

ESTIMATION DE L'ABONDANCE ESTIVALE DU RORQUAL COMMUN *BALAENOPTERA PHYSALUS* (LINNÉ, 1758) DANS LE BASSIN LIGURO- PROVENÇAL (MÉDITERRANÉE OCCIDENTALE)

Alexandre GANNIER*

INTRODUCTION

L'accord international de mars 1993 jette les bases du futur Sanctuaire Marin International du bassin corso-liguro-provençal. La création de cette aire protégée est largement motivée par l'abondance des Cétacés qui la fréquentent en période estivale. Les principales espèces présentes dans le secteur sont le Dauphin bleu et blanc (*Stenella coeruleoalba*) et le Rorqual commun (*Balaenoptera physalus*) suivies par quatre autres Odontocètes de moindre importance numérique (Duguy, 1991 ; Gannier, 1995). Le secteur géographique défini par l'accord (Fig. 1) ne représente qu'une partie de l'aire de distribution de ces espèces communes. On sait maintenant que, dans le bassin occidental, durant l'été la population de Rorqual commun est majoritairement regroupée au nord du 40° parallèle (Beaubrun, 1995). Il est peu probable qu'une proportion significative de la population demeure en Méditerranée centrale durant l'été car la proie favorite de *B. physalus* est un Euphausiacé, *Meganyctiphanes norvegica* (Relini *et al.*, 1992 ; Orsi Relini & Giordano, 1992), peu abondant dans ce bassin, mais qui domine le peuplement d'Euphausiacés du nord du bassin occidental (Casanova, 1974). L'abondance particulièrement élevée de *M. norvegica* dans le secteur liguro-provençal (Casanova, 1974) explique qu'il constitue l'une des aires de nourrissage favorites du Rorqual commun. Relini *et al.* (1992) ont mis en évidence une corrélation significative entre l'abondance du Crustacé et la distribution du Balénoptère. Mais les zones adjacentes, comme le large du Golfe du Lion ou la partie plus méridionale du bassin provençal, sont également très fréquentées par ce Balénoptère (Forcada *et al.*, 1993 ; Gannier *et al.*, 1994). La mer Tyrrhénienne centrale est aussi une zone de nourrissage pour cette espèce (Marini *et al.*, 1992 ; Gannier, 1995). L'abondance du Rorqual commun en Méditerranée occidentale a été estimée récemment grâce à plusieurs campagnes estivales (Forcada *et al.*, 1993 ; Gannier & Gannier, 1993 ; Notarbartolo di Sciarra *et al.*, 1993) : la population estivante dans le nord de la Méditerranée compte plusieurs milliers d'individus.

* Ecole Pratique des Hautes Etudes, Laboratoire de Biogéographie et d'Ecologie des Vertébrés. USTL Montpellier 2, 34095 Montpellier cedex.
Actuellement : Laboratoire d'Ecologie Marine, Université Française du Pacifique, BP 6570 FAANA Aéroport, Tahiti.

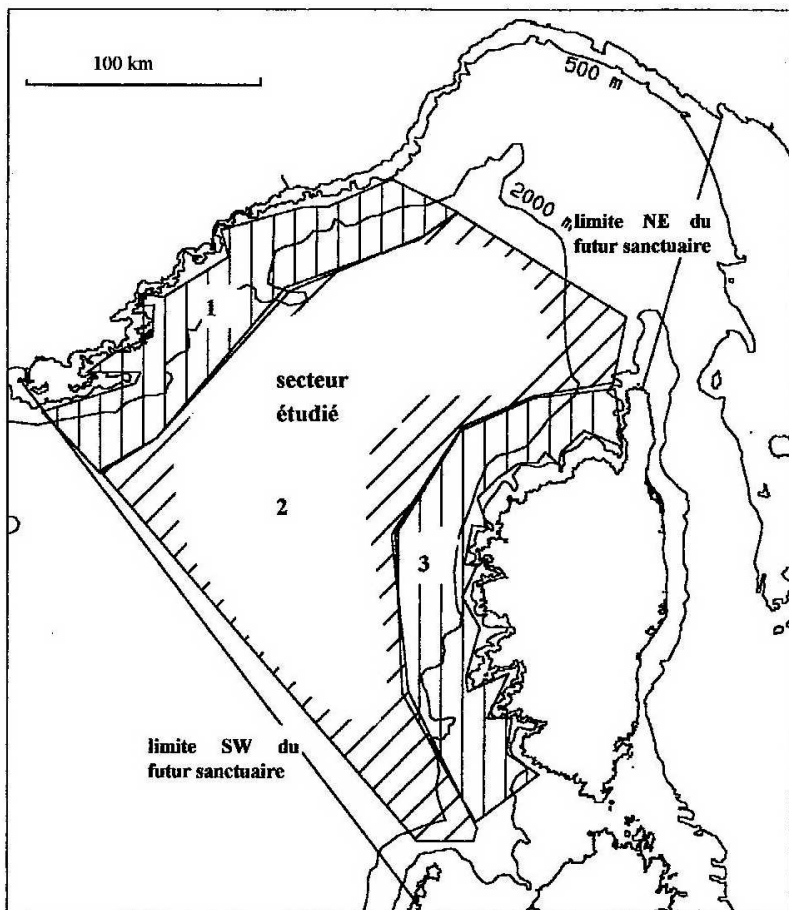


Figure 1. — Situation du secteur étudié au sein de l'aire définie pour le futur sanctuaire marin international : la zone hachurée 1 est la strate « talus provençal », la zone 2 est la strate « large » et la zone 3 est la strate « talus corse ».

Des résultats récents de génétique laissent à penser que les Rorquaux communs de Méditerranée constituent une population géographiquement bien isolée de celle de l'Atlantique (Notarbartolo di Sciara *et al.*, 1995).

Comme seule une fraction variable de la population fréquente à un moment donné le secteur liguro-provençal, on peut se poser la question de la faisabilité d'un suivi de cette faune à moyen et long terme au sein du futur sanctuaire. En effet, la fluctuation des effectifs estimés année après année dans cette zone peut

refléter largement les variations de distribution de l'espèce, en l'absence de variation réelle de l'abondance de la population. Les fluctuations naturelles de l'écosystème, en particulier la variabilité des conditions climatiques hivernales (Gostan, 1968 ; Le Vourch *et al.*, 1992), sont susceptibles d'influer sur la distribution de *M. norvegica*, et donc sur celle du Rorqual commun. Il est donc problématique d'obtenir des indices sur la variation dans le temps de la population de Rorqual commun en comparant les résultats de campagnes annuelles. Un des moyens pour résoudre ce problème est de choisir une échelle de temps suffisamment grande pour inclure la variabilité de la fréquentation du secteur par l'espèce, donc de regrouper les données de plusieurs années successives. C'est ce que nous allons faire en estimant la densité estivale moyenne de *B. physalus* dans le bassin liguro-provençal au cours de la période 1991-1994.

