



04-012

DISTRIBUTION ET HABITAT ESTIVAL DU CACHALOT
Physeter macrocephalus
EN MEDITERRANEE NORD-OCCIDENTALE

AUTEUR : Alexandre GANNIER

Groupe de Recherche sur les Cétacés

Rapport final

Date du rapport : Novembre 2005



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE,
DU DÉVELOPPEMENT
ET DE L'AMÉNAGEMENT
DURABLES

Distribution et habitat estival du Cachalot *Physeter macrocephalus* en Méditerranée nord-occidentale

| | |
|--------------------------------------------------------------------------|------|
| Présentation de l'étude | p 2 |
| Objectifs | |
| Etat des Connaissances | |
| Description du programme | |
| | |
| La distribution estivale dans le Sanctuaire et le bassin nord-occidental | p 7 |
| Méthodes employées | |
| Résultats | |
| Données récoltées | |
| Cartes de distribution | |
| Discussion sur les secteurs privilégiés | |
| | |
| L'utilisation de l'habitat | p 15 |
| Méthodes employées | |
| Résultats | |
| L'activité de prédation | |
| Les déplacements | |
| Discussion | |
| | |
| La distribution hivernale | p 36 |
| Méthodes employées | |
| Résultats | |
| Discussion | |
| | |
| Conclusions et perspectives | p 45 |

Rapport de l'Etude 04-01283400PC réalisée par le Groupe de Recherche sur les Cétacés pour le Parc National de Port-Cros, Ministère de l'Environnement et du Développement Durable au titre du Sanctuaire Pelagos.

PRESENTATION DE L'ETUDE

Le Cachalot (*Physeter macrocephalus*) est un cétacé dont le statut de conservation en Méditerranée est préoccupant (captures dans les filets, collisions, isolement de la population). Le Cachalot est répandu sur l'ensemble de la Méditerranée mais l'abondance de la population est difficile à déterminer. La population de Méditerranée est probablement largement isolée de celle de l'Atlantique. On sait que le nord du bassin occidental est surtout fréquenté en été par des mâles, bien que des groupes de femelles et de juvéniles y fassent des incursions de la fin de l'été à l'automne. Les Cachalots ne sont pas résidents sur une région, mais ils se déplacent sans arrêt à la recherche de proies. On les rencontre dans notre région pratiquement toute l'année, avec un minimum de fréquentation en hiver. Le bassin nord-occidental constitue une zone de nourrissage importante pour l'espèce et les cachalots se rencontrent d'une part au voisinage du talus continental, et d'autre part plus au large. Le sanctuaire Pelagos ne concentre pas la majorité de la population, mais de nombreux individus de Méditerranée occidentale y séjournent chaque année. Face à une intensification de la navigation et une augmentation de la vitesse des navires, on doit craindre un plus grand nombre de collisions: la conservation du Cachalot en Méditerranée occidentale n'est pas garantie. C'est pour cette raison que nous avons proposé une étude visant à améliorer les connaissances sur la distribution de l'espèce et à préciser son utilisation de l'habitat en Méditerranée nord-occidentale.

Objectifs

Les connaissances acquises dans la période 1997-2001 fournissent des éléments importants sur l'écologie de l'espèce en Méditerranée, permettant notamment à définir une population cible et un schéma global de sa distribution et de son activité. Mais à plus petite échelle, d'autres résultats sont nécessaires pour permettre des mesures améliorant la protection de l'espèce dans le sanctuaire Pelagos. Les objectifs de cette étude sont donc:

- d'établir la distribution estivale dans le bassin nord-occidental à une échelle plus fine que ce qui a été fait jusqu'à présent, notamment en la déterminant par type d'habitat (talus, large) et par région (Tyrrhénienne, Ligure, Provence, Lion)
- de connaître l'utilisation de l'habitat par le Cachalot, en détaillant son activité de prédation (déroulement et efficacité) et ses déplacements dans le nord du bassin
- d'avoir des éléments sur son cycle "migratoire" dans le sanctuaire: connaître les périodes d'abondance maximale, et les périodes de l'année où le Cachalot peut être considéré comme plus rare

Etat des Connaissances

Les travaux antérieurs, notamment ceux liés au programme de thèse de Violaine Drouot (Drouot, 2003), apportent des éléments essentiels sur la biologie du Cachalot en Méditerranée, notamment pour tout ce qui concerne la définition d'une population.

Tout d'abord, la génétique moléculaire pratiquée sur l'ADN mitochondrial (le patrimoine génétique transmis par les femelles) a montré une différence entre la population méditerranéenne de Cachalot et celle de l'Atlantique (Drouot et al., 2004a). Les 200 premières paires de base de la région de contrôle de l'ADN ont montré trois haplotypes différents sur deux nucléotides polymorphiques. Alors que les 52 individus atlantiques montraient les trois haplotypes, un seul haplotype était présent dans les 13 individus échantillonnés -dans les deux bassins- en Méditerranée. Un test statistique a permis de conclure que les deux populations étaient distinctes génétiquement, ainsi qu'il avait été déjà montré pour le Rorqual commun et le Dauphin bleu et blanc. Si cette étude a montré que la population de femelles était isolée de celle de l'Atlantique, elle ne dit rien sur le statut des mâles: rien d'interdit en principe que des mâles de l'Atlantique ne viennent s'accoupler avec des femelles de Méditerranée et seule une étude similaire sur l'ADN nucléaire viendra combler un jour cette lacune. Quoiqu'il en soit, l'isolement génétique des femelles permet de considérer la population méditerranéenne de Cachalot comme une unité écologique séparée, à des fins de "gestion".

L'étude de distribution estivale au niveau méditerranéen a montré que les cachalots fréquentaient les deux bassins, avec trois régions d'abondance relative maximale: le bassin sud-ouest (comprenant les Iles Baléares) avec une abondance relative acoustique de 2,15 individus pour 100 km d'effort, la zone Lion-Ouest Provence avec une abondance de 1,90 ind./100 km, et dans le bassin oriental, la mer Ionienne avec 1,21 ind./100 km (Gannier et al., 2002). Les régions où l'on pouvait noter une abondance plus faible en été comprenaient la mer Tyrrhénienne, la mer d'Alboran et la mer Ligure. Mais ces résultats ne comprenaient pas un secteur probablement très favorable au Cachalot: le large de l'Afrique du Nord: en reprenant les résultats acoustiques obtenus dans les secteurs voisins (Alboran et SW Baléares), nous avons pu interpoler une valeur d'abondance relative pour la zone Large Maghreb: on arrive ainsi à une fourchette d'abondance de 500 à 1000 individus pour le bassin occidental, estimation devant être confirmée toutefois dès que de nouvelles données de prospection seront disponibles. L'aspect social des émissions acoustiques a été traité également sur les deux bassins, par une analyse des codas émis par les groupes sociaux (Drouot et al., 2004b). Un total de 18 types de coda ont été identifiés, comprenant entre 3 et 11 impulsions: une analyse détaillée a montré une différence entre le bassin oriental et le bassin occidental. Ce résultat est intéressant car il signifie qu'au delà d'une distinction génétique, les deux populations

orientales et occidentales de Méditerranée ont des "dialectes" différents, ce qui suggère un isolement relatif. Par ailleurs, il faut noter que la consultation des catalogues de photo-identification constitués en mer Ligure (GREC et Tethys) et en Crète (Pelagos Research Institute) ne montre pas d'individus communs entre le bassin occidental et la bassin oriental. En d'autres termes, tous les éléments en notre possession indiquent que la population de cachalots de Méditerranée occidentale constitue une unité en terme de gestion et de protection.

Dans le bassin occidental, l'étude de la distribution met en lumière une certaine ségrégation semblable à première vue au schéma établi pour le Cachalot en zones océaniques (Rice, 1989): en été, ce sont surtout des mâles qui fréquentent le nord du bassin, alors que les groupes maternels comprenant les juvéniles sont vus essentiellement au sud du 41°N (Drouot et al., 2004c), notamment dans des lieux tels que le talus des Iles Baléares. Ce constat a pu être fait en étudiant la structure des clics émis par les cachalots, ce que l'on appelle les intervalles inter-impulsions (IPI). Pour les individus du nord du bassin, on a une distribution unimodale de ces IPI avec un mode à 5,5 ms, correspondant à des cachalots de 13m, donc des mâles, toutefois, les individus de taille voisine de 11m n'y sont pas rares. Pour le sud du bassin, la distribution est bimodale avec un mode à 3 ms, correspondant à des sub-adultes de 9m, et un groupe d'impulsions correspondant à des individus de 11 à 13,5m, donc des femelles adultes et des mâles (Drouot et al., 2004c). Il faut noter ici que les clics émanant de juvéniles (individus de 4 à 7m) n'ont pas été analysés avec cette méthode car on n'est pas parvenu, au sein des groupes, à isoler les sondes particulières de ces jeunes animaux. Presque tous les groupes de plus de 3 individus visuellement repérés en été durant nos études sont localisés au sud du 41° parallèle. Mais si l'on considère les données acoustiques, il est fréquent que les écoutes révèlent la présence de trois individus ou plus (dans un rayon de 10km) dans le nord du bassin et il arrive que de tels groupes soit vus en surface (4 août 2001). Donc, le schéma océanique ne s'applique pas strictement à la Méditerranée occidentale, certainement en raison des conditions physiques (distances, températures). D'une part, des mâles adultes sont vus à quelques semaines d'intervalle en zone provençale et avec des femelles en zone Baléares (photo-identification en 2003). D'autre part, des groupes maternels pénètrent au nord du bassin, parfois dès la fin de l'été (observations Douanes Françaises), et de toutes façons en automne (Moulins et Würtz, 2005; observations CRC). Ainsi, le nord du bassin occidental est fréquenté essentiellement en été par des mâles adultes et sub-adultes, évoluant fréquemment en groupes dispersés mais des groupes maternels investissent régulièrement nos régions, surtout en automne.

L'activité observée dans le bassin nord-occidental est synonyme de prédation: les cachalots vus enchaînent des cycles comprenant des sondes d'une durée moyenne de 45 minutes et des périodes de surface de 9 minutes (Drouot et al., 2004d). Durant les sondes, les animaux passent environ 33 minutes à chasser activement, le comptage des évènements acoustiques suggérant un nombre moyen de 25 proies par sonde. Les cachalots évoluent soit en solitaire, soit en groupes dispersés de 2 à 4 animaux, chaque individu étant séparé de l'autre par quelques kilomètres. Il est rare de rencontrer plusieurs animaux rassemblés en surface dans la région provençale ou ligure, mais cela n'empêche pas que les individus puissent agir de manière coordonnée à distance, au moyen de communication acoustique. Il semble que cette activité de prédation soit prédominante de jour et de nuit et les résultats partiels montrent que les cachalots se déplacent souvent de manière cohérente dans le temps, bien que pas forcément le long du talus continental.

En résumé, les connaissances acquises indiquent que:

- le Cachalot constitue une unité de population en Méditerranée Occidentale, estimée approximativement à 500-1000 individus
- les individus rencontrés en été dans le sanctuaire et les eaux adjacentes sont en majorité des mâles, avec parfois de la fin de l'été à l'automne, des groupes de femelles et juvéniles
- l'occupation essentielle de ces individus est la prédation en profondeur.

Cette étude fournira des indications nouvelles et d'une précision accrue sur la présence, le mouvement et le succès de la prédation du Cachalot dans le nord du bassin occidental. Le secteur d'étude inclura différentes provinces géographiques, en accord avec nos travaux antérieurs sur l'écologie marine, et la compréhension des liens entre le Cachalot et son environnement (**figure 1**). On y trouve l'espace situé entre la France continentale et les îles de Minorque et de Corse, avec la mer Ligure, cœur du sanctuaire Pelagos, la mer Tyrrhénienne, secteur séparé des autres par des détroits, la zone Provence, avec un talus très abrupt et une zone large profonde, le secteur Lion, avec un talus progressif émaillé de canyons sous-marins ; du sud du 42° parallèle jusqu'au 40° parallèle, un secteur central d'eaux profondes, et enfin le talus de Minorque, se prolongeant au sud vers les autres îles Baléares

Figure 1 : Le secteur d'étude du cachalot 2001-2004 (en page suivante)

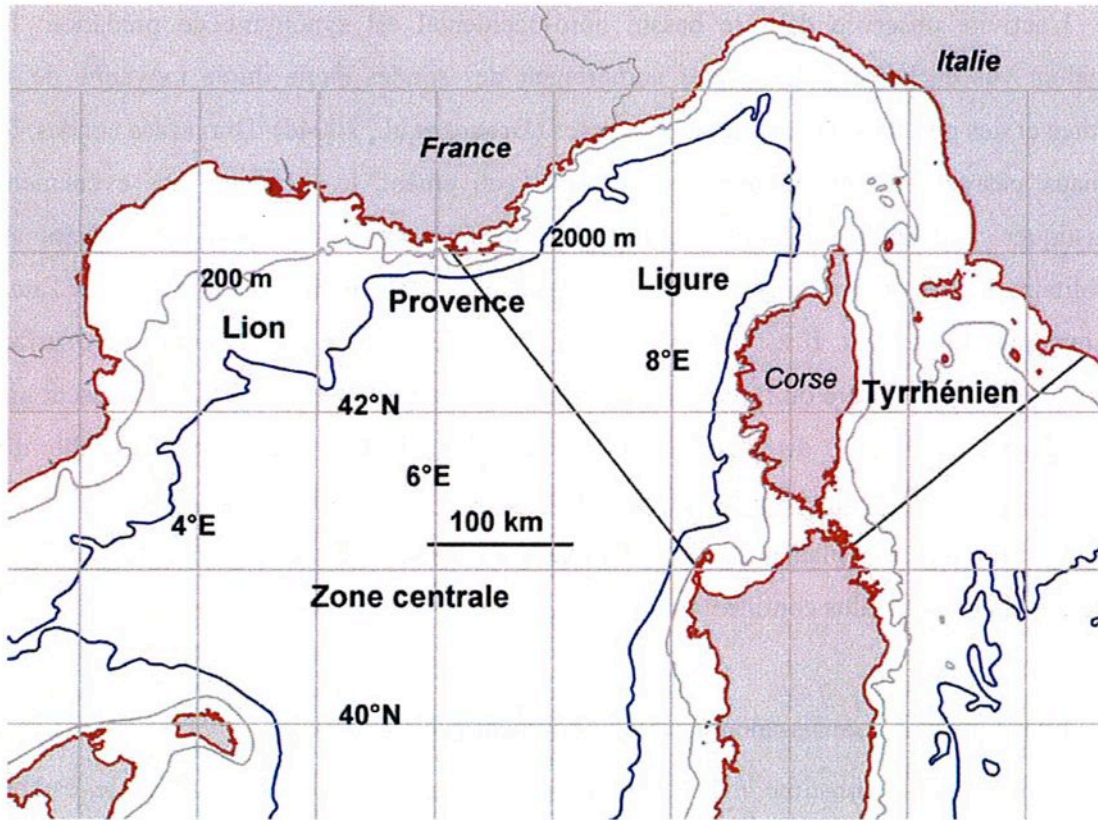


Figure 1 : Secteur étudié

Description du programme

L'étude repose sur une acquisition de données effectuée d'une part, durant l'été à bord du voilier *Anacaona* du GREC (longueur 12m, équipage 4-6 personnes), et d'autre part, en toutes saisons à bord du bateau *Storm* du CRC (longueur 12m, équipage 4-5 personnes). Les prospections estivales ont lieu dans toute la moitié nord du bassin occidental, alors que les études hivernales concernent la mer Ligure. Les prospections estivales comportent des données propres à délivrer des résultats de distribution ou d'abondance relative, et aussi des données de suivi prolongé des cachalots, qui servent à quantifier l'utilisation de l'habitat. Les données hivernales ne comportent que les aspects "distribution" et abondance relative; dans les deux cas, bien sûr, on collecte et exploite des données visuelles et acoustiques.

De cette façon, le programme délivre des résultats:

- de distribution estivale sur le bassin nord-occidental
- de fréquentation saisonnière sur la mer Ligure (zone cœur du Sanctuaire)
- d'utilisation de l'habitat, avec des données estivales

Les données utilisées sont issues des années 2001 à 2004 pour les aspects distribution, et plus spécifiquement les années 2002 à 2004 pour ce qui est de l'utilisation de l'habitat. Durant l'été, chaque année les campagnes en mer estivales ont comporté des parties distinctes "échantillonnage" et "habitat", le temps dévolu aux études d'habitat étant majoritaire en 2003 et 2004.

La distribution estivale dans le Sanctuaire et le bassin nord-occidental

Les campagnes ont été organisées chaque année en deux périodes, pour un total de 140 journées (tout compris), à raison de 38 jours en 2001, 29 jours en 2002, 33 jours en 2003 et 40 jours en 2004 (tableau 1).

| Campagne | N journées | Lieu | Campagne | N journées | Lieu |
|---------------------------------|------------|----------------------|-------------------------|------------|--------------------|
| 2001A: 2 au 24 juillet | 23 | Baléares | 2001B: 10 au 24 août | 15 | Provence |
| 2002A: 2 au 19 juillet | 18 | Baléares | 2002B: 5 au 15 août | 11 | Ligure Provence |
| 2003A: 20 juin au 12 juillet | 23 | Provence Baléares | 2003B: 3 au 12 août | 10 | Ligure |
| 2004A: 1 au 29 juillet | 30 | Provence | 2004B: 30 au 8 août | 10 | Ligure Provence |

Tableau 1 : Ventilation des périodes estivales d'étude de 2001 à 2004.

Très souvent, la première période était davantage centrée sur l'échantillonnage au loin alors que la seconde se focalisait sur le secteur Ligure-Provence, avec prédominance d'études d'habitat.

METHODES EMPLOYEES

A. Equipement et moyens humains

Nous utilisons le voilier de 12 m *Anacaona* (photographie 1) qui muni d'un moteur de 80 ch peut maintenir une vitesse de croisière de 6 nœuds avec des conditions de mer variées. Son autonomie en fuel et en eau permet des sorties d'une semaine sans ravitaillement. Le voilier est muni du matériel de navigation approprié: deux GPS et un pilote automatique. Les matériels spécifiques à l'étude incluent:

- une paire de jumelles 7x50 munies d'un réticule d'azimut et d'un compas interne
- un hydrophone remorquable double muni de son amplificateur et de boîtiers filtres
- un enregistreur numérique de type DAT Sony TCD-8
- un ordinateur portable muni d'une carte son externe et du logiciel spécifique *Rainbow Click (C)* IFAW

- un appareil photo numérique 6 mégapixels Nikon (à partir de 2004) et son optique zoom
- (en secours) un hydrophone remorquable simple muni de son amplificateur

La bande passante du système acoustique utilisé s'étend de 200 Hz à 22 kHz (DAT). Le filtre analogique modulable de 0 à 3000 Hz est réglé généralement en position « passe-haut 400Hz ou 1600 Hz », il permet d'améliorer la qualité d'écoute.

Durant l'étude, 4 à 6 équipiers présents à bord se partagent l'ensemble des tâches. L'équipage comprend des membres du GREC (permanents et stagiaires) souvent par un ou deux observateurs du CRC. Le travail à l'hydrophone nécessitant une compétence particulière, il est accompli uniquement par les équipiers qualifiés. Durant les périodes nocturnes par beau temps, les échantillonnages acoustiques continuent: les quarts comprennent alors deux personnes en rotation de deux heures. Pour ce qui est des calculs de distribution, qui sont réalisés sur les données acoustiques, les échantillons nocturnes ne sont pas distingués des échantillons diurnes.

