différente (Gannier, 1997a). Ainsi même une estimation réalisée dans le sanctuaire grâce à des moyens lourds, donc nécessairement mis en œuvre de manière espacée dans le temps, délivrera une indication ambiguë sur la variation dans le temps de l'abondance, car l'abondance estimée sera influencée par la distribution instantanée de l'espèce à l'échelle du bassin occidental. C'est pourquoi, dans l'optique d'un suivi à long terme des populations, il est utile de considérer parallèlement des estimations obtenues plus fréquemment grâce à l'emploi de moyens plus légers, et dont la qualité essentielle serait la répétabilité dans le temps. Nous présentons ici une estimation de l'abondance de Dauphin bleu et blanc réalisée à la suite d'une campagne effectuée sur un bateau de douze mètres au cours de l'été 1996, travail réalisé dans le cadre du programme sur les Cétacés de Méditerranée décidé par le Ministère de l'Environnement.

MÉTHODES

MÉTHODES DE TERRAIN

Nous avons utilisé un bateau de type « fifty » (c'est-à-dire gréé en voilier, mais disposant d'une motorisation puissante) de 12 mètres de longueur mis en œuvre par un équipage de 6 à 7 personnes. La vitesse du bateau a été maintenue en moyenne à 6 nœuds, le moteur de 80 chevaux étant utilisé en permanence pendant les transects. Le matériel nécessaire à la réalisation de l'étude consiste en deux paires de jumelles réticulées, munies d'un compas interne, et deux positionneurs GPS. Des équipements complémentaires ont été utilisés pour traiter des thèmes particuliers : il s'agit d'un hydrophone remorqué et d'un écho-sondeur 50/200 kHz. Quatre observateurs étaient en fonction lors des transects et se partageaient les 180° du secteur avant : un surveillait l'avant du bateau (secteur $\pm 45^\circ$), deux autres, assis sur une plate-forme au dessus du cockpit, avaient en charge les secteurs latéraux (30° à 90° de part et d'autre). Les yeux des observateurs étaient situés à 3 mètres au-dessus de la surface de l'eau. L'opérateur chargé des écoutes périodiques à l'hydrophone assurait également une veille visuelle et assumait la fonction de secrétaire. Les observateurs permutaient toutes les deux heures.

Le sanctuaire défini par l'accord international s'étend sur une surface d'environ 58 000 km² dans le bassin liguro-provençal. Des études précédentes montrent que durant la journée, la densité de *S. coeruleoalba* est très faible dans les zones de faible profondeur, et croissante vers le large (Gannier, 1995, 1998 ; Gannier & David, 1997). Par conséquent, seul le secteur au large de l'isobathe 200 m a été échantillonné lors de notre campagne. La densité sera ainsi estimée sur une surface de 50 000 km² et l'effectif correspondant sera assimilé à celui de

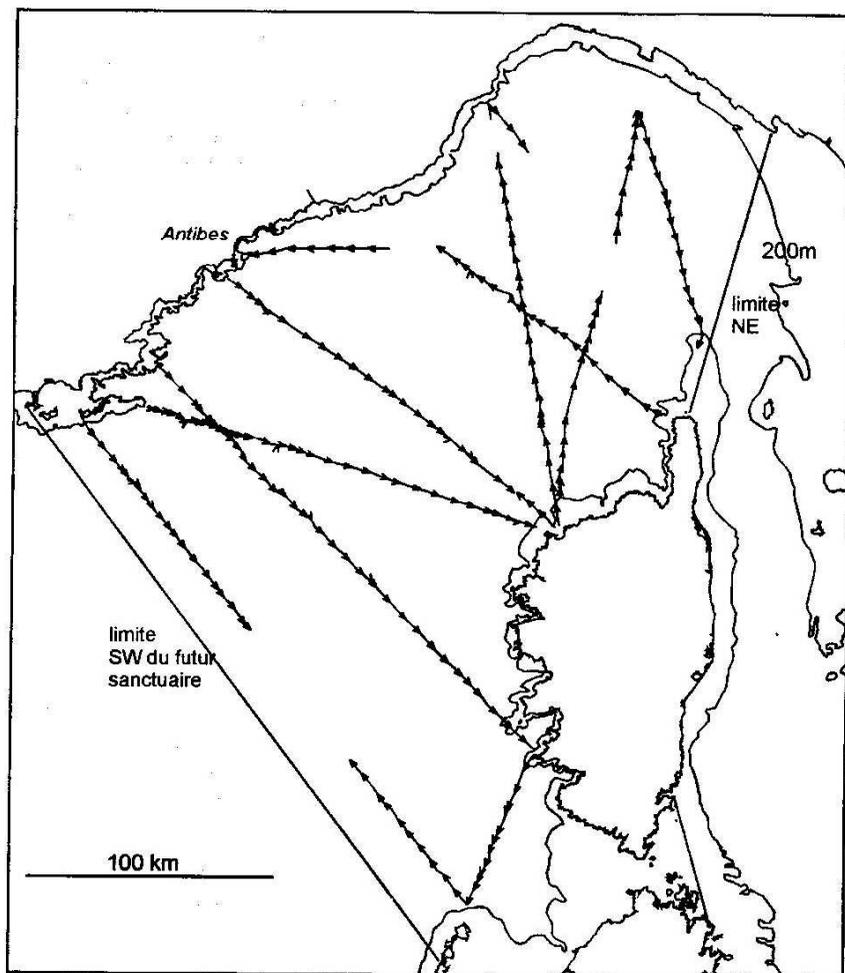


Figure 1. — Secteur étudié et échantillonnage.

l'ensemble du sanctuaire. Pour effectuer la campagne, nous avons considéré la période du 16.VII et au 15.VIII comme optimale, car les déplacements d'ensemble des dauphins peuvent être supposés minimum au milieu de l'été, et la météorologie est souvent stable à cette époque de l'année. L'orientation générale des trajets a été choisie sur la base d'une direction radiale par rapport aux lignes de côtes et aux isobathes, c'est-à-dire une direction nord/sud dans le nord du sanctuaire et nord-ouest/sud-est dans le sud du secteur (Fig. 1). En raison de la vitesse modérée du bateau, des précautions ont été prises pour minimiser le risque de détections

multiples d'un même groupe de dauphins, notamment aux extrémités des zig-zag. Le comptage multiple d'un même groupe n'est pas une cause de biais dans l'estimation, à condition qu'il soit non systématique et réparti sur des unités d'échantillonnage distinctes (Buckland *et al.*, 1993). A partir de la vitesse moyenne des Dauphins bleus et blancs, évaluée à 3,8 nœuds (Gannier, 1995), nous avons calculé un angle optimal de 74° entre deux segments de droite. De plus, l'ordre général du parcours décrit un aller et retour nord-sud-nord dans le sanctuaire, afin de compenser un éventuel mouvement rentrant ou sortant de la population de dauphins. Enfin, la disposition des trajets tenait compte aussi de la proximité d'un point de ravitaillement pour le bateau, afin de minimiser la longueur des « transits ».