MÉTHODES

Nous avons obtenu nos données grâce à des échantillonnages en mer réalisés chaque année entre fin-juin et début-septembre avec un bateau à propulsion mixte de 9,50 mètres de longueur. Le secteur étudié a une surface de 38 700 kilomètres carrés et forme la partie centrale de l'aire du futur sanctuaire marin. La taille modeste du bateau et sa forte sensibilité à l'état de la mer empêchent de réaliser des segments en dents de scie. Cependant, les échantillons sont réalisés de manière que l'on peut raisonnablement considérer comme aléatoire, en l'absence d'un lien de causalité entre la présence des cétacés et la disposition des segments, et dans un ordre dépendant des conditions météorologiques. Chaque échantillon est donc constitué d'un parcours de 20 à 60 milles composé d'un ou plusieurs tronçons de ligne droite pendant lequel le bateau se déplace au moteur à une vitesse de croisière de 5 nœuds.

De nombreuses études ont montré l'influence importante des conditions environnementales sur la détection visuelle des Cétacés, y compris pour les Mysticètes de grande taille (Hiby & Hammond, 1989 ; Gunnlaugsson & Sigurjonsson, 1990). Nous avons défini un indice de visibilité (Tab. I), dont la valeur varie entre 6 (visibilité excellente) et 0 (visibilité nulle) et qui est consigné toutes les 30 minutes et à chaque observation. Cet indice est déterminé en fonction de la force du vent (en degré Beaufort), des conditions d'éclairement (nébulosité et incidence des rayons solaires) et de la présence éventuelle d'une houle résiduelle. Une stratification des détections est souvent utilisée pour définir l'ensemble des conditions environnementales compatible avec l'estimation d'abondance (Buckland *et al.*, 1992a). Dans notre cas, une baisse nette de l'efficacité de détection intervient à partir d'un indice de visibilité de 3, soit un vent égal à 4 Beaufort avec un bon éclaircissement et en l'absence de houle significative (Tab. II). Tous les segments correspondant aux conditions satisfaisantes sont inclus dans un ensemble de données constituant « l'effort de recherche effectif ». Les échantillons utiles sont donc séparés par des périodes correspondant à la nuit ou à une dégradation des conditions environnementales.

Deux à trois observateurs sont en fonction sur le rouf du bateau, avec les yeux à 3 mètres d'altitude, et ils se partagent les 180° du secteur avant. La détection des Cétacés s'effectue à l'œil nu, des jumelles étant utilisées pour la confirmation de l'identification et la collecte des données de l'observation. Lorsqu'un groupe de Rorquals communs est détecté, les paramètres de navigation et la position relative

TABLEAU I

Valeur de l'indice de visibilité en fonction des conditions environnementales.

Force du vent en Beaufort	0	1,2-	2+,3	4	5	6,7	> 8
Indice (ciel dégagé)	6	5	4	3	2	1	0
Indice (houle ou ciel couvert)	5	4	3	2	1	1	0

TABLEAU II

Influence des conditions environnementales sur la demi-largeur de détection y_{ef} du Rorqual commun, coefficient de variation en % (d'après Gannier, 1995).

Indice de visibilité	6	5	4	3
y_{ef} (m)	960	877	836	502
cv (%)	19	22	16	21,5

des animaux par rapport au bateau sont notés. Des améliorations ont été réalisées dans ce domaine au cours de la période d'étude : en 1991 et 1992, la distance radiale était estimée à l'œil par référence à l'horizon et le gisement était mesuré avec un compas de relèvement, et depuis 1993, ces deux paramètres sont mesurés à l'aide de jumelles réticulées. Les Cétacés sont ensuite généralement approchés afin de recueillir des informations complémentaires sur la composition du groupe et sur ses activités. Après un arrêt de 5 à 10 minutes, la route initiale est rejointe grâce à un trajet convergent et les observateurs reprennent leur activité de recherche. Une petite proportion des détections est obtenue alors que le bateau a quitté sa route et se dirige vers un groupe de Cétacés déjà détecté : elles sont classées comme « détections secondaires » et ne sont pas prises en compte dans les calculs d'abondance.

L'intégralité des données recueillies pendant les missions est enregistrée dans deux bases de données (format DBASE IV) contenant d'une part, les informations sur les segments parcourus, et d'autre part, les informations sur les Cétacés observés. Les premières données sont rendues compatibles avec le progiciel géographique *Oedipe-Karto* d'IFREMER (Massé & Cadiou, 1993). Ensuite, les contacts de Cétacés sont analysés par la méthode du transect linéaire (Buckland *et al.*, 1993) grâce au logiciel *Distance 2.1* (Laake *et al.*, 1994). Nous estimons ainsi l'abondance moyenne du Rorqual commun pour la période estivale centrale comprise entre le 15 juillet et le 15 août des années 1991 à 1994.

La densité estimée par la méthode du transect linéaire admet la formulation suivante (Buckland *et al.*, 1993) :

$$D = (n/L) \cdot E(s) \cdot 1/(2 \cdot y_{ef})$$

où n est le nombre d'observations primaires réalisées sur la longueur L du transect, $E(s)$ est l'estimateur de l'effectif moyen des groupes et y_{ef} est la demi-largeur effective de détection. n/L est le taux d'observation en groupe par kilomètre et y_{ef} est déterminée par modélisation d'après l'histogramme des distances perpendiculaires de détection. Cette relation suppose que la probabilité de détection sur la ligne est égale à l'unité : pour le Rorqual commun cette hypothèse est généralement retenue, y compris pour des bateaux rapides et des secteurs peu favorisés par la météorologie (Gunnlaugsson & Sigurjonsson, 1990 ; Oien, 1990 ; Buckland *et al.*, 1992a). D'autre part, cette relation simple implique que la position des animaux soit mesurée avant un éventuel mouvement de réponse des Cétacés par rapport à la plate-forme : un tel mouvement n'a pas été noté et n'est pas mentionné dans la littérature, pour *B. physalus*.

L'espérance de l'effectif d'un groupe $E(s)$ ne peut en général être assimilée à la moyenne arithmétique des effectifs observés, car les groupes importants de Cétacés sont plus détectables à longue distance que les petits groupes. Donc, si l'on procédait par simple moyenne arithmétique, on surestimerait $E(s)$. Nous avons utilisé la méthode qui consiste à effectuer une régression de l'effectif sur la fonction probabilité de détection $g(y)$, afin que l'espérance soit déduite pour le point d'abscisse $g(y) = 1$ (Buckland *et al.*, 1993). Cette option est intégrée dans le logiciel *Distance* (Laake *et al.*, 1994). Nous optons pour une estimation de l'effectif moyen basée sur l'ensemble des strates : la régression linéaire repose ainsi sur un échantillon plus important.