B. Méthode de terrain

1. Détecter les Cachalots

L'objectif premier est de détecter les animaux (souvent acoustiquement), et ensuite de les approcher afin d'en déterminer la taille, et si possible d'enregistrer une partie de sonde. La recherche active des cachalots repose sur la combinaison d'une surveillance visuelle et d'un échantillonnage acoustique. L'échantillonnage s'est fait le long de trajets linéaires arbitraires au large, et de zigzags dans les eaux du talus continental des côtes françaises. On peut ainsi déterminer la distribution avec plus de précision dans les eaux proches des côtes. Durant la phase recherche on se repose surtout sur l'échantillonnage acoustique pour détecter la présence de cachalots: cela qui consiste à faire une écoute tous les 2 milles nautiques (parfois un mille) le long du transect. Le résultat de l'écoute est consigné sur un livre de bord, et transcrit sur une base de données informatique grâce à l'ordinateur portable embarqué. S'il y a audition de cétacés, le niveau du signal capté est classé sur une échelle de 1 à 5 et le type de signal est consigné. De même, le niveau du bruit ambiant est classé sur une échelle de 1 à 5, et nous mentionnons éventuellement le type de bruit prédominant (navire de commerce, par exemple). Lors de la station d'écoute, l'opérateur consigne tous les sons particuliers.

La recherche visuelle en transect consiste en une observation continue du secteur avant à une vitesse constante de 5 nœuds. Deux observateurs sont en fonction sur le rouf du bateau, avec les yeux à 3 mètres d'altitude, et couvrent les secteurs de 30° à 90° de chaque côté du

bateau. Un observateur est debout devant le mât et scrute le secteur +/- 45°. 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. La détection visuelle des cachalots est facilitée par la procédure décrite ci-dessous.

2. Approcher les Cachalots

Lorsqu'un cachalot est détecté acoustiquement avec un niveau suffisant (niveau 2 et plus), les vocalisations émises sont enregistrées en continu et on utilise ensuite le logiciel *Rainbow Click* pour localiser les cachalots et les approcher. Ce système donne le relèvement du signal acoustique reçu. Avec plusieurs relèvements successifs, on arrive généralement à approcher l'individu en sonde jusqu'à une distance inférieure à 1000 mètres. Le signal atteint alors un niveau 5 (maximal) et le bateau est mis à l'arrêt, et on passe en phase de surveillance visuelle étendue sur 360°. Lorsque le cachalot cesse d'émettre des clics, on sait d'après les résultats antérieurs qu'au bout d'un délai de 5 à 8 minutes il va émerger et souffler, ce qui permettra de le repérer visuellement si l'état de la mer est convenable. Dans la plupart des cas, par mer belle, une seule phase de recherche permet de détecter le Cachalot lorsqu'il arrive en surface.

Le Cachalot localisé visuellement est ensuite l'objet d'une approche rapide pendant qu'il est en surface (8 à 11 minutes), afin de pouvoir le photo-identifier lorsqu'il sonde, et éventuellement obtenir un enregistrement de ses premiers clics. Toutefois, les phases d'approche acoustique et visuelle sont rarement entreprises lors des échantillonnages au large, car dans ces cas-là, la contrainte de temps prime sur les autres, et on privilégie alors la couverture de grands espaces, au détriment du nombre de données collectées sur chaque observation.

RESULTATS

Données récoltées

1. Effort de prospection effectif

Cet effort se traduit d'une part par un nombre d'écoutes à l'hydrophone, et d'autre part par une distance parcourue en mer avec de bonnes conditions d'observation (indice de conditions d'observation ≥ 4). Au cours des années de 2001 à 2004, on a ainsi effectué 2937 stations d'écoute et 5180 milles par beau temps, soit 9583 kilomètres en échantillonnage (tableau 2). L'effort en 2001 comprend aussi une campagne recensement Sanctuaire du 26 juillet au 3 août, car cette prospection systématique incluait des écoutes de Cachalots (tous les

4 milles). Mis à part cette année 2001, les prospections spécifiques comprennent annuellement environ un millier de milles et 600 à 700 écoutes.

| Campagne | Effort milles | Effort écoutes | Campagne | Effort milles | Effort écoutes |
|---------------------------------|---------------|----------------|-------------------------|---------------|----------------|
| 2001A: 2 au 24 juillet | 1346* | 683* | 2001B: 10 au 24 août | 820 | 307 |
| 2002A: 2 au 19 juillet | 535 | 380 | 2002B: 5 au 15 août | 455 | 183 |
| 2003A: 20 juin au 12 juillet | 653 | 445 | 2003B: 3 au 12 août | 411 | 224 |
| 2004A: 1 au 29 juillet | 565 | 536 | 2004B: 30 au 8 août | 395 | 179 |

Tableau 2 : Répartition dans le temps des données collectées. (* y compris le recensement Sanctuaire)

Sur les quatre années, on constate que l'effort d'échantillonnage comprend une couverture plus intense dans le secteur talus Provence-Ligure, et une couverture moins dense pour la large. Néanmoins, ce dernier secteur est échantillonné de manière relativement homogène dans ses différentes provinces : Ligure et Corse, Provence, Lion, y compris la partie méridionale, vers les Baléares (figure 2a et b). Cela va nous permettre un point de vue suffisamment global sur l'habitat du Cachalot en Méditerranée nord-occidentale.

Pages suivantes :

Figure 2a : Echantillonnage acoustique (écoutes faites en échantillonnage)

Figure 2b : Echantillonnage visuel (segments parcourus par indice d'observation > 4)

2. Détections et observations 2001-2004

Le résultat des échantillons est un total de 804 détections acoustiques de cachalot, y compris celles faites après une détection visuelle (figure 2a), ainsi que 72 observations de Cachalot (177 individus), dont 56 ont été obtenues avec de bonnes conditions de visibilité (tableau 3 et figure 2b). Le détail de ces observations figure en Annexe 1.

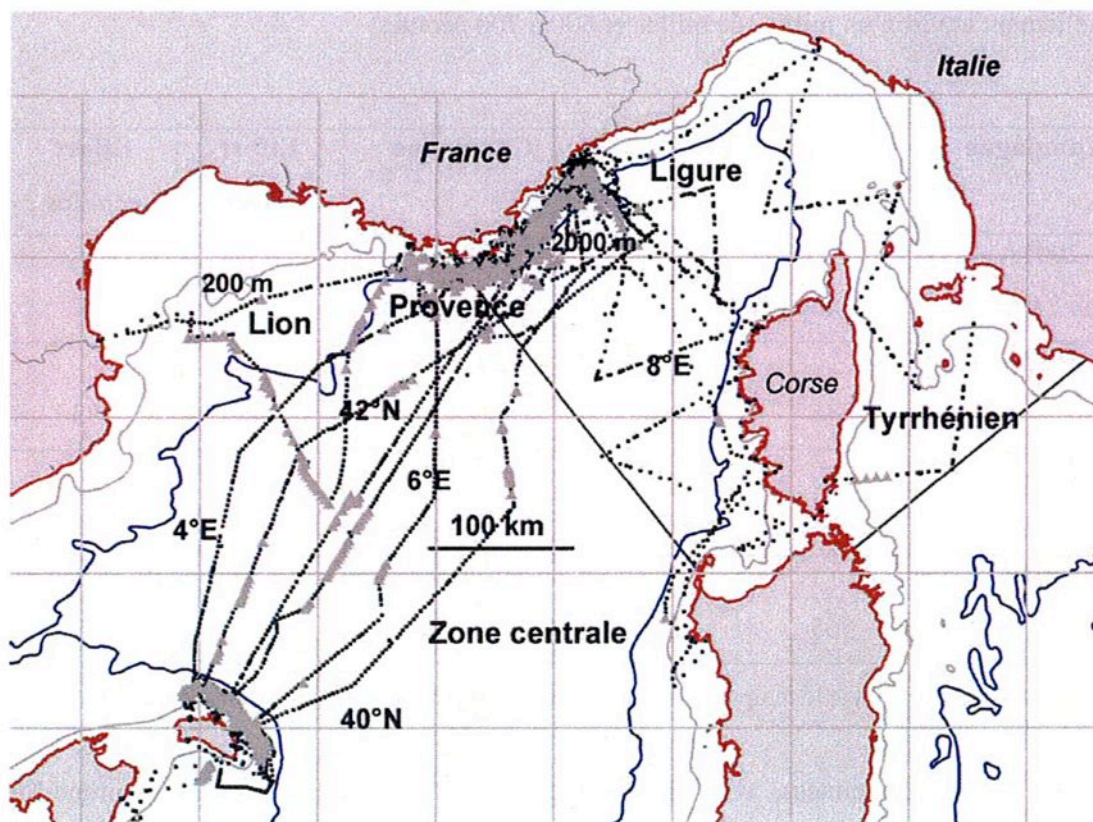


Figure 2a : Echantillonnage acoustique et écoutes positives de Cachalot.

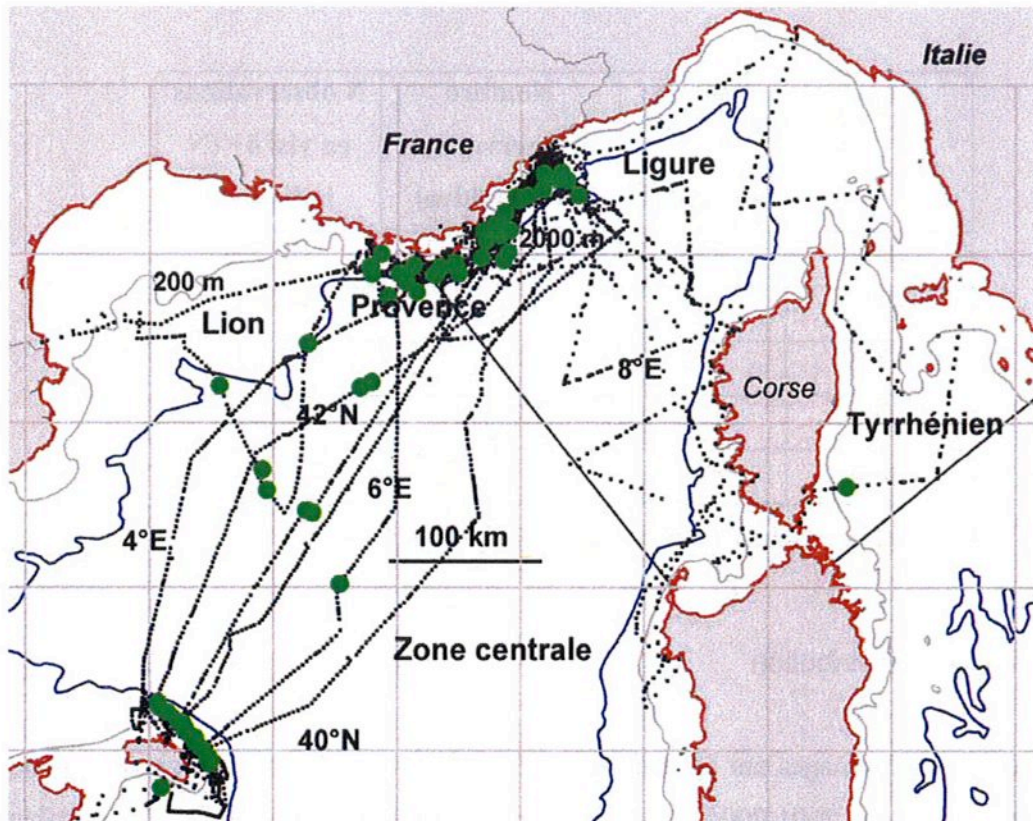


Figure 2b : Echantillonnage visuel et observations de Cachalot.

| Année | Écoutes avec Cachalot | Nombre d'observations (N individus) | N observations en visi 4+ (N individus) |
|--------------|------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 2001 | 253 | 15 (46) | 10 (33) |
| 2002 | 172 | 23 (52) | 17 (44) |
| 2003 | 215 | 17 (42) | 15 (34) |
| 2004 | 164 | 17 (37) | 14 (29) |
| Total | 804 | 72 (177) | 56 (140) |

Tableau 3 : Bilan des détections acoustiques et visuelles de Cachalot.

Cartes de distribution

Les échantillonnages ont été réalisés au cours des 4 années, nous proposons donc une distribution moyenne 2001-2004, à grande échelle, puis et à petite échelle. Ces distributions sont réalisées par extrapolation spatiale des données obtenues, modalité de visualisation de l'option « Spatial Analyst » du logiciel ArcGIS 9. Pour ces cartes, chaque cellule de 10km de côté de la zone d'étude se voit affecter une valeur moyenne de l'indice d'écoute acoustique obtenu dans un rayon de 25 km. Cet indice moyen est compris entre 7 (maximum correspondant à la totalité des écoutes positives avec cachalot) et 0 (aucune des écoutes environnantes ne signale de cachalot). La contribution de chacune des données environnantes à la moyenne de la cellule cible s'effectue avec une pondération inverse de sa distance, d'où le nom de la méthode : « inverse distance weighted ». Pour les cartes à petite échelle, la taille des cellules est de 3x3km et le rayon de scrutation est de 10km.

1. Situation pour la période 2001-2004

Sur la carte à l'échelle du bassin, on remarque que la variabilité de la distribution est grande: les zones bleues (moins de 15% d'écoutes positives) prédominent mais on trouve des zones rouges (plus de 85% d'écoutes positives) en plusieurs secteurs différents (figure 3a). Les secteurs où le cachalot a été le plus fréquent sont les talus de Minorque et de Ligure Provence, ainsi que le talus en mer Tyrrhénienne. Pour le secteur du golfe du Lion, on remarque que la zone la plus favorable s'est située au delà de l'isobathe 1000m ou 2000m, au sud de Marseille. Ensuite on trouve des zones très favorables en zone Centrale, entre les latitudes 41 et 42°, à l'Ouest du méridien 7°E, et qui sont repérées pratiquement à chaque

passage du bateau. Les zones favorables ont été identifiées à des temps précis, correspondant à l'échantillonnage réalisé: il est possible que quelques semaines avant ou après, les secteurs privilégiés se déplacent dans l'espace en fonction des masses d'eaux. A l'inverse, on ne peut exclure que les zones privilégiées soit fixées par quelque particularité topographique, notamment au niveau des talus. Une comparaison avec la période antérieure 1997-2000 fournira des réponses pour éclairer cet aspect.

A petite échelle, le talus provençal semble favorisé dans sa partie la plus abrupte (figure 3b), les zones les plus favorables s'étendant en général au delà de l'isobathe 1000m. Mais elles atteignent parfois le plateau continental: certaines détections ont lieu sur le rebord du plateau, et du fait de l'extrapolation spatiale, on obtient une indication de distribution favorable sur la plateau lui-même, ce qui constitue un biais dû de la méthode employée. Cet effet est renforcé par la nature acoustique des données utilisées: le son se propage loin de sa source, y compris du talus vers le dessus du plateau. De l'ouest de Toulon vers le large de Marseille s'étend une zone très favorable qui ne semble pas liée au talus proprement dit, puisqu'elle semble plus s'aligner sur l'isobathe 2000m (figure 3b). Dans ce secteur, le talus devient beaucoup moins abrupt que dans le secteur compris entre Toulon et le Levant. La distribution du cachalot ne semble pas non plus continue, mais là aussi, il s'agit peut-être d'un effet temporel que l'on pourra vérifier par comparaison avec des données antérieures.

2. Comparaison avec des résultats de 1997-2000

A grande échelle, la distribution sur la période 1997-2000 apparaît très favorable sur les secteurs talus du golfe du Lion, de Minorque, du nord-ouest Sardaigne (plus de 85% d'écoutes positives) et de Provence-Ligure (figure 4a). Ces secteurs favorables s'étendent souvent sur des distances de plus de 100km. Au centre du bassin, on trouve encore des concentrations de cachalots se long des trajets d'échantillonnage. Par comparaison avec la situation 2001-2004, le talus du golfe du Lion reste favorable : on peut donc considérer que quelque soit la période, cette zone est toujours un lieu de concentration de cachalots.

A petite échelle, les zones favorables au cachalot du talus provençal semblaient moins étendues en 1997-2000 qu'en 2001-2004 (figure 4b). Il est vrai que les échantillonnages à cette époque antérieure n'étaient pas suivis de rapprochement par guidage acoustique: sans doute ce changement de méthode sur le terrain contribue-t-il en partie à une moins grande densité d'écoutes positives. Rappelons que pour la période 2001-04, l'étude était axée sur le suivi du cachalot dans son habitat, donc incluait un rapprochement quasi systématique des cachalots détectés (cf Méthodes). La figure 4b montre aussi l'existence d'une zone favorable au large de la Provence, et d'une autre au large Ligure.

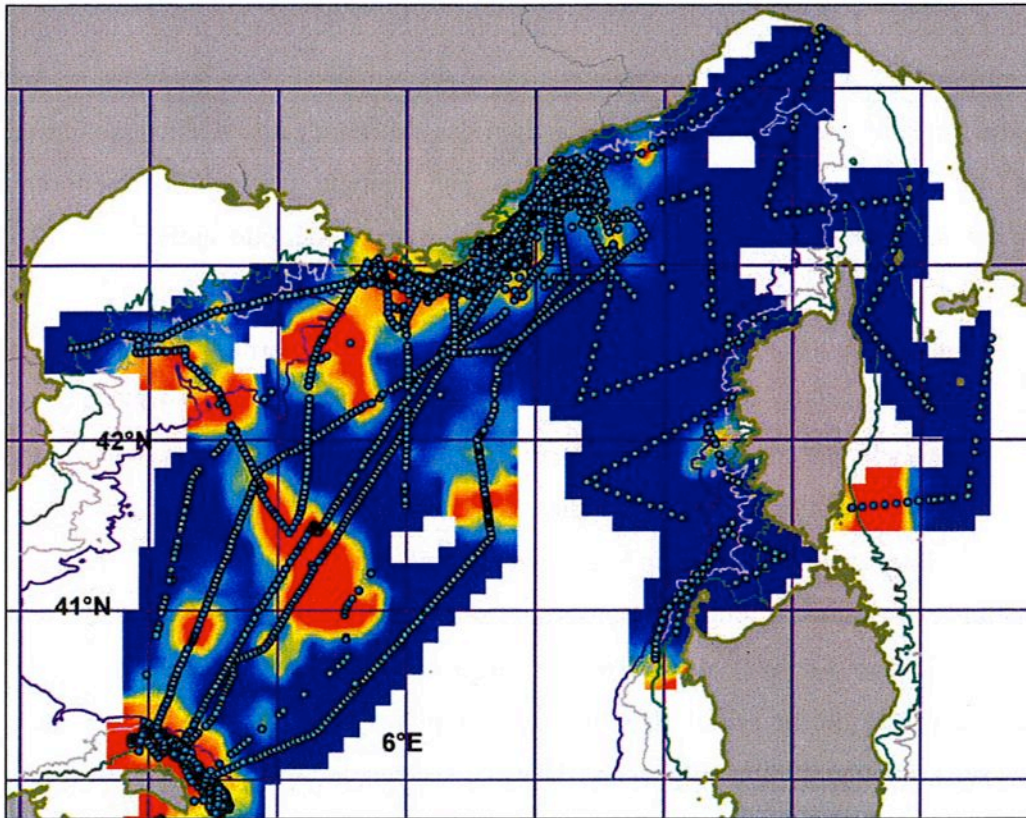


Figure 3a : Distribution acoustique à grande échelle (2001-2004)

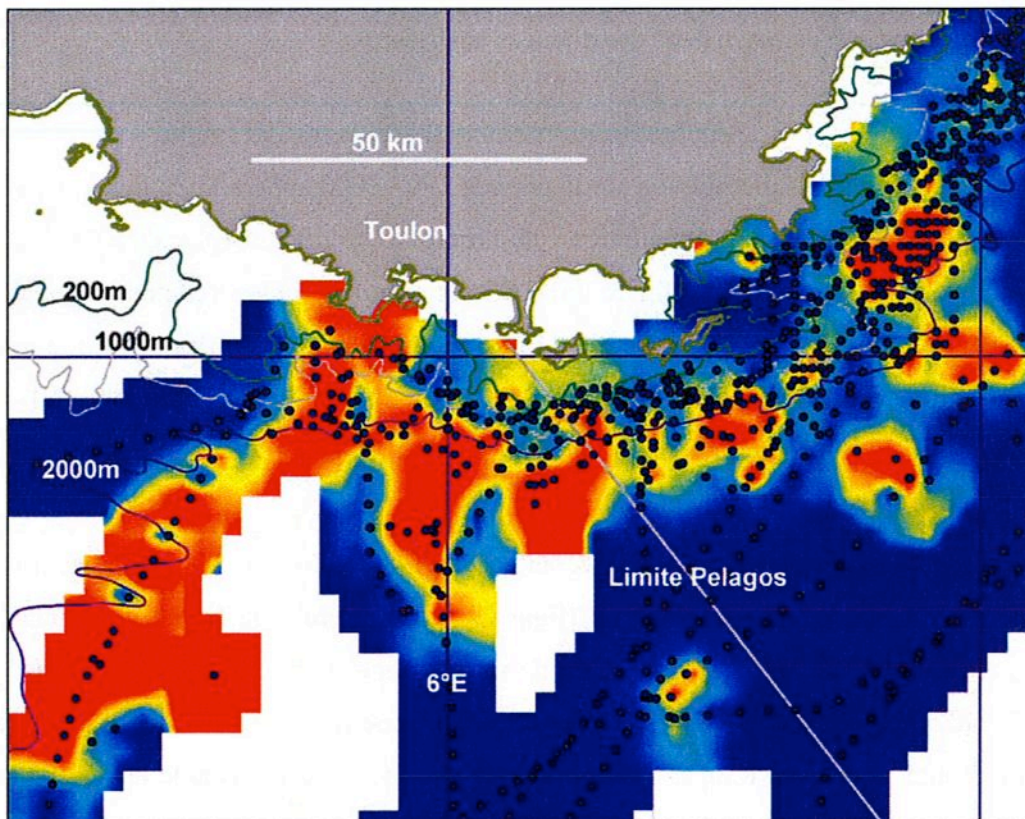


Figure 3b : Distribution acoustique à petite échelle (2001-2004)

En rouge, plus de 85% de taux d'écoute de cachalot, en bleu moins de 15% de taux d'écoute.