On sait que les conditions environnementales ont une influence énorme sur la détectabilité visuelle des petits Cétacés. Nous avons utilisé un indice de détectabilité défini en fonction de la force du vent, de l'éclairement et de la houle. Les conditions limites pour conduire l'étude sur le terrain correspondent à un vent inférieur ou égal à force 3 Beaufort (10 nœuds) dans le cas d'un bon éclaircissement et en l'absence de houle significative (Gannier, 1997). Lorsque les conditions ne permettaient plus de poursuivre un segment déjà entamé, le bateau restait à proximité du point d'interruption pour reprendre l'échantillonnage le lendemain (cas de la nuit), ou bien rejoignait un abri, puis revenait reprendre le segment (cas du mauvais temps). Il faut noter que lorsque ces transits étaient parcourus dans de bonnes conditions, le protocole standard d'observation était strictement appliqué, afin de recueillir des données utilisables pour la modélisation de la détection. En final, c'est un ensemble de 8 segments parcourus entre le 16.VII et le 9.VIII qui a été retenu pour l'estimation : l'effort d'échantillonnage effectif a été de 755 milles, soit 1 399 kilomètres pendant cette période.

Lorsqu'un groupe de Cétacés était détecté, sa position était estimée et mesurée grâce au compas et au réticule d'azimut des jumelles, qui donne un angle β par rapport à l'horizon, lequel est transformé en distance radiale r grâce à une relation tirée de Gannier (1995) : $r = 3 \times \text{tg} (89,9444 - \beta)$ pour un observateur à 3 mètres au dessus de l'eau.

La détermination de l'espèce était confirmée grâce aux jumelles, et l'effectif du groupe de dauphins, la vitesse et la direction de son déplacement étaient estimés de même. Contrairement à nos études précédentes (Gannier, 1997a), nous avons utilisé un « mode de passage » : après la détection des animaux, il n'y avait pas d'arrêt ou de modification de la route du bateau, sauf exceptionnellement en cas de doute sur l'espèce observée. Il faut noter à ce sujet que *S. coeruleoalba* est parfois confondu avec *Delphinus delphis* (Linné, 1758). Mais le Dauphin commun est rare dans le secteur étudié : entre 1988 et 1995, sur 518 groupes de petits dauphins approchés par beau temps à moins de 200 mètres, seul deux — vus en août 1992, au large de la Corse — appartenaient à cette espèce (données personnelles). Le mode de passage a été préféré à un mode de rapprochement pour faciliter l'analyse de la réponse des dauphins par rapport à la plate-forme. Ne pouvant utiliser une méthode déjà développée (Buckland & Turnock, 1992 ; Hammond *et al.*, 1995), nous avons opté pour une procédure compatible avec la taille de notre bateau, qui, à défaut de délivrer des données modélisables, peuvent nous alerter sur l'existence du phénomène. Lorsque les conditions étaient très bonnes (vent inférieur à 6 nœuds), le groupe de dauphins détecté était contrôlé visuellement jusqu'à ce qu'il soit dans le travers du bateau. Tout changement de direction ou d'allure était consigné, afin de détecter une approche ou un éloignement du bateau, ou encore

une modification du comportement de surface. La distance minimale entre les dauphins et le bateau ou la distance à laquelle avait lieu la réaction était aussi notée.

MÉTHODES D'ANALYSE

La densité en individu par kilomètre carré a été estimée par la méthode du transect linéaire, qui admet la formulation suivante (Buckland *et al.*, 1993) :

$$D = (n/L) \cdot E(s) \cdot I(2 \cdot esw \cdot g_0)$$

où n est le nombre d'observations primaires réalisées sur la longueur L du transect, n/L est le taux d'observation en groupe par kilomètre, $E(s)$ est l'estimateur de l'effectif moyen des groupes, esw est la demi-largeur effective de détection, déterminée par modélisation de l'histogramme des distances perpendiculaires de détection, et g_0 est la probabilité de détection sur la ligne. Cet estimateur d'abondance repose sur plusieurs hypothèses (Buckland *et al.*, 1993) : la probabilité de détection sur la ligne g_0 doit valoir 1, ou être évaluée convenablement, les groupes détectés doivent être mesurés sans biais, si possible exactement, et à leur position initiale, dans le cas d'un mouvement de réponse.

L'hypothèse que g_0 est égale à l'unité signifie en pratique que 100 % des Cétacés présents à quelques mètres de part et d'autre de la route du bateau sont détectés durant l'échantillonnage. Elle n'est généralement pas admissible *a priori* dans le cas de dauphins car certains petits groupes peuvent passer inaperçus ; le risque de non-détection augmente si le bateau se déplace vite et si la mer n'est pas calme. Cette probabilité g_0 a ainsi été évaluée à 0,60 pour des Delphinidés du genre *Lagenorhynchus* lors de la campagne « SCANS » (Hammond *et al.*, 1995) ; quant à Barlow (1995), il l'évalue à 0,77 pour les groupes de petits Delphinidés comptant moins de 20 individus et à 1 pour les groupes de plus de 20 individus. Dans notre cas, la vitesse modérée et la faible hauteur du bateau sont combinées à un nombre important d'observateurs, ce qui conduit à une « pression d'observation », définie comme le nombre d'observateurs rapporté à l'étendue de surface nouvelle parcourue chaque minute (Gannier, 1995), élevée : 1,8 obs./km².mn⁻¹, contre 0,45 à 0,60 pour un protocole d'étude usuel sur un bateau conventionnel (Gunnlaugsson & Sigurjonsson, 1990 ; Forcada *et al.*, 1994a et 1995). Le nombre élevé d'observateurs, allié à l'utilisation d'un hydrophone, qui pouvait apporter des indices acoustiques de la présence des dauphins, nous a conduits à retenir l'hypothèse « $g_0 = 1$ » lors de l'analyse. La mise en défaut de cette hypothèse peut éventuellement être révélée *a posteriori* lors de l'examen de l'histogramme des distances de détection, notamment sa forme au voisinage de 0 (Buckland *et al.*, 1993).

On sait que les groupes de dauphins importants sont détectables à plus longue distance que les groupes de petit effectif : cette propriété peut entraîner une surestimation de l'effectif moyen, si on l'évalue par une moyenne arithmétique simple (Buckland *et al.*, 1993). Le logiciel *Distance 2.1* (Laake *et al.*, 1994) permet de déduire l'espérance de l'effectif $E(s)$ grâce à l'étude de la régression de l'effectif sur la fonction probabilité de détection $g(y)$. En cas de corrélation significative, un $E(s)$ corrigé est déduit pour le point d'abscisse $g(y) = 1$.

