

ANALYSE SPATIO-TEMPORELLE DE LA DISTRIBUTION DES CETACES EN RELATION AVEC LES PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX

*– RAPPORT FINAL –
DECEMBRE 2009*



© N. Di-Méglio / EcoOcéan Institut - 2009

DELACOURTIE Fabienne (CRC-Marineland)
LARAN Sophie (CRC-Marineland – GIS3M)
DAVID Léa (écoOcéan Institut – GIS3M)
DI-MEGLIO Nathalie (écoOcéan Institut – GIS3M)
DI FULVIO Tiziana (écoOcéan Institut)
MONESTIEZ Pascal (INRA)

PARTENARIAT SCIENTIFIQUE



PROGRAMME DE RECHERCHE 2007/2009 de PELAGOS France

ANALYSE SPATIO-TEMPORELLE DE LA DISTRIBUTION
DES CETACES EN RELATION
AVEC LES PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX

– RAPPORT FINAL –

Rédigé par

Fabienne DELACOURTIE, Sophie LARAN, Léa DAVID & Nathalie DI-MEGLIO

Avec la collaboration du GECM (Frank Dhermain & Franck Dupraz), du WWF (Denis Ody & Amandine Eynaudi), de Souffleurs d'Ecume (Pascal Mayol), de l'Aquario di Genova (Guido Gnone), Participe Futur (Jacques Landron), de Cybelle planète (Céline Arnal), de la Swiss Cetacean Society (Max-Olivier Bourcoud), du NURC, de Baleines et dauphins sans frontières (Pierre Serra), de SOS Grand Bleu (Jean-Pierre Sidois), du CETUS Italie (Davide Bedocchi), de Regard du Vivant (Thomas Roger & Frédéric Larrey) pour les données

Contrat : 08.042.83400 du 27/11/08

Contrat : 08.042.83400 du 27/11/08

CONTRAT DE PARTENARIAT

entre :

le Parc national de Port-Cros
(Animateur de PELAGOS France)

Castel Ste Claire, rue Ste Claire

83418 Hyères cedex

représenté par son Directeur,

et :

le Groupement d'Intérêt Scientifique pour les mammifères marins en Méditerranée et
leur environnement : GIS 3M

Castel Ste Claire, rue Ste Claire

83418 Hyères cedex

représenté par son Président,

COORDINATEUR DE L'ACTION

Coordinateur : Sophie LARAN
Centre de Recherche sur les Cétacés (CRC-Marineland)



LES PARTENAIRES DE CETTE ETUDE POUR LES DONNEES D'OBSERVATIONS DE CETACES

Coordinateur : Sophie LARAN & Fabienne DELACOURTIE
Centre de Recherche sur les Cétacés (CRC-Marineland)



Nathalie DI MEGLIO & Léa DAVID

EcoOcéan Institut

<http://www.ecoocean-institut.org/>

Frank DHERMAIN & Franck DUPRAZ

Groupe d'Etude des Cétacés en Méditerranée (GECEM)

<http://association.gecem.free.fr/>



Réseau National Echouage (RNE)

Pascal MAYOL

Souffleurs d'Ecume

<http://www.souffleursdecume.com/>

Amandine EYNAUDI & Denis ODY

World Wildlife Fund for Nature (WWF-France)

<http://www.wwf.fr/>



Jacques LANDRON

Participe Futur

<http://www.participefutur.org/>

Céline ARNAL

Cybelle planète

<http://www.cybelle-planete.org/>

Pierre SERRA

Baleines et dauphins sans frontières

<http://www.bdsf.net/>



Jean-Pierre SIDOIS

Sos Grand Bleu

<http://www.sosgrandbleu.asso.fr/>

NATO Undersea Research Centre

<http://www.nurc.nato.int/>



Pascal GROSJEAN

Douanes françaises

<http://www.douane.gouv.fr/>

Guido GNOME

Aquario di Genova

<http://www.acquariodigenova.it/>

Davide BEDOCCHI

CETUS Italie (Centro di Ricerche sui Cetacei)

<http://www.cetusresearch.org/>

Max-Olivier BOURCLOUD

Swiss Cetacean Society

<http://www.swisscetaceansociety.org/>



Marine Nationale
Flotille Hélico

Thomas Roger & Frédéric Larrey
Regard du Vivant
<http://www.regard-du-vivant.fr/>



POUR L'ANALYSE DES DONNEES

Sophie LARAN & Fabienne DELACOURTIE
Centre de Recherche sur les Cétacés (CRC-Marineland)



Léa DAVID & Tiziana di FULVIO
EcoOcéan Institut
<http://www.ecoocean-institut.org/>