Discussion sur les Secteurs privilégiés

Les secteurs privilégiés en été incluent des zones de talus et de large avec une prédominance de la région Lion et Ouest Provence par rapport à la zone Ligure sur la période 1997-2004 (figure 5). A l'ouest du méridien 6°E, la zone d'abondance maximale ne semble pas être continue: on distingue une zone du talus profond du golfe du Lion, à cheval sur l'isobathe 2000m et qui semble s'étendre du large de Marseille au large du cap Creus (et au delà, sans doute). Plus au sud, en plein large, un secteur de grande abondance (plus de 50% d'écoute positive) se dessine entre les parallèles 41° et 42°N, lié certainement au front Nord-Baléares. Enfin, encore plus au sud, le talus des îles Baléares est très favorable, on le sait, aux groupes maternels de cachalot. Plus à l'Est, des zones favorables plus circonscrites sont visibles au centre de mer Ligure, sur les talus Corse et Sarde. Ces constatations semblent solides, elles sont issues de 8 saisons de travail spécifique, mais elles ne sont pas parfaites, car les échantillonnages ne sont pas homogènes d'une année sur l'autre, et certaines zones apparaissant « pauvres » peuvent encore découler d'une couverture insuffisante. Nous allons discuter certains aspects de ces résultats, au vu des travaux récents d'autres auteurs.

Les cachalots de la région ont-ils une préférence particulière pour les canyons sous-marins, par comparaison avec des talus « simples », comme le suggèrent certains auteurs (David, 2000) ? Nos résultats n'appuient pas cette thèse : dans la région provençale, une des zones favorables est le talus abrupt entre les Cap Camarat et Sicié, mais on ne voit pas une attirance particulière des cachalots pour les canyons. Cette observation est valable tant pour les résultats acoustiques (figure 4b), que pour les données visuelles ou de suivi (figure 2b et 19). Il semblerait que les cachalots fréquentent de manière égale les talus, qu'ils soient simples ou qu'ils aient la forme de canyons.

D'après nos résultats, il y a une très grande différence entre la distribution estivale dans les secteurs Lion, Provence et Ligure, le secteur Ligure étant beaucoup moins fréquenté. Ces remarques se retrouvent dans des résultats antérieurs (Di Méglia, 1999 ; Gannier, 1999), pour lesquels les données visuelles seules étaient employées, et dans les abondances relatives exprimées sur l'acoustique de 1997 à 2001 (Gannier et al., 2002) : ainsi avons-nous trouvé une abondance relative acoustique de $0,77 \cdot 10^{-2}$ ind./km pour le secteur Ligure-Est Provence, et de $2,1 \cdot 10^{-2}$ ind./km pour Lion-Ouest Provence. En fait il s'avère que certains étés (comme en 2003), la pénétration des cachalots en mer Ligure est bonne, alors que d'autres années elle se restreint à quelques individus (comme en 2004, Sabina Airoidi *comm. pers.*). C'est donc

dans le secteur Lion-Ouest Provence que l'on trouve les densités estivales les plus importantes en été (Gannier et al., 2002), en moyenne.

Le fait que l'on trouve une zone de distribution estivale favorable loin du talus se retrouvait déjà dans Gannier et al. (2002), puisque les abondances relatives du talus et du large ne différaient pas significativement. Des recherches en cours (Praca et Gannier, 2005) montrent en fait que cette zone d'agrégation au centre du bassin est liée aux fronts thermiques que l'on rencontre au niveau de la convergence Nord-Baléares ou bien au sud du golfe du Lion. Ces zones de concentration sont observées chaque année (figure 2a), en liaison avec les fronts thermiques observés par satellite, et la corrélation est significative (Praca, 2004). Ce constat accrédite l'hypothèse que les cachalots affectionnent les convergences, zones où il y a accumulation de biomasse secondaire en profondeur, et donc affluence de calmars. Quelques recherches complémentaires permettraient de savoir si l'activité de prédation y est complètement similaire à celle que nous avons étudié ici au nord du bassin.

On peut considérer que la mise en évidence de cette zone centrale d'abondance de cachalot constitue une découverte, dont les implications sont nombreuses. Implications écologiques : nature des cachalots qui fréquentent cette zone et leur place dans le cycle biologique de l'espèce en Méditerranée ? Implications en terme de gestion des espaces protégés : cette zone moins connue, moins accessible, est cependant exposée aux risques liés à la pêche (filets dérivants) et aux transports (collisions).

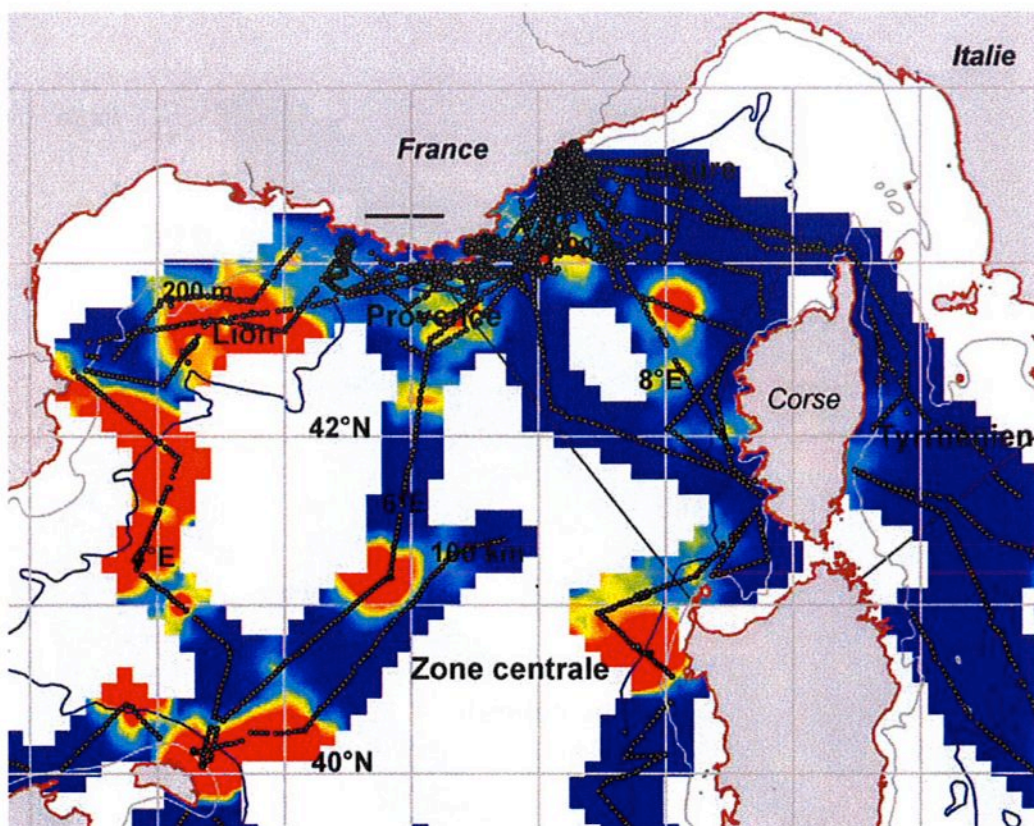


Figure 4a : Distribution acoustique à grande échelle (1997-2000)

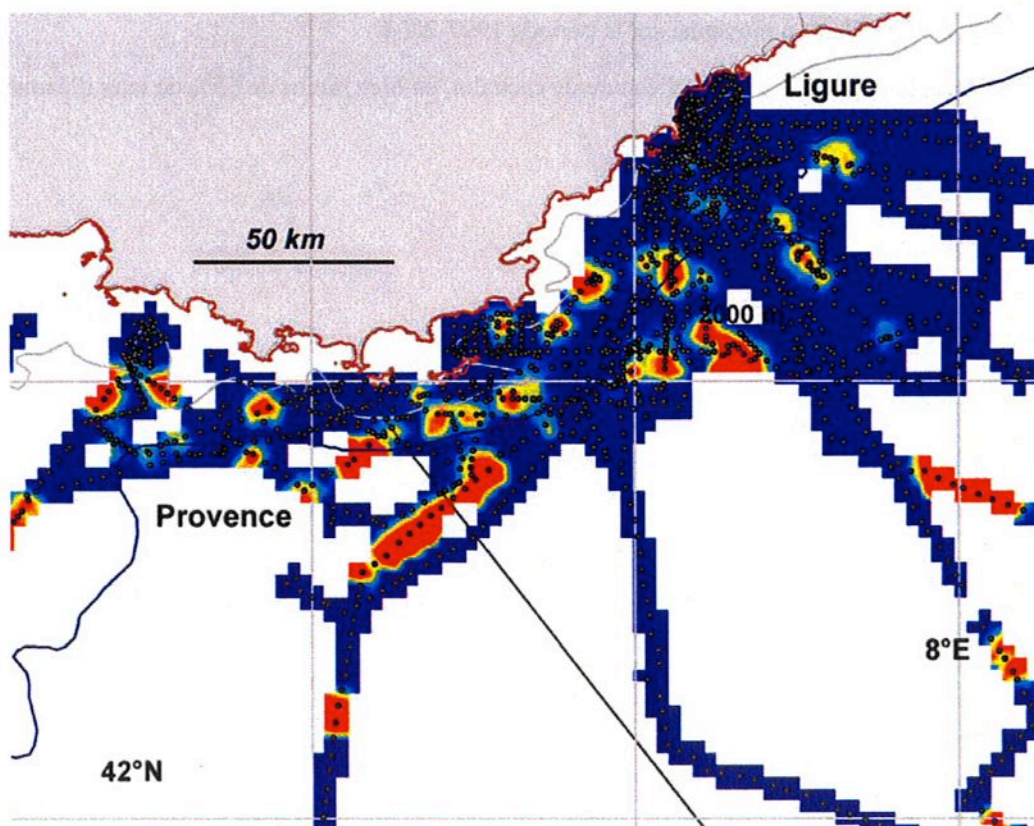


Figure 4b : Distribution acoustique à petite échelle (1997-2000)

En rouge, plus de 85% de taux d'écoute de cachalot, en bleu moins de 15% de taux d'écoute.

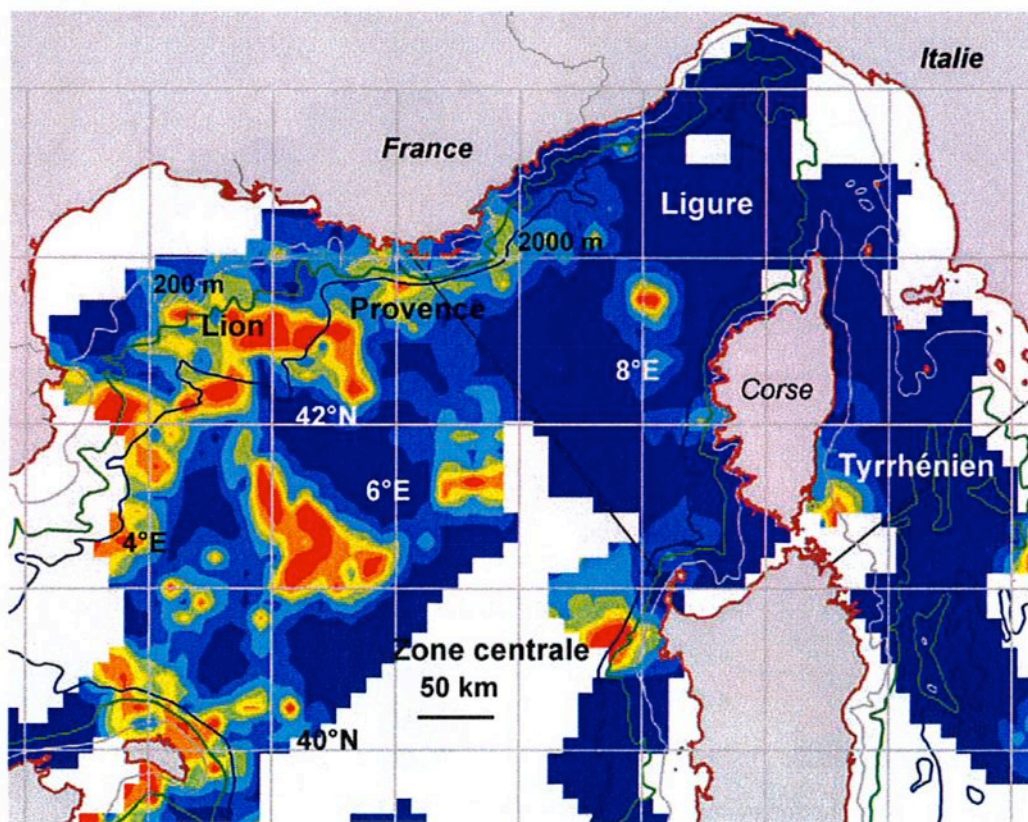


Figure 5 : Distribution moyenne sur la période 1997-2004.

En rouge, plus de 85% de taux d'écoute de cachalot, en bleu moins de 15% de taux d'écoute.

L'utilisation de l'habitat

La distribution des cachalots nous a indiqué dans quels secteurs du bassin nord-occidental se trouvent les cachalots en été, la description de leur utilisation de l'habitat va consister à étudier leur activité dominante, la prédation, et leurs déplacements. Des corrélations selon différents paramètres seront proposées, par exemple entre le succès de la prédation et la taille des animaux, ou la profondeur d'eau, ou la direction de déplacements, dans le but de comprendre les rationalités de la prédation des cachalots.

METHODES EMPLOYEES

Pour ce type d'étude, nous nous focalisons sur les régions du golfe du Lion au talus Ligure où le gros des travaux sur l'habitat a été mené de 2002 à 2004. Les méthodes employées dérivent des travaux antérieurs (Drouot, 2004d), avec toutefois une amélioration au niveau de l'analyse des sondes et du suivi des déplacements : utilisation d'une bathymétrie plus précise (Atlas Gebco), plus grand détail dans le type de sons reconnus. Enfin sur le terrain, l'utilisation constante d'un ordinateur portable et du logiciel Rainbow Click (IFAW) a permis la collecte de données en plus grand nombre et de meilleure qualité, le nombre accru de données permettant des analyses plus variées.

Acquisition des données en mer

Après la phase de détection et localisation d'un individu commence l'étude spécifique de son évolution dans l'habitat: cette deuxième phase consiste à suivre et observer le cachalot détecté le plus longtemps possible et à recueillir des données acoustiques sur son comportement sous-marin. Dans l'opération de suivi, à chaque séquence de surface, le bateau approche l'animal avant qu'il ne sonde, en restant à une distance minimale de 100 m pour ne pas induire une perturbation de son comportement. Les souffles de l'animal sont comptés et son mouvement noté; la durée de la séquence de surface est chronométrée. Juste avant la sonde, lorsque cela est faisable, on photographie la nageoire caudale: cette photo-identification a pour but notamment de s'assurer que le suivi s'effectue toujours sur le même individu, car un risque de confusion existe lorsque plusieurs cachalots évoluent de conserve.

Durant les sondes, le suivi à distance est possible grâce à l'acoustique car lorsque ce signal est suffisamment fort (niveau 2-3 sur 5), le traitement par le logiciel Rainbow Click (IFAW) permet de lui affecter un gisement par rapport à l'axe du bateau, donc à positionner le cachalot dans le plan xy. Le principe de ce traitement est l'utilisation du Δt de réception d'un

clic sur les deux capteurs de l'antenne pour calculer l'angle Θ ($\cos\Theta = \Delta t.c / b$) où c est la célérité du son et b l'écartement longitudinal des deux capteurs. Un écart de route lève l'ambiguïté gauche-droite du relevé. Le logiciel Rainbow Click est associé à une visualisation en temps réel sur ordinateur, ce qui fait qu'une série de mesures au cours d'un « homing » permet de localiser un cachalot dans le plan xy avec une précision de l'ordre de 1000m, dans l'intervalle de temps de 30-40 minutes où le cachalot est une « balise » acoustique efficace (**figure 6**). Les limitations de ce système sont les suivantes: il peut subsister des confusions quand il y a plusieurs individus, à courte de distance (< 1000 m) sa précision est faible car la propagation dans le volume xyz s'écarte trop alors de l'hypothèse du plan horizontal, enfin il ne permet pas évidemment de mesurer l'immersion de l'animal. Néanmoins, avec un équipage entraîné la fiabilité du système actuel est comprise entre 60 et 90% (critère 100% : le bateau se trouve à moins de 1000 mètres de l'individu étudié lorsque celui-ci émerge à l'issue de sa sonde).

Pendant la sonde, les vocalisations sont enregistrées avec un enregistreur numérique de type DAT (Digital Audio Tape) Sony TCD-8 et de temps à autre directement sur l'ordinateur de bord. Les cachalots émettent des sons différents selon leur activité et leur comportement: de nombreux chercheurs ont démontré que l'émission d'un "creak", variante rapide et courte de train d'impulsions (**figure 7**) correspond à la capture d'une proie (Goold et Jones, 1995 ; Madsen *et al.*, 2002 *a*; Miller *et al.*, 2004). Le succès de prédation est donc estimé d'après le nombre de creaks entendus par sonde, cela nécessite l'enregistrement intégral des sondes durant les suivis.

Page suivante :

Figure 6 : Visualisation de la position d'un cachalot du logiciel *Rainbow Click*.

Figure 7 : Identification d'un « creak » sur une visualisation du logiciel *Cool Edit*.

Figure 6 : Visualisation de la position d'un cachalot du logiciel *Rainbow Click*. Deux cachalots sont visibles (écran supérieur, temps en abscisse), un au gisement 39° (orange) l'autre au gisement 108° (rose et jaune). Ecran inférieur gauche: le 1^{er} clic sur les deux voies; droite: allure spectrale.