La précision de l'estimation est obtenue grâce à l'évaluation de la variance de la densité $var(D)$ par la méthode delta :

$$var(D)/D^2 = var(n)/n^2 + var(E(s))/E(s)^2 + var(f(0))/f(0)^2$$

La variance de $E(s)$ est estimée à partir des effectifs des groupes observés, la variance d'échantillonnage $var(n)$ est calculée d'après le nombre de détections obtenu sur chacune des lignes répliques (segments d'échantillonnage). La variance $var(f(0))$ est obtenue par le même processus de maximisation de la vraisemblance qui permet d'estimer $f(0)$.

L'intervalle de confiance (IC) de l'estimation -au seuil de 95%- est ensuite évalué sur la base d'une distribution log-normale de la densité (Buckland *et al.*, 1993) :

$$IC_{(1-2\alpha\%)} = [D/C, D \cdot C]$$

avec :

$$C = \exp \left[z_{\alpha} \cdot \sqrt{\ln [1 + var(D)/D^2]} \right]$$

Quand la taille de l'échantillon est faible ou qu'il y a peu de lignes répliques, le logiciel *Distance* emploie la procédure de Satterthwaite (1946 in Buckland *et al.*, 1993).

Une correction de l'effet de vitesse est nécessaire dans le cas de nos estimations. En effet, si le rapport entre la vitesse des Cétacés (3,2 nœuds en moyenne pour le Rorqual commun, selon nos mesures) et celle de la plate-forme

(5 nœuds, dans notre cas) est élevé, on aboutit à une surestimation du taux d'observation due à la vitesse propre des animaux. Hiby (1982) modélise cet effet et propose une formulation dépendante du rapport des vitesses et de la forme de la surface scrutée par les observateurs. Nous avons également remarqué que le Rorqual commun est plus facile à détecter de profil que de face, c'est-à-dire que sa détection possède une propriété de directivité. En nous inspirant de la démarche de Hiby (1982), nous avons proposé une modélisation qui tient compte du rapport des vitesses et de l'angle de déplacement des Cétacés (Gannier, 1995). Un coefficient correcteur multiplicatif k est calculé grâce à la formulation obtenue (voir annexe 1) et aux données recueillies sur le terrain : il permet de passer de la densité brute D à la densité corrigée D' . La correction est négligeable pour des rapports de vitesse inférieurs à 0,3 et devient importante au-delà de 0,5 ; elle est croissante quand la directivité augmente (Tab. III). Pour un rapport de vitesse de 2, le coefficient vaut 0,875.

TABLEAU III

Facteur du coefficient de correction de vitesse en fonction du rapport des vitesses et de la directivité de détection (d'après la formulation donnée en annexe 1).

λ/k	0,3	0,5	0,7	0,9	1
1	0,975	0,94	0,885	0,82	0,78
2	0,965	0,92	0,855	0,77	0,725
4	0,96	0,91	0,825	0,735	0,685

Rapport de la vitesse des animaux à celle de la plate-forme (k), coefficient de directivité de la détection (λ).

Une *post-stratification* géographique est effectuée pour tenir compte des disparités d'effort d'échantillonnage (Fig. 2) : pour cela, nous définissons 2 strates de talus entre l'isobathe 500 m et la ligne des 20 milles au large, le « talus provençal » (surface 6 000 km²) et le « talus corse » (surface 6 700 km²), et une strate « large » (surface 26 000 km²). Les abondances sont estimées sur chaque strate, puis une somme pondérée par les surfaces des strates donne le résultat pour le secteur global (Buckland *et al.*, 1993).

RÉSULTATS

En période estivale et dans le bassin liguro-provençal, *B. physalus* est le Cétacé le plus fréquemment observé après le Dauphin bleu et blanc, avec 137 observations sur un total de 492 (Tab. IV), correspondant à un total de 224 individus. La distribution des observations montre que le Balénoptère se rencontre surtout au large de l'isobathe 2 000 mètres, même si les individus sont vus également à l'aplomb du talus continental (Fig. 3).

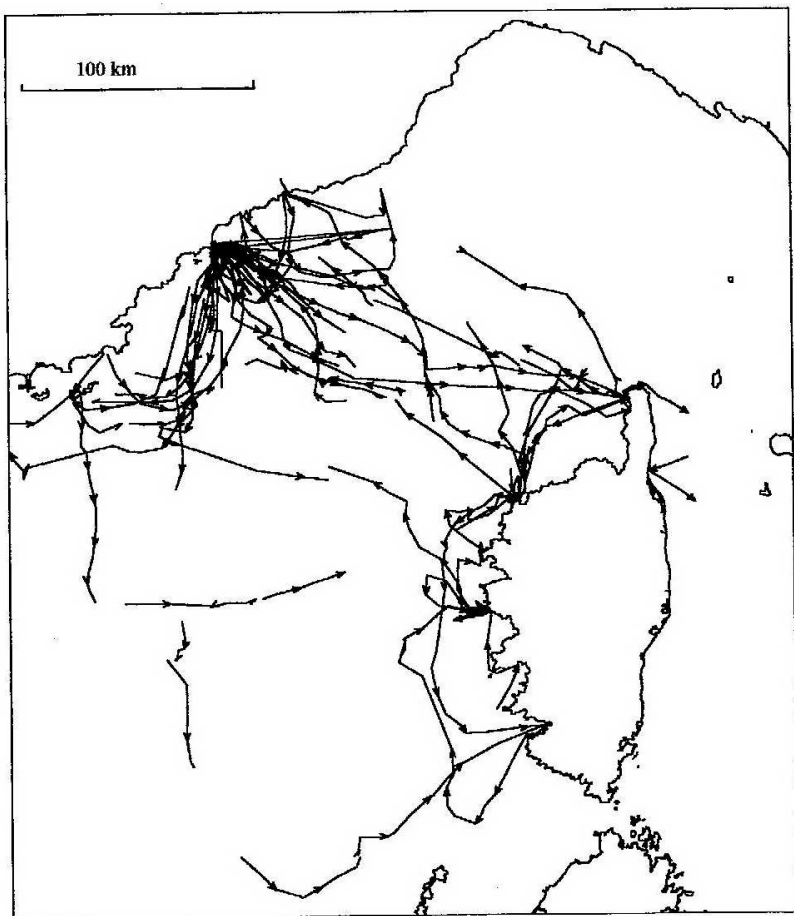


Figure 2. — Echantillonnage : déplacement du bateau dans de bonnes conditions de visibilité au cours des étés 1994 à 1991, entre le 14 juillet et le 15 août.

83 observations de Rorqual commun ont été réalisées pendant la période du 15 juillet au 15 août, durant laquelle l'effort effectif a été de 2 449 milles nautiques (4 400 km) dans le secteur étudié. Pendant cette période, les rencontres de Rorquals communs solitaires (51 cas) ou évoluant par paires (23 cas) ont été fréquentes, les groupes de 3 ou 4 animaux étant plus rares (respectivement 6 et 3 cas). Mais nous avons observé des groupes plus importants par deux fois durant l'été, en dehors de cette période ; cela n'est pas rarissime en Méditerranée

TABLEAU IV

Distribution en espèces des Cétacés observés dans le bassin liguro-provençal pendant les étés de la période 1991-1994.