La mesure ou l'estimation des paramètres de position amène fréquemment des effets d'arrondis nuisibles à la modélisation de la fonction de détection. Buckland & Anganuzzi (1988) recommandent dans ce cas l'utilisation d'une procédure de « smearing » ou lissage. Dans cette option, intégrée au logiciel *Distance 2.1* (Laake *et al.*, 1994), chaque point mesuré (angle a , distance radiale r) est remplacé dans l'analyse par une petite surface de secteur angulaire ($a - da, a + da$) et de distance ($r - dr, r + dr$). L'histogramme des distances perpendiculaires de détection est ensuite déduit de ces valeurs lissées. En relation avec notre technique de mesure, nous avons adopté une valeur de 5° pour da et de 15 % pour dr .

La précision de l'estimation est obtenue grâce à un rééchantillonnage par bootstrap non paramétrique incluant 1 000 passes (Efron, 1979). L'intervalle de confiance (IC) de l'estimation — au seuil de 95 % — est évalué grâce aux valeurs des quartiles de la distribution de densité obtenue. Le bootstrap a été réalisé sur des segments d'échantillonnage séparés par une extrémité ou par une interruption nocturne du transect, grâce au logiciel *Distance 2.1* (Laake *et al.*, 1994).

Par ailleurs, une correction de notre estimation est nécessaire en raison de la vitesse modérée de la plate-forme. Plusieurs auteurs (Smith, 1979 ; Hiby, 1982) ont établi qu'une plate-forme trop lente par rapport à la vitesse propre des animaux pouvait entraîner une surestimation du taux d'observation, et donc de l'abondance. Hiby (1982) et Turnock & Quinn (1991) montrent par simulation que la forme de la fonction de détection n'est pas modifiée par un mouvement aléatoire des animaux. En nous inspirant de Hiby (1982), nous avons défini une correction en fonction de la vitesse des Cétacés et de la directivité de leur détection (Gannier, 1995, 1997). Selon un test Chi-2, cette dernière n'est pas significative dans le cas de nos détections. La modélisation (détaillée en Annexe) prévoit qu'avec un rapport de 0,7 entre la vitesse moyenne des Cétacés (3,6 nœuds pour le Dauphin bleu et blanc lors de cette campagne) et celle du bateau (6 nœuds), nous devons corriger notre estimateur d'abondance D en le multipliant par un facteur 0,89.

RÉSULTATS

174 observations de Cétacés ont été réalisées au total pendant la campagne : outre les 110 groupes de Dauphin bleu et blanc, on compte 53 observations de Rorqual commun, 4 de Dauphin de Risso, 5 de Globicéphale noir et 2 de Cachalot commun. 95 observations de *S. coeruleoalba* ont été obtenues dans de bonnes conditions environnementales et 70 durant les 8 segments constituant l'effort effectif. 18 détections ont été obtenues avec un vent de 3 Beaufort, 27 avec un vent de 2 Beaufort et 25 avec une brise faible ou nulle. Les observations de Dauphin bleu et blanc ne sont pas distribuées de manière homogène : on relève une forte présence de l'espèce dans le secteur Nord de la Corse et dans l'Est-Sud-Est de l'île du Levant, où deux de nos segments échantillons se croisent (Fig. 2). En moyenne, le taux de détection des Dauphins bleus et blancs a été de 4,15 groupes par centaine de kilomètres — après correction de l'effet de vitesse (Tab. I). L'effectif des groupes rencontrés est typique pour la période avec une moyenne de 17,5 individus : on compte deux groupes de plus de 40 individus, et 16 groupes d'effectif compris entre 20 et 40 dauphins. Compte-tenu d'une corrélation significative entre l'effectif et la probabilité de détection, l'espérance $E(s)$ est ramenée à 16,4 individus ($CV = 10,2\%$).

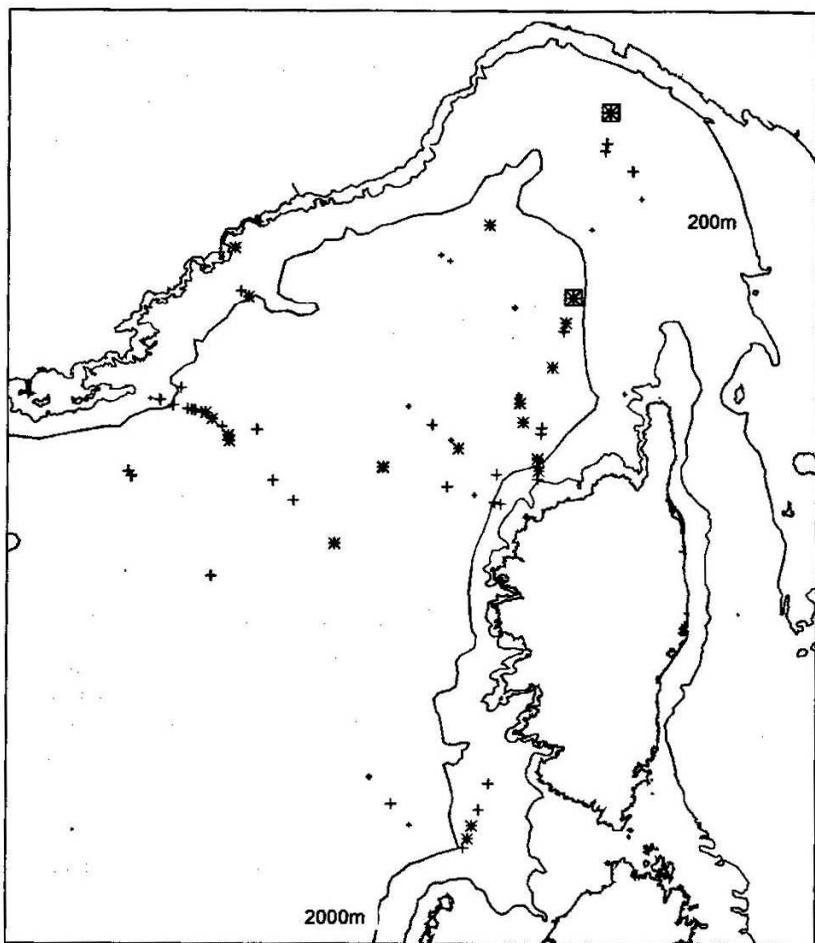


Figure 2. — Distribution des observations de Dauphin bleu et blanc au cours des transects. (petite croix = 1 ind., grande croix = 2 ind., étoile = 20 à 40 ind., carré = 40 ind. et plus).