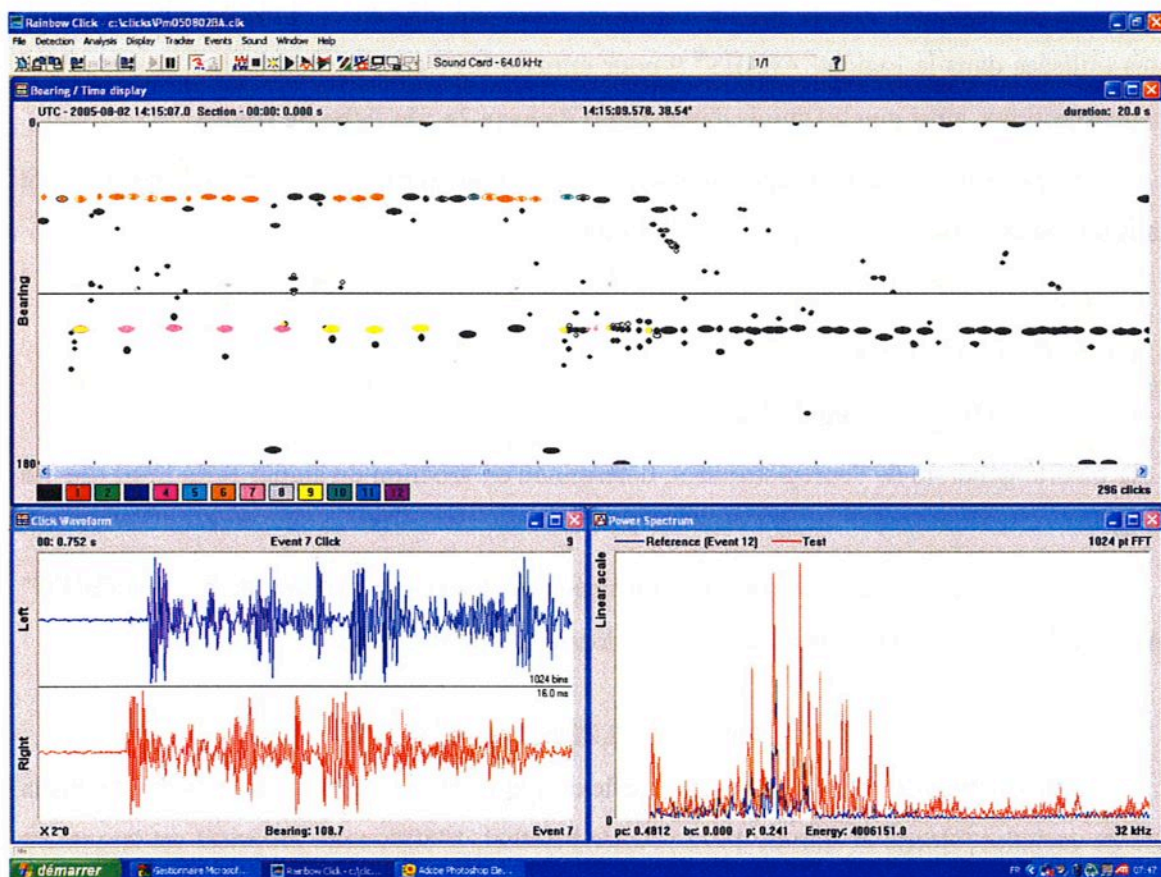
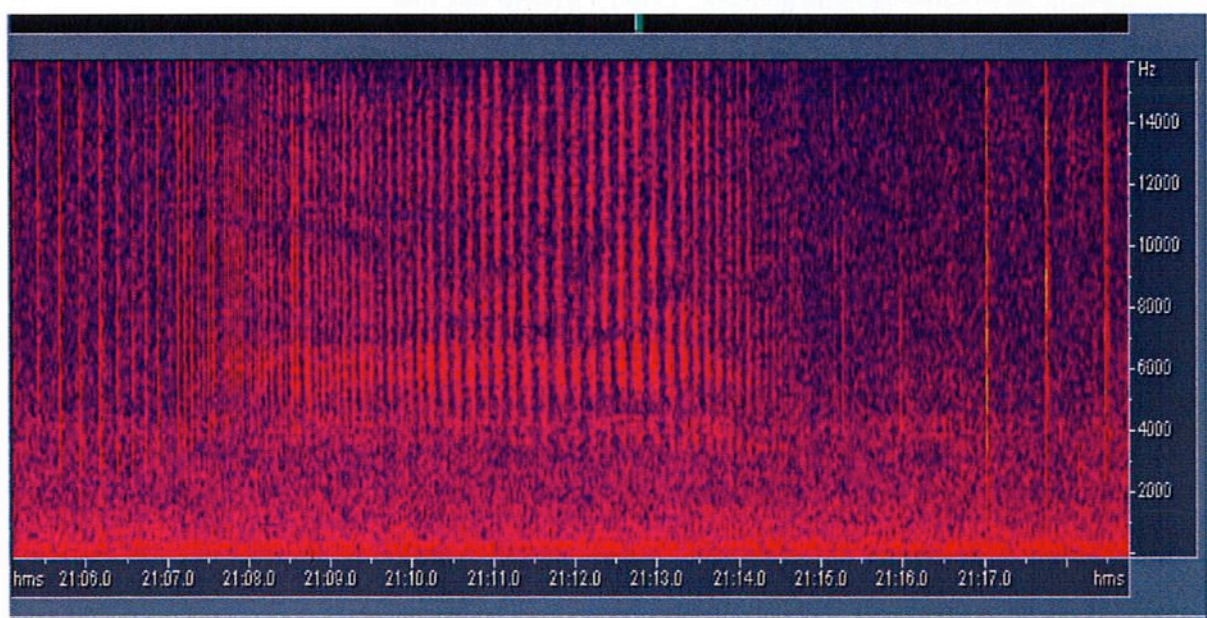


Figure 7: Sonogramme d'un « creak » de prédation. Les impulsions (barres verticales) à rythme accéléré sont suivies d'un silence, puis de la reprise de clics normaux.



Exploitation des données

1. Conditionnement

Les informations notées sur les fiches de route ont été saisies dans un tableur Excel, puis utilisées dans le logiciel ArcGIS® 9 pour retracer les trajets parcourus lors des journées de prospections, ainsi que les suivis d'individus (**Annexe 2a : la fiche de route**).

Les cassettes DAT sont répertoriées et analysées par échantillon de 90 secondes, décrit dans une base de données Access selon différents critères:

- le(s) type(s) de son(s) émis
- l'intensité du son de 0 à 5
- le niveau du bruit ambiant de 1 à 5
- la qualité générale de l'enregistrement, déterminée en fonction du signal et du bruit (de 1 à 3)

Les observations de cachalots sont résumées sur les fiches d'observation "type GREC" (**Annexe 2b**) puis ensuite codées sur base de données DBase/Access.

2. Estimation de la taille des cachalots

La production des clics résulte d'une réflexion multiple d'une impulsion produite dans la tête du cachalot (Norris et Harvey 1972 ; Adler-Fenchel, 1980) ; cette propriété est largement utilisée (Pavan *et al.*, 1997 ; Telson *et al.*, 2000 ; Madsen *et al.*, 2002; Drouot, 2003 ; Rhinelanders et Dawson, 2004). En se basant sur des mesures d'intervalles entre les impulsions émises, IPI, de cachalots de taille connue, Gordon (1991) a établi une équation permettant de calculer la taille du cachalot (TL) à partir des IPIs :

$$L = 4,833 + 1,453.IPI - 0,001.IPI^2$$

Avec cette équation, Drouot (2004d) a obtenu une très bonne précision de l'estimation de la taille de plusieurs cachalots, la taille des cachalots sera estimée dans notre étude.

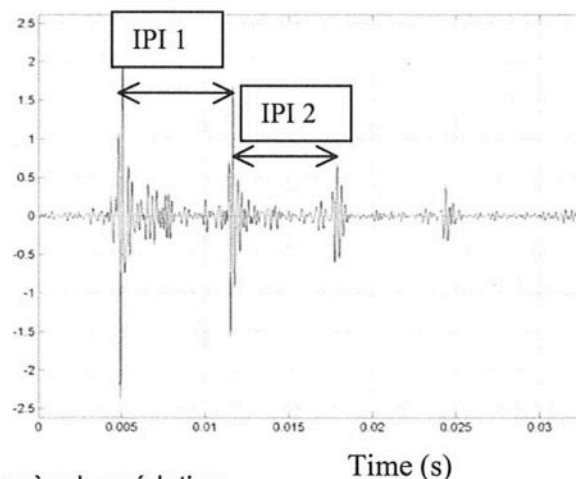
Certains auteurs avancent que les IPIs varient pendant la phase de descente, du fait de l'influence de la température et de la pression hydrostatique sur la vitesse de propagation du son dans le spermaceti (Goold, 1996). Cependant, Drouot (2003) n'a pas observé de lien entre la variation des IPIs et la profondeur (les effets de la température et de la pression seraient relativement minimes comparés à la variabilité des résultats). Une légère différence a toutefois été notée dans la structure des pulses en début de plongée. Aussi, il a été convenu d'étudier les IPIs entre la 5^{ème} et la 10^{ème} minute après l'émission du premier clic, les signaux alors reçus étant encore de très haut niveau.

Les IPIs ont été mesurés sur des séquences de 5 minutes numérisées en mono à 48 Hz, afin d'obtenir une meilleure résolution. Chaque séquence a été filtrée avec Cool Edit, dans une bande comprise entre 3 et 7 kHz, qui correspond à la meilleure bande de fréquence pour observer la structure pulsée des clics (Goold et Jones, 1995). Pour mesurer un IPI, nous avons repéré, dans le premier pulse, un pic d'intensité remarquable qui est retrouvé dans le pulse suivant (**figure 8**) et mesuré l'intervalle de temps entre ces deux pics (IPI). Les dix meilleurs clics de chaque séquence ont ainsi été marqués et mesurés pour obtenir la valeur moyenne des IPIs d'une sonde.

Figure 8 : Structure des impulsions d'un clic

On mesure généralement

l'intervalle IPI 1 car la troisième impulsion étant souvent noyée dans le bruit de fond. L'IPI dans ce cas vaut environ 7 ms.



3. Etude du succès de prédation

Les enregistrements de qualité 2 ou 3, comprenant des sondes dans leur intégralité, ont été numérisés avec le logiciel Cool Edit Pro 2.0, à une fréquence de 32 kHz, en stéréo. Certains enregistrements comptant plusieurs cachalots n'ont pu être analysés du fait de la difficulté à dissocier les vocalisations des différents individus.

Pour chaque sonde, différents événements ont été notés :

- les creaks : les creaks suivis d'un silence sont associés à la capture d'une proie, selon l'hypothèse que le cachalot ne peut plus émettre de son lorsqu'il capture une proie. Les creaks non suivis de silence, ou "faux creaks", correspondraient à la détection et à l'approche d'une proie mais pas à sa capture. La durée d'émission de ces creaks et la durée des silences qui suivent un creak ont été mesurées.
- les silences : pendant une sonde, le cachalot s'arrête parfois d'émettre des clics pendant quelques secondes. Le temps écoulé entre la fin du dernier clic et le début du prochain a été noté. Les silences ayant eu lieu pendant la phase de descente ont été distingués des silences survenus pendant la phase de prédation. A l'heure actuelle aucune hypothèse solide ne permet d'attribuer une fonction précise de prédation à ces silences, aussi n'en sera-t-il pas

tenu compte dans l'expression du succès de prédation.

Pour chaque sonde, le temps écoulé entre le premier creak et le dernier clic a permis de calculer le temps de chasse du cachalot au fond de l'eau :

$$\Delta T_{\text{chasse}} = T_{\text{d}^\circ\text{clic}} - T_{\text{1}^\circ\text{creak}}$$

Le taux de creaks a alors été calculé :

$$T_{\text{x creak}} = n_{\text{creaks}} / \Delta T_{\text{chasse}}$$

Le temps écoulé entre le début de la sonde et le premier creak a permis d'estimer la profondeur à laquelle le cachalot a commencé à chasser, en supposant que la vitesse moyenne de descente des cachalots est d'environ 100 m/min (Watkins *et al.*, 2002).

Dans l'analyse des campagnes de 2001 à 2003, l'estimation du succès de prédation a tenu compte du nombre de creaks et de "faux creaks" (Drouot, 2004d). Or, si les "faux creaks" ne correspondent pas à la capture d'une proie, leur prise en compte pourrait surestimer le succès de prédation. Toutefois, les résultats de 2004 montrent que les faux creaks ne surviennent que 1,5 fois par sonde en moyenne, alors qu'une moyenne de 25 creaks par sonde a déjà été estimée dans cette région. Le biais peut donc être considéré comme négligeable. Afin d'être homogène dans l'analyse des données de 2001 à 2004, creaks et "faux creaks" ont été comptabilisés ensemble dans le succès de prédation pour l'année 2004.

4. Paramètres de sonde et de déplacement des cachalots

Les paramètres de sonde ont été étudiés à partir des informations notées dans les fiches de route et d'observation :

- durée de la sonde (min) : temps écoulé entre le début d'une sonde (« fluke-up ») et le retour en surface, quand le premier souffle a été vu.
- temps en surface (min) : temps écoulé entre le retour en surface et le début de la sonde suivante (« fluke-up » suivant).
- temps de chasse (min) : temps de la sonde auquel on soustrait le temps d'émission du premier creak et le temps entre l'émission du dernier clic et la surface.
- nombre de souffles : nombre de souffles observé pendant une période de surface.
- durée d'un cycle (min) : temps écoulé entre deux débuts de sonde, soit la somme de la durée de la sonde et du temps en surface.

Les autres paramètres de sonde ont été déterminés à l'aide du logiciel ArcGis® 9.0 :

- profondeur d'eau (m) : profondeur d'eau à l'endroit de la sonde. Elle a été estimée par rapport aux lignes bathymétriques tracées dans le logiciel GEBCO CE 1.00, à partir de la base de données IBCM, spécifique de la Méditerranée.
- distance parcourue par cycle (m) : distance horizontale la plus courte mesurée entre deux sondes successives.
- vitesse de déplacement (km/h) : distance parcourue par cycle divisée par la durée du cycle.

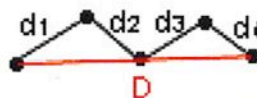
Des variables mesurant le déplacement des cachalots avec beaucoup de précision ont été calculés à l'aide du logiciel ArcGis® 9.0 :

- indice de zigzag :

$$Iz = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{D}$$

où d_i est la distance parcourue pendant le cycle de sonde i , n le nombre de cycles entiers et successifs observés pour un même cachalot, et D la distance entre la première et la dernière sonde observées (**figure 9**).

Figure 9 : Calcul de l'indice de zigzag



Cet indice ne peut être calculé que si le cachalot a été suivi sur au moins trois sondes successives. Il indique si un cachalot se déplace linéairement (indice proche de 1) ou en zigzag (indice $\gg 1$) sur plusieurs cycles de sonde.

- angle entre deux sondes ($^{\circ}$) : angle formé entre la trajectoire d'une sonde et la trajectoire de la sonde suivante. Cela traduit les changements de direction faits par le cachalot sur plusieurs cycles de sonde (3 sondes minimum).
- angle par rapport aux isobathes ($^{\circ}$) : angle formé entre les lignes bathymétriques et la trajectoire d'une sonde. Toutefois, il ne faut pas assimiler la trajectoire d'une sonde (droite reliant deux sondes successives) aux déplacements effectués par le cachalot pendant celle-ci. En effet, au fond, le cachalot effectue un tracé sinueux correspondant à sa tactique de chasse (Zimmer *et al.*, 2003).

5. Analyses statistiques

La normalité des données a été contrôlée avec des tests d'Anderson-Darling à l'aide du logiciel MINITAB 12.

Le nombre de creaks ne suivait pas une distribution normale à cause d'une valeur particulière (4 creaks entendus pendant la sonde du 15 juillet 2004), aberrante en raison de l'arrivée à proximité du cachalot d'un remorqueur assez bruyant ($A^2 = 0,748$ et $p = 0,049$).

Toutefois, si cette valeur particulière est enlevée de la distribution, le nombre de creaks corrigé suit une distribution normale ($A^2 = 0,464$ et $p = 0,247$). Nous avons donc supprimé de la distribution cette valeur aberrante.

Comme beaucoup de paramètres sont étudiés, les corrélations ont été faites deux à deux, le but étant de mettre en évidence l'influence des paramètres de plongée et de déplacement sur chacun d'entre eux et sur le succès de prédation. Des corrélations de Pearson (r_p) et leur valeur de probabilité associée (p) ont été calculées avec le logiciel MINITAB 12. Une corrélation sera considérée comme significative quand la probabilité de l'hypothèse nulle sera inférieure à 0,05.

RESULTATS

Les sondes des cachalots observées de 2001 à 2004 ont permis de rassembler un grand nombre de paramètres (tableau 4). Le nombre de données recueillies dépend de la variable, atteignant 96 données pour la profondeur d'eau et se limitant à 62 données pour la vitesse de déplacement.

| | Moyenne | Ecart-type | Minimum | Maximum | N |
|-----------------------------------------------|---------|------------|---------|---------|----|
| Profondeur d'eau (m) | 1590 | 619,2 | 200 | 2500 | 96 |
| Temps en surface (min) | 9,27 | 1,68 | 5 | 14 | 92 |
| Nombre de souffles | 43,14 | 5,78 | 23 | 56 | 77 |
| Durée de sonde (min) | 45,44 | 5,63 | 35 | 58 | 77 |
| Durée de cycle (min) | 55,18 | 6,01 | 41 | 68 | 66 |
| Distance courue par cycle (km) | 2,56 | 0,82 | 0,87 | 5,26 | 66 |
| Vitesse de déplacement (km.h^{-1}) | 1,72 | 0,81 | 0,55 | 4,85 | 62 |
| Temps du premier creak | 6,73 | 0,88 | 5,00 | 8,90 | 66 |

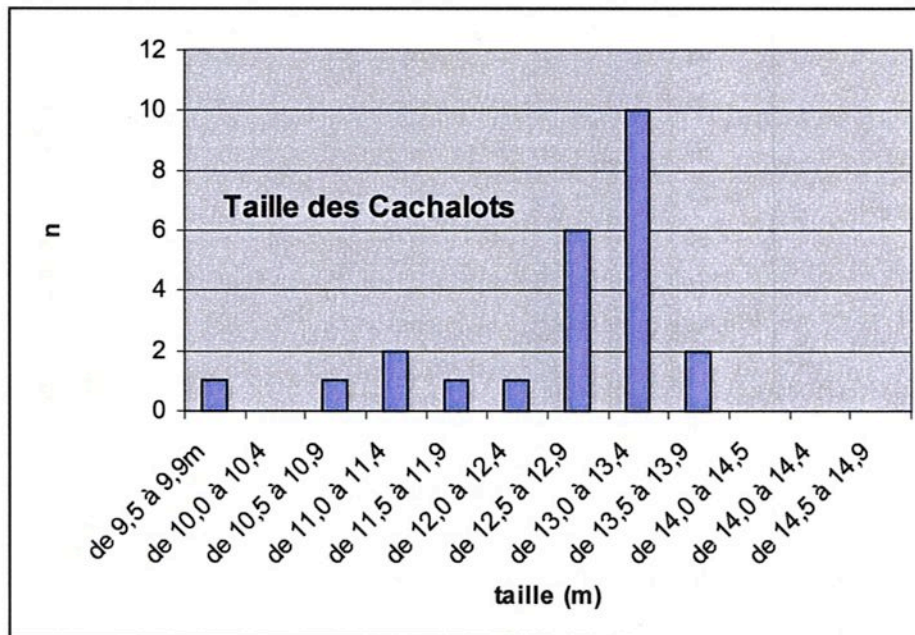
Tableau 4 : Résumé des résultats statistiques des paramètres de plongée obtenus pour l'ensemble des années 2001 à 2004. N est le nombre de mesures.

