

Le peuplement estival de cétacés dans le Sanctuaire Marin Pelagos (Méditerranée nord-occidentale): distribution et abondance

Summer cetacean population in the Pelagos Marine Sanctuary (northwest Mediterranean): distribution and abundance

Alexandre Gannier^{1,2}

¹ Groupe de Recherche sur les Cétacés, BP715, 06633 Antibes cedex, France

² CRC-Marineland, 306 avenue Mozart, 06600 Antibes, France, e-mail: a_o.gannier@club-internet.fr

Résumé

Une campagne à la mer de 10 jours a été menée durant l'été 2001 pour déterminer la population de cétacés dans le Sanctuaire Marin Pelagos de Méditerranée occidentale, grâce à la méthode du transect linéaire combinée à un échantillonnage acoustique. Un total de 1613 km d'effort effectif de prospection a permis d'obtenir 93 observations de cétacés de huit espèces différentes: le Dauphin bleu et blanc (55 observations), le Rorqual commun (25 observations), le Cachalot, le Dauphin de Risso, le Dauphin commun, le Ziphius de Cuvier, le Globicéphale noir et le Grand dauphin. Ces espèces ont été observées en fonction de leur habitat préférentiel dans quatre régions du Sanctuaire: les secteurs nord-est, central, sud-ouest et tyrrhénien. C'est dans le secteur central que les abondances maximales de Dauphin bleu et blanc et de Rorqual commun ont été rencontrées, mais une diversité plus forte a été trouvée dans le secteur tyrrhénien. L'estimation de densité pour ces deux espèces s'établit à 0,52 individus/km² pour *Stenella coeruleoalba* et 0,097 individus/km² pour *Balaenoptera physalus* soit des effectifs de 37.526 (CV=26,2%) et 715 individus (CV=31,2%). Ces estimations concordent assez bien avec des travaux réalisées en 1991, 1992 et 1996 pour les régions ligure et provençale du Sanctuaire Marin Pelagos. L'utilisation d'une telle méthode permettrait un suivi régulier avec la possibilité de détecter des variations de population de l'ordre de 7%.

Mots clé: abondance; cétacés; diversité; inventaire; Méditerranée; transect.

Abstract

A 10-day line transect survey was carried out during summer 2001 to determine the distribution and abundance of cetaceans in the International Marine Sanctuary. From a total effort of 1613 km, 93 sightings were obtained for eight species: striped dolphin (55 sightings), fin whale (25 sightings), sperm whale, Risso's dolphin, short-beaked common dolphin, Cuvier's beaked

whale, long-finned pilot whale and bottlenose dolphin. Cetaceans were observed, depending on their usual distribution pattern, in four regions of the sanctuary: the Northeast, Central, Southwest and Tyrrhenian sectors. Density estimates were 0.52 individuals/km² (*Stenella coeruleoalba*) and 0.097 individuals/km² (*Balaenoptera physalus*), with respective abundances of 37,526 (CV=26.2%) and 715 individuals (CV=31.2%). Striped dolphins and fin whales were more abundant in the central region, when the diversity was higher in the Tyrrhenian region, with sighting rates of 0.5 individuals/100 km for the sperm whale and Cuvier's beaked whale, 4.8 and 7.3 individuals/100 km for Risso's dolphin and the common dolphin, respectively. Abundance estimates are in agreement with those previously obtained in 1991, 1992, and 1996, considering the differences in geographical limits. Statistical testing showed that such surveys might detect abundance changes of 7–10% if carried out regularly.

Keywords: abundance; cetaceans; diversity; Mediterranean; transect survey.

Introduction

Le Sanctuaire International des Mammifères Marins de Méditerranée baptisé Pelagos est devenu une réalité en février 2002. Dès 1991, les premiers recensements dans l'aire géographique du futur sanctuaire montraient que les populations estivales de petits et grands cétacés y étaient remarquablement élevées pour la Méditerranée. Les populations des deux espèces principales de cétacés ont été estimées dans le bassin occidental (hors la mer Tyrrhénienne): pour le Dauphin bleu et blanc, Forcada et al. (1994) ont estimé la densité à 0,198 individus/km² (coefficient de variation CV=33%) pour la Méditerranée occidentale, soit une population de 117.880 individus; pour le Rorqual commun, Forcada et al. (1996) ont évalué une densité de 0,024 individus/km² en Méditerranée nord-occidentale, soit un effectif de 3583 individus (CV=27%). Pour la mer Ligure et les secteurs Est-Provence et Ouest-Corse, les abondances de *Stenella coeruleoalba* et *Balaenoptera physalus* ont été étudiées à plusieurs reprises entre 1992 et 1996 (Forcada et al. 1995, Gannier 1997, 1998a), puis en 1999 (Gannier 1999a), mettant en évidence des populations estivales plus denses en moyenne que dans le reste du bassin occidental. Toutefois, ces prospections n'incluaient pas

la région nord-tyrrhénienne, intégrée en 1999 dans les projets de délimitation géographique du Sanctuaire. De plus, les populations des six autres espèces de cétacés communes en Méditerranée (Duguy 1991) n'ont jamais été prises en compte dans les recensements, même si l'on sait par ailleurs qu'elles sont présentes en effectifs variables (Notarbartolo di Sciara et al. 1993, Gannier 1999b). Ainsi, après la naissance officielle de l'aire protégée, il restait à établir "l'état initial" des populations de cétacés dans le secteur précisément défini pour le Sanctuaire, d'une superficie marine de plus de 83.000 km² et recouvrant deux mers régionales de Méditerranée: la mer Ligure et la mer Tyrrhénienne.

Materiel et methodes

Secteur et période d'étude

Le secteur étudié comprend la plus grande partie de la mer Ligure, ainsi que la mer Tyrrhénienne septentrionale. C'est une des régions de Méditerranée où la production primaire est élevée au printemps, avoisinant ou dépassant 1 g C m⁻² jour⁻¹ entre mars et avril (calcul d'après les données SeaWifs); la productivité se maintient en été, d'une part en raison du système frontal Ligure (Prieur 1981, Licot 1985), et d'autre part, à cause d'une circulation de type "upwelling" à l'Est des Bouches de Bonifacio. Ces propriétés biologiques se traduisent par une production primaire annuelle plus forte que celle des autres régions méditerranéennes à l'exception de la mer d'Alboran (Bosc et al. 2004).

La période réservée pour l'étude s'étendait du 25 juillet au 5 août, afin de bénéficier des meilleures conditions météorologiques, le but étant si possible d'effectuer la prospection sans interruption due à un coup de vent. De plus, une fraction des populations de cétacés étant migratrice (Gannier 1999b, Laran et al. 2003), en prospectant au milieu de l'été on peut espérer avoir le peuplement estival le plus stable possible. Nous avons étudié l'intégralité du Sanctuaire, en limitant l'échantillonnage aux zones de profondeur supérieure à 200 m. Toutefois, le protocole standard d'observation était mis en oeuvre dès que le bateau était en eaux libres, de manière à détecter les cétacés même en dehors des échantillons définis. La surface totale échantillonnée a été de 71.810 km² (sur une surface totale du sanctuaire de 83.440 km²). Pour tenir compte de la situation géographique, le Sanctuaire a été découpé en quatre secteurs (Figure 1): le secteur Sud-Ouest (SW), le secteur Tyrrhénien (TYR), le secteur Nord-Est (NE) et le secteur Central (CEN). Ces régions ont été couvertes successivement pendant la prospection, grâce à échantillonnage en zig-zags pré-définis pour couvrir de manière homogène le Sanctuaire. Cette stratification permet aussi d'étudier le peuplement en fonction des caractéristiques biologiques et topographiques de chaque région, qui pourrait constituer une "province" écologique au sens de Longhurst (1999):

- Oligotrophie au SW, avec une topographie variable du nord (talus accore et profondeurs supérieures à

2500 m) au sud (plateau étendu entre Corse et Sardaigne);

- Mésotrophie à petite échelle pour la région TYR, avec des profondeurs modérées (<1500 m), un plateau assez étendu et un talus continental en pente douce;
- Mésotrophie pour la région NE, avec présence d'un plateau continental et d'un talus en pente douce à l'est de la région jusqu'à des profondeurs supérieures à 2000 m; et
- Mésotrophie pour la région CEN (présence du front Ligure), avec un talus continental accore et des profondeurs supérieures à 2000 m.