Espèces	<i>Stenella coeruleoalba</i>	<i>Delphinus delphis</i>	<i>Tursiops truncatus</i>	<i>Grampus griseus</i>	<i>Globicephala melas</i>	<i>Physeter macrocephalus</i>	<i>Balaenoptera physalus</i>
Nombre de groupes	316	3	7	11	11	7	137
Nombre d'individus	6 325	19	38	130	222	14	224

(Notarbartolo di Sciara & Demma, 1994). La carte de distribution (Fig. 3) montre que les groupes les plus importants sont souvent vus dans la zone des 30-40 kilomètres au large de la Riviera. Au delà de la notion de groupe observé (liée au type de plate-forme employé), les concentrations de plusieurs dizaines d'individus sur des surfaces de quelques centaines de kilomètres carrés sont communes en été.

L'effectif moyen des groupes subit des fluctuations selon l'année considérée (Tab V), mais aussi selon la strate géographique : ainsi il vaut 1,62 individu sur la strate « talus provençal » ($cv = 14,7\%$), 1,36 individu sur la strate « large » ($cv = 5,7\%$) et seulement 1,18 individu sur la strate « talus corse » ($cv = 10,3\%$). Sur l'ensemble des 83 observations, nous obtenons une estimation de $E(s)$ de 1,32 individu par groupe ($cv = 9,2\%$) alors que la moyenne arithmétique vaut 1,46 ($cv = 6,3\%$), une fois prise en compte la troncation des détections les plus lointaines.

TABLEAU V

Nombre d'observations primaires de Rorqual commun en été et évolution de l'effectif moyen des groupes selon les années.

Année	1991	1992	1993	1994
Nombre d'observations primaires	29	49	30	27
Effectif moyen (cv en %)	1,23 (8,2)	1,61 (7,6)	1,40 (9,2)	1,54 (9,0)

L'histogramme des distances perpendiculaires de détection est initialement construit à partir de 135 observations primaires effectuées durant la totalité de l'été (Fig. 4). Conformément aux recommandations de Buckland *et al.* (1993), nous choisissons une distance de troncation de 1 400 mètres et nous effectuons les modélisations de la détection sur 124 détections primaires. Avec un découpage de l'histogramme en 9 blocs, le critère de sélection de Akaike (1985) nous amène à choisir un modèle « demi-normal » sans ajustement qui est en très bonne

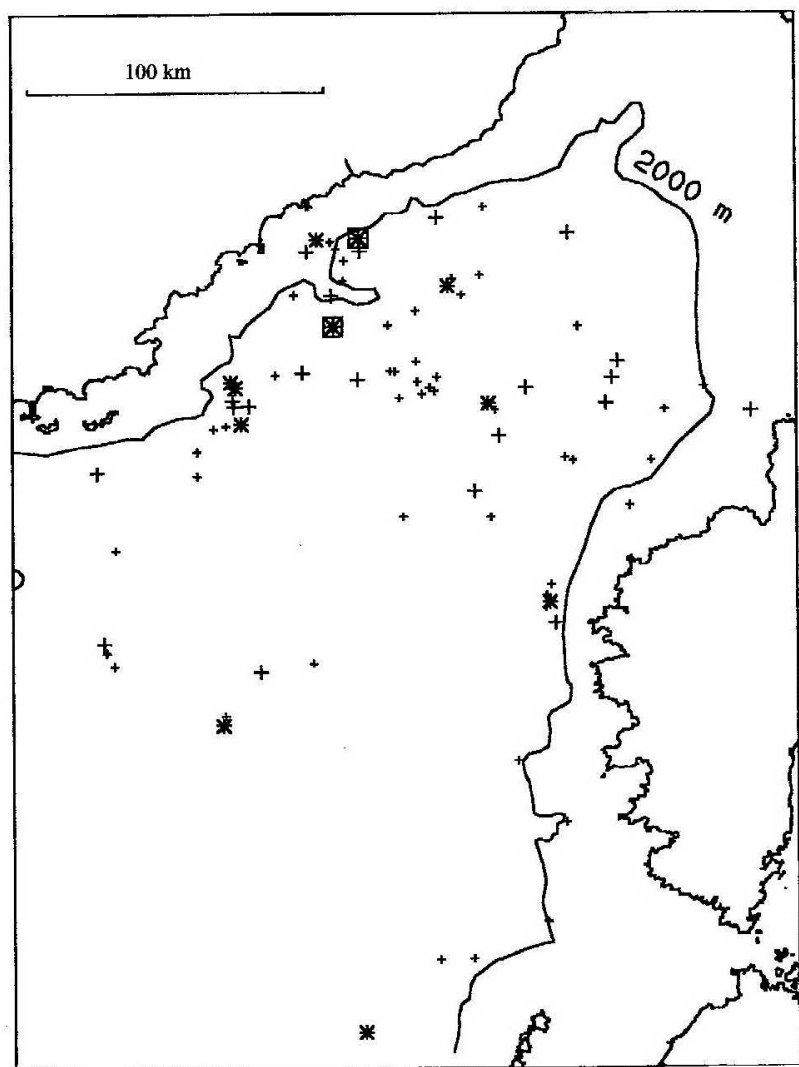


Figure 3. — Distribution des observations estivales de Rorqual commun (petite croix = 1 ind., grande croix = 2 ind., étoile = 3 ou 4 ind., carré = 5 ind. et plus).

conformité avec les données expérimentales (Fig. 5). La largeur de détection efficace y_{ef} ainsi obtenue est de 700 mètres ($cv = 7,16 \%$) et sera prise commune à toutes les strates (Tab. VI). D'autres modèles aboutissent à des résultats voisins.