En 2001, 2 cachalots ont été suivis pendant plus de deux sondes successives, 4 en 2002, 10 en 2003 et 10 en 2004. Le déplacement (vitesse, direction, aspect bathymétrique) de 26 cachalots a ainsi pu être analysé sur plusieurs sondes.

Taille des Cachalots étudiés et structure de groupe

La majorité des sondes étudiées au nord du 42° parallèle ont été réalisées par des mâles matures puisque 78% des individus mesurent plus de 12 m. Les autres cachalots, qui mesurent entre 9,5 m et 12 m seraient des mâles sub-adultes car aucun groupe comprenant des juvéniles n'a été observé au nord lors de ces missions (**figure 10**). Ceci semble conforter l'idée que ce sont principalement les mâles qui fréquentent en été le nord du bassin occidental pour se nourrir. Il n'y a aucun gros mâle de la classe 15-16m. L'individu de 9,5 m est le seul animal inférieur à dix mètres et il a été vu près de la latitude 42°, dans la zone centrale de nourrissage. Cependant d'autres indications récentes montrent que les femelles et les jeunes peuvent également séjourner au nord: ainsi, les observations des Douanes Françaises le 10 juillet 2003 montrent des groupes comprenant des jeunes au large du golfe du Lion. La même année, le 21 décembre 2003, nous avons vu en mer Ligure un groupe d'une dizaine d'individus comprenant au moins trois juvéniles (données CRC-GREC). En 2005, la capture de trois individus en juillet par un filet dérivant « thonaille » impliquait au moins un juvénile. Ainsi, le paradigme des « mâles se nourrissant en été dans le nord du bassin occidental » ne doit-il pas être admis comme une vérité absolue, mais plutôt comme une tendance.

Figure 10 : Histogramme des tailles des cachalots étudiées (2001-2004).

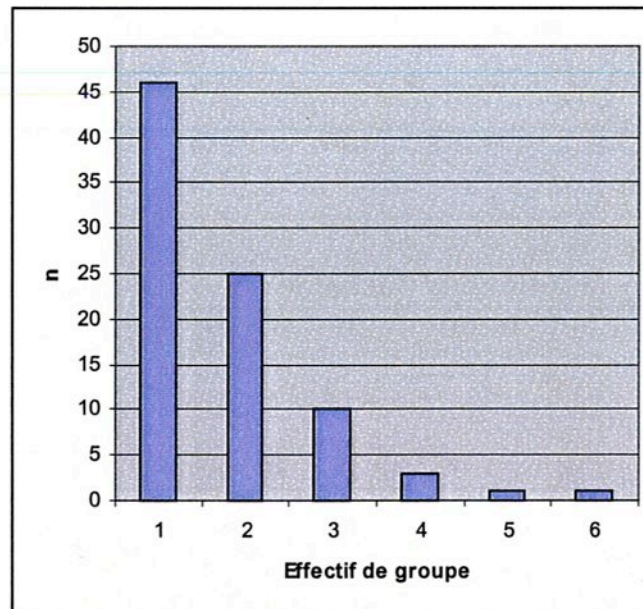


Si dans l'ensemble les groupes de fort effectif (supérieur ou égal à 5) ont été vus au sud du 41° parallèle (groupes maternels), il n'est pas rare de rencontrer au nord du 42° des agrégations comptant 3 et même 4 cachalots. Cependant ces animaux sont rarement vus conjointement à la surface, car leur stratégie est précisément de se disperser de quelques kilomètres pour se nourrir.

Figure 11 : Photographie d'un groupe de 3 cachalots le 4 août 2001.

Toutefois, lorsque nous notons l'effectif sur une fiche d'observation il inclut évidemment tous les animaux audibles à l'acoustique autour de l'individu qui a été observé. Ainsi l'effectif moyen observé sur tout le secteur d'étude (latitude > 39°) est-il de 2,20 individus (SD=1,67, n=114), alors que pour le nord du 41° parallèle il s'établit à 1,76 individus (SD=1,19, n=86). La distribution des effectifs de groupe montre seulement 2 groupes d'effectif supérieur à 4 et 15 groupes de plus de 2 individus : une grande majorité des groupes compte 1 (53%) ou 2 individus (11%) (figure 12).

Figure 12 : Histogramme des effectifs de groupe observés au nord du 41° parallèle (2001-2004).



Les cachalots en comportement de prédation

Mis à part les groupes maternels au voisinage des Baléares qui sont parfois vus en socialisation-repos en surface, l'ensemble des individus que nous avons vus au nord du 41° parallèle pratiquaient la prédation et enchaînaient les sondes de manière très régulière. Nous n'avons jamais observé en pleine journée un cachalot en phase de repos. L'habitat de

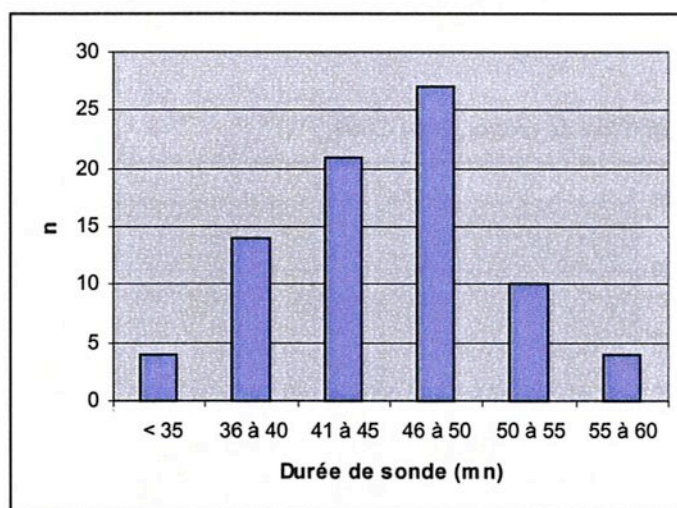
Méditerranée nord-occidentale est donc utilisé par les cachalots comme terrain de chasse estival.

1. Les cycles de sonde des cachalots

Les sondes ont été effectuées dans des eaux comprises entre 200 et 2500 m, 50% d'entre elles ayant eu lieu entre 1100 m et 2100 m. En moyenne, les cachalots se sont reposés en surface 9,3 min, avec un minimum de 5 et un maximum de 14 min, et ont soufflé 43 fois (mini= 23; maxi= 56).

La durée moyenne des sondes est de 45,4 minutes (SD= 5,6, n= 77) avec une variation entre 31 et 58 min (**figure 13**). Cette distribution est assez resserrée, et unimodale. La durée moyenne d'un cycle, somme de la durée de la sonde et de celle de la surface, varie de 41 à 68 min, avec une moyenne de 55,2 minutes. On voit donc que sur une période de 24 heures, les cachalots accomplissent environ 24 à 25 cycles complets de sonde, au cours desquels ils séjournent à peu près 4 heures en surface et 20 heures en profondeur.

Figure 13 : Histogramme des durées de sondes 2001-2004.



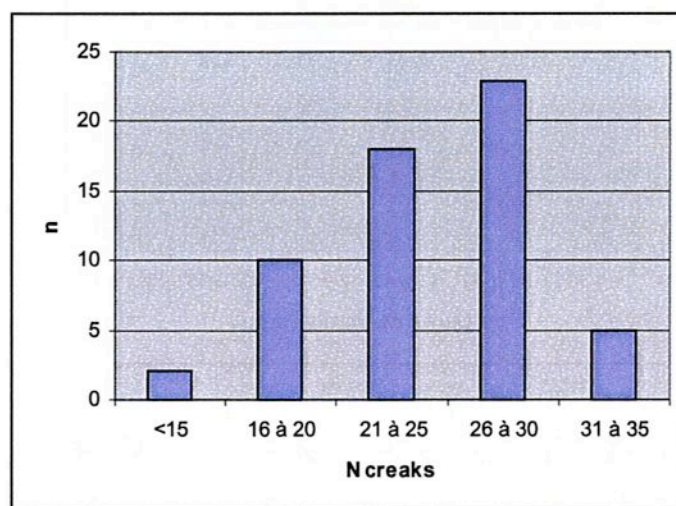
Au cours des sondes, le temps de chasse effectif, calculé entre l'émission du premier creak et l'émission du dernier clic, vaut à peu près 32,1 minutes (SD=6,2), ce qui fait que le cachalot passe environ 58% de son temps en recherche active de proies, avec utilisation de son biosonar. C'est donc bien l'activité de prédation qui dicte ses contraintes au cachalot en Méditerranée nord-occidentale : la stratégie d'utilisation de l'habitat du cachalot vise à la prédation la plus efficace possible compte tenu des contraintes physiologiques de cette espèce et de la richesse trophique de l'habitat.

2. Succès de prédation

L'analyse des vocalisations émises pendant les sondes des cachalots suivis en 2004 a permis de constater que les creaks sont suivis le plus souvent de silences, et qu'il existe également des silences "seuls" (non précédés de creak). A l'exception de la valeur particulière du 15 juillet 2004 (nombre de creaks = 4), le nombre de creaks est largement supérieur au nombre de silences, ces derniers survenant en moyenne 7,5 fois pendant la phase de recherche de nourriture (minimum = 1 et maximum = 26 pour le 15 juillet).

En moyenne 24,5 creaks sont émis par sonde au cours de la période 2001 à 2004, et la distribution de cette variable montre assez peu de dispersion (SD= 5,35) puisqu'à l'exception de la valeur signalée plus haut comme irrégulière, le nombre de creaks varie de 15 à 36 (**figure 14**). Il y a très peu de sondes comptant plus de 30 creaks (n=5), le nombre étant compris dans 70% des cas entre 21 et 30. Le premier creak au cours de la sonde a été émis en moyenne au bout de 6,73 min (SD = 0,88), avec un domaine de variation de 5,0 à 8,9 minutes. Selon ce temps et une vitesse de descente de 100 m/mn, les cachalots auraient donc commencé à chasser à une profondeur moyenne de 673 mètres. Cette valeur ne montre pas de variation significative en fonction de la profondeur de la colonne d'eau où les cachalots ont sondé.

Figure 14 : Histogramme du nombre de creaks, 2001-2004.



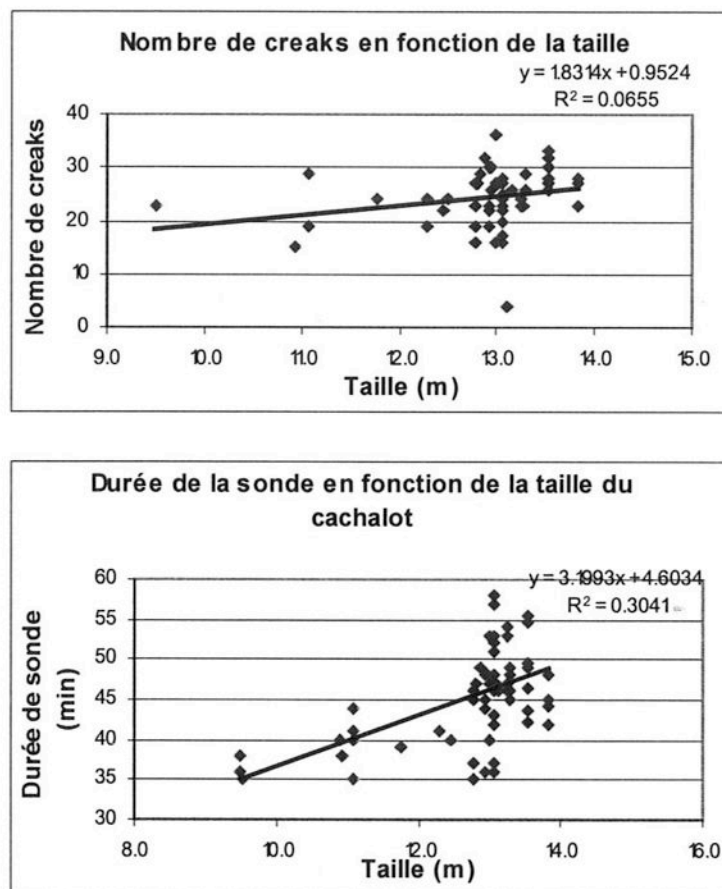
En supposant que les cachalots chassent sans interruption pendant 24 heures, avec un cycle de plongée durant 55,2 min en moyenne, le nombre de captures par jour est estimé à 639 proies.

Il existe une corrélation significative entre le succès de prédation et la taille des cachalots (**figure 15a**) plus le cachalot est grand, plus il émet de creaks durant la sonde, mais

cette relation est légère : les cachalots de plus de 13m émettent 25,2 creaks en moyenne, et ceux de moins de 12,5m en moyenne 23,1.

Cet effet se retrouve dans la forte corrélation entre la taille de l'animal et la durée de la sonde, la taille contribuant à 40% de la variabilité observée de la durée des sondes (**figure 15b**). Les plus gros cachalots, de taille supérieure ou égale à 12,9m, sondent en moyenne 46,5 min, alors que ceux de taille inférieure à 12,5m ont une sonde de durée moyenne 39,7 min.

Figure 15 : Corrélation entre le succès de la prédation et la taille de l'animal (a), et (b) la taille et la durée de la sonde.

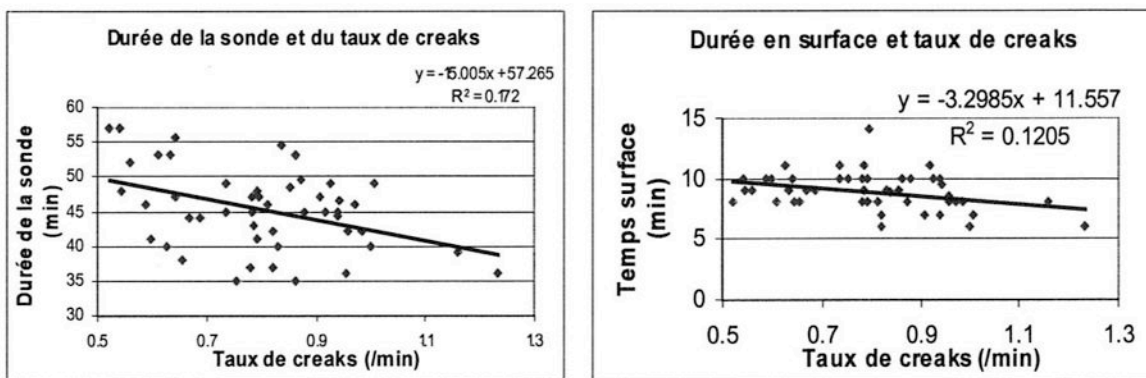


3. Relation entre succès de prédation et cycles de sonde

Le succès de la sonde étant un peu plus élevé pour les cachalots les plus grands, et ceux-ci sondant plus longtemps que les autres, il est logique de constater que le nombre de creaks émis par sonde est corrélé de façon significative à la durée de la sonde : il « explique » 13% de la variabilité de la durée de la sonde ($R^2=0,1323$). La corrélation entre ces deux variables est renforcée par l'étude de cette relation pour chaque individu ayant été suivi pendant plus de trois sondes (Witz, 2005) : pour un individu donné, les sondes les plus longues correspondent en général avec le nombre de creaks le plus élevé.

Cependant, le taux de creaks (nombre de creaks / temps de chasse), qui oscille autour d'un creak par min, est inversement corrélé avec la durée de la sonde (**figure 16a**), de façon légère mais significative ($R^2 = 0,172$). Même si cela semble contradictoire avec ce qui précède, cela pourrait s'expliquer par le fait que le cachalot tente d'allonger la durée utile de sa sonde pour obtenir un nombre de proies minimal, et qu'au contraire il la raccourcisse un peu après avoir capturé un certain nombre de proies. Une autre possibilité serait qu'un taux de creak élevé conduirait à une dépense énergétique plus forte qui conduirait l'animal à raccourcir un peu son apnée.

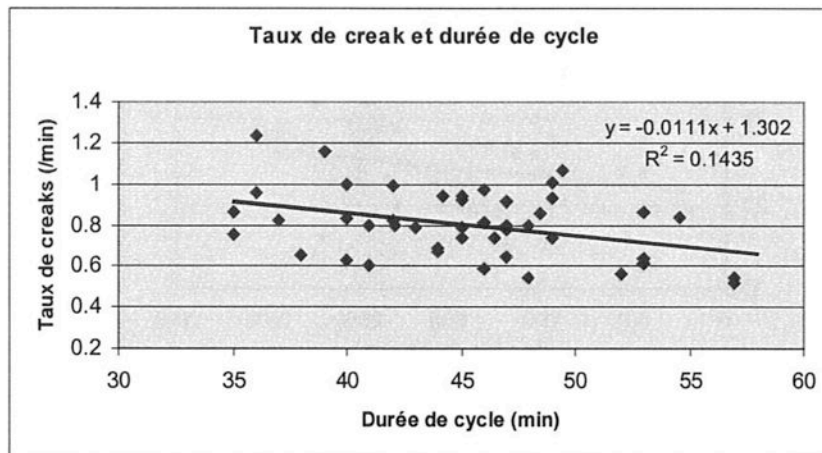
Figure 16 : Corrélation entre taux de creak et (a) la durée de sonde et (b) le temps en surface



Le temps passé en surface (en moyenne 9,2 min) entre deux sondes est lui aussi inversement corrélé au taux de creaks de façon significative ($R^2 = 0,1205$) : un taux de creak plus élevé conduit à des temps en surface plus courts (**figure 16b**). Cela d'associe bien avec le résultat précédent : des proies capturées plus rapidement, moins de temps passé en chasse, et donc moins de temps nécessaire à la récupération. Le nombre de souffles est fortement et positivement corrélé au temps de récupération : plus de temps en surface implique plus de souffles, ce qui indique que le temps supplémentaire passé en surface est bien consacré à de la ventilation de récupération en préparation de la sonde suivante, et non à un simple repos.

De manière encore plus nette, on peut visualiser cela par la relation entre le taux de creak, ou succès à la prédation, et la durée totale du cycle (**figure 17**) : on a bien un cycle total significativement plus court pour des taux de prédation plus élevés ($R^2 = 0,1485$).

Figure 17 : Corrélation entre taux de creak et durée totale de cycle.



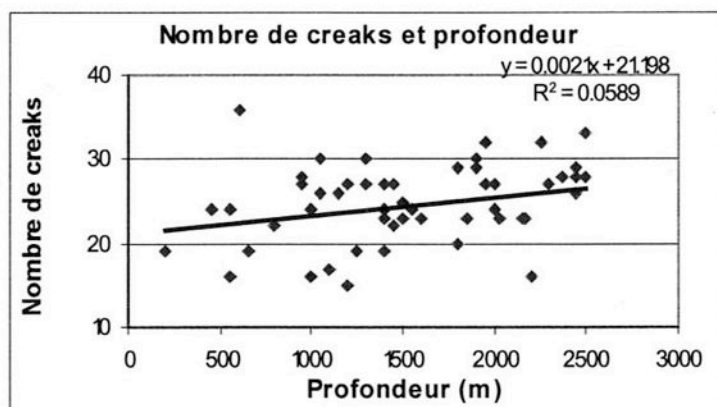
A propos de ces relations qui apparaissent entre le succès de prédation et la durée du cycle de sonde, on peut observer que dans le cycle « à quatre temps » du cachalot, deux temps sont quasiment incompressibles : les temps de descente à l’immersion de chasse et de remontée à la surface. Ces temps sont limités par les possibilités physiques du cachalot en apnée (vitesses d’environ 100m/mn) et ne pourraient être modifiés qu’en changeant la profondeur immersion, mais comme les proies ne sont accessibles qu’à des niveaux déterminés, le temps de début de chasse est assez peu variable. Du reste, on observe pas de corrélation significative entre le taux de creak et le temps de début de chasse, ce dernier n’est donc apparemment pas adapté par le cachalot en fonction de son succès de prédation.