Méthodes de prospection

Nous avons effectué une prospection visuelle et acoustique combinée du même type que celle effectuée en 1996 (Gannier 1998a) et 1999 (Gannier 1999a), avec application de la méthode du transect linéaire pour les données visuelles, et écoutes systématiques à l'hydrophone toutes les 20 min, pour détecter les cachalots en plongée. A la différence des prospections précédentes, nous avons utilisé un bateau à moteur rapide de 12 m (deux moteurs de 350 ch), naviguant à la vitesse de 11 noeuds en croisière (soit 10 noeuds de moyenne). Dans le passé, deux catégories de bateau avaient été utilisées pour recenser les cétacés en Méditerranée: d'une part un navire à moteur de fort tonnage (le *Sirius*, 46 m, de l'organisation Greenpeace), d'autre part des voiliers de faible tonnage. Les grands bateaux ont une plate-forme d'observation plus haute (8 m pour le *Sirius*) que les petits (3 m pour un voilier). Leur vitesse élevée permet de s'affranchir de facteurs de correction de vitesse, nécessaires lorsque la plate-forme d'observation se déplace à une vitesse peu supérieure à celle des cétacés étudiés (Hiby 1982, Gannier 1997), ce qui est le cas des voiliers. Par contre, une vitesse élevée expose au risque de manquer des détections "sur la ligne", hypothèse du G0=1 nécessaire à une application simple de la méthode du transect linéaire (Buckland et al. 1993). Le bateau utilisé pour cette étude représentait un compromis entre les gros bateaux et les voiliers: rapide, avec une passerelle située à 4 m au dessus de l'eau, mais peu coûteux en raison de son faible tonnage. Compte-tenu de la taille de

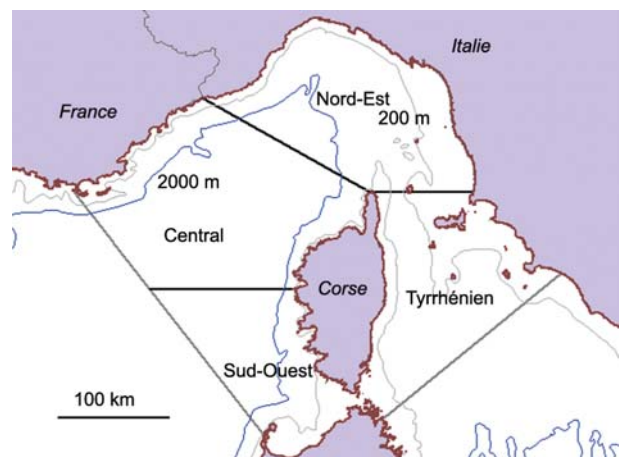


Figure 1 Le secteur étudié.

ce bateau, il n'a pas été possible de mettre en place un dispositif de double-veille permettant d'évaluer la probabilité de détection sur la ligne (Buckland et Turnock 1992, Hammond et al. 1995) ou de quantifier le mouvement de réponse des cétacés vis-à-vis du bateau.

L'équipe d'observateurs comprenait trois observateurs principaux et un observateur supplémentaire, faisant également office de secrétaire. Il y avait rotation des observateurs toutes les heures, deux équipiers présents à bord étant au repos. Chaque observateur principal devait scruter à l'oeil nu un tiers du secteur avant, et utilisait un compas manuel pour déterminer le gisement des cétacés détectés. Les deux observateurs latéraux possédaient une paire de jumelles réticulées, permettant de mesurer le gisement et l'azimut des cétacés détectés, ce qui sert ensuite à calculer la distance radiale entre les cétacés et le bateau (Gannier 1998a). Ainsi, pour chaque observation, on peut disposer d'une estimation de gisement et de distance, et d'une mesure des deux mêmes paramètres, en accord avec la méthode du transect linéaire (Buckland et al. 1993). Tous les 4 milles, on débrayait les hélices, on déployait l'hydrophone (modèle HP-30MT remorquable monovoie fabriqué par MAGREC Ltd., UK, bande passante 200 Hz–20 kHz) et on effectuait une écoute avec enregistrement pendant une minute. Les résultats de l'écoute étaient consignés sur une base de données selon la méthode de l'IFAW (Gordon et al. 2000): bruit de fond (échelle 1 à 5) et type de signal de cétacés (échelle de 0 à 5). Le pas des stations d'écoute a été déterminé en fonction de la portée de détection de l'hydrophone pour le Cachalot (8-km environ; Gannier et al. 2002), en tenant compte du cycle de sonde de cette espèce (40 min de sonde pour 10 min en surface; Drouot et al. 2004), pour que la détection acoustique soit assurée sur le trajet. Les détections acoustiques de Cachalot réalisées avec un niveau égal ou supérieur à 3 (sur 5) ont été considérées comme des observations lors de l'analyse des résultats. Les conditions environnementales (nébulosité, force du vent, houle, température de l'eau superficielle) sont également consignées durant ces stations, ainsi qu'un indice synthétique des conditions d'observation (Gannier 1997, 1998a) variant entre 6 (conditions parfaites, vent quasiment, bonne luminosité) et 0 (conditions nulles, vent fort et/ou obscurité). Les conditions minimales d'observation admises pour cette étude étaient l'indice 4 (bonnes conditions avec un vent de Beaufort 3, un temps ensoleillé et moins de 50 cm de houle).

Lorsque des cétacés étaient détectés visuellement, on consignait les paramètres de position, d'environnement et de détection, l'espèce, l'effectif estimé du groupe, les indications sur sa structure et son activité. On a utilisé le mode de passage (Hiby et Hammond 1989), c'est-à-dire que le bateau ne déviait pas de sa route pour documenter l'observation, sauf exception (identification douteuse, incertitude forte sur l'effectif de groupe), et uniquement pour des détections éloignées de moins de 1 km. De cette manière les routes pré-définies ont pu être suivies précisément, et on a minimisé le nombre de détections secondaires (observation obtenue pendant l'approche d'un premier groupe de cétacés et non utilisable).

L'adoption de protocole de prospection combinant l'acoustique et le visuel conduisait à une méthode de

transect linéaire "robuste" pour toutes les espèces du peuplement méditerranéen, à l'exception de *Ziphius cavirostris*, espèce combinant une faible détectabilité en surface (visuelle) et en plongée (discrétion acoustique dans la bande audible).

Méthodes d'analyse

La méthode du transect linéaire (Buckland et al. 1993) est applicable à chaque espèce (ou groupe taxonomique) détectée suffisamment souvent pour permettre la modélisation de sa fonction de détection. Lorsque le nombre d'observations n'est pas suffisant pour une seule espèce, on peut procéder à un regroupement d'espèces ayant des caractéristiques voisines de taille et de comportement de surface (Barlow 1995) ce qui est le cas par exemple pour le Dauphin commun et le Dauphin bleu et blanc (Forcada et Hammond 1998). La formulation de l'estimateur de densité est celle proposée par Buckland et al. (1993), et disponible dans le logiciel *Distance 2.2* (Laake et al. 1994):

$$D=(n/L)\cdot S/(2\cdot Y_{EF}\cdot G_0)$$

où D est l'estimation de la densité pour une espèce, n est le nombre d'observations, L est l'effort de prospection, S est l'effectif moyen des groupes, Y_{EF} est la demi-largeur effective de détection, et G_0 est la probabilité de détection sur la ligne. L'estimation de la densité est effectuée par strate géographique (secteur), et l'estimation finale étant obtenue par moyenne pondérée par les surfaces de chaque strate (Buckland et al. 1993). Les segments-échantillons pris en compte sont les branches des zig-zag, en commençant un nouvel échantillon après une interruption nocturne. L'estimation des effectifs moyens de groupe utilise la technique de régression sur la probabilité de détection (Buckland et al. 1993), afin de prendre en compte l'influence de la taille des groupes sur la détection (les groupes de dauphins importants étant détectés à une plus grande distance que les groupes de faible effectif). Pour la comparaison de l'abondance des espèces peu représentées, nous avons utilisé un taux d'observation d'individus:

$$R=(n/L)\cdot S.$$

La modélisation de la fonction de détection se fait à partir de l'histogramme des distances perpendiculaires de détection, calculées d'après les distances radiales et gisements obtenus à bord. Comme il n'est pas possible de mesurer la distance aux jumelles dans 100% des détections, mais que l'on a toujours une estimation de la distance et une mesure du gisement au compas, on a utilisé la valeur moyenne entre distance estimée et distance mesurée: l'estimation de distance est assez précise jusqu'à 400 m, et la mesure aux jumelles devient imprécise à partir de 1500 m, pour une plate-forme d'observation peu élevée. On a utilisé la technique de "smearing" (Buckland et Anganuzzi 1988) pour tenir compte des imprécisions sur les distances radiales (précision estimée à 20%) et les gisements (5° d'angle). La fonction de détection a été modélisée sur un histogramme tronqué des distances les plus grandes selon

les critères préconisés par Buckland et al. (1993): les détections extérieures (très peu fréquentes) n'ajoutent pas à la fiabilité de la modélisation. Le modèle de détection a été sélectionné sur la base du critère de Akaike (1973 in Buckland et al. 1993) prenant en compte la fonction de vraisemblance de la modélisation (Laake et al. 1994). Un nombre minimal d'observations de l'ordre de 50–60 est préconisé, cependant dans la littérature on trouve des modélisations réalisées avec 20–30 détections (Buckland et al. 1992). Afin de disposer d'un nombre suffisant d'observations pour modéliser la détection, notamment pour le Rorqual commun, nous avons incorporé une série de détections réalisées les 12 et 13 août 2001 lors de deux radiales continent-Corse effectuées durant notre programme de suivi saisonnier du sanctuaire, avec des conditions strictement identiques de plate-forme, matériel, équipage et météorologie (Laran et al. 2003).

La variance de l'estimateur a été calculée à partir de la variance des composantes, issues des données de prospection (n , S) ou du processus de modélisation de la détection (Y_{EF}):

$$\text{var}(D)/D^2 = \text{var}(n)/n^2 + \text{var}(S)/S^2 + \text{var}(Y_{EF})/Y_{EF}^2 + \text{var}(G_0)/G_0^2.$$

On l'a exprimée sous forme de coefficient de variation ($CV(y) = (\text{var}(y)/y^2)^{1/2}$). Pour le taux d'observation d'individu R , la formulation est similaire en conservant les deux premiers termes.

La probabilité de détection sur la ligne G_0 est prise égale à l'unité pour des plate-formes lentes et des cétacés faisant surface fréquemment (Gannier 1997, 1998a), cette hypothèse ayant été considérée valide lors de travaux précédents en Méditerranée (Forcada et al. 1994, 1995, 1996). Pour des bateaux croisant à 10–12 noeuds avec un état de la mer inférieur à Beaufort 4, G_0 peut prendre des valeurs de 0,7 pour des delphinidés pélagiques en petits groupes comme *Lagenorhynchus albirostris* (Hammond et al. 1995), alors que dans le cas de baleinoptères et des conditions de mer équivalentes, G_0 reste le plus souvent entre 0,8 et 1,0 (cas de *B. acutorostrata*). L'influence des conditions environnementales est prépondérante pour la réalisation de l'hypothèse $G_0=1$, des conditions d'observations excellentes ou très bonnes pouvant la rendre plausible. Wade et Gerrodette (1993) considèrent comme valide l'hypothèse de certitude de détection pour les grands groupes de dauphins pélagiques et les grands balénoptères, même pour des conditions d'observations de Beaufort 0–5, mais la plupart des auteurs recommandent dans ce cas la mise en oeuvre de deux équipes indépendantes d'observateurs opérant en simultané (Buckland et Turnock 1992, Hammond et al. 1995). Cette technique de "double plate-forme" permet aussi de détecter et corriger le phénomène de réponse au bateau, assez courant dans le cas des dauphins. Selon Buckland et al. (1993) et Buckland et Turnock (1992), la non-validité de cette hypothèse peut apparaître au travers d'un histogramme des distances de détection pentu au voisinage de 0, c'est-à-dire ne respectant pas le critère de forme (plateau au voisinage de 0). A défaut de mettre en oeuvre une méthode de correction, nous discuterons l'influence de

G_0 en fonction des conditions météo rencontrées et de la littérature.

Resultats

Observations et distribution des espèces

Grâce à une météo excellente, l'échantillonnage effectivement réalisé représente plus de 90% de la prévision initiale, soit une longueur de 1613 km (Figure 2). En fin de prospection, les 2 et 3 août, le tracé a été raccourci et adapté dans le secteur Central pour tenir compte de l'arrivée prévue de vent fort pour la période du 4 au 6 août. L'effort a été réparti en fonction de la surface à échantillonner dans les différentes régions (Tableau 1). Une très grande proportion de la prospection s'est déroulée avec des conditions de visibilité très bonnes à excellentes (indice 5 et 6, 70% de l'effort), avec un maximum dans la région Tyrrhénienne (plus de 91%) et un minimum dans la région Sud-Ouest (55%).

Du 25 juillet au 3 août, nous avons réalisé 93 observations sur les huit espèces communes en Méditerranée (Tableau 1). C'est en mer Tyrrhénienne que la diversité observée a été la plus grande (7 espèces), et dans le secteur central que les observations ont été les plus nombreuses (57 sur 6 espèces). L'espèce la plus observée a été le Dauphin bleu et blanc (55 observations, Figure 3) suivie par le Rorqual commun (25 observations au total, Figure 4), le Cachalot (4 observations, Figure 5) et le Dauphin de Risso (3 observations, Figure 5). Pour les espèces moins représentées, outre le Grand dauphin et le Globicéphale noir, on note l'observation de deux espèces moins fréquentes dans le Sanctuaire: le Dauphin commun et le Ziphius de Cuvier (Figure 5). Même si avec 59% des observations, *S. coeruleoalba* est l'espèce dominante, cette prospection a restitué une diversité relativement élevée.

Les distributions bathymétriques relevées pour ces espèces sont typiques de leurs habitats méditerranéens, sauf pour *Tursiops truncatus* (habituellement côtier) qui a été rencontré à l'aplomb du talus continental, sur une profondeur de 350 m. Ainsi, *Globicephala melas* a-t-il été observé en plein large (profondeur de 2450 m), *Delphinus*

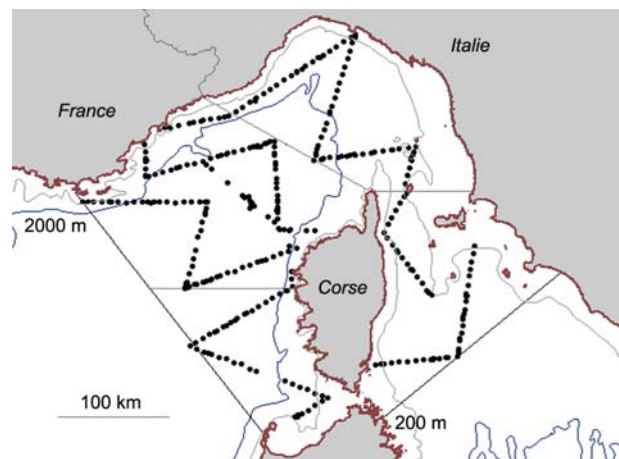
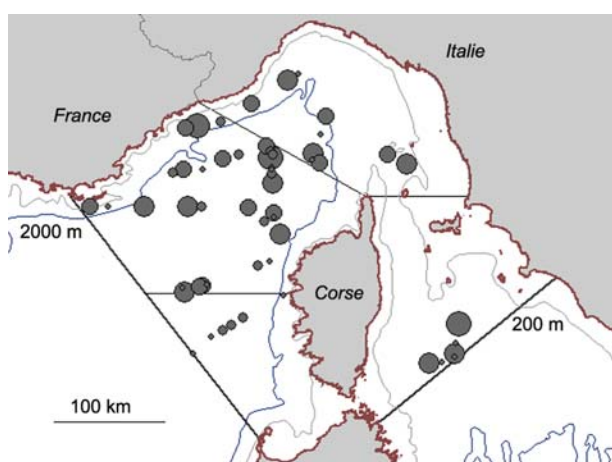
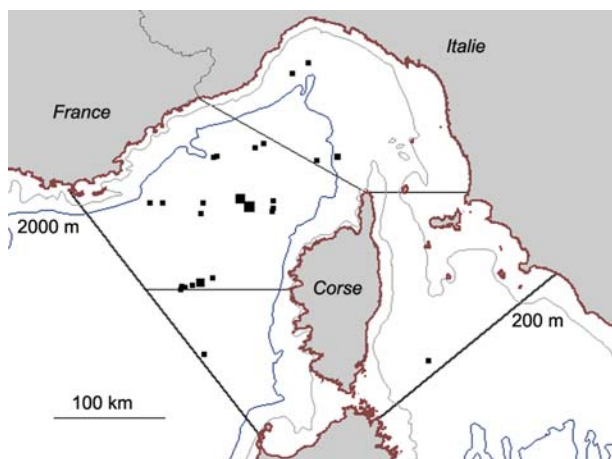


Figure 2 Echantillonnage du 25 juillet au 3 août (isobathes 200-m et 2000-m dessinées).