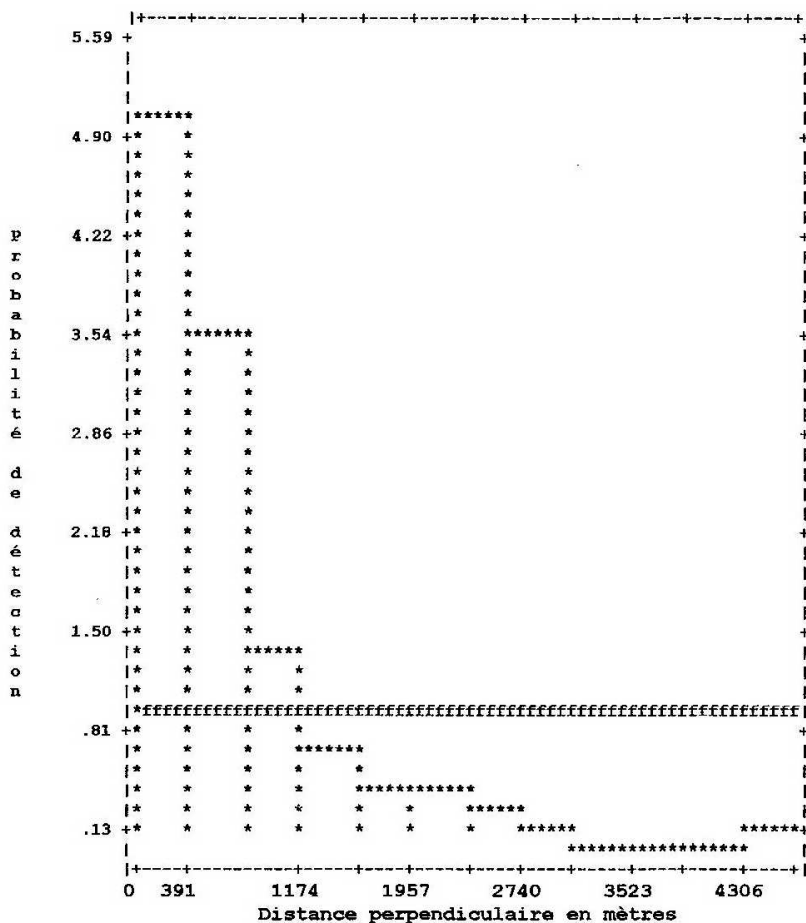


Figure 4. — Histogramme des distances perpendiculaires de détection (non tronqué).

L'estimation des taux d'observation permet d'achever l'évaluation des abondances dans chaque strate : on observe qu'ils sont voisins pour les deux strates de talus, mais que le taux d'observation de la strate large est significati-

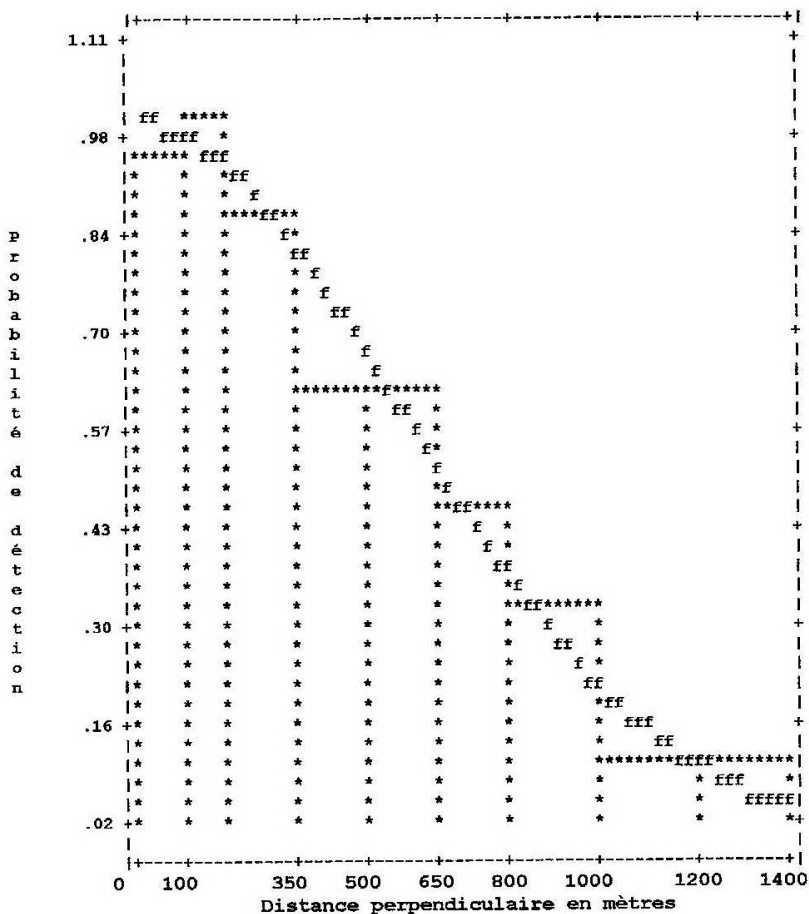


Figure 5. — Modélisation de la fonction de détection.

vement plus élevé, avec 0,039 détection par mille nautique (Tab. VII). Les estimations d'abondance montrent donc que la densité est plus élevée au large, avec 0,0174 ind./km² (cv = 17,05 %), que dans les strates « talus provençal » et « talus corse » où elle vaut respectivement 0,0093 et 0,0107 ind./km². La densité moyenne estimée pour l'intégralité du secteur étudié vaut 0,015 ind./km² (cv = 15,9 %), ce qui représente un effectif estimé de 577 individus et un effectif compris entre 413 et 764 animaux au seuil de confiance de 95 %.

TABLEAU VI

Résultats de la modélisation de la fonction de détection du Rorqual commun.

Paramètre	Estimation	Ecart-type	CV (%)	Borne inférieure de l'IC à 95 %	Borne supérieure de l'IC à 95 %
$f(0)$	0,001427	0,000102	7,16	0,00124	0,00164
p	0,50052	0,0358	7,16	0,4351	0,5758
Y_{ef}	700,7	50,16	7,16	609	806

Valeur à l'origine de la densité de probabilité des distances perpendiculaires de détection ($f(0)$ en m^{-1}), probabilité moyenne de détection sur la bande (p), largeur effective de détection (Y_{ef} en m).

TABLEAU VII

Estimation des taux d'observation et des densités pour chacune des strates.

(a) Paramètre	Estimation	Ecart-type	CV (%)	Borne inférieure de l'IC à 95 %	Borne supérieure de l'IC à 95 %
n/L	0,02094	0,00753	35,96	0,0100	0,0437
DS	0,00807	0,00296	36,66	0,0038	0,0170
D	0,01063	0,00397	37,32	0,0050	0,0226
D'	0,0093	0,00347	37,32	0,0044	0,0197
(b) Paramètre	Estimation	Ecart-type	CV (%)	Borne inférieure de l'IC à 95 %	Borne supérieure de l'IC à 95 %
n/L	0,03916	0,00541	13,81	0,0295	0,0519
DS	0,01509	0,00235	15,56	0,0110	0,0206
D	0,01988	0,00339	17,05	0,0142	0,0279
D'	0,0174	0,00297	17,05	0,0124	0,0244
(c) Paramètre	Estimation	Ecart-type	CV (%)	Borne inférieure de l'IC à 95 %	Borne supérieure de l'IC à 95 %
n/L	0,02417	0,00962	39,78	0,0104	0,0562
DS	0,00931	0,00376	40,42	0,0040	0,0217
D	0,01227	0,00503	41,02	0,0052	0,0290
D'	0,0107	0,00440	41,02	0,0045	0,0253

(a) strate « talus provençal », (b) strate « large », (c) strate « talus corse ».