Avant de procéder à la modélisation, nous examinons l'histogramme des distances perpendiculaires tronqué à 1 200 m, découpé en 12 blocs et non lissé (Fig. 3) : le plateau approximatif visible entre 0 et 400 m de la ligne indique que le processus de détection s'est déroulé correctement (Buckland *et al.* (1993). La modélisation de la détection est effectuée sur l'histogramme lissé et découpé en 8 blocs égaux, la troncation de 1 200 mètres laissant subsister 65 détections, ce qui est suffisant selon Buckland *et al.* (1993). Le critère de sélection de Akaike (1985)

TABLEAU I

Résultats de l'estimation d'abondance.

	Estimation CV (%)	Intervalle de confiance à 95 %
Demi-largeur effective de détection (mètres)	599 (12 %)	466 à 769
Effectif moyen des groupes (individus)	16,4 (10,2 %)	13,4 à 20,1
Taux de détection (groupe par km)	0,041 (21,6 %)	0,025 à 0,068
Densité D (individus par km ²)	0,56 (16,4 %)	0,40 à 0,76
Abondance N (individus)	28 385 (16,4 %)	20 058 à 37 820

nous amène à choisir un modèle de type « hazard » sans ajustement qui est en bonne conformité avec les données de détection et qui est robuste en raison de sa forme en plateau au voisinage de zéro (Fig. 4). Nous obtenons ainsi une demi-largeur de détection de 599 mètres ($CV = 12,6\%$). D'autres modèles aboutissent à des résultats très voisins, de même qu'un travail préliminaire où la modélisation avait été réalisée sur 84 détections primaires récoltées durant toute la campagne (Gannier, 1997b).

Compte tenu de ces résultats, la densité estimée — et corrigée de l'effet de vitesse — pour le secteur étudié vaut $0,56 \text{ ind./km}^2$ ($CV = 16,4\%$), avec un intervalle de confiance à 95 % compris entre 0,40 et $0,76 \text{ ind./km}^2$. Cela représente un effectif moyen de 28 385 Dauphins bleus et blancs dans le sanctuaire durant les 20 jours de campagne ($IC\ 95\% : 20\ 088-37\ 820$).

L'histogramme figurant la réponse au bateau en fonction de la distance du groupe de dauphins (Fig. 5), montre que sur 23 groupes observés, aucun cas de réponse n'est noté à une distance de plus de 100 mètres. A moins de 100 mètres du bateau, le cas le plus fréquent est celui d'une absence de réponse (10 cas) ; un cas de rapprochement, deux cas d'évitement et deux cas de changement de comportement de surface ont également été notés. Nous ne constatons donc pas de tendance nette au rapprochement ou à l'évitement.

DISCUSSION

Notre résultat peut être comparé à une estimation de $0,76 \text{ ind./km}^2$ ($CV = 34\%$) obtenue l'été précédent dans un secteur incluant le centre du bassin ligure et la zone des 40 milles au large de la Provence (Gannier, 1996). Cette

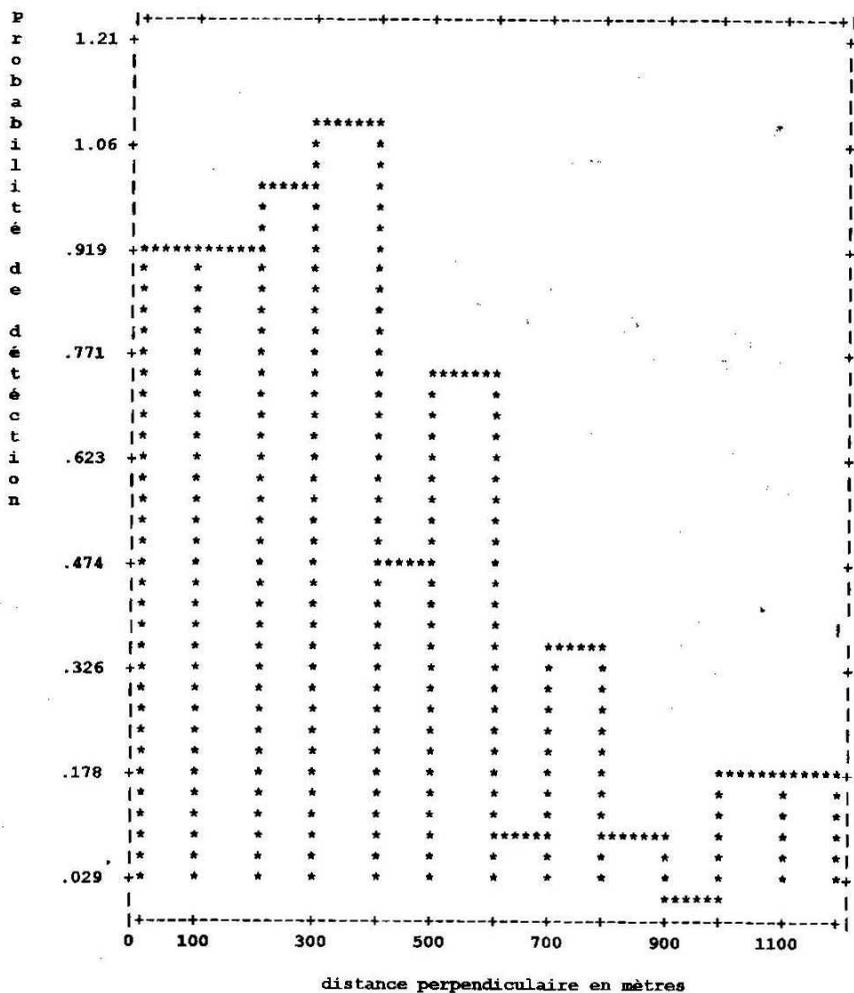


Figure 3. — Histogramme non lissé des distances perpendiculaires de détection avec un découpage fin.

densité plus élevée peut illustrer une tendance des Dauphins bleus et blancs à favoriser la zone centrale du sanctuaire et les zones de talus. L'estimation de Forcada *et al.* (1995) est issue d'une campagne effectuée sur le M/V Sirius (longueur 46 m, vitesse 10 nœuds, 3-4 observateurs à poste à 8 m de hauteur) entre le 6 et le 20 août 1992 (durée de 15 jours), dans un secteur aux limites voisines de celle du sanctuaire, incluant les eaux côtières. Forcada *et al.* (1995) aboutissent à une densité de 0,44 ind./km² (CV = 25,3 %). L'intervalle de confiance à 95 % de 0,26 à 0,73 ind./km² inclut presque notre estimation (0,56 ind./km²) et son