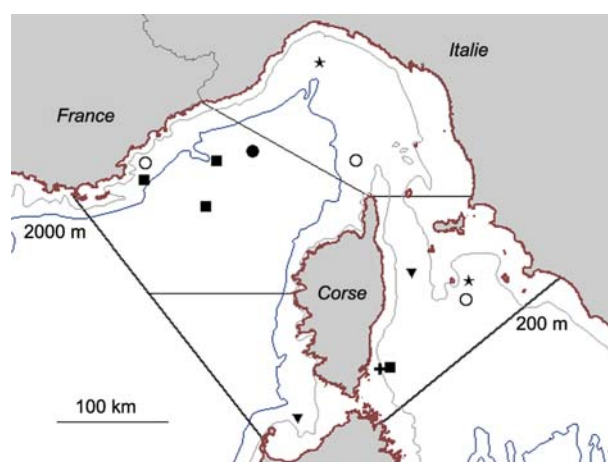
Tableau 1 Données de la prospection du 25 juillet au 3 août 2001: effort effectif par secteur et nombre d'observations et effectifs observés.

	Sud-ouest	Tyrrhénien	Nord-est	Central	Nombre total	Nombre d'individus
Effort effectif total (km)	254	287	374	698	1613	–
Effort conditions 5–6 (%)	55,0	91,8	78	63,1	70,1	–
Rorqual commun	1	1*	4	19	25*	35
Cachalot	0	1	0	3	4 (2)	5 (3)
Ziphius de Cuvier	0	1	1	0	2	2
Dauphin bleu et blanc	6	6	10	33	55	1166
Dauphin commun	1	1	0	0	2	42
Grand dauphin	0	1	0	0	1	3
Dauphin de Risso	0	1	1	1	3	41
Globicéphale	0	0	0	1	1	95
Total	8	12*	16	57	93	1391

*Deux observations de Cachalot sont en acoustique seule et une observation de Rorqual est secondaire.

**Figure 3** Observations de Dauphin bleu et blanc.**Figure 4** Observations de Rorqual commun.

delphis sur des profondeurs intermédiaires (550 et 800 m) et *Z. cavirostris* sur des zones plus profondes mais inférieures à 2000 m (550 et 1500 m). Le Cachalot a été détecté sur le talus (secteur TYR et CEN) et au-delà de l'isobathe 2000 m (région CEN). *B. physalus* a été vu essentiellement au-delà de 2000 m de profondeur, sauf dans la région NE où on l'a aussi rencontré dans des eaux de 1300 et 1600 m de profondeur et en région tyrrhénienne (profondeur 800 m). Enfin, le Dauphin bleu

**Figure 5** Observations des autres espèces.

Carré noir = Cachalot; rond noir = Globicéphale noir; rond blanc = dauphin de Risso; étoile = Ziphius de Cuvier; triangle inverse = Dauphin commun; croix = Grand dauphin.

et blanc a souvent été vu au large (64,4% des observations sur des profondeurs >2000 m), mais également dans des zones de talus (35,6% des observations), parfois peu profondes (au minimum 350 m). Ainsi, la diversité des espèces rencontrées s'explique-t-elle par la diversité des habitats, en terme de topographie, présents dans la Sanctuaire et échantillonnés lors de cette prospection.

Le secteur de loin le plus favorisé par le Rorqual commun a été la partie centrale du Sanctuaire avec 3,12 individus/km (Tableau 2), une fréquence beaucoup plus faible étant relevée dans les secteurs SW (1,29 individus/km) et NE (0,63 individus/km). Toutefois, il faut relever qu'une agrégation de *B. physalus* a été détectée près de la limite entre le secteur central et le secteur sud-ouest (Figure 4). Les Rorquals communs ont été souvent rencontrés solitaires, des groupes comptant 4 et 5 étant observés dans le secteur central. Les Dauphins bleus et blancs étaient distribués de manière beaucoup plus homogène dans les quatre secteurs (Figure 3). Cependant, leur taux d'observation est de 82,5 individus/100 km dans le secteur CEN contre 33–46 dans les autres secteurs (Tableau 2). Des groupes comptant jusqu'à 70 (TYR) et 90 (CEN) individus ont été vus, avec un effectif moyen de 21 individus. La région centrale a éga-

Tableau 2 Taux d'observation d'individus par région pour les différentes espèces.

Secteur	Individus/100 km (CV%)						
	Cachalot	Dauphin de Risso	Dauphin commun	Ziphius de Cuvier	Globicéphale noir	Dauphin bleu et blanc	Rorqual commun
Sud-ouest	0	0	8,25 (157)	0	0	33,9	0,63
Tyrrhénien	0,52 (98,5)	4,76 (79,6)	7,31 (120)	0,52 (153)	0	40,1	0,00
Nord-est	0	3,66 (102)	0	0,40 (85,5)	0	46,5	1,29
Central	0,64 (44,0)	1,96 (153)	0	0	13,6 (69,3)	82,5	3,12

lement été favorable au Globicéphale noir (13,6 individus/km), vu une seule fois dans un groupe de 95 individus. Le Cachalot a été détecté avec des fréquences équivalentes dans les secteurs TYR (0,52 individus/km) et CEN (0,64 individus/km). Pour les autres espèces, les taux d'observations ont été plus élevés dans le secteur SW (Dauphin commun, 8,25 individus/100 km) et TYR (Dauphin de Risso, 4,76 individus/100 km, Ziphius de Cuvier), le secteur NE étant comparable au secteur tyrrhénien pour le Ziphius et le Dauphin de Risso. Ainsi, le secteur central est-t-il la zone la plus favorable pour les espèces principales du peuplement estival, alors que les secteurs sud-ouest et tyrrhénien abritent davantage les espèces secondaires du peuplement.

Abondances absolues

Pour le Dauphin bleu et blanc, l'histogramme des distances perpendiculaires de détection a été tronqué à 1000 m (58 observations) et modélisé par une fonction de type "hasard" sans ajustement (Figure 6a), ce qui a donné une demi-largeur effective de détection de 549 mètres (CV=15,3%). L'effectif moyen corrigé des groupes était de 21,7 individus (CV=11,8%) après correction, car l'effectif moyen brut (22,9 individus) était corrélé significativement à la distance (probabilité de détection). Nous avons obtenu une densité globale de 0,52 individus/km² (CV=26,2%), soit un effectif de 37.526 individus (intervalle de confiance à 95%, 22.450–62.856 individus). La densité estimée pour la région CEN (0,75 individus/km²) est supérieure à celle trouvée dans les autres secteurs (fourchette 0,31–0,42 individus/km², Tableau 3), toutefois les différences ne sont pas statistiquement significatives (test-T, $p > 0,20$).