Taux d'observation (n/L en groupe par mille), densité de groupe (DS en groupe par km^2), densité brute (D en ind./ km^2), densité corrigée de l'effet de vitesse (D' en ind./ km^2).

DISCUSSION

La prédilection observée du Rorqual commun pour le large est habituelle en Méditerranée : nous avons montré que la densité de cette espèce était environ 65 fois moins élevée dans la zone de profondeur inférieure à 500 m que dans la zone de profondeur supérieure à 2 000 m (Gannier, 1995). D'autre part, le phénomène

d'agrégation des Balénoptères est vérifié du printemps à l'automne lorsque de grandes concentrations d'Euphausiacés apparaissent dans le bassin (Orsi Relini *et al.*, 1994).

Notre estimation d'abondance est voisine de la densité de 0,0173 (cv = 21,6 %) trouvée par Notarbartolo di Sciara *et al.* (1993) pour le bassin liguro-provençal, après un échantillonnage de 6 jours par beau temps organisé sur un bateau de Greenpeace durant la première quinzaine du mois d'août 1992 (Tab. VIII). D'autre part, une estimation d'effectif de 4 291 animaux (cv = 32,7 %) en Méditerranée nord-occidentale a été donnée par Forcada *et al.* (1993) après une campagne organisée par Greenpeace durant l'été 1991 (Tab. VIII). Cette abondance équivaut à une densité de 0,024 ind./km², si l'on se réfère aux données publiées par ailleurs sur cette même campagne (Forcada *et al.*, 1994). Si l'on exclut l'hypothèse d'échanges massifs avec l'Atlantique en se fondant notamment sur les travaux d'Hashmi & Adloff (1991), et si l'on admet que la population méditerranéenne est restée stable durant la période 1991-1994, la comparaison de ce résultat avec le nôtre indiquerait que le secteur liguro-provençal est en moyenne moins densément peuplé que l'intégralité du bassin nord-occidental.

TABLEAU VIII

Autres estimations par transect linéaire disponibles pour le bassin nord-occidental.

Période	Secteur (surface en km ²)	D (ind./km ²)	N (ind.)	n/L (groupe/km)	S (ind./groupe)	y _{ef} (m)	Référence
août 1991	Méd. nord-occident. (180 601)	0,0237 (32,7)	4 291 (32,7)	0,0325	1,3	888	Forcada <i>et al.</i> (1993)
août 1992	Bassin liguro-pro. (58 646)	0,0173 (21,6)	1 012 (21,6)	0,0777 (19,5)	1,58 (7,7)	3 548	Notarbartolo di Sciara <i>et al.</i> (1993)

Les résultats en italiques ont été recalculés en utilisant les données publiées et les relations classiques de la méthode du transect linéaire. Les coefficients de variation sont entre parenthèses.

Ce point surprenant nous a incité à examiner l'ensemble des causes de biais pouvant affecter ces estimations de densité, tant au niveau de la mise en œuvre du recensement qu'au niveau de l'analyse des données (Gannier, 1995). Nous supposons que la demi-largeur de détection y_{ef} a pu être sous-estimée par Forcada *et al.* (1993). Nous avons calculé en effet une valeur d'environ 888 mètres pour ce paramètre, à l'aide des éléments publiés et de la relation fondamentale du transect linéaire. Ce nombre serait près de deux fois inférieur aux valeurs trouvées lors de campagnes similaires, avec des protocoles de mission voisins et pour la même espèce de Cétacé (Tab. IX) et quatre fois inférieur à celui trouvée par Notarbartolo di Sciara *et al.* (1993) pour la même plate-forme et un protocole identique. Une sous-estimation de cette largeur de détection peut provenir, par exemple, d'une sous-évaluation des distances pendant la campagne en mer ; elle entraînerait un biais positif sur l'estimation de la population de Rorqual commun en Méditerranée occidentale donnée par Forcada *et al.* (1993). Seule une nouvelle étude effectuée

sur l'ensemble du bassin occidental permettra de vérifier ces premiers résultats. L'avantage de disposer d'une estimation moyenne sur plusieurs étés est mis en lumière par la comparaison avec des évaluations réalisées été après été. Nous avons estimé l'abondance du Rorqual commun, comme celle du Dauphin bleu et blanc, dans ce secteur à partir de 1991 (Gannier, 1995). Alors que la densité de cette dernière espèce montre une évolution régulière, nos estimations pour *B. physalus* montrent des variations assez importantes (Tab. X), et statistiquement significatives si l'on considère les extrêmes 0,011 et 0,018 ind./km². Nous avons même obtenu une densité de 0,024 ind./km² pour l'été 1995 (Gannier, 1996). Ces fluctuations peuvent refléter également, en partie ou totalement, des variations de l'échantillonnage. Il semble ainsi intéressant de disposer d'une évaluation moyenne d'abondance sur plusieurs années, si l'on désire mettre en évidence des tendances à moyen terme. Cela nécessite évidemment de disposer de séries temporelles assez longues, réalisées dans des conditions voisines. Un exemple typique de cette démarche est donné par Buckland *et al.* (1992b), qui ont retenu une approche de médiane glissante complexe pour extraire les tendances à moyen terme de l'évolution de la population du Dauphin tacheté (*Stenella attenuata*) du Pacifique tropical.

TABLEAU IX

Différentes valeurs rencontrées pour la demi-largeur de détection du Rorqual commun.

y _{cr} (m)	1 482	1 926	2 194	888	3 548
Référence	1	2	3	4	5

Références : (1) Oien, 1990 ; (2) Gunnlaugsson et Siguijonsson, 1990 ; (3) Buckland *et al.*, 1992a ; (4) Forcada *et al.*, 1993 ; (5) Notabartolo di Sciara *et al.*, 1993.

TABLEAU X

Estimations successives de la densité estivale du Rorqual commun en mer Ligurie (d'après Gannier, 1995).

Eté	1991	1992	1993	1994
D' (ind./km ²) (cv en %)	0,0176 (32)	0,0178 (24)	0,0109 (39)	0,0160 (39)

D'autre part, l'estimation de densité moyenne effectuée pour plusieurs années consécutives aboutit à un coefficient de variation très faible — 15,9 % — pour ce genre d'étude. Cela est dû à l'augmentation du nombre de lignes répliques (segments d'échantillonnage), qui entraîne une chute importante de la variance

d'échantillonnage. Ce dernier terme représente en effet une large part (de 60 à 90 %) dans la variance totale des estimations, en raison de la tendance du Rorqual commun à se concentrer sur les lieux de nourrissage et de la faible valeur de la variance de l'effectif des groupes. L'obtention d'un intervalle de confiance plus restreint sur l'abondance estimée est donc une retombée positive de l'importance de l'effort de terrain liée à notre démarche.