4. Succès de prédation et profondeur

Le nombre de creaks est corrélé significativement à la profondeur d’eau: plus la profondeur est élevée plus le nombre de creaks est grande, cependant cette variation est légère, puisque dans un domaine de 25 à 30 creaks par sonde (**figure 18**). Notons que cette corrélation est liée à une légère tendance pour les animaux les plus gros (qui sondent le plus longtemps) à se trouver dans des eaux plus profondes.

On n’a pas trouvé de tendance nette entre le succès de prédation et l’heure de la journée ; on constate cependant que les sondes comprenant plus de 25 creaks ont eu lieu entre 11h00 et 18h00.

Figure 18 : Relation entre la prédation et profondeur d'eau.



Le déplacement des cachalots au sein de leur habitat

Après la partie précédente qui traitait surtout des allers et venues des cachalots entre la surface et la profondeur, on va chercher à découvrir si le succès de la prédation a une influence visible sur l'évolution des cachalots dans un « plan horizontal ». Est-ce que leur stratégie de déplacement (vitesse, direction générale et relative à la bathymétrie) prend en compte des variables comme le nombre de proies ingérées ? Est-ce qu'il y a une rationalité visible dans leurs évolutions ? Cette partie exploite les « suivis » à moyen terme effectués surtout en 2003 et 2004 au large de la côte liguro-provençale (**figure 19**).

Figure 19 (en page suivante) : Position des cachalots et de leurs sondes successives pour les suivis à moyen terme (2003-2004).

1. Vitesse moyenne des cachalots

En moyenne, 2,58 km ont été parcourus par cycle de plongée, à une vitesse moyenne de 2,76 km/h (obtenue sur 64 cas). Cependant le domaine de variation est ici assez grand, avec un minimum de 0,85 km et un maximum de 5,52 km. La distance parcourue semble corrélée significativement avec la durée de la sonde ou du cycle (**figure 20**) : cela montre que durant les sondes le cachalot a tendance à se déplacer dans une direction cohérente, plutôt que de se prolonger sa sonde en restant sur place. Cependant, ce n'est pas une règle absolue : dans 8 cas au moins on a des cachalots qui parcourent seulement 1 à 2 km au cours de cycle sonde-surface de plus de 55 minutes.

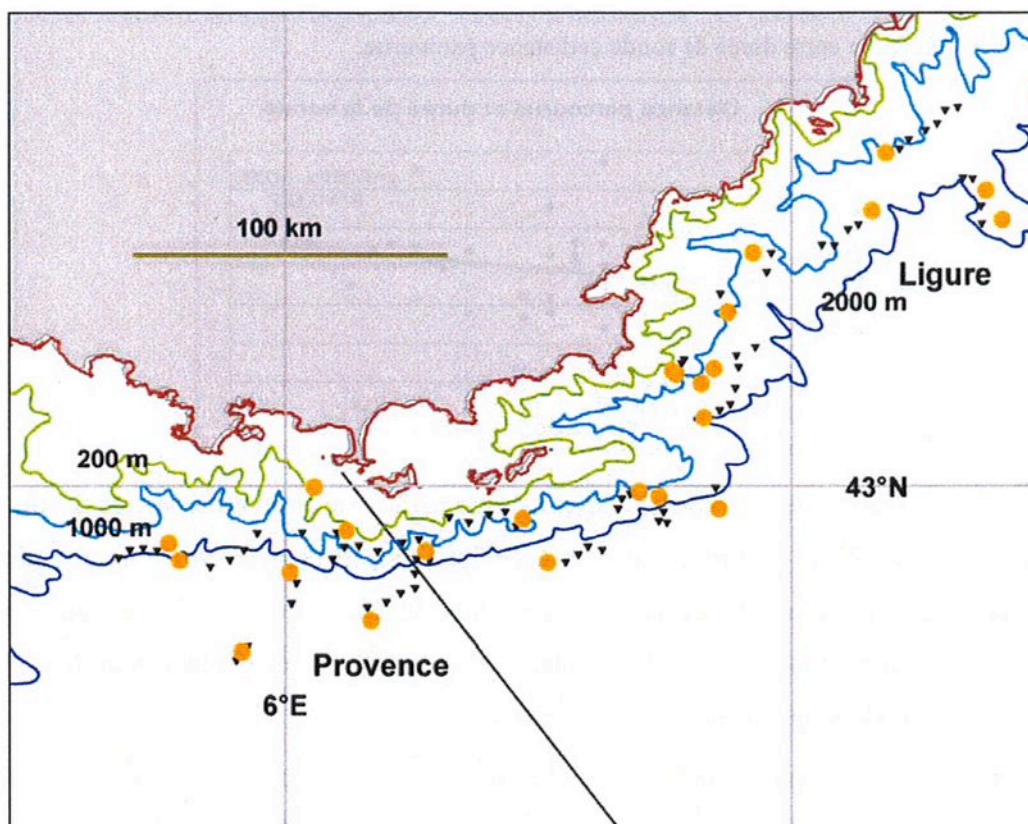
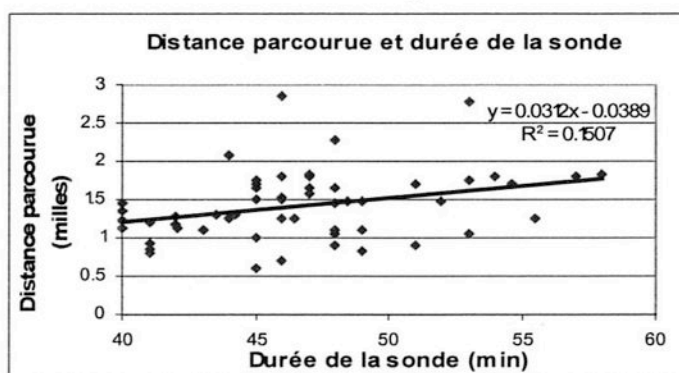


Figure 19 : Sondes multiples étudiées en 2003 et 2004.

Les ronds oranges sont les sondes initiales, les triangles noirs sont les positions des sondes successives pour chaque cachalot.

Figure 20 : Relation entre durée de sonde et distance parcourue.



Il n'y a pas de lien significatif entre distance parcourue et nombre de creaks : on ne peut avancer que la vitesse de progression du cachalot serait influencée par le nombre de proies capturé au cours d'une sonde, même si on exprime le succès de prédation en taux de creaks par minute. Il n'y a pas non plus de corrélation entre la vitesse de déplacement du cachalot et le succès de prédation exprimé en taux de creak.

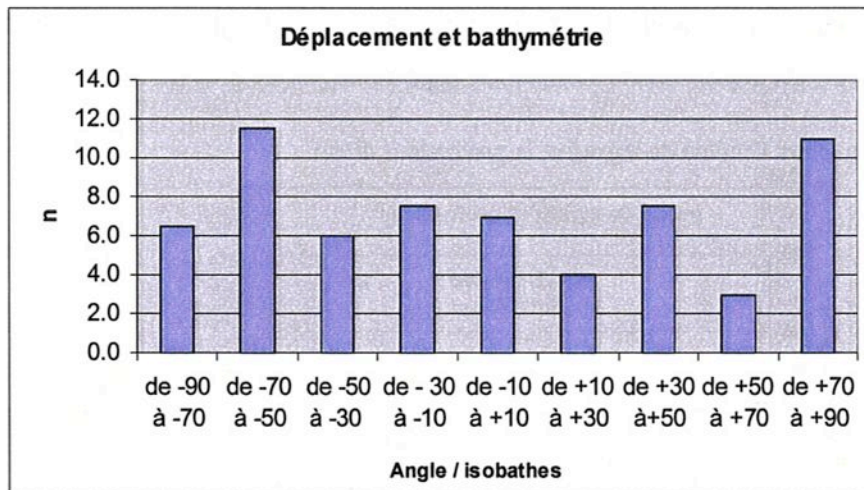
Comme la vitesse de déplacement n'est pas non plus corrélée à la profondeur (des cachalots évoluant sur le talus supérieur, profondeur inférieure à 1000m, ou au large se déplacent à la même vitesse moyenne), on peut conclure que les cachalots ne semblent adapter leur vitesse de déplacement ni au lieu où ils se trouvent, ni au succès de prédation : si la distance parcourue varie positivement en fonction de la durée de la sonde, cela se fait à vitesse moyenne constante.

2. Direction du déplacement

La direction de déplacement est étudiée selon deux aspects : d'une part en regardant sa liaison avec la bathymétrie, en particulier son angle avec les isobathes, d'autre part, en étudiant sa cohérence dans le temps, c'est-à-dire, au fur et à mesure des sondes successives pour un même individu.

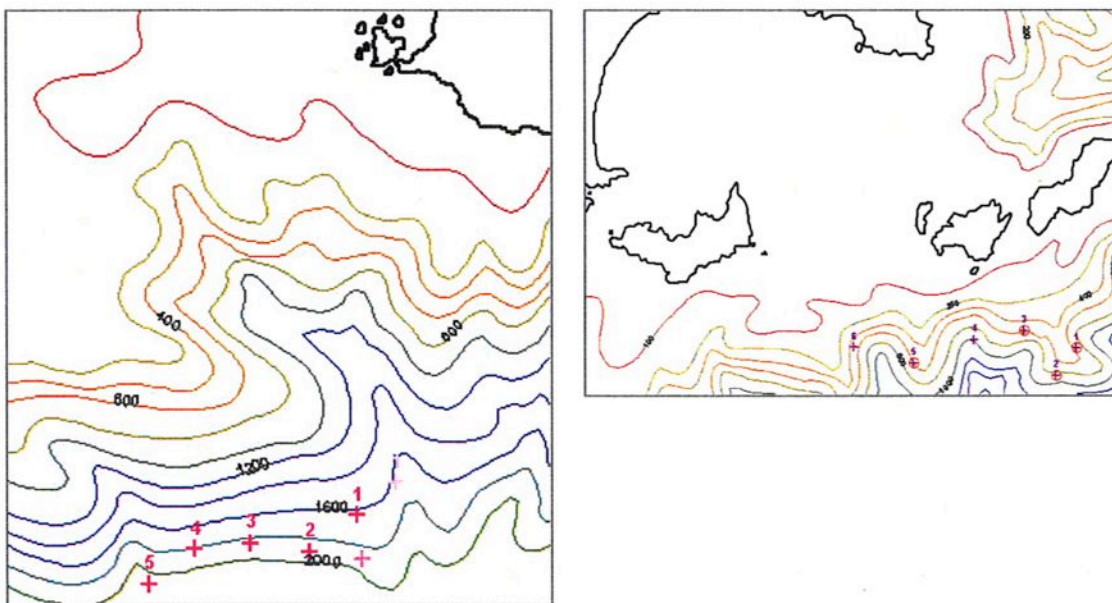
La distribution de fréquence des angles entre le déplacement des cachalots et les lignes d'isobathes (**figure 21**) ne montre pas un déplacement préférentiel des cachalots par rapport à la bathymétrie (Chi-2, $p=0,34$). Les angles positifs sont ceux qui sont sortant par rapport au talus (éloignement du cachalot vers des profondeurs plus élevées). L'étude du déplacement des cachalots par rapport à la topographie ne montre pas non plus de tendance au cours de la journée

Figure 21 : Histogramme des angles de déplacement par rapport aux isobathes.



La distribution de fréquence des angles mesurés entre deux sondes successives montre que dans 42% des cas, le cachalot effectue une inflexion légère de sa route (- de 30° d'écart par rapport au segment précédent). Dans un seul cas sur 42 mesurés, on constate un quasi demi-tour du cachalot (angle de 160°). On voit donc que le déplacement du cachalot se fait souvent avec une certaine régularité (**figure 22a**): même s'il n'est pas rectiligne, il se fait rarement avec des écarts de route supérieurs à 60° (figure 22b). Ce résultat est confirmé par les valeurs de l'indice de zigzag qui sont relativement proches de 1, à l'exception de deux valeurs (1,51 et 2,3) pour lesquelles le déplacement du cachalot a été erratique. L'indice de zigzag n'est pas lié à la durée de la sonde.

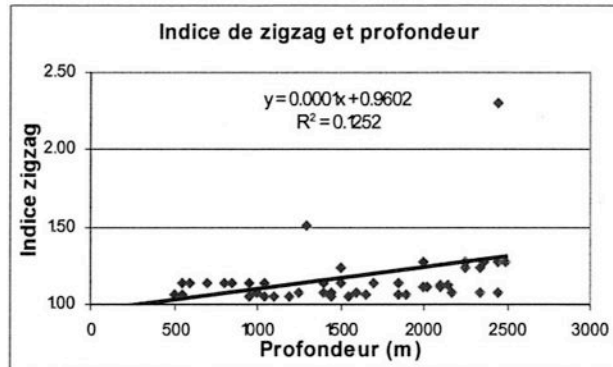
Figure 22 : Exemples de déplacements de cachalots (a) régulier (b) irrégulier



3. Relation entre succès de prédation et déplacements

L'indice de zigzag est corrélé significativement à la profondeur d'eau ($R^2 = 0,1252$) : le cachalot paraît avoir un déplacement moins rectiligne au large que près du talus (**figure 23**).

Figure 23 : Relation entre l'indice de zigzag et la profondeur d'eau.



Aucune corrélation ne semble par contre exister entre le nombre de creaks et l'indice de zigzag : les changements de trajectoire effectués par le cachalot entre deux sondes successives ne montrent pas de relation avec le nombre de creaks. Il n'apparaît donc pas de tendance marquée entre le nombre de creaks et le déplacement parallèle ou radial des cachalots par rapport à la bathymétrie et ce, que le cachalot ait sondé vers des eaux plus profondes, ou moins profondes.

En résumé, l'étude conjointe des déplacements du cachalot et de son succès de prédation n'a pas mis en évidence de relation. Par exemple, on n'a pas pu montrer que le cachalot ait une tendance à zigzaguer davantage quand il émettait davantage de creaks, par suite de proies plus nombreuses. Ce résultat nous amènera à nous interroger sur la stratégie de cet animal pour maîtriser sa prédation.

DISCUSSION SUR L'UTILISATION DE L'HABITAT ESTIVAL

Nos résultats montrent sans ambiguïté que durant l'été, le cachalot utilise l'habitat de Méditerranée nord-occidentale presque exclusivement à des fins de nutrition. Même si la plupart des observations prolongées ont eu lieu durant la journée, il est vraisemblable que durant la nuit la situation est la même : les détections acoustiques se font avec la même régularité. Par contre, il est probable que les immersions des cachalots suivent les migrations nyctémérales de leurs proies et chassent à des immersions différentes la nuit par rapport au jour : cet aspect n'a pas été étudié car les suivis nocturnes n'ont pas pu être réussis dans la zone provençale, en raison d'impératifs de sécurité lié à la circulation maritime.

La distribution sociale des cachalots n'est pas aussi claire qu'on le croyait (Drouot et al., 2004c) : l'intrusion de femelles au nord, avec des juvéniles a été montrée en 2003 et 2004, de l'été à l'automne, et il ne semble pas que cela soit exceptionnel au moins pour cette dernière saison. Mais la présence majoritaire de mâles demeure quand même la règle au nord du 42° parallèle. Au sujet de la distribution des mâles adultes, nous avons la confirmation par la photo-identification qu'un mâle de 13m s'est trouvé successivement en 2003, près de Minorque auprès d'un groupe de femelles (le 27 juin), puis au large d'Antibes (le 3 et le 8 août). Cette observation constitue une surprise puisqu'elle montre que la population du bassin ouest méditerranéen ne suit pas le schéma océanique de distribution, qui est fondé sur une ségrégation estivale des sexes. Cependant, une telle indication figurait déjà dans Drouot et al. (2004c), car un individu de 13,1m, donc un mâle, avait été détecté aux Baléares. Une incertitude demeure toutefois sur la nature des cachalots présents dans la zone du front Nord-Baléares : cette zone d'abondance est-elle fréquentée par les sub-adultes ou « bachelors » ? Quelques données le suggèrent. On remarque que malgré tous les individus contactés, aucun grand mâle de taille supérieure à 15m n'a été observé : ces très gros individus semblent avoir disparu dans les filets dérivants au cours des années 70-80 (rapports d'échouages du *Centro Studi Cetacei*).

Le cycle complet de sonde-surface, 45 minutes en sonde et environ 9 minutes en surface, implique que pendant près de 82% du temps le cachalot est éloigné de la surface. Durant tout ce temps l'animal est par conséquent à l'abri des collisions avec des navires. Durant son cycle de sonde, le cachalot est inaudible durant sa période de surface (9,2 min) et durant son temps de remontée (6,7 min), soit 29% du temps total. Le cachalot est à la fois inaudible et invisible uniquement pendant sa remontée, soit seulement 12% du temps. La variabilité du temps de sonde est faible (CV=12%), celle du temps de surface plus élevée (CV=18%).

Le succès de prédation, évalué en nombre de tentatives de capture, est en moyenne de 24,5 creaks par sonde, il est un peu plus variable, avec un CV de 22%. Ce succès de sonde est corrélé de façon significative à trois paramètres : la taille de l'animal, la durée de sonde, et la profondeur d'eau. Un animal plus gros capture davantage de proies au cours de sa sonde, même si cette différence est légère (25 creaks au lieu de 23). Ces captures plus nombreuses sont permises par des sondes un peu plus longues, de sorte que le taux de capture par heure ou par jour, est à peu près équivalent pour des individus de taille différente. Les individus qui sondent en eaux plus profondes bénéficient d'un taux de capture légèrement plus fort, mais au total, la profondeur d'eau ne semble pas avoir une forte influence sur le succès de la prédation, d'après nos données. De la même manière, si on exprime les captures moyennes par individu et par cycle de 24 heures, on n'obtient aucune influence claire de la taille.

Nos résultats montrent qu'un cachalot capturerait 639 proies par jour en moyenne, ce qui s'approche des 679 trouvées Drouot (2003). Malgré la très grande incertitude sur la nature des proies avalées, en prenant l'hypothèse qu'une proie pèse en moyenne 1 kg en Méditerranée (Drouot *et al.*, 2004 *d*), on peut estimer la consommation moyenne à 639 kg de proies par jour, ce qui semble en adéquation avec les besoins de ces animaux. En effet, un cachalot aurait besoin de consommer l'équivalent de 3 à 3,5 % de son poids par jour (Lockyer, 1981 *in* Rice, 1989) : sachant que les cachalots étudiés pèsent entre 14 et 22 tonnes (d'après leur longueur et la courbe de croissance), ils devraient ingérer entre 400 et 800 kg de proies par jour.

Toutefois, le nombre de prédatons pourrait être sous-estimé pour plusieurs raisons :

- du fait de la faible intensité des creaks, il est souvent difficile de détecter tous les creaks depuis la surface et de les distinguer des silences "seuls" (non précédés de creak) (Jaquet *et al.*, 2001; Miller *et al.*, 2004).

- le cachalot pourrait repérer visuellement les proies bioluminescentes situées à courte distance et les ingérer sans émettre de creak, ce serait une signification possible des « silences » qui émaillent les sondes.

- l'émission d'un creak pourrait correspondre à la capture de plusieurs proies, et non d'une seule, même si cela est peu vraisemblable du fait des capacités évasives des calmars.

Le succès de prédation ne varie significativement en fonction du déplacement des cachalots : on pourrait en déduire que l'ensemble des individus étudiés a trouvé une quantité de proies équivalente en nombre, et que la disponibilité des proies est telle que quelque soit la stratégie de déplacement à l'intérieur de l'habitat, cette nourriture est disponible. Jusqu'à

présent aucune étude n'a utilisé la variable « nombre de creaks » émis pour quantifier l'efficacité de prédation, mais Jaquet et Gendron (2002) ont eux corrélé la distribution des cachalots à l'abondance de leur proie principale en mer de Cortez, *Dosidicus gigas*, vue à travers les débarquements de cette espèce commerciale. Ces auteurs montrent que pendant un effondrement du stock de ce calmar, en 1998, les cachalots n'ont pas répondu à changeant leur distribution à grande échelle, par exemple en changeant de zone d'alimentation, mais en changeant de structure de groupe : en 1998, les cachalots étaient dispersés de manière assez uniforme dans le secteur, alors qu'en 1999 (remontée des stocks de *D.gigas*) ils formaient des super-agrégations de plusieurs dizaines d'individus. On aurait donc ici une stratégie variable de prédation avec changement de proies cibles, permise par le régime alimentaire teuthophage assez opportuniste du cachalot.