Pour le Rorqual commun, la modélisation a porté sur un histogramme tronqué à 1600 m (35 observations), une fonction cosinus donnant un bon ajustement (Figure 6b) et une largeur effective de détection de 856 m (CV=7,8%). L'effectif moyen des groupes était de 1,61 individus (CV=17,5%) après correction de l'influence de la distance de détection (effectif moyen brut 1,77 indivi-

du). Nous avons obtenu une densité de 0,097 individus/km² (CV=31,2%), soit un effectif estimé de 715 individus (IC 95% 421–1215 individus). La différence est grande entre le secteur central ($D=0,0182$, CV=31,2%) et les secteurs sud-ouest ($D=0,0037$, CV=98%), tyrrhénien, et nord-est ($D=0,0075$, CV=62,6%), l'écart étant significatif (test-T, $p < 0,05$) entre le secteur CEN et les régions SW et TYR (Tableau 4).

Les taux d'observation beaucoup moins élevés pour les autres delphinidés indiquent que leur densité de population est beaucoup moins importante que celle du Dauphin bleu et blanc, suivant au moins le rapport de leurs abondances relatives respectives (Tableau 2).

Discussion

Sur la distribution

Parmi les huit espèces observées, les sept espèces non-côtières ne sont pas distribuées de manière homogène dans le Sanctuaire. Le Rorqual commun, le Cachalot, le Globicéphale et le Dauphin bleu et blanc ont été rencontrés avec une plus grande abondance dans le secteur central, alors que le Dauphin commun, le Dauphin de Risso et le Ziphius de Cuvier ont été plus fréquents dans les autres secteurs. La distribution des cétacés obéit à de nombreuses variables qu'il est difficile d'ordonner, cependant dans les régions où les cétacés ont une activité de nourrissage, on a pu montrer que leur distribution spatiale subissait l'influence de variables hydrobiologiques ou topographiques (Reilly et Fiedler 1994, Balance et Pitman 1998, Reilly et al. 1999) et on a réussi à définir l'habitat de certaines espèces en fonction de ces variables. En Méditerranée, les études portent sur la distribution à grande échelle dans le bassin occidental (Forcada et al. 1994, 1995, 1996), ou visent à attribuer aux espèces un habitat côtier, de talus ou océanique en fonction de la profondeur ou de la distance à la côte (Notarbartolo di Sciarra et al. 1993, Gannier 1998b). Plus récemment, Canadas et al. (2002) montrent l'étagement

Tableau 3 Estimations pour le Dauphin bleu et blanc.

Secteur	Observations en groupe		Densité de groupe		Densité (individus/km ²)	Degré de liberté	CV (%)
	(groupe/100 km)	CV (%)	(groupe/km ²)	CV (%)			
Central	3,79	25,19	2,22E-03	29,5	0,751	24	31,74
Sud-ouest	1,56	67,05	1,42E-03	68,8	0,309	4	69,8
Tyrrhénien	1,84	46,53	1,08E-03	49,0	0,365	4	50,4
Nord-est	2,14	19,13	1,25E-03	24,5	0,423	12	27,2
Total					0,522	66	26,21

Tableau 4 Estimations pour le Rorqual commun.

Secteur	Observations en groupe		Densité de groupe		Densité		
	(groupe/100 km)	CV (%)	(groupe/km ²)	CV (%)	(individus/km ²)	Degré de liberté	CV (%)
Central	1,93	24,7	1,13E-03	25,9	0,0182	35	31,2
Sud-ouest	0,39	97,4	2,30E-04	97,7	0,0037	4	98,3
Tyrrhén.	0,00	0	0,00E+00	–	0,0000	–	–
Nord-est	0,80	61,4	4,69E-04	61,6	0,0075	5	62,58
Total					0,0097	40	26,1

des espèces de delphinidés en fonction de la topographie en mer d'Alboran: la profondeur d'eau et la valeur de pente sont des variables explicatives pour les cinq espèces communes. Gannier (2005) observe que le Dauphin commun, le Dauphin bleu et blanc, le Grand dauphin, le Dauphin de Risso et le Globicéphale noir montrent des distributions homogènes dans l'ensemble de la Méditerranée. D'autre part, la distribution océanique que nous trouvons pour *B. physalus*, principalement en mer Ligure, s'accorde bien avec la littérature (Forcada et al. 1995; Gannier 1997), les groupes de Rorqual étant souvent moins nombreux au sud du 42° parallèle (notre région Sud-Ouest) que dans la région centrale. Dans un travail précédent, nous avons montré la variabilité inter-annuelle de la distribution estivale du balénoptère à l'aide de trois critères (Gannier 2002): l'année 2001 semble s'inscrire dans la moyenne de ce qui a été vu au cours de la période 1991–2000, avec un effectif moyen de 1,61 individus par groupe (moyenne sur 10 ans: 1,55 individus), une distribution régulière dans la zone centrale, et peu d'individus dans les eaux moins profondes que 2000 m. Une étude réalisée avec l'imagerie satellitaire a montré que les Rorquals communs se rassemblaient en priorité sur des secteurs ayant connu une forte production primaire au printemps (Littaye et al. 2004).

Pour ce qui est du Dauphin bleu et blanc, la distribution obtenue dans le secteur central en 2001 semble plus homogène que celle que observée en 1996 (Gannier 1998a), et que celle observée en 1992 par Forcada et al. (1995). Dans le secteur SW, les parages océaniques des Bouches de Bonifacio ont semblé désertés par cette espèce, alors qu'en 1996 plusieurs groupes y avaient été vus. Pour le Dauphin de Risso et le Globicéphale, on se trouve en présence de distributions estivales typiques pour la Méditerranée occidentale: le premier confirme sa prédilection pour les habitats de profondeurs modérées, et le second pour les zones de talus profond ou du large (Gannier 1998b, 2005, Canadas et al. 2002). Le Cachalot montre une répartition typique (talus profond et large) pour la partie liguro-provençale du Sanctuaire, mais sa présence dans le secteur tyrrhénien est peu habituelle (Gannier et al. 2002). Pour ce qui est du Dauphin commun, sa distribution correspond à la strate de bathymétrie 100–1000 m et de pente douce, lorsque cet habitat présente une surface suffisante, comme il a été montré récemment pour la Méditerranée (Canadas et al. 2002, Bourreau et Gannier 2003, Gannier 2005). L'habitat de *D. delphis* dans le Sanctuaire se situe de la Sardaigne à la Corse, jusqu'à l'Est du golfe de Gênes, et on remarque que cet habitat formerait un *continuum* depuis les eaux de Sicile et de Sardaigne (Gannier 2005), un atout pour la conservation de cette espèce au statut pré-

caire. Le Ziphius de Cuvier a été observé dans deux secteurs du Sanctuaire où sa présence est reconnue, la région NE (Azzellino et al. 2003) et la région TYR (Marini et al. 1996), et sur des bathymétries cohérentes les observations ailleurs en Méditerranée (données non publiées, GREC/CRC 1997–2001). Quant à *T. truncatus*, il a été peu rencontré en raison de l'échantillonnage qui privilégiait le large; le fait qu'il ait été uniquement observé sur la marge du plateau (zone TYR), confirme *a contrario* son habitat côtier en Méditerranée. En résumé, les huit espèces communes ont été vues dans le Sanctuaire aux endroits correspondant à leur habitat préférentiel dans cette région et en Méditerranée.

Sur l'abondance

Cette prospection, la première réalisée dans les limites officielles du sanctuaire Pelagos, faisait suite à plusieurs opérations de recensement réalisées dans les régions constituant la partie liguro-provençale du Sanctuaire, en particulier en 1992 (Forcada et al. 1995) et en 1996 (Gannier 1998a,c), dans des secteurs globalement similaires au regroupement des régions sud-ouest, centrale et nord-est de cette étude. En 1999, une prospection dans les régions sud-ouest et centrale avait abouti à des variances élevées (Gannier 1999a). Ainsi, avons-nous l'opportunité de comparer les résultats de notre prospection de 2001 à ceux d'études précédentes dans le cas du Rorqual commun et du Dauphin bleu et blanc (Tableau 5). Pour ce qui concerne cette dernière espèce dans l'ensemble liguro-provençal (secteurs SW-Cen-NE réunis), les estimations de densités passent de 0,44 individus/km² en 1992 (Forcada et al. 1995), à 0,56 pour l'été 1996 (Gannier 1998a) et 0,58 pour 2001 (cette étude). Mais l'estimation de densité de Forcada et al. (1995) s'applique sur un secteur englobant le domaine côtier (peu propice à *S. coeruleoalba*). On dispose donc d'un faisceau d'estimations indiquant la stabilité ou légère croissance de la densité de Dauphin bleu et blanc depuis 1992, atteignant une valeur d'environ 0,6 individus/km² en 2001. Ce résultat est à considérer au regard de deux événements qui ont touché la population dans le bassin occidental: l'épidémie de morbillivirus de 1990–1991 (Aguilar et Raga 1993) et les captures dans les filets dérivants de 1985–1994 (Di Natale et Notarbartolo di Sciara 1994). Ces deux facteurs ont probablement contribué à faire baisser sensiblement la population de Dauphin bleu et blanc avant les estimations.