Bien que cela ne soit pas notre propos initial, on peut également aborder à l'aide de nos résultats le problème de l'impact écologique de cette population de Balénoptères. En effet, l'apparente incompatibilité entre cet effectif de Rorqual commun et l'écosystème avait été notée par Viale (1977). Les besoins nutritionnels estivaux de *B. physalus* ont été évalués à environ 35 kilogrammes de poids vif par tonne pour l'Atlantique (Lockyer 1981 in Evans, 1987 : 157). D'après les données du même auteur, nous avons évalué le poids moyen d'un individu à 45 tonnes, ce qui permet d'estimer la ration journalière à environ 1 575 kilogrammes de krill par rorqual. En prenant en compte notre estimation de densité de population (environ 0,015 ind./km²), nous aboutissons à un prélèvement d'à peu près 2,36.10⁻² grammes par m² et par jour, que nous pouvons comparer à certaines évaluations de la biomasse de *M. norvegica* obtenues dans le bassin liguro-provençal. Sardou *et al.* (1996) trouvent une abondance moyenne de 0,94 à 1,66 individu par m² dans un secteur du talus continental de la zone ligure (soit une biomasse équivalente de 0,11 à 0,20 g/m²), avec un maximum saisonnier de 4,5 en février ; mais ils observent qu'une partie de la population peut avoir émigré vers des profondeurs plus importantes en été. Relini *et al.* (1992) trouvent en mer Ligure des valeurs fortement croissantes de la côte vers le large et équivalentes à 4 g/m² dans la zone la plus favorable, où se trouvent d'ailleurs concentrés des Balénoptères. Franqueville (1971) obtient des biomasses voisines dans les niveaux bathymétriques préférentiels de l'espèce qui seraient situés de jour entre 400 et 800 mètres selon ce même auteur, ainsi que Casanova (1974) et Sardou *et al.* (1996). Mais, durant la nuit, les mêmes études montrent que cet Euphausiacé remonte en essaims denses vers la couche superficielle. Nous observons donc que le prélèvement estival dû à *B. physalus* semble compatible avec la biomasse de *M. norvegica* présente dans l'écosystème liguro-provençal. Cette prédation est facilitée d'une part, par les migrations nycthémerales des Euphausiacés et d'autre part, par la faculté de localisation des fortes concentrations du krill démontrée par le Rorqual commun.

CONCLUSION

Ces résultats montrent que la démarche d'un échantillonnage estival annuel couplé avec des estimations d'abondance moyennes calculées sur plusieurs années consécutives permet d'obtenir une densité assez précise et significative au niveau temporel. Cette démarche permet de résoudre le problème des variations importantes de la distribution spatiale des concentrations de Rorquals communs. Elle peut être une bonne solution pour la surveillance de la faune dans les limites du futur sanctuaire, car elle est compatible avec des échantillonnages moins lourds chaque été et une plate-forme moins rapide, donc moins coûteuse. Cette approche représente à cet égard une alternative valable par rapport à l'organisation de campagnes plus lourdes avec une périodicité de plusieurs années.

REMERCIEMENTS

Je remercie vivement le Ministère de l'Environnement et le Conseil Régional de Provence-Alpes-Côte d'Azur pour le soutien apporté à mon travail de recherche. Merci à Pierre-Christian Beaubrun pour avoir suivi mes recherches durant quatre ans. Les résultats présentés ici n'auraient pu être obtenus sans le concours des membres du Groupe de Recherche sur les Cétacés et de la Municipalité d'Antibes. Merci à Madame le Professeur Claude Payri d'avoir apporté ses commentaires à une première version du manuscrit. Je remercie sincèrement un referee anonyme et Jean-Dominique Lebreton qui m'ont permis d'améliorer ce manuscrit grâce à des remarques avisées.

RÉSUMÉ

Le Rorqual commun est le seul Mysticète fréquent en Méditerranée occidentale et il se concentre pour se nourrir dans le nord du bassin pendant la période estivale. Le bassin liguro-provençal est l'un des sites où son abondance est maximale et fait l'objet d'un projet de sanctuaire marin. Selon des résultats précédents, la densité de population estivante est variable selon les années et nous proposons d'en établir une valeur moyenne pour la période 1991-1994. Nous utilisons pour cela un échantillonnage de 4 400 kilomètres réalisé sur un bateau de 9,50 mètres avec de bonnes conditions de visibilité et 83 observations de cette espèce entre le 14 juillet et le 15 août. La méthodologie choisie est celle du transect linéaire, avec une post-stratification géographique et une correction de vitesse. Nous estimons une densité de 0,015 individu par km², soit un effectif moyen compris entre 413 et 764 individus, si l'on tient compte du coefficient de variation de 15,9 % obtenu pour l'estimation. Cette estimation est voisine de celle obtenue par d'autres auteurs dans le même secteur pour l'été 1992. Les effectifs estimés sont compatibles avec le potentiel trophique de l'écosystème.

SUMMARY

The fin whale is the only common mysticete in the western Mediterranean sea and concentrates in the northern part of the basin during the summer for feeding purposes. The liguro-provençal basin appears to be one of the most favourable areas for that species and is concerned by the project of a marine sanctuary. The density appears to be variable in the area, if we consider successive summer estimates. We propose here to calculate a mean abundance estimate for the period 1991-1994, with the help of 4 400 kilometers of effective sampling effort obtained on a 30 foot yacht between July 14th and August 15th of each year, and the corresponding 83 sightings of fin whale. The basic methodology is that of Line Transect, with options of geographical post-stratification and the use of a speed effect correction. We estimate an average density of 0,015 individual per km², or an abundance of 413 to 764 individuals, if we take into account the coefficient of variation of 15,9 % obtained for that estimation. This figure is similar to that estimated by other authors for the summer of 1992. This abundance seems well in relation with the food resources estimated in the ecosystem.

ANNEXE 1

Formulation obtenue pour la correction de vitesse (d'après Gannier (1995)).