Pascal MONESTIEZ
INRA-Avignon
<http://www.avignon.inra.fr/>



RESUME

En 2007, différentes structures travaillant dans le domaine de la cétologie se sont associées pour créer un Groupement d'Intérêt Scientifique pour les Mammifères Marins en Méditerranée et leur environnement, le GIS3M. Ce groupement permet de soutenir la recherche sur les cétacés en Méditerranée, de développer l'expertise sur les mammifères marins et leur environnement mais surtout de favoriser la synergie des compétences. Dans le cadre d'un partenariat scientifique, le Sanctuaire PELAGOS a financé le GIS3M pour une étude portant sur l'analyse spatio-temporelle de la distribution des cétacés en relation avec les paramètres environnementaux. Cette étude ayant pour but de donner aux gestionnaires du Sanctuaire PELAGOS une meilleure vue d'ensemble et une meilleure compréhension de la distribution des cétacés dans le Sanctuaire.

Depuis les années 90, de nombreux suivis ont été faits dans la zone et cette étude rassemble pour la première fois une très grande partie de ces données jusque là éparpillées. Toutes les structures possédant des données sur le secteur ont été contactées pour l'occasion, et seize d'entre elles ont répondu positivement à la demande. Les données ont été vérifiées, rassemblées et homogénéisées afin de créer deux bases de données couvrant la période 1994 à 2008 pour la période estivale (de juin à septembre). La première base contient 6 084 observations de cétacés sans trajet en effort associé : 1 707 observations de rorquals communs (*Balaenoptera physalus*), 340 observations de cachalots (*Physeter macrocephalus*), 134 observations de globicéphales noirs (*Globicephala melas*), 138 observations de dauphins de Risso (*Grampus griseus*), 291 observations de grands dauphins (*Tursiops truncatus*) et 3 474 observations de dauphins bleu et blanc (*Stenella coeruleoalba*).

La seconde base d'observations contient 2 547 observations de cétacés associées avec des trajets en effort (ou transects) : 646 de rorquals communs, 82 observations de cachalots, 47 observations de globicéphales noirs, 59 observations de dauphins de Risso, 46 observations de grands dauphins et 1 667 observations de dauphins bleu et blanc. L'effort de prospection associé s'élève à 51 046 km. Ce jeu de données a permis la production d'indices d'abondances relatives globaux, soit un nombre d'individus pondéré par l'effort de prospection pour chacune des six espèces : 117 rorquals communs par 100 km, 15 cachalots, 143 globicéphales noirs, 57 dauphins de Risso, 208 grands dauphins et enfin 3 395 dauphins bleu et blanc par 100 km.

Du point de vue de la richesse spécifique, le grand dauphin est l'espèce dont la zone de fréquentation est la plus restreinte contrairement à certaines espèces qui ont des habitats très étendus comme le rorqual commun ou le dauphin bleu et blanc, rencontrés régulièrement en association avec d'autres espèces. Concernant les trois espèces teutophages (le dauphin de Risso, le globicéphale noir et le cachalot), chacune semble avoir son espace à elle et ces espèces sont très rarement rencontrées dans les mêmes secteurs.

L'effort d'échantillonnage étant spatialement hétérogène, et les observations d'animaux étant éparées et peu fréquentes, une interpolation par krigeage a également été réalisée pour les rorquals et les cachalots. Cette méthode nous a permis d'estimer le nombre d'observations dans les secteurs où l'effort de prospection est insuffisant, mais également dans des secteurs non échantillonnés. Le résultat met en évidence une zone de prédilection pour le rorqual commun (0,03 groupe par kilomètre) sur l'ensemble de la Méditerranée nord-occidentale. Par contre, pour le cachalot, le résultat montre une structure spatiale « éparse » mais qui souligne néanmoins l'affinité de cette espèce pour le talus continental.

Afin de caractériser l'habitat des animaux, une analyse combinée des deux jeux de données a été réalisée avec des variables environnementales : la profondeur, la distance à la côte, à l'isobathe 200 et 2 000 m, la température superficielle de la mer (SST), la concentration en chlorophylle *a* (Chl *a*) et la production primaire (NPP). Les données de chlorophylle *a*, de production primaire et de température de surface proviennent des images satellites.

En premier lieu, l'habitat potentiellement favorable pour chacune des six espèces a été déterminé en combinant trois variables (profondeur, température et chlorophylle *a*). Pour chacune de ces variables, des intervalles regroupant 50% des valeurs autour de la médiane ont été définis permettant de délimiter une zone préférentielle sur chacun de ces paramètres. Les résultats permettent d'extrapoler pour les six espèces des cartes d'habitats favorables pour les quatre mois estivaux.