Pour le Rorqual commun dans l'ensemble liguro-provençal (secteurs SW-Cen-NE réunis), les estimations de densités passent de 0,0155 individus/km² en 1992 (Forcada et al. 1995) et 0,0150 pour la moyenne 1991–1994

Tableau 5 Estimations de densités pour le Rorqual commun et le Dauphin bleu et blanc dans le secteur liguro-provençal du Sanctuaire.

Prospection	Secteur	<i>Stenella coeruleoalba</i>		<i>Balaenoptera physalus</i>	
		Densité (individus/km ²) (CV%)	Référence	Densité (individus/km ²) (CV%)	Référence
Greenpeace 92	SW+Cen+NE	0,44 (25%)	Forcada et al. 1995	0,0155 (22%)	Forcada et al. 1995
GREC 1991–1994	SW+Cen+NE	0,57 (16%)	Rapport non publié	0,0150 (16%)	Gannier 1997
GREC 1996	SW+Cen+NE	0,56 (16%)	Gannier 1998a	0,0167 (20,7%)	Rapport non publié
CRC/GREC 2001	SW+Cen+NE	0,58 (22,5%)	Cette étude	0,0123 (26,9%)	Cette étude

(Gannier 1997), à 0,0167 pour l'été 1996 (Gannier 1998c) et 0,0123 pour 2001 (cette étude). Ces estimations indiqueraient qu'en 2001 la densité de Rorqual commun était plutôt faible dans le Sanctuaire, les balénoptères étant probablement plus abondants dans l'Ouest du bassin. La distribution de *B. physalus* montre en effet des variations inter-annuelles assez marquées, probablement en réponse à la disponibilité à moyenne échelle des ressources alimentaires (Gannier 2002, Littaye et al. 2004). Les estimations d'abondance pour les deux espèces montrent l'intérêt de disposer de séries d'estimations réparties sur le long terme, pour suivre les tendances démographiques ou les variabilités de distribution, deux paramètres révélateurs de l'état de l'écosystème qu'exploitent ces prédateurs.

Sur la mise en oeuvre de la méthode du transect linéaire

La méthode du transect linéaire fournit le cadre méthodologique adéquat pour les espèces qui sont rencontrées fréquemment lors de la prospection (Buckland et al. 1993), donc au moins le Rorqual commun et le Dauphin bleu et blanc. Toutefois, l'aire du Sanctuaire ne représente qu'une partie de l'aire de distribution estivale des animaux (Forcada et al. 1994, 1996) et une prospection limitée à cette aire délivre donc une indication d'abondance locale sujette aux variations de distribution des espèces au niveau du bassin occidental. Ce point de principe est important pour le choix d'une périodicité et d'une aire de prospection adéquate.

La méthode du transect linéaire est mise en pratique de différentes manières tant au niveau des bateaux (ou même aéronefs) utilisés, qu'en ce qui concerne leur vitesse, le nombre d'équipes d'observateurs (une ou deux), voire les conditions météorologiques tolérées pour la collecte ou l'analyse des données. Bien que dans la majorité des cas des bateaux importants soient utilisés (Forcada et al. 1994, 1995, Barlow 1995), il peut s'agir aussi de bateaux de pêche (Fiedler et Reilly 1994), voire de bateaux à propulsion mixte de faible taille (Gannier 1997, 1998a), au moins dans le cas de régions où une météorologie assez calme est rencontrée. Si le bateau avance vite (plus de 15 km/h), il y a un risque de sous-estimation du taux d'observation en raison des cétacés non-détectés "sur la ligne" ($G0 < 1$). Toutefois, les conditions d'observation dictées par la météorologie, en particulier la force du vent, demeurent un facteur déterminant dans la mise en oeuvre de la méthode du transect linéaire. Bien que certains auteurs réalisent des analyses de données collectées jusqu'à Beaufort 5 et mer agitée (Wade et Gerrodette 1993, Barlow 1995), en

stratifiant l'analyse en fonction de l'état de la mer, la plupart considèrent qu'au delà de Beaufort 3 (mer belle, peu de "moutons"), la fiabilité de l'estimation d'abondance est affectée. La taille des groupes de cétacés influe aussi: au large de la Californie, pour des conditions de vent de Beaufort 0–5, Barlow (1995) a calculé une valeur de $G0$ de 0,90 pour des baleines en petits groupes, de 0,77 pour les petits delphinidés en groupes peu importants, et de 1,0 pour les groupes importants de dauphins. Durant notre étude, des conditions de vent inférieur ou égal à Beaufort 2 ont régné durant plus de 70% de la prospection rendant réaliste l'hypothèse de détection certaine sur la ligne. Les histogrammes de détection (Figure 6a,b) montrent une allure de "colline" pour les faibles distances perpendiculaires, même si pour le Rorqual commun, on observe une irrégularité qui peut provenir du nombre assez faible de données disponibles. Avec un $G0$ de 0,90, on aboutirait à des estimations d'abondance plus élevées de 10% par rapport aux valeurs trouvées, soit 0,108 ind./km² pour le Rorqual commun et 0,58 ind./km² pour le Dauphin bleu et blanc.

Sur le suivi à long terme des populations de cétacés

L'intérêt du suivi à long terme de populations de cétacés dans une aire protégée est évident, *a fortiori* lorsque les populations évoluent dans un milieu fortement soumis à l'impact des activités humaines, comme c'est le cas du sanctuaire marin de Méditerranée. On sait que l'activité de la pêche "thonaille" aboutit à la capture accidentelle de nombreux dauphins (environ 320 *Stenella* en 2000, Gaertner et al. 2002). En présence d'une série temporelle d'estimations de densité, l'interprétation des écarts est statistique, en fonction des moyennes estimées, des variances et du nombre de degrés de liberté, qui dépend du nombre d'observations et de segments échantillons (Buckland et al. 1993). La comparaison se fait alors en considérant que la variable densité suit une distribution log-normale et on peut opérer soit un test de Student avec correction de variance (Saporta 1990), soit un test Z corrigé comme le proposent Zhou et al. (1997). En prenant comme référence les estimations de cette étude, on a évalué la faculté de détecter des variations futures d'abondance, par exemple dans le cas du Dauphin bleu et blanc. Nous avons appliqué la méthode de Zhou et al. (1997) en considérant les cas suivants (Tableau 6):

- Cas 1: densité estimée s'écartant de 10% de la référence, avec un CV de 25% (précision correcte) et 66 degrés de libertés (ddl).