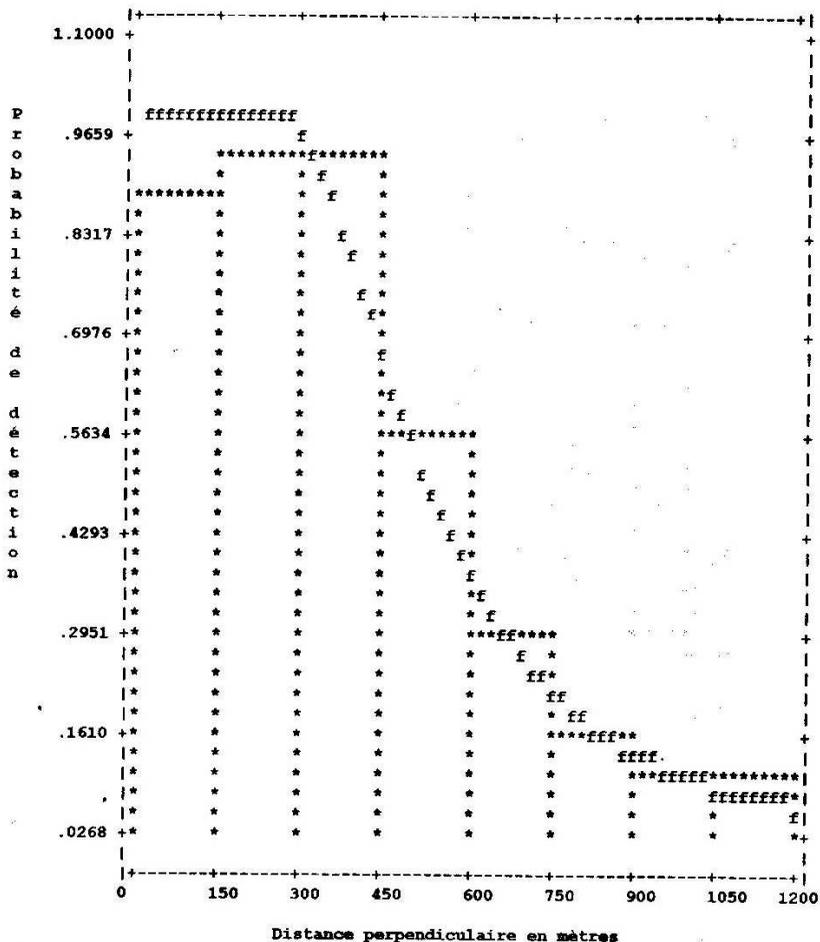


Figure 4. — Histogramme des distances perpendiculaires de détection et modélisation de la fonction de détection.

intervalle de confiance (0,40-0,76 ind./km²); les deux densités ne sont pas significativement différentes sur la base d'un test Z ($p > 0,19$). La différence entre les deux densités peut refléter un écart réel entre les populations présentes. Si notre estimation est supérieure, d'environ 27 %, c'est peut-être en raison de la définition différente des secteurs échantillonnés : au large des isobathes 200 m pour notre étude, et de côte à côte pour Forcada *et al.* (1995). Dans ce cas l'écart relatif doit se réduire en considérant les effectifs moyens ; c'est ce que l'on constate avec des estimations de respectivement 28 385 et 25 614 individus. L'écart de 11 %

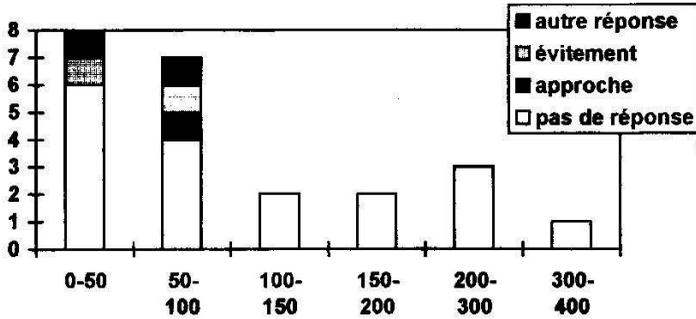


Figure 5. — Réponse des groupes de dauphins en fonction de la distance minimale par rapport au bateau.

constaté sur l'effectif peut provenir d'une croissance de la population présente, explication plausible si l'on se souvient qu'une mortalité importante avait frappé la population du bassin occidental en 1990-1991 (Aguilar & Raga, 1993). La différence peut aussi être réelle mais fortuite, car provenant d'une variation de distribution des Dauphins bleus et blancs à l'échelle du bassin.

La discussion doit aussi porter sur des aspects de la mise en œuvre, car une méthode d'estimation d'abondance doit fournir des résultats non significativement différents lorsqu'elle est employée par des équipes distinctes ou avec des moyens différents. Dans le cas d'une estimation réalisée avec un petit bateau, il faut s'interroger sur l'éventualité de biais, mais également sur la répétabilité dans le temps de ces biais éventuels.

Pour ce qui est de l'effectif moyen des groupes, le mode de passage n'a pas généré d'écart significatif avec les valeurs constatées habituellement dans le secteur : 12,3 en 1991, 16,9 en 1992, 16,1 en 1993, 19,4 en 1994, 16,6 en 1995 (Gannier, 1995, 1996), 16,2 en 1992 selon Forcada *et al.* (1995). En examinant notre histogramme des distances de détection (Fig. 3), on observe un palier entre 0 et 400 m : cette forme en plateau est en accord avec l'hypothèse $g_0 = 1$, retenue pour notre étude. La stabilité du processus de détection peut aussi être discutée en effectuant une modélisation stratifiée en fonction de la force du vent : nous obtenons une largeur efficace de détection de 571 m pour un vent de 0-1 Beaufort et de 683 m pour un vent de 2 Beaufort. Bien que ces modélisations soient effectuées avec peu de détections, elles tendent à montrer une certaine robustesse de notre procédure d'observation vis-à-vis de l'état de la mer. Nous avons évalué l'influence du non-respect éventuel de l'hypothèse $g_0 = 1$, en effectuant une simulation : l'adoption d'une valeur de 0,85 pour g_0 et de 0,10 pour son écart-type aboutit à une densité de 0,66 ind./km² (ce qui semble logique), assortie d'un coefficient de variation de 16 %, issu du rééchantillonnage par bootstrap. L'hypothèse de certitude de détection sur la ligne a été adoptée *a priori* par Forcada *et al.* (1995) ; sur des bateaux conventionnels, g_0 est fréquemment inférieure à 1 comme l'ont montré Barlow (1995) et Hammond *et al.* (1995).