Dans notre cas, le succès de prédation semble varier légèrement d'année en année (maximum en 2003 avec 26,5, minimum 23 en 2004), cependant le nombre de données ne permet pas de discuter les résultats sous l'angle des fluctuations interannuelles.

La distribution saisonnière

Les prospections régulières effectuées sur une base mensuelle dans le cadre de la thèse de Sophie Laran (2005) fournissent un jeu de données unique pour étudier l'aspect saisonnier de la distribution du Cachalot au cœur du sanctuaire Pelagos. Ce programme a été conduit sous la maîtrise du CRC de Marineland, avec la participation du GREC au niveau logistique (mise à disposition d'observateurs et de l'hydrophone). Au niveau du bateau utilisé, comme au niveau de la méthode acoustique, il n'y a pas d'incompatibilité entre les prospections menées à bord d'*Anacaona* en été, et celles à bord de *Storm*, en toutes saisons. On observera que du fait de la hauteur de plate-forme plus élevée sur ce dernier (4m au lieu de 2,50m) les capacités de détections y sont meilleures, par contre le transect y étant réalisé à grande vitesse (11 nœuds de moyenne), les pertes de détections y sont normalement plus élevées. Pour l'acoustique, les écoutes sont réalisées tous les 10 milles, donc là aussi la détection des cachalots sur le transect n'est pas infaillible. Néanmoins, les données sont traitées ici indépendamment des données estivales : les fluctuations saisonnières de la distribution sont donc cohérentes entre elles.

METHODES EMPLOYEES

Méthodes de terrain

L'étude a été réalisée avec le même protocole, entre février 2001 et février 2004. Les radiales mensuelles se sont localisées sur un axe Cap d'Antibes (43°32'N, 7°7'E) - la Revellata (42°36'N, 8°37'E) à proximité de Calvi en Corse (**figure 24**). Chaque traversée a été réalisée à la suite de prévisions météorologiques satisfaisantes, soit une force de vent égale ou inférieure à 3 Beaufort et une houle inférieure à 50 cm. Ces prospections se sont déroulées sur deux jours complets, comportant chacun 9 à 10 heures de navigation dont la plus grande partie en effort d'observation. La prospection à bord d'une plate-forme moteur (modèle East Bay'40 de 12 m de long) s'est décomposée sur 2 transects journaliers : le Transect A de 160 km, échantillonné à 22 km.h⁻¹ (12 nœuds), et le Transect B plus court parcouru le lendemain à une vitesse plus lente de 13 km.h⁻¹ (7 nœuds).

1. Méthodes visuelles

Une équipe de trois observateurs expérimentés couvraient à l'œil nu un secteur de 60°, les yeux situés à 4m au dessus de la surface. Pour chaque détection, la position des cétacés (groupe ou individu) a été enregistrée de façon précise, soit par un relèvement à l'aide d'une paire de jumelles 7x50 munies d'un réticule d'azimut et d'un compas interne (portée 5000m,

STEINER® Navigator), soit avec un des trois compas manuels placés à proximité des observateurs.

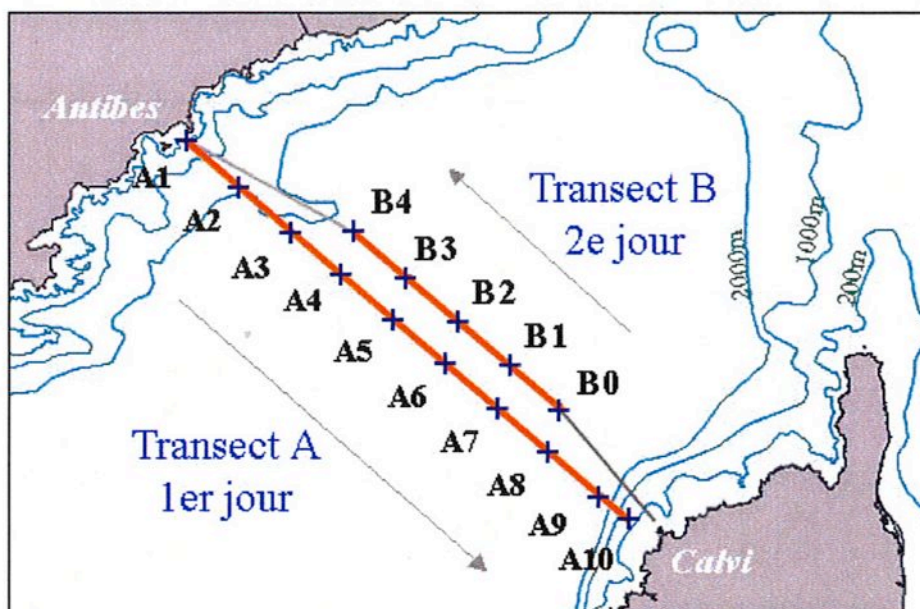


Figure 24: Zone d'étude, et position des Transects A, B et des stations pour l'échantillonnage acoustique (+).

L'approche des groupes s'est faite lorsque la confirmation ou l'identification de l'espèce était nécessaire, mais à condition qu'ils se situent à moins d'un kilomètre de la route suivie.

2. L'échantillonnage acoustique

Sur le Transect A, des arrêts pour des échantillonnages acoustiques ont été réalisés sur 10 stations fixes situées à 18,5 km d'intervalle, exceptés entre les points A_9 et A_{10} , distants de 10,4 km. Sur le Transect B, les arrêts ont été effectués sur 2 puis 5 stations. Les trajets réalisés et la localisation des stations pour les enregistrements acoustiques ont été identiques pendant toute la durée de l'étude.

La propagation des sons dans l'eau reste liée à la structure de la masse d'eau, qui varie au cours des saisons. L'échantillonnage acoustique comme nous l'avons réalisé (récepteur localisé à faible profondeur) produit des données difficilement comparables au niveau inter-saisonnier. Pour des clicks de cachalot (1 kHz) émis à 500 m de profondeur, la perte de propagation augmente progressivement lorsque l'on s'éloigne de la source pour une masse d'eau faiblement stratifiée (mars). En période de stratification (octobre) la situation est identique jusqu'à une distance de 4 km de la source. A cette distance, le signal sera réceptionné avec un niveau plus élevé que pour des animaux situés à 3 km. Néanmoins, on

s'aperçoit que jusqu'à l'horizon de 6 km, les écarts de propagation sont de l'ordre de quelques décibels (**figure 25**). Au delà de 6 km, par contre il y a une chute de 20 dB du niveau reçu pour la situation stratifiée, ce qui justifiera de n'utiliser pour l'étude que les écoutes d'un niveau supérieur à 2 sur 5, qui émanent de cachalots plus proches que 6 km.

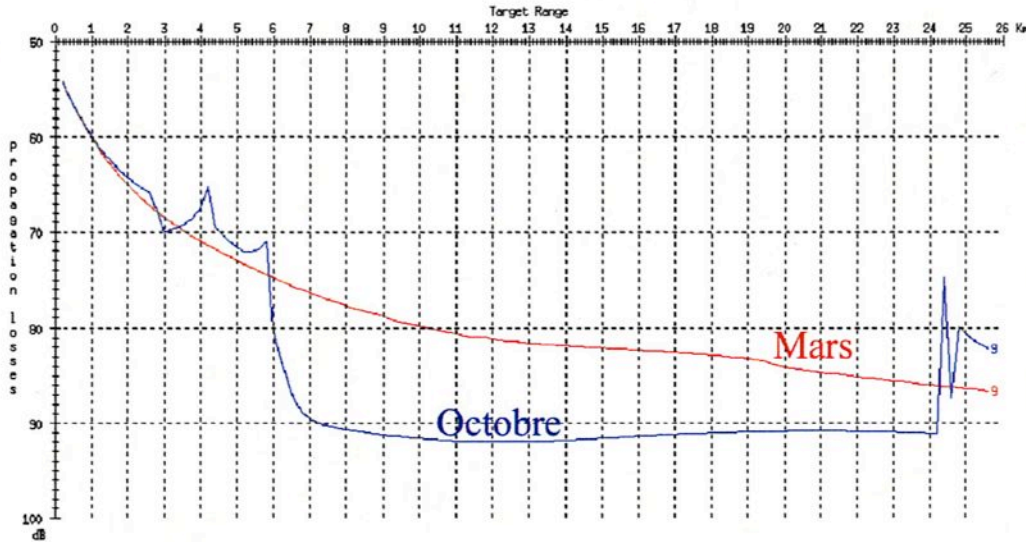


Figure 25 : Pertes de propagation obtenues pour des clics de cachalot (1 kHz), pour un profil de célérité en mars et en octobre (en 43°10N-8°20E). Modélisations fournies par THALES UNDERWATER SYSTEM.

3. Méthode d'analyse

Pour l'exploitation des données, les trois années d'étude ont été regroupées. Le nombre d'écoutes réalisées sur les transects A et B pour chaque mois est faible en janvier, mars et novembre ; trois périodes au cours desquelles, l'effort en mer a été le moins important. Il est assez uniforme, au-delà de 30 écoutes, pour les autres mois (**figure 26**).

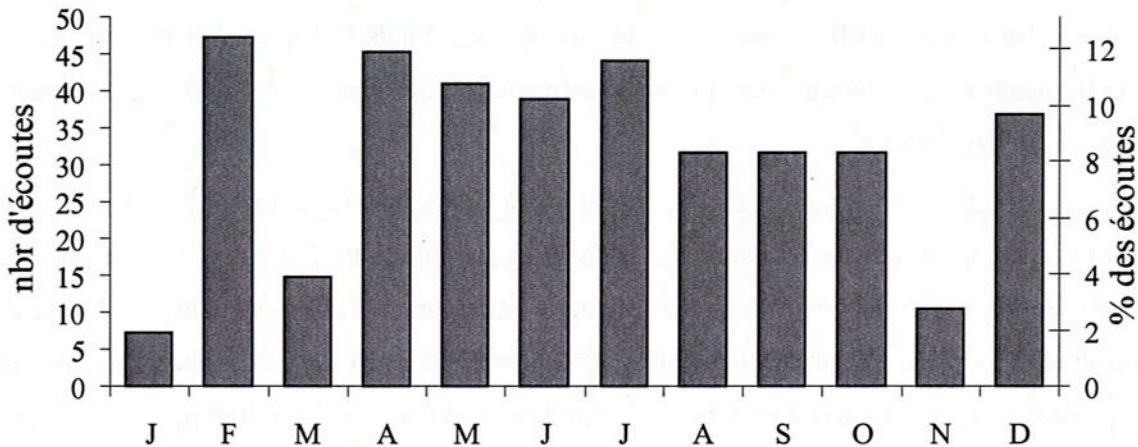


Figure 26 : Distribution du nombre total d'écoutes mensuel sur les transects A et B (n= 362).

Sur les 12 mois de l'année, les taux mensuels d'écoutes positives de cachalots (AR_{pm}) ont été déterminés. En regroupant les trois années d'études, le nombre d'écoute des transects A et B signalant la présence de l'espèce, a été divisé par le nombre de stations acoustiques réalisées sur ces deux transects avec un niveau de bruit inférieur ou égal à 3.

D'après quelques observations réalisées à la suite d'une détection par acoustique et les résultats de Gannier et al. (2002), obtenus avec le même hydrophone, nous avons considéré que des animaux détectés avec un niveau 2, avaient une chance d'être de nouveau entendus lors de la station suivante (à 18 km). Ainsi pour comptabiliser le nombre minimum d'individus par traversée, nous avons fait plusieurs hypothèses (Laran, 2005):

- Une détection de niveau 1, précédée ou suivie d'une seconde détection de niveau supérieur, n'a pas été considérée, car il existait une possibilité qu'il s'agisse du même individu; pour deux écoutes de niveau 1 successives, 1 seule a été retenue
- Pour une détection de niveau 2 précédée ou suivie d'une écoute de niveau 2 ou supérieur, pour les mêmes raisons seule la détection comptabilisant le plus grand nombre d'individus a été conservée
- Enfin, pour deux détections successives de niveau 3 ou supérieur, étant donné les vitesses moyenne de déplacement connues pour l'espèce dans cette zone ($2,7 \text{ km.h}^{-1}$, Drouot *et al.*, 2004c) nous avons considéré que l'enregistrement du même individu avec un niveau 3 (ou plus) n'était pas possible.

Sur chaque aller-retour, seul le trajet estimant le plus grand nombre d'animaux a été considéré, pour éviter de recompter les mêmes individus. Cette méthode évite la surestimation de l'espèce, mais il existe une possibilité de sous-estimation, difficilement quantifiable.

RESULTATS

Résultats acoustiques

1. Le taux d'écoutes mensuel moyen

Sur les 362 stations acoustiques considérées (du Transect A et B), 53 (14,6%) ont signalé la présence de l'espèce, dont 18 détections (5%) avec un niveau sonore supérieur ou égal à 3 sur une échelle de 5. Le taux d'écoutes positives a été compilé sur 12 mois sur les transects A et B : son évolution montre pour les cachalots un maximum entre août et octobre (**figure 27**), soit en fin d'été et automne, car le mois de novembre a été très peu échantillonné, et un minimum relatif en hiver.

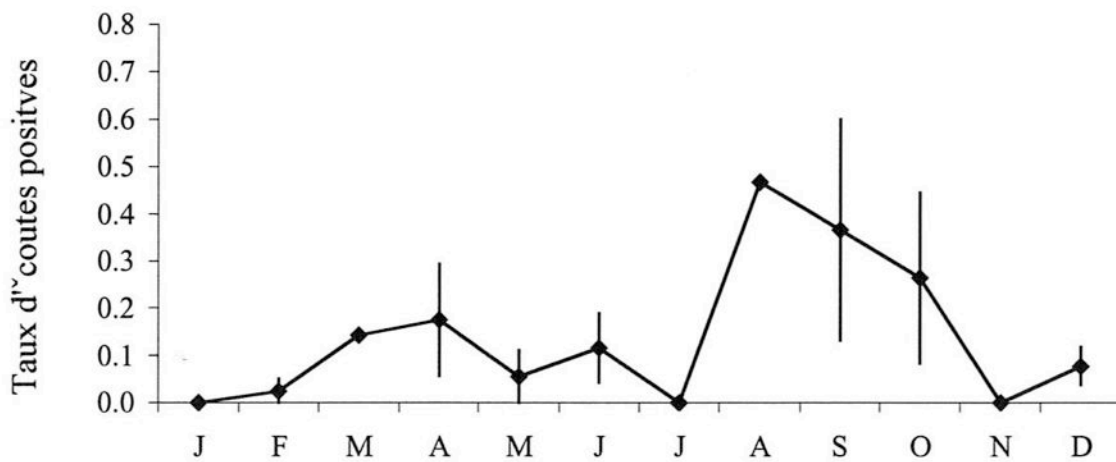


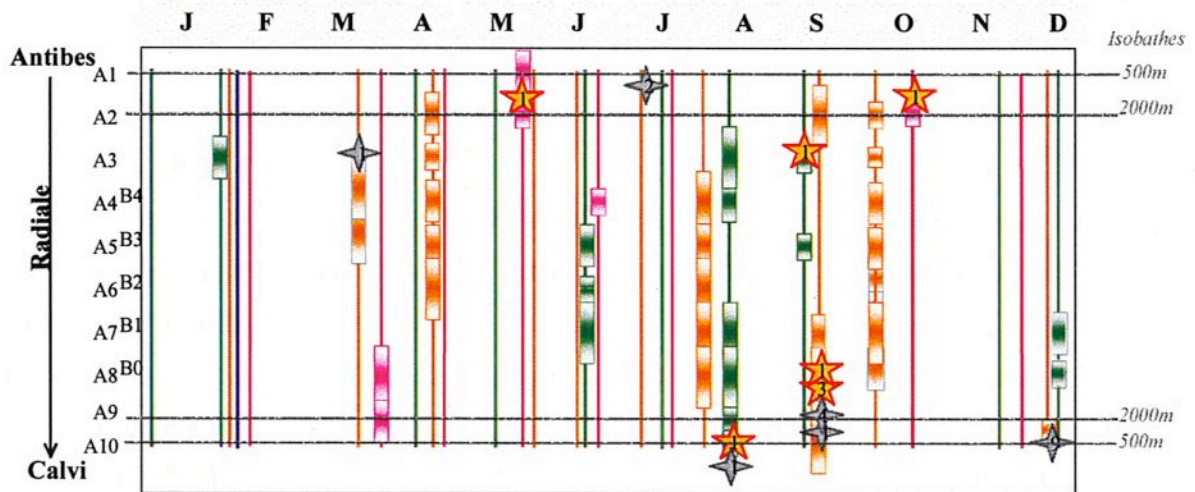
Figure 27: Moyenne mensuelle du taux d'écoutes positives (% et SD) de cachalots.

2. Distribution saisonnière des cachalots

On a représenté les stations acoustiques ayant signalé la présence de cachalots sur la radiale Antibes-Calvi en fonction du mois et de l'année (**figure 28**). Le niveau sonore et donc l'éloignement plausible de l'animal a été matérialisé, pour chaque station, par la taille de chaque rectangle. Nous observons une distribution centrale préférentielle en juin et juillet qui passe sur les talus en hiver. Aucune observation visuelle n'a eu lieu au centre (station A₄ à A₇) entre fin octobre et fin mars. Cependant aucune tendance claire de distribution ne se confirme d'une année sur l'autre.

La distance moyenne à la côte des observations visuelles est de 25 km ($SD= 14$; $n= 12$), avec un minimum de 7 km (Tab. 17) pour les côtes corses et 14 km pour les côtes continentales. Si nous considérons les détections visuelles et acoustiques de niveau 4 et 5, nous obtenons une moyenne légèrement supérieure : 29 km ($SD= 15$).

Le taux d'écoutes positives sur la station A_1 (à 1,8 km du Cap d'Antibes) est le plus faible (4,2%). Pour les autres stations, entre 10 et 18,5% des écoutes ont signalé la présence de l'espèce. Si l'on ne considère que les stations où le signal des animaux est supérieur ou égal à 2, les stations A_2 , A_3 , A_4 et A_5 (première moitié du Transect A) enregistrent les plus forts taux d'écoutes positives. Etant donné que le protocole a été répété à l'identique, les stations ont la plupart du temps été échantillonnées aux mêmes périodes de la journée. Les détections acoustiques montrent aussi une présence fréquente de cachalots au centre de la zone (figure 28).



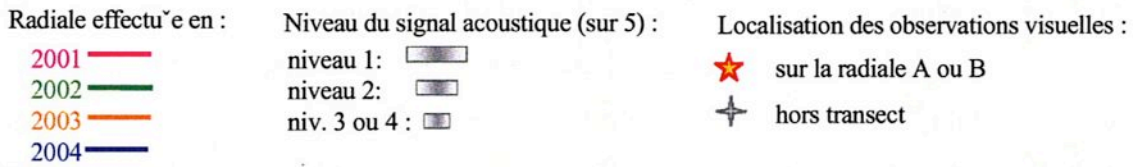


Figure 28 : Répartition sur l'année des échantillonnages mensuels sur l'axe Antibes-Calvi et des détections visuelles et acoustiques de cachalots.