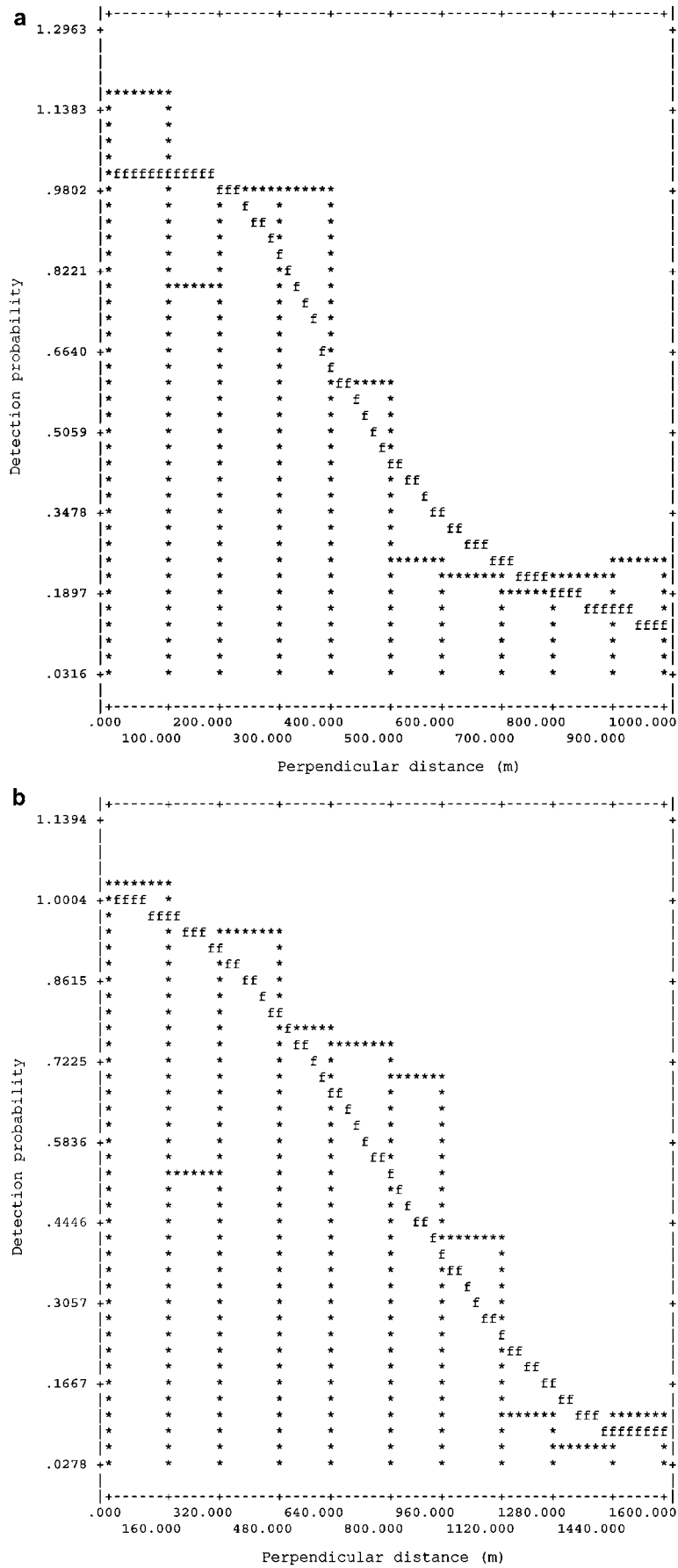


Figure 6 Détections de (a) Dauphin bleu et blanc et (b) Rorqual commun.

Tableau 6 Efficacité d'un suivi d'abondance pour le Dauphin bleu et blanc dans le Sanctuaire (hypothèse H0: l'abondance trouvée est identique à l'abondance de référence 2001).

Ecart entre l'estimation et la référence	Densité estimée	CV (%)	Ecart-type	Degrés de liberté	Valeur de Z (Zhou et al. 1997)	Probabilité de rejet de H0
Réf 2001	0,522	26,1	0,1362	66		
10%	0,577	25,0	0,1443	66	2,2520	0,9878
10%	0,577	30,0	0,1731	66	2,0470	0,9797
10%	0,577	30,0	0,1731	40	1,7487	0,9598
5%	0,548	25,0	0,1370	66	1,0927	0,8627
5%	0,548	15,0	0,0822	100	1,3710	0,9148
7%	0,558	15,0	0,0837	100	1,8811	0,9700

- Cas 2: densité estimée s'écartant de 10% de la référence, avec un CV de 30% (précision médiocre) et 66 ddl.
- Cas 3: densité estimée s'écartant de 10% de la référence, avec un CV de 30% (précision médiocre) et 40 ddl.
- Cas 4: densité estimée s'écartant de 5% de la référence, CV et ddl idem cas 1.
- Cas 5: densité estimée s'écartant de 5% de la référence, avec un CV de 15% (précision excellente) et 100 ddl
- Cas 6: densité estimée s'écartant de 7% de la référence, avec CV et ddl idem cas 5.

On constate qu'une variation d'abondance de 10% est vérifiable statistiquement (niveau de confiance de 95%) dans le cas 1, ainsi que dans le cas 2 (estimation de précision moindre que la référence, $p=0,023$), et même dans le cas d'un faible nombre de degrés de liberté (cas 3, $ddl=40$, $p=0,041$). Au contraire, une variation d'abondance de 5% ne peut pas être validée statistiquement (Tableau 6), même si on produit une estimation avec une précision excellente (cas 4 et 5). Par contre, une variation d'abondance de 7% par rapport à la référence peut être détectée si l'estimation est de précision excellente (cas 6, $CV=15\%$ et $ddl=100$). Cet exercice peut servir à fixer la périodicité des campagnes à la mer nécessaire pour le suivi de l'abondance dans le sanctuaire marin, en fonction des événements susceptibles d'affecter la démographie des cétacés (mortalité naturelle ou d'origine anthropique, variations de fécondité). On dégage ainsi des contraintes sur la précision souhaitable des estimations et des techniques à mettre en oeuvre pour améliorer la précision des abondances (augmentation d'effort, stratification). Ces aspects scientifiques peuvent alors être confrontés aux contraintes logistiques, qui dérivent directement des paramètres budgétaires.

Conclusion

Cette prospection réalisée en 10 jours durant l'été 2001 a apporté une connaissance inégalée du peuplement de cétacés du Sanctuaire Marin International, au niveau diversité, distribution et abondance relative ou absolue. Les résultats confirment que cette aire protégée réunit bien des caractéristiques écologiques favorables aux 8 espèces de cétacés communes en Méditerranée, certaines étant plus répandues (Rorqual commun, Dauphin bleu et blanc, Dauphin de Risso), d'autres plus localisées

(Dauphin commun, Ziphius de Cuvier, Globicéphale noir, Cachalot). Les moyens employés (six personnes à bord d'un bateau à moteur de 12 mètres combinant la surveillance visuelle et acoustique) sont compatibles avec le suivi à long terme de l'aire protégée, ce qui permet d'espérer que les populations de cétacés du sanctuaire Pelagos seront l'objet d'une gestion et d'une protection actives.

Remerciements

J'adresse des remerciements particuliers aux observateurs Thierry Bonniard, Violaine Drouot, Béatrice Gagnaire, Stéphane Jérémie et Sophie Laran.

Références

- Aguilar, A. et J.A. Raga. 1993. The striped dolphin epizootic in the Mediterranean Sea. *Ambio* 22: 524–528.
- Azzellino, A., M. Carron, A. D'Amico, C. Misic, M. Podesta, N. Portunato et R. Stoner. 2003. Cuvier's beaked whale (*Ziphius cavirostris*) habitat use and distribution in the Genoa canyon area (Sirena 02). In: Abstracts of the 17th Conference of the European Cetacean Society (Las Palmas, 10–12 March).
- Balance, L.T. et R.L. Pitman. 1998. Cetaceans of the Western Tropical Indian Ocean: distribution, relative abundance, and comparisons with cetacean communities of two other tropical ecosystems. *Mar. Mamm. Sci.* 14: 429–459.
- Barlow, J. 1995. The abundance of cetaceans in California waters. Part 1: ship surveys in summer and fall 1991. *Fish. Bull.* 93: 1–14.
- Bosc, E., A. Bricaud et D. Antoine. 2004. Seasonal and interannual variability in algal biomass and primary production in the Mediterranean Sea, as derived from four years of SeaWiFS observations. *Global Biogeochem. Cycles* 18: GB1005.
- Bourreau, S. et A. Gannier. 2003. Distribution of *Delphinus delphis* in the Mediterranean Sea: competition with striped dolphin or fisheries? In: Abstracts of the 17th Conference of the European Cetacean Society (Las Palmas, 10–12 March).
- Buckland, S.T. et A. Anganuzzi. 1988. Comparison of smearing methods in the analysis of Minke sightings data from IWC/IDCR Antarctic cruises. *Rep. Int. Whaling Commission* 38: 257–253.
- Buckland, S.T., K.L. Cattanach et T. Gunnlaugsson. 1992. Fin whale abundance in the Northeast Atlantic estimated from Icelandic and Faroese NASS 87 and NASS 89 data. *Rep. Int. Whaling Commission* 42: 845–851.
- Buckland, S.T. et B.J. Turnock. 1992. A robust line transect method. *Biometrics* 48: 901–909.
- Buckland, S.T., D.R. Anderson, K.P. Burnham et J.L. Laake. 1993. Distance sampling: Estimating abundance of biological populations. Chapman and Hall, London.