Un mouvement de réponse non détecté constituerait une source de biais potentiellement importante (Turnock & Quinn, 1991). Dans notre cas, la procédure

de contrôle a été mise en œuvre par très beau temps et, quoiqu'assez élémentaire, elle ne met pas en évidence de réponse systématique (18 cas neutres sur 23). Nous avons noté lors de travaux antérieurs (Gannier, 1995), que le nombre de groupes de dauphins détectés alors qu'ils se dirigent vers le bateau augmente lorsque l'état de la mer se dégrade. Ce point doit être surveillé dans le cas d'un petit bateau, où les détections se font en moyenne à distance plus faible que sur un bateau conventionnel. Les méthodologies de « double plate-forme d'observation » mettent souvent en évidence une attraction : ce fut le cas par exemple lors de la campagne « SCANS » pour les Delphinidés du genre *Lagenorhynchus* (Hammond *et al.*, 1995). Cet aspect n'a pas été abordé lors de l'étude de Forcada *et al.* (1995). Un autre facteur pouvant biaiser les estimations provient d'erreurs de mesure de position, et particulièrement de distance radiale : au total 64 % des distances de détection ont fait l'objet de mesures dans notre cas, mais par vent de Beaufort 3 la distance a souvent été simplement estimée. Les deux estimations de Forcada *et al.* (1994a, 1995) proviennent de campagnes pendant lesquelles les distances radiales étaient simplement estimées visuellement.

Enfin, la méthode de correction de vitesse que nous utilisons influence directement l'estimation finale. L'incertitude et l'inexactitude des estimations de vitesse peuvent amener une détérioration de la variance de l'estimation d'abondance. A cet égard, observons qu'à partir de données acquises de 1991 à 1994, nous avons obtenu une vitesse moyenne de 3,8 nœuds pour les Dauphins bleus et blancs (Gannier, 1995).

Dans l'optique d'un suivi à long terme d'une population sauvage, la répétabilité d'une méthode est une qualité importante, au même titre que l'exactitude. Le processus de détection de la méthode du transect linéaire est très sensible aux conditions environnementales (Buckland *et al.*, 1992), à certains paramètres biologiques, tels que l'effectif des groupes ou l'activité de surface des Cétacés, de même qu'à la composition de l'équipe d'observateurs. A condition que les positions soit correctement estimées ou mesurées, la méthode du transect linéaire est robuste vis-à-vis d'une variation des performances de détection dues à l'état de la mer, puisqu'une diminution de la largeur effective aura pour contrepartie une diminution — en principe égale — du taux d'observation. Selon notre expérience, sur un bateau de neuf mètres la largeur effective de détection a varié entre 299 et 469 mètres durant quatre étés consécutifs, principalement semble-t-il sous l'influence des conditions météorologiques (Gannier, 1995). Forcada *et al.* (1994a) évaluent la largeur effective de détection à 773 mètres après la campagne de 1991, alors que Forcada *et al.* (1995) trouvent une fourchette de 1 326-1 892 mètres après la campagne de 1992, respectivement par vent calme et brise de Beaufort 1-2. L'influence du « mouvement aléatoire » des dauphins sur la répétabilité peut être légitimement considérée comme nulle, si la vitesse des animaux est constante (Smith, 1979). De même, la réponse d'une même espèce à une plate-forme identique varie probablement peu au cours des années successives. Ces différents éléments nous permettent de considérer que l'étude réalisée ici permet un bon suivi de la population de Dauphins bleus et blancs si elle est répétée chaque année.

Au total, on peut retenir de cette étude et de celle de Forcada *et al.* (1995) que l'abondance estivale moyenne du Dauphin bleu et blanc dans le sanctuaire est proche d'une fourchette de 0,44-0,56 ind./km² (sans inclure les intervalles de confiance). L'intérêt écologique de cette aire pour le Dauphin bleu et blanc est indéniable, car la densité dans l'ensemble du bassin occidental (moins la mer

TABLEAU II

Estimations de densité pour le Dauphin bleu et blanc dans le bassin occidental.

Secteur	D ind./km ² (CV)	Nombre de détectés	esw (mètres)	S (ind./gr.)	Référence
Liguro-toscan	0,30 (35 %)	114	773	—	Forcada <i>et al.</i> (1994b)
Liguro-provençal	0,44 (26 %)	67	1 326-1 892	16,2	Forcada <i>et al.</i> (1995)
Liguro-provençal	0,76 (34 %)	85	393	16,7	Gannier (1996)
Lion-Provence	0,23 (25 %)	114	773	—	Forcada <i>et al.</i> (1994b)
Nord-Baléares	0,09 (36 %)	114	773	—	Forcada <i>et al.</i> (1994b)
Sud du bassin	0,08 (34 %)	—	—	—	Forcada (1995)
Alboran	0,19 (31 %)	—	—	—	Forcada (1995)
Nord-Tyrrhénien	0,26 (49 %)	141	370	17,2	Gannier (1995)
Ouest-Corse	0,58 (28 %)	141	370	17,2	Gannier (1995)
Lion-Ouest Provence	0,63 (22 %)	141	370	17,2	Gannier (1995)

Tyrrhénienne) est estimée autour de 0,20 ind./km² (CV = 33 %), soit un effectif compris entre 68 379 et 214 800 individus (Forcada *et al.*, 1994a). Les résultats d'autres secteurs, plus rares et moins précis (Tab. II), confirment que la zone du sanctuaire est sans doute la plus densément peuplée en été, à l'exception peut-être du large du secteur Lion-Ouest Provence (Forcada *et al.*, 1994b ; Gannier *et al.*, 1994). Forcada (1995) obtient une densité de 0,19 ind./km² (CV = 31 %) en mer d'Alboran, mais il faut observer que le Dauphin bleu et blanc cohabite dans ce secteur avec le Dauphin commun. Ailleurs dans le monde, la densité de dauphins pélagiques — toutes espèces confondues — atteindrait 0,79 ind./km² dans le secteur le plus favorisé du Pacifique tropical oriental (Holt & Sexton, 1990), alors que l'abondance cumulée du Dauphin bleu et blanc et du Dauphin commun en Atlantique Nord-Est serait de 0,19 ind./km² (Goujon *et al.*, 1994). En mer du Nord, en cumulant les densités de Marsouins communs (*Phocoena phocoena*, Linné 1758) — très majoritaires —, et de Lagénorhynques, on arrive à une estimation de densité de 0,40 ind./km² (Hammond *et al.*, 1995). Le futur sanctuaire figure donc bel et bien parmi les zones du globe densément peuplées en petits Cétacés. Si l'on se souvient que c'est également le cas pour les balénoptères (Gannier, 1997), on ne peut qu'être convaincu qu'une protection effective de ce secteur est urgente.