Soit D la densité des animaux, soient u la vitesse du bateau et k le rapport entre la vitesse des animaux et celle du bateau, soient a et b respectivement la largeur et la longueur du rectangle de détection entourant les animaux et λ le rapport b sur a , soit θ l'angle de déplacement des animaux mesuré par rapport à la trajectoire du bateau et soit α l'angle de déplacement relatif : nous montrons que le taux d'observation $n/l_{(k,\lambda)}$ d'animaux animés d'un mouvement propre vaut :

$$n/l_{(k,\lambda)} = D \cdot u \cdot a \cdot 1/\pi \cdot \int_{0,\pi} \cdot [(k^2 + 1 - 2 \cdot k \cdot \cos \theta)^{0.5} \cdot (\cos (\alpha - \pi/2) + \lambda | \sin (\alpha - \pi/2) |)] d\theta$$

En faisant $k = 0$, on obtient le taux d'observation pour des cétacés immobiles :

$$n/l_0 = D \cdot u \cdot a \cdot 1/\pi \cdot \int_{0,\pi} \cdot [\cos (\alpha - \pi/2) + \lambda | \sin (\alpha - \pi/2) |] d\theta$$

Le rapport de n/l_0 sur $n/l_{(k,\lambda)}$ définit le coefficient multiplicateur τ qui permet de corriger l'estimation de densité :

$$D' = \tau \cdot D$$

RÉFÉRENCES

- AKAIKE, H. (1985). — Prediction and entropy, pp. 1-24 In : A.C. Atkinson & S.E. Fienberg (eds), *A Celebration of Statistics*. Springer Verlag, Berlin.
- BEAUBRUN, P. (1995). — *Atlas préliminaire de distribution des Cétacés de Méditerranée*. CIESM et Musée Océanographique de Monaco, Monaco, 87 pp.
- BUCKLAND, S.T., CATTANACH, K.L. & GUNNLAUGSSON, T. (1992a). — 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., CATTANACH, K.L. & ANGANUZZI, A. (1992b). — Estimating trends in abundance of dolphins associated with tuna in the eastern tropical Pacific Ocean, using sightings data collected on commercial tuna vessels. *Fishery Bulletin*, 90 : 1-12.
- BUCKLAND, S.T., ANDERSON, D.R., BURNHAM, K.P. & LAKE, J.L. (1993). — *Distance sampling. Estimating abundance of biological populations*. Chapman & Hall, London, 446 pp.
- CASANOVA, B. (1974). — *Les Euphausiacés de Méditerranée (Systématique et développement larvaire. Biogéographie et Biologie)*. Thèse de Doctorat ès Sciences Naturelles, Université d'Aix-Marseille I, 360 pages.
- DUGUY, R. (1991). — Les mammifères marins de la Méditerranée occidentale. *Bull Soc. Zool. France*, 144 : 89-96.
- EVANS, P.G.H. (1987). — *The natural history of Whales and Dolphins*. Christopher Helm (Publisher) Ltd, 343 pp.

- FORCADA, J., AGUILAR, A., HAMMOND, P., PASTOR, X. & AGUILAR, R. (1993). — Distribution and abundance of fin whales in the Western Mediterranean Sea during the summer. *European Research on Cetaceans*, 7 : 128-130.
- FORCADA, J., AGUILAR, A., HAMMOND, P., PASTOR, X. & AGUILAR, R. (1994). — Striped dolphin abundance in the Northwestern Mediterranean. *European Research on Cetaceans*, 8 : 96-98.
- FRANQUEVILLE, C. (1971). — Macroplankton profond (Invertébrés) de la Méditerranée Nord-occidentale. *Tethys*, 3 : 11-56.
- 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, 437 pp.
- 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. & GANNIER, O. (1993). — The winter presence of the finwhale in the liguro-provençal basin : preliminary study. *European Research on Cetaceans*, 7 : 131-134.
- GANNIER, A., BEAUBRUN, P. & DI-MEGLIO, N. (1994). — Cetacean occurrence in the gulf of Lion and surroundings. *European Research on Cetaceans*, 8 : 87-91.
- GOSTAN, J. (1968). — *Contribution à l'étude hydrologique du bassin liguro-provençal entre la Riviera et la Corse*. Thèse de Doctorat d'Etat, Faculté des Sciences de Paris, 206 pp.
- GUNNLAUGSSON, T. & SIGURJONSSON, J. (1990). — NASS-87 : Estimation of Whale Abundance Based on Observations Made Onboard Icelandic and Faeroese Survey Vessels. *Rep. Int. whal. Commn.*, 40 : 571-579.
- HASHMI, D.D.K. & ADLOFF, B.B. (1991). — Surface frequency of cetaceans in the strait of Gibraltar. *European Research on Cetaceans*, 5 : 16-17.
- 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.
- 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 pages.
- LE VOURCH, J., MILLOT, C., CASTAGNE, N., LE BORGNE, P., & OLYR, J.-P. (1992). — Atlas des fronts thermiques en Méditerranée d'après l'imagerie satellitaire. *Mém. Inst. océan. Monaco*, 16 : 1-160.
- MARINI, L., CONSIGLIO, C., ANGRADI, A.M., FINOIA, M.G. & SANNA, A. (1992). — *Cetacei nel Mar Tirreno Centrale, risultati della campagna d'avvistamento 1989-1991*. Dipartimento di Biologia Animale e dell'Uomo, Università La Sapienza, Roma, 107 pp.
- MASSE, J. & CADIOU Y. (1993). — *Oedipe - Manuel Utilisateur*. IFREMER, 38 pp.
- NOTARBARTOLO DI SCIARA, G., FORCADA, J., ACQUARONE, M. & FABBRI, F. (1993). — Population estimates of the fin whales and the striped dolphins summering in the corso-ligurian basin. *European Research on Cetaceans*, 7 : 135-138.
- NOTARBARTOLO DI SCIARA, G., BERUBE, M., ZANARDELLI, M., & PANIGADA, S. (1993). — The role of Mediterranean in fin whale ecology : insight through genetics. *European Research on Cetaceans*, 9 : 43.
- NOTARBARTOLO DI SCIARA, G. & DEMMA, M. (1994). — *Guida di Mammiferi Marini del Mediterraneo*. Franco Muzzio & C. (eds), Padova, 262 pp.
- OIEN, N. (1990). — Sightings Surveys in the Northeast Atlantic in July 1988 : Distribution and Abundance of Cetaceans. *Rep. Int. whal. Commn.*, 40 : 499-511.
- ORSI RELINI, L. & GIORDANO, A. (1992). — Summer Feeding of the Fin Whale, *Balaenoptera physalus*, in the Liguro-provençal basin : a preliminary note. *European Research on Cetaceans*, 6 : 142-145.
- ORSI RELINI, L., RELINI, G., CIMA, C., PALANDRI, G., RELINI, M. & TORCHIA, G. (1994). — *Meganyctiphanes norvegica* and Fin Whales in the Ligurian sea : new seasonal patterns. *European Research on Cetaceans*, 8 : 179-182.
- RELINI, G., ORSI RELINI, L., CIMA, C., PALANDRI, G., RELINI, M. & TORCHIA, G. (1992). — Macroplankton *Meganyctiphanes norvegica* and Fin Whales *Balaenoptera physalus* along some transects in the Ligurian sea. *European Research on Cetaceans*, 6 : 134-137.
- SARDOU, J., ETIENNE, M. & ANDERSEN, V. (1996). — Seasonal abundance and vertical distributions of macroplankton and micronekton in the Northwestern Mediterranean Sea. *Oceanologica Acta*, 19 : sous presse.
- VIALE, D. (1977). — *Ecologie des cétacés en Méditerranée Nord Occidentale : leur place dans l'écosystème, leur réaction à la pollution marine par les métaux*. Thèse d'état, Université Pierre et Marie Curie, Paris 6, 312 pp.