- Canadas, A., R. Sagarminaga et S. Garcia-Tiscar. 2002. Cetacean distribution related with depth and slope in the Mediterranean waters off southern Spain. *Deep Sea Res. Pt. I* 49: 2053–2073.
- Di Natale, A. et G. Notarbartolo di Sciara. 1994. A review of the passive fishing nets and trap fisheries in the Mediterranean Sea and of the cetacean bycatch. *Rep. Int. Whaling Commission Special Iss.* 15: 189–202.
- Drouot, V., A. Gannier et J.C. Goold. 2004. Diving and feeding behaviour of sperm whales (*Physeter macrocephalus*) in the western Mediterranean Sea. *Aquat. Mamm.* 30: 419–426.
- Duguay, R. 1991. Les mammifères marins de la Méditerranée occidentale. *Bull. Soc. Zool. Fr.* 114: 89–96.
- Fiedler, P.C. et S.B. Reilly. 1994. Interannual variability of dolphin habitats in the eastern tropical Pacific. 2: Effects on abundances estimated from tuna vessel sightings, 1975–1990. *Fish. Bull.* 92: 451–463.
- Forcada, J. et P. Hammond. 1998. Geographical variation in abundance of striped and common dolphins of the western Mediterranean. *J. Sea Res.* 39: 313–325.
- Forcada, J., A. Aguilar, P. Hammond, X. Pastor et R. Aguilar. 1994. Distribution and numbers of striped dolphins in the Western Mediterranean Sea after the 1990 epizootic outbreak. *Mar. Mamm. Sci.* 10: 137–150.
- Forcada, J., G. Notarbartolo di Sciara et F. Fabbri. 1995. Abundance of the fin whales and the striped dolphin summering in the Corso-Ligurian basin. *Mammalia* 59: 127–140.
- Forcada, J., A. Aguilar, P. Hammond, X. Pastor et R. Aguilar. 1996. Distribution and abundance of fin whales (*Balaenoptera physalus*) in the Western Mediterranean during summer. *J. Zool. (Lond.)* 238: 23–31.
- Gaertner, J.-C., G. Imbert, L. Laubier, A.-L. Massié et I. Dekeyser. 2002. Typologie de la flotille pratiquant la pêche à la Thonaille en Méditerranée Française. Rapport non publié. Centre Océanologique de Marseille.
- Gannier, A. 1997. Estimation de l'abondance estivale du Rorqual commun *Balaenoptera physalus* (Linné, 1758) dans le bassin liguro-provençal (Méditerranée nord-occidentale). *Rev. Ecol. (Terre et Vie)* 52: 69–86.
- Gannier, A. 1998a. 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. *Rev. Ecol. (Terre et Vie)* 53: 255–272.
- Gannier, A. 1998b. Variation saisonnière de l'affinité bathymétrique des Cétacés dans le bassin liguro-provençal. *Vie Milieu* 48: 25–34.
- Gannier, A. 1998c. Estimating the summer abundance of striped dolphins and fin whales in the the Northwestern Mediterranean with a small boat survey. Report SC/49/0 1 to the 39th Annual meeting of the Scientific Committee, International Whaling Commission.
- Gannier, A. 1999a. Estimation de l'abondance des cétacés dans le Sanctuaire Marin International. Rapport d'étude pour la Direction Régionale de l'Environnement et de la Nature. DIREN, Aix-en-Provence.
- Gannier, A. 1999b. Les cétacés de Méditerranée nord-occidentale: nouveaux résultats sur leur distribution, la structure de leur peuplement et l'abondance relative des différentes espèces. *Mésogée* 56: 3–19.
- Gannier, A. 2002. Summer distribution of fin whales (*Balaenoptera physalus*) in the northwestern Mediterranean Marine Mammals Sanctuary. *Rev. Ecol. (Terre et Vie)* 57: 135–150.
- Gannier, A. 2005. Summer distribution and relative abundance of delphinids in the Mediterranean Sea. *Rev. Ecol. (Terre et Vie)* 60: 223–238.
- Gannier, A., V. Drouot et J.C. Goold. 2002. Distribution and relative abundance of the sperm whale in the Mediterranean Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 243: 281–293.
- Gordon, J.C.D., J.N. Matthews, S. Panigada, A. Gannier, J.F. Borsani et G. Notarbartolo di Sciara. 2000. Distribution and relative abundance of striped dolphins, and distribution of sperm whales in the Ligurian Sea cetacean sanctuary: results from a collaboration using acoustic monitoring techniques. *J. Cetacean Res. Manage.* 2: 27–36.
- Hammond, P.S., H. Benke, P. Bergreen, D.L. Borchers, S.T. Buckland, A. Collet, et al. 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.
- Hiby, A.R. 1982. The effect of random whale movement on density estimates obtained from whale sightings surveys. *Rep. Int. Whaling Commission* 32: 791–793.
- Hiby, A. et P.S. Hammond. 1989. Survey techniques for estimating abundance of cetaceans. *Rep. Int. Whaling Commission Special Iss.* 11: 47–80.
- Laake, J.L., S.T. Buckland, D.R. Anderson et K.P. Burnham. 1994. *DISTANCE user's guide V2.2*. Colorado Cooperative Fish and Wildlife Research Unit, Colorado State University, Fort Collins.
- Laran, S., A. Gannier et S. Bourreau. 2003. How season influences striped dolphins and fin whales distribution in the Northwestern Mediterranean Sea Marine Mammal Sanctuary. In: Abstracts of the 17th Conference of the European Cetacean Society (Las Palmas, 10–12 March).
- Licot, M. 1985. Etude écohydrodynamique du front liguro-provençal au large de la Corse. Thèse de Doctorat. Faculté des Sciences, Université de Liège.
- Littaye, A., A. Gannier, S. Laran et J.P.F. Wilson 2004. The relationship between summer aggregation of fin whales and satellite-derived environmental conditions in the northwestern Mediterranean Sea. *Remote Sens. Environ.* 90: 44–52.
- Longhurst, A.R., 1999. *Ecological geography of the sea*. Academic Press, San Diego, CA.
- Marini, L., C. Consiglio, A.M. Angradi, B. Catalano, M.G. Foinia, G. Villetti et A. Sanna 1996. Distribution and seasonality of cetaceans sighted during scheduled ferry transects in Central Tyrrhenian Sea: 1989–1992. *Ital. J. Zool.* 63: 381–388.
- Notarbartolo di Sciara, G., M.C. Venturino, M. Zanardelli, G. Bearzi, F. Borsani et B. Cavalloni. 1993. Cetaceans in the central Mediterranean Sea: distribution and sighting frequencies. *Boll. Zool.* 60: 131–138.
- Priour, L. 1981. Hétérogénéité temporelle dans le bassin liguro-provençal. *Rapp. Commission Int. Explor. Sci. Mer Méditerranée* 27: 177–179.
- Reilly, S.B. et P.C. Fiedler. 1994. Interannual variability of dolphin habitats in the eastern tropical Pacific. 1: Research vessel surveys, 1986–1990. *Fish. Bull.* 92: 434–450.
- Reilly, S.B., P.C. Fiedler, K.A. Forney et J. Barlow. 1999. Cetacean habitats in the California Current: partitioning oceanographic and geographic patterns. Report SC/49/O22 to the Scientific Committee of the International Whaling Commission.
- Saporta, G. 1990. *Probabilités, analyse des données et statistique*. Technip, Paris.
- Wade, P.R. et T. Gerrodette. 1993. Estimates of cetacean abundance and distribution in the eastern tropical Pacific. *Rep. Int. Whaling Commission* 43: 477–493.
- Zhou, X.-H., S. Gao et S.L. Hui. 1997. Methods for comparing the means of two independent log-normal samples. *Biometrics* 53: 1129–1135.