CONCLUSION

La densité de 0,56 individu par km² obtenue est proche de celle estimée précédemment grâce à un bateau conventionnel (Forcada *et al.*, 1995) dans un

secteur presque identique. Cette étude confirme donc que le futur sanctuaire est de toute première importance écologique pour la population méditerranéenne de Dauphins bleus et blancs. Dans la mesure où un suivi régulier de la faune est indispensable dans une aire ouverte comme celle du sanctuaire marin, nos résultats montrent que l'utilisation d'un bateau de la classe 12-15 m et d'un protocole connu permet l'obtention d'estimations d'abondance moyenne dont les qualités premières sont une précision correcte et une bonne répétabilité. Cette approche doit être regardée comme complémentaire par rapport à l'organisation de campagnes plus coûteuses, de type SCANS (Hammond *et al.*, 1995), qui sont seules à permettre une évaluation exacte et précise de la population à l'échelle de tout le bassin occidental, mais dont la périodicité est nécessairement de plusieurs années. Le coût modéré des campagnes rend possible un suivi annuel des Cétacés dans le sanctuaire et permet la détection précoce de tendances ainsi que l'interprétation des résultats en terme d'écologie des populations.

ANNEXE

La modélisation est développée pour un objet non directif, c'est-à-dire dont la surface de détection est un cercle. Soient u et v les vecteurs vitesses du bateau et du cétacé par rapport à un référentiel fixe dont l'axe t est parallèle à la trajectoire du bateau et l'axe n normal et dirigé vers la gauche. Soit θ l'angle de v par rapport à u , positif de t vers n (Fig. 6) :

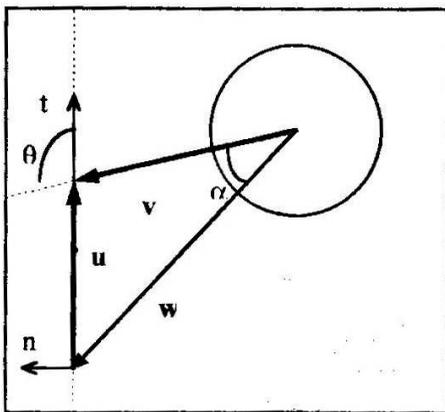


Figure 6. — Schéma adopté pour la correction de vitesse non-directive.

Soit w le vecteur vitesse relative du cétacé par rapport au bateau :

$$u = (u, 0), v = (v \cdot \cos \theta, v \cdot \sin \theta)$$

$$\mathbf{w} = \mathbf{v} - \mathbf{u} = (v \cdot \cos \theta - u, v \cdot \sin \theta)$$

Pour une densité D et un animal quelconque, le taux de détection peut s'écrire (Hiby, 1982) :

$$n/l_0 = D \cdot \delta \cdot w \quad (\mathbf{w} \text{ est le module du vecteur } \mathbf{w})$$

En faisant $v = 0$, on trouve le taux de détection pour des objets immobiles :

$$n/l_0 = D \cdot \delta \cdot u$$

On exprime (n/l_0) en fonction de u et v , les modules de u et v , et de θ :

$$\begin{aligned} n/l_0 &= D \cdot \delta \cdot \sqrt{[(v \cdot \cos \theta - u)^2 + (v \cdot \sin \theta)^2]} \\ &= D \cdot \delta \cdot \sqrt{(v^2 + u^2 - 2 \cdot uv \cdot \cos \theta)} \end{aligned}$$

Pour trouver le taux d'observation pour tous les animaux (tous les θ), on intègre entre 0 et 2π et on fait la moyenne, soit, en prenant $k = v/u$:

$$n/l_k = 1/2 \pi \cdot D \cdot \delta \cdot u \cdot \int_{0,2\pi} [(k^2 + 1) - 2k \cdot \cos \theta]^{0,5} d\theta$$

On définit le facteur de correction τ : $\tau = [n/l]_k / [n/l]_0$ (Tab. III).

TABLEAU III

Valeur du coefficient de correction τ pour quelques rapports de vitesse k .

k	1	0,7	0,5	0,3
τ	0,78	0,89	0,94	0,975

REMERCIEMENTS

Je remercie le Ministère de l'Environnement qui a soutenu cette étude. Je remercie vivement les observateurs bénévoles qui l'ont rendue possible, notamment Sylvic Arnaud et Odile Gannier (GREC), ainsi que Léa David et Nathalic Di-Méglio (EPHE, Montpellier). Merci à Madame le Professeur Claude Payri pour ses conseils éclairés, et à trois referees anonymes qui m'ont permis grâce à leurs commentaires constructifs d'améliorer une première version du manuscrit.

RÉSUMÉ

L'accord de mars 1993 fixe les limites du futur Sanctuaire Marin International. Nous avons conçu et réalisé un transect linéaire visuel pour y estimer l'abondance estivale du Dauphin bleu et blanc (*Stenella coeruleoalba*). L'échantillonnage est constitué par 8 segments de droites totalisant 755 milles (1 399 km), réalisé entre le 16.VII et le 9.VIII.1996 à bord d'un bateau de 12 mètres. La vitesse moyenne a été maintenue au-dessus de 6 nœuds et quatre observateurs assuraient en permanence la détection des Cétacés. Ils étaient munis de jumelles permettant de mesurer le relèvement et l'azimut des groupes détectés. L'analyse des données a été réalisée grâce au logiciel *Distance 2.1*, en considérant que l'hypothèse de certitude de détection sur la ligne était valide. Sur un total de 144 groupes de Cétacés détectés en effort, 70 ont été des groupes de Dauphins bleus et blancs. Nous obtenons une estimation de densité de 0,56 individu par km² (CV = 16,4 %), soit un effectif d'environ 28 385 animaux. Ce résultat est en assez bon accord avec des estimations réalisées antérieurement dans le secteur et confirme l'importance majeure du sanctuaire pour la population méditerranéenne de Dauphins bleus et blancs. Nous discutons les raisons pour lesquelles ce type d'étude permet un suivi régulier et de bonne qualité de la population de Cétacés au sein du sanctuaire.

SUMMARY

Following a tri-national agreement in March 1993, an area of about 58 000 km² was delimited for an International Marine Sanctuary in the liguro-provençal basin. A visual line transect survey has been designed to estimate the abundance of the Striped Dolphin (*Stenella coeruleoalba*) during the summer of 1996 (16.VII-9.VIII). The platform is a 12 meters motorsailer, with a 6 knots cruising speed. Four dedicated observers were in duty. Positions have been measured with reticulated binoculars. The survey track is a serie of 8 legs in saw-tooth pattern totaling an effective effort of 755 nautical milles. A passing mode has been selected for the survey to enable the study of the animal's response to the platform. The data analysis has been performed with *Distance 2.1* software, assuming the detection probability on the line was unity. 144 sightings were obtained in effort during the survey, including 70 primary detections of Striped Dolphins. A density estimate of 0.56 Striped Dolphins per km² (CV = 16,4 %) is obtained. This figure is in good agreement with previous results and confirms that the liguro-provençal basin is an area of major importance for the species in the Western Mediterranean. This study opens the possibility of monitoring the abundance in the sanctuary with annual small boat samplings, in addition to the implementation of large scale surveys using "state of the art" methodology.