Variations saisonnières d'abondance relative

1. Taux de détections visuelles

Au total, 12 observations visuelles de cachalots ont été réalisées, dont 4 faisant suite à une détection acoustique (figure 29). L'effectif estimé moyen est de 2,17 individus ($SD=2,36$). En se basant uniquement sur les animaux observés en surface, la taille des groupes varie de 1 à 9 individus, sachant que les groupes supérieurs à deux individus n'ont été rencontrés qu'en septembre et décembre 2003. En septembre 2003, un nourrisson a été observé avec un adulte. Le groupe ne comportait que 3 individus, mais à 2,4 km se trouvait un autre groupe de 4 individus. Trois mois plus tard, en décembre 2003, un juvénile et un nourrisson ont été observés au sein d'un groupe compact de 9 individus. Signalons que les observations de groupes sociaux, au nord du 41° parallèle, sont inhabituelles en été (Drouot *et al.*, 2004b).

Le taux de cachalots observés (**figure 29**) atteint 1,1 ind./100km en septembre et 1,9 ind./100km en décembre. Le mois de mars présente également un taux important avec 0,7 ind./100km. Il existe cependant une forte variabilité inter-annuelle : en 2001 le taux moyen annuel est de 0,075 ind./100km ($SD=0,15$), et de 0,092 ind./100km en 2002 ($SD=0,21$) et culmine en 2003 avec 1,0 ind./100km ($SD=1,9$). Le taux d'individus obtenu en 2003 est donc 13 fois plus élevé que celui de 2001. La variance est cependant trop importante sur les trois années pour obtenir une différence significative (Test-Z < 1,56 ; $p > 0,12$). Cette variabilité est principalement influencée par la taille des groupes puisque, sur les taux d'observations, le rapport entre 2003 et 2001 est inférieur à 4. Enfin, même si nous faisons abstraction de l'échantillonnage de décembre 2003 (groupe de 9 individus observés), la moyenne annuelle de 2003 reste supérieure à celle de 2001.

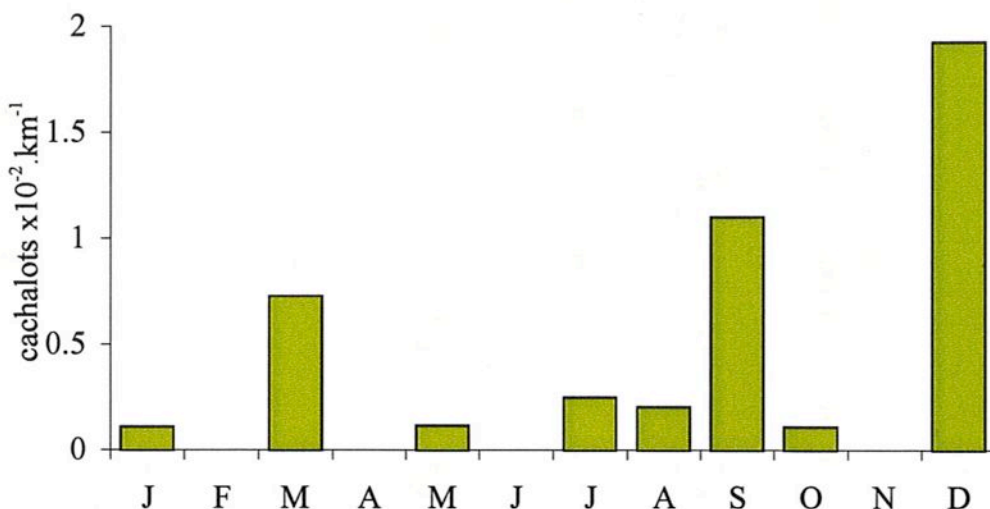


Figure 29 : Taux d'observations visuelles

2. Variations combinées acoustique et visuelle

Le croisement des détections visuelles et acoustiques (**figure 30**) permet de compléter le cycle saisonnier de présence du cachalot en zone Ligure. Mis à part les mois de janvier et de novembre, où aucune détection n'a été réalisée, le cachalot est une espèce présente dans la zone ligure tout au long de l'année. De janvier à juillet, le nombre minimum d'individus est comptabilisé par radiale avec une moyenne de 0,5 ind./100km. D'août à décembre, 2,5 ind./100km sont comptabilisés en moyenne. Mais leur présence culmine en septembre et octobre avec 3,9 ind./100km. En décembre, le fort pic doit être considéré avec précaution car très influencé par l'observation de 2003. Cependant la détection acoustique de 3 individus (ou plus), en décembre 2002 confirme la présence notable de l'espèce à cette époque de l'année. L'absence de détection sur novembre et janvier peut s'expliquer par un échantillonnage faible (une seule fois sur les trois ans). L'échantillonnage important en février (4 traversées) montre cependant que l'espèce est peu présente en début d'année.

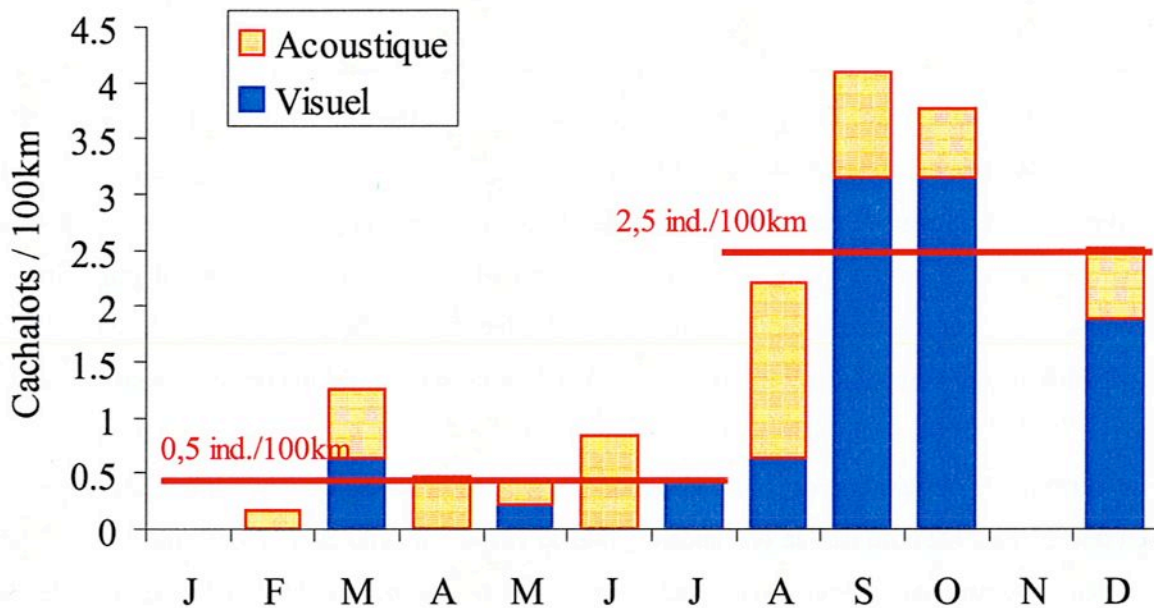


Figure 30 : Moyenne mensuelle du nombre minimum de cachalots comptabilisés entre Antibes et Calvi par observations visuelles et acoustiques.

DISCUSSION

Les cachalots exploitent la zone Ligure surtout dans la seconde partie de l'année, mais durant l'été ils sont plus nombreux sur le secteur Lion et Ouest Provence. La présence en mer Ligure et en automne de mères et juvéniles, constatée à plusieurs reprises, montre également que ce secteur est favorisé par les cachalots dans la seconde partie de l'année. La présence de très jeunes individus comme nous l'avons observé en zone Ligure, en septembre et décembre,

a également été montré par Moulins & Würtz (2005). Ces mêmes auteurs signalent aussi qu'un cadavre d'un individu de 5 m, a été retrouvé en février dans le Golfe de Gênes. Toutes ces observations semblent confirmer la présence de nourrissons en Mer Ligure dans l'année de leur naissance. On peut rappeler (Drouot et al., 2004c) que durant l'été, ces groupes maternels sont surtout détectés aux alentours des îles Baléares. Cette tendance saisonnière est liée aux possibilités de prédation, mais notre ignorance de l'écologie de peuplement des céphalopodes ne permet pas d'en dire plus sur ce plan. Peut-être qu'à cette époque de l'année, des proies particulièrement adaptées aux juvéniles sont présentes en mer Ligure.

Quelle est l'implication possible de ces observations saisonnières au niveau des mouvements saisonniers dans le bassin ? On commence à voir se dessiner un schéma de mouvement du sud-ouest (zone des Baléares, vers le nord-ouest (Lion), puis vers le nord-est (Ligure) et enfin vers le sud (le long du talus corse et sarde). Ce mouvement se ferait de manière irrégulière selon les années, du printemps à la fin de l'automne, et il ne pourrait concerner qu'une partie de la population, les mâles en premier lieu, ensuite les femelles. Il resterait à déterminer les secteurs de reproduction, de l'hiver au début du printemps. Faute de données de bonne qualité, on ne peut que soupçonner que cette partie du cycle biologique se déroule dans le sud du bassin, vers le large de l'Afrique du Nord. On pourrait préciser ce point au moyen d'une prospection hivernale dans le secteur.

La variation saisonnière observée est intéressante car elle montre Ligure que la pénétration des cachalots en mer Ligure, notamment de groupes maternels, se fait en automne. Si on couple ce résultat à ce qui est observé au niveau estival, avec une fréquentation en mer Ligure moindre que dans le bassin provençal, et irrégulière selon les années (2003 étant un maximum), on se rend compte que le circuit migratoire des cachalots pourrait inclure une excursion régulière des femelles dans le nord du bassin, centrée sur l'automne, et qui se produirait de Minorque, vers le golfe du Lion, puis vers la mer Ligure et en fin d'automne vers le sud du bassin. Cette hypothèse devrait faire l'objet de travaux pour être confirmée car elle est extrêmement importante pour la conservation de l'espèce dans le bassin occidental.

Conclusions et perspectives

Cette étude apporte des éléments très importants sur l'utilisation de l'habitat de Méditerranée occidentale par le Cachalot, aussi bien sur le plan de la distribution, que de l'activité ou de la fréquentation saisonnière.

En été, les zones de distribution favorable comprennent un croissant englobant le talus continental depuis le secteur Ligure (moins régulièrement fréquenté) jusqu'à la zone Catalane, ainsi qu'un large secteur au centre du bassin, à mi-chemin des Baléares, donc dans la Zone de Protection Ecologique Française, en plus bien sûr, du talus des îles Baléares pour les groupes maternels. Ces zones du nord du bassin sont fréquentées durant l'été en majorité par des mâles, solitaires ou en groupes dispersés, mais les groupes maternels le fréquentent également, surtout pendant l'automne, et peut-être régulièrement. Le sanctuaire Pelagos est d'ailleurs davantage fréquenté par les cachalots en automne, et la fréquentation en mer Ligure passe par un minimum en janvier et février. L'activité est presque exclusivement la nutrition, avec la prédation d'au moins 630 calmars chaque 24 heures, en moyenne. Les sondes d'en moyenne 45 minutes sont pratiquées par les cachalots tout au long de parcours qui se font à une vitesse d'environ 2,7 km/h dans une direction cohérente en général. Il ne semble pas que les cachalots adaptent leurs déplacements en fonction du succès de leur prédation.

Les résultats accumulés permettent d'envisager une prise en compte de la protection du Cachalot dans les enjeux futurs de l'utilisation de l'espace maritime, notamment la minimisation des risques de collisions avec les navires. Nous envisageons d'étudier plus particulièrement le comportement des cachalots en présence d'une navigation intense. Au niveau fondamental, les lacunes les plus importantes concernent la partie hivernale du cycle de reproduction (lieu et modalités), et certains aspects de l'écologie alimentaire, tels que la nature exacte des proies ingérées et leurs cycles biologiques. Dans cette optique, l'étude des déplacements verticaux des cachalots en des secteurs distincts apportera des éléments précieux.

Sur la base de la faible taille des mâles observés et des captures dans les filets qui se perpétuent en différents endroits du bassin, on ne peut considérer que le statut de conservation du Cachalot de Méditerranée soit actuellement satisfaisant. L'intensification du whale-watching non réglementé constitue également une gêne importante pour les cachalots en phase de nutrition.

Références bibliographiques

- ADLER-FENCHEL H. S., 1980. Acoustically derived estimate of the size distribution for a sample of sperm whales (*Physeter catodon*) in the Western North Atlantic. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37, 2358-2361.
- DAVID L., 2000. Rôle et importance des canyons sous-marins sur la marge continentale dans la distribution estivale des cétacés en Méditerranée nord-occidentale. Thèse de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes, Montpellier : 320 pp + annexes.
- DI MEGLIO, 1999. Distribution comparée des cétacés et oiseaux marins de Méditerranée nord-occidentale en période estivale: relations avec les conditions environnementales. Thèse de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes, Montpellier : 377 pp.
- DROUOT V., 2003. Ecology of sperm whales in the Mediterranean Sea. Thèse de Doctorat, Université de Bangor (Whales): 326pp.
- DROUOT V., BERUBE M., GANNIER A., GOOLD J.C & PALSBOLL P.J., 2004a. A note on genetic isolation of Mediterranean sperm whales suggested by mitochondrial DNA. *J. Cetacean Res. Manage.* 6(1): 29-32.
- DROUOT V., GOOLD J.C & GANNIER A., 2004b. Regional diversity in the social vocalisations of sperm whale in the Mediterranean Sea. *Rev. Ecol. (Terre Vie)* 59: 545-558.
- DROUOT V., GANNIER A. & GOOLD J.C, 2004c. Social distribution and behaviour of sperm whales (*Physeter macrocephalus*) in the Mediterranean Sea. *Journal of Marine Biological Association of UK* 84: 675-680.
- DROUOT V., GANNIER A. & GOOLD J.C, 2004d. Diving and feeding behaviour of sperm whales (*Physeter macrocephalus*) in the western Mediterranean Sea. *Aquatic Mammals* 30(3): 419-426.
- GANNIER A., DROUOT V. & GOOLD J.C., 2002. Distribution and relative abundance of the sperm whale in the Mediterranean Sea. *Marine Ecology Progress Series* 243: 281-293.
- GANNIER A., 2005. Le peuplement estival de cétacés dans le Sanctuaire Marin Pelagos (Méditerranée nord-occidentale): distribution et abondance. *Mammalia* 59(4): .
- GOOLD J.C., 1996. Signal processing techniques for acoustic measurement of sperm whale body lengths. *Journal of the Acoustical Society of America* 100 (5), 3431-3441.
- GOOLD J.C. & JONES S.E., 1995. Time and frequency domain characteristics of sperm whale clicks. *Journal of the Acoustical Society of America* 98 (3), 1279-1291.
- GORDON J.C.D., 1991. Evaluation of a method for determining the length of sperm whale (*Physeter catodon*) from their vocalizations. *Journal of Zoology London* 224, 301-314.

- JAQUET N. & GENDRON D., 2002. Distribution and relative abundance of sperm whales in relation to key environmental features, squid landings and the distribution of other cetacean species in the Gulf of California, Mexico. *Marine Biology* 141 : 591-601.
- JAQUET N., DAWSON S. & DOUGLAS L., 2001. Vocal behavior of male sperm whales : why do they click ? *Journal of the Acoustical Society of America* 109 (5), 2254-2259.
- LARAN S., 2005. Variations spatio-temporelles du peuplement de cétacés en mer Ligure (Méditerranée nord-occidentale) et relations avec les conditions environnementales. Thèse de doctorat de la Free University of Brussels: 272 pp + annexes.
- MADSEN P. T., PAYNE R., KRISTIANSEN N.U., WAHLBERG M., KERR I. & MØHL B., 2002. Sperm whale sound production studied with ultrasound time/depth-recording. *The Journal of Experimental Biology* 205, 1899-1906.
- MILLER P. J. O., JOHNSON M.P. & TYACK P.L., 2004. Sperm whale behaviour indicates the use of echolocation click buzzes 'creaks' in prey capture. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B* 271, 2239-2247.
- MOULINS A. & WÜRTZ M., 2005. Occurrence of a herd of sperm whales and their calves off Monaco, in the Ligurian Sea. *Journal of Marine Biological Association of UK* 85: 213-214.
- PAVAN G., PRIANO M., MANGHI M. & FOSSATI C., 1997. Software tools for real-time measurements on sperm whale sounds. *Proc. Inst. Of Acoust. UK., Loughborough, U.K.*, pp. 157-164.
- NORRIS K. S. & HARVEY G.W., 1972. A theory for the function of the spermaceti organ of the sperm whale (*Physeter catodon* L.). In: Galler, S.R., Schmidt-Koenig, K., Jacobs, G.J., Belleville, R.E. (eds), *Animal Orientation and Navigation*, 262. NASA Special publication, Washington D.C., pp. 397-417.
- PRACA E., 2004. Relations entre la distribution estivale du cachalot et les conditions environnementales en Méditerranée nord-occidentale. Mémoire de DEA d'Océanologie, Université de Liège: 42 pp.
- PRACA E. & GANNIER A., 2005. Influence of environmental factors on sperm whale distribution in the northwestern Mediterranean Sea. European Cetacean Society, 18th Annual Conference, La Rochelle, France: *Abstracts*.
- RHINELANDER M.Q. & DAWSON S.M., 2004. Measuring sperm whales from their clicks : stability of interpulse intervals and validation that they indicate whale length. *Journal of the Acoustical Society of America* 115 (4), 1826-1831.

RICE D.W., 1989. Sperm whale *Physeter macrocephalus* Linnaeus, 1758. In: Ridgway, S.H., Sir Harrison, R. (eds), Handbook of Marine Mammals, Vol. 4 : River Dolphins and the larger toothed Whales. Academic Press, London, pp. 177-233.

TELONI V., ZIMMER W.M.X., FOSSATI C., MANGHI M., PAVAN G. & PRIANO, M., 2000. Variability of temporal and spectral clic characteristics of sperm whales (*Physeter macrocephalus*). Evans, P.G.H., Pitt-Aiken, R., Rogan, E. (eds). European Cetacean Society, 14th Annual Conference, Rome, Italy, pp. 91-95.

ZIMMER W.M.X., JOHNSON M.P., D'AMICO A. & TYACK P.L., 2003. Combining data from a multisensor tag and passive sonar to determine the diving behavior of a sperm whale (*Physeter macrocephalus*). IEEE Journal of Oceanic Engineering 28 (1), 13-28.

Résumé

Nous avons étudié la distribution et l'habitat estival en Méditerranée nord-occidentale, ainsi que la variation saisonnière de la distribution en mer Ligure. Pour l'étude estivale, 140 jours de travail en mer et près de 10000 km de parcours ont permis d'effectuer 66 observations sur 177 individus environ. Dans la plupart des cas, des enregistrements acoustiques ont permis d'étudier la prédation et nous avons effectué des suivis prolongés de cachalots à 26 reprises. Ces études nous ont révélé que les zones de distribution estivale les plus favorisées étaient le talus de la Provence au golfe du Lion, ainsi que la zone du large située entre la côte française et les Baléares. La mer Ligure est fréquentée de manière plus intensive durant l'automne. La plupart des cachalots qui fréquentent le nord du bassin sont des mâles adultes de taille 12,5-14m, mais des groupes maternels pénètrent également cet espace de la fin de l'été à l'automne. La prédation est étudiée par le comptage de vocalisations caractéristiques appelées « creaks ». La prédation est intensive avec des sondes de 45 minutes en moyenne, suivies de période de surface de 10 minutes environ. Durant les sondes, le cachalot semble ingérer environ 25 proies, à partir d'une profondeur d'au moins 600 mètres. Il se déplace à une vitesse comprise entre 2 et 3 km/h et sa direction est assez peu sinueuse. Son déplacement n'apparaît pas influencé par la quantité de proies qu'il a capturées. Les cachalots les plus gros ont tendance à sonder plus longtemps et les animaux qui évoluent plus au large semblent avoir un succès de prédation un peu plus élevé. Les individus se déplacent en permanence, et la chasse continue durant la nuit. Du fait de leur distribution, les cachalots se trouvent sur des routes intensivement fréquentées par le trafic maritime. Les progrès réalisés durant cette étude devraient être utiles à une meilleure prise en compte de l'existence de ce cétacé dans la gestion des eaux méditerranéennes sous responsabilité française.