RÉFÉRENCES

- AGUILAR, A. & RAGA, J.A. (1993). — The Striped Dolphin epizootic in the Mediterranean Sea. *Ambio*, 22 : 524-528.
- AKAIKE, H. (1985). — Prediction and entropy. Pp. 1-24, in : A.C. Atkinson & S.E. Fienberg (eds). *A Celebration of Statistics*. Springer Verlag, Berlin.

- BARLOW, J. (1995). — The abundance of Cetaceans in Californian waters. Part 1 : Ship surveys in summer and fall 1991. *Fishery Bulletin*, 93 : 1-14.
- BUCKLAND, S.T. & ANGANUZZI, A. (1988). — Comparison of smearing methods in the analysis of Minke sightings data from IWC/IDCR Antarctic cruises. *Rep. int. Whal. Commn.*, 38 : 257-253.
- BUCKLAND, S.T. & TURNOCK, B.J. (1992). — A Robust Line Transect Method. *Biometrics*, 48 : 901-909.
- BUCKLAND, S.T., CATTANACH, K.L. & GUNNLAUGSSON, T. (1992). — Fin Whale abundance in the Northeast Atlantic estimated from Icelandic and Faroese NASS 87 and NASS 89 data. *Rep. Int. Whal. Commn.*, 42 : 845-851.
- BUCKLAND, S.T., AGUILAR, A., HAMMOND, K.P. & LAAKE, J.L. (1993). — *Distance sampling. Estimating abundance of biological populations*. Chapman & Hall, London.
- DI NATALE, A., NOTARBARTOLO DI SCIARA, G. (1995). — A review of the passive fishing nets and trap fisheries in the Mediterranean Sea and of the cetacean bycatch. *Rep. Int. Whal. Commn. (special issue 15)* : 189-202.
- EFRON, B. (1979). — Bootstrap methods : another look at the jackknife. *Annals of statistics*, 7 : 1-16.
- FORCADA, J. (1995). — Abundance of Common and Striped Dolphins in the Southwestern Mediterranean. *European Research on Cetaceans*, 9 : 153-155.
- FORCADA, J., AGUILAR, A., HAMMOND, P., PASTOR, X. & AGUILAR, R. (1994a). — Distribution and numbers of Striped Dolphins in the Western Mediterranean Sea after the 1990 epizootic outbreak. *Marine Mammal Science*, 10(2) : 137-150.
- FORCADA, J., AGUILAR, A., HAMMOND, P., PASTOR, X. & AGUILAR, R. (1994b). — Striped Dolphin abundance in the Northwestern Mediterranean. *European Research on Cetaceans*, 8 : 96-98.
- FORCADA, J., NOTARBARTOLO DI SCIARA, G. & FABBRI, F. (1995). — Abundance of Fin Whales and Striped Dolphins in the Corso-Ligurian Basin. *Mammalia* 59(1) : 127-140.
- GANNIER, A. (1995). — *Les Cétacés de Méditerranée nord-occidentale : estimation de leur abondance et mise en relation de la variation saisonnière de leur distribution avec l'écologie du milieu*. Thèse de Doctorat, Ecole Pratique des Hautes Etudes, Montpellier.
- GANNIER, A. (1996). — *Mise en œuvre du recensement acoustique et visuel des Cétacés*. Rapport final de l'étude 95.013.83400 pour le Ministère de l'Environnement, 76 pp.
- GANNIER, A. (1997a). — Estimation de l'abondance estivale du Rorqual commun *Balaenoptera physalus* (Linné, 1758) dans le bassin liguro-provençal (Méditerranée nord-occidentale). *Rev. Ecol. (Terre Vie)*, 52 : 1-19.
- GANNIER, A. (1997b). — Summer abundance estimates of Striped Dolphins and Fin Whales in the area of the future International Marine Sanctuary (NW Mediterranean). *European Research on Cetaceans*, 11 : 95-98.
- GANNIER, A. (1998). — Variation saisonnière de l'affinité bathymétrique des Cétacés dans le bassin liguro-provençal. *Vie et Milieu*, 48(1) : 25-34.
- GANNIER, A., BEAUBRUN, P.C. & DI-MEGLIO, N. (1994). — Cetacean occurrence in the gulf of Lion and surroundings. *European Research on Cetaceans*, 8 : 87-91.
- GANNIER, A. & GANNIER, O. (1997). — New results on the seasonal variation of the cetacean population in the liguro-provençal basin. *European Research on Cetaceans*, 11 : 91-94.
- GANNIER, A. & DAVID, L. (1997). — Day and night distribution of the Striped Dolphin (*Stenella coeruleoalba*) in the area off Antibes (Ligurian Sea). *European Research on Cetaceans*, vol. 11 : 160-163.
- GOUJON, M., ANTOINE, L., COLLET, A. & FIFAS, S. (1994). — A study of the ecological impact of the French tuna driftnet fishery in the north-east Atlantic. *European Research on Cetaceans*, 8 : 47-48.
- GUNNLAUGSSON, T. & SIGURJONSSON, J. (1990). — NASS-87 : Estimation of Whale Abundance Based on Observations Made Onboard Icelandic and Faroese Survey Vessels. *Rep. Int. Whal. Commn.*, 40 : 571-579.
- HAMMOND, P.S., BENKE, H., BERGREEN, P., BORCHERS, D.L., BUCKLAND, S.T., COLLET, A., HEIDE-JORGENSEN, M.P., HEIMLICH-BORAN, S., HIBY, A.R., LEOPOLD, M.F. & OIEN, N. (1995). — *Distribution and abundance of the harbour porpoise and other small cetaceans in the north sea and adjacent waters*. Life 92-2/UK/027, Final report, 239 pp.
- HIBY, A.R. (1982). — The effect of random whale movement on density estimates obtained from whale sightings surveys. *Rep. Int. Whal. Commn.*, 32 : 791-793.
- HIBY, A. & HAMMOND, P.S. (1989). — Survey techniques for estimating abundance of Cetaceans. *Rep. Int. Whal. Commn.* special issue 11 : 47-80.
- HOLT, R.S. & SEXTON, S.N. (1990). — Monitoring trends in Dolphin abundance in the Eastern Tropical Pacific using research vessels over a long sampling periode : analyses of 1988 data. *Rep. Int. Whal. Commn.*, 40 : 471-476.

- LAAKE, J.L., BUCKLAND, S.T., ANDERSON, D.R. & BURNHAM, K.P. (1994). — *DISTANCE user's guide V2.1*. Colorado Cooperative Fish and Wildlife Research unit, Colorado State University, Fort Collins, 72 pp.
- SMITH, G.E.J. (1979). — Some aspects of line transect sampling when the population moves. *Biometrics*, 35 : 323-329.
- TURNOCK, B.J. & QUINN, T.J. II (1991). — The effect of responsive movement on abundance estimates using Line Transect Sampling. *Biometrics*, 47 : 701-715.