La suite des analyses a été centrée sur deux espèces : le rorqual commun et le cachalot : deux espèces fortement concernées par les interactions avec le trafic maritime. Des méthodes de modélisation de leur distribution et de caractérisation de leurs niches écologiques ont été appliquées : une modélisation par régression logistique (GLM) et une analyse factorielle de la niche écologique (ENFA). La première se base sur la présence/absence afin de mettre en évidence les variables qui caractérisent la distribution des deux espèces, et la seconde se base uniquement sur la présence pour déterminer quels sont les paramètres environnementaux qui ont une influence sur la distribution des deux espèces. Les analyses ont été réalisées sur les données récoltées entre 1998 et 2008. Concernant l'ENFA, une première analyse s'est basée sur l'ensemble des données opportunistes et en effort (données de présence) et une seconde a intégré uniquement les données en effort (taux d'observations : nombre d'observation.km⁻¹), afin de produire des résultats comparables avec ceux obtenus par la régression logistique. En effet, pour la modélisation par régression logistique, seules les données en effort ont été utilisées.

Des cartes d'habitat favorables ont été construites en utilisant les variables topographiques et les paramètres environnementaux cités précédemment. Les deux modèles concluent sur des habitats favorables semblables et montrent que la distribution des rorquals communs est liée aux paramètres topographiques, principalement la profondeur qui semble être le facteur le plus significatif, avec une localisation principalement au delà des 2 000 m de profondeur, mais également liée à des variables environnementales telles que la production primaire et la température de surface. Par contre la distribution des cachalots est très fortement liée à la pente selon l'ENFA, tandis que la régression logistique montre une forte corrélation avec la profondeur, la distance à la côte et la variabilité mensuelle : le cachalot se localise préférentiellement sur la marge continentale. La régression logistique donne des taux de prédictions correctes de 68,9 % pour le rorqual commun et de 64,9 % pour le cachalot, et l'Index de Boyce est de 0,6 +/- 0,2 et de 0,2 +/- 0,6 respectivement pour l'ENFA. Ces deux techniques montrent donc des résultats complémentaires particulièrement pour le rorqual commun.

Globalement, cette étude a permis d'apporter des éléments de référence pour l'ensemble du Sanctuaire pour six espèces de cétacés ainsi que de définir les habitats favorables potentiels des deux grands cétacés sur une période de quinze ans. Ces cartes devraient être utiles aux gestionnaires pour estimer les zones potentiellement menacées par certaines activités anthropiques.

SOMMAIRE

CHAPITRE I -	MATERIEL ET METHODES.....	23
I -	LES DONNEES UTILISEES	23
I.A	<i>Les bases de données cétacés</i>	23
1-	Les observations opportunistes	24
2-	Les données scientifiques avec effort associé	26
3-	Les données des échouages.....	28
I.B	<i>Les données environnementales</i>	29
1-	Les données topographiques	29
2-	Les données issues de la télédétection.....	29
II -	LES METHODES D'ANALYSES.....	31
II.A	<i>La distribution des observations</i>	31
1-	Les cartes de distribution.....	31
2-	L'estimation des abondances relatives.....	31
3-	Le modèle géostatistique de krigeage	33
II.B	<i>Caractérisation de l'habitat des cétacés</i>	35
1-	Analyse des conditions environnementales associées aux observations pour les six espèces	35
2-	Analyse factorielle de la niche écologique (ENFA) pour le rorqual et le cachalot – analyse de données.....	37
3-	Modélisation de la distribution du rorqual commun et du cachalot par régression	
logistique	40
a)	Principe mathématique.....	40
b)	Découpage des données	41
c)	Détermination du modèle	43
d)	Validation partielle du modèle	43
CHAPITRE II -	RESULTATS.....	45
I -	DISTRIBUTION	45
I.A	<i>Les données des échouages</i>	45
I.B	<i>Les observations en mer</i>	48
1-	Composition spécifique des observations	48
2-	Répartition des six espèces de cétacés dans le Sanctuaire	52
a)	Le rorqual commun	54
b)	Le cachalot	57
c)	Le globicéphale noir	60
d)	Le dauphin de Risso.....	63
e)	Le grand dauphin	66
f)	Le dauphin bleu et blanc	69
II -	ABONDANCE RELATIVE ET ANALYSE GEOSTATISTIQUE	72
II.A	<i>Abondance relative</i>	72
II.B	<i>Abondance relative par maille</i>	83
1-	Effort d'observation.....	83
2-	Le rorqual commun.....	87
3-	Le cachalot	90
4-	Le globicéphale noir	91
5-	Le dauphin de Risso.....	92
6-	Le grand dauphin.....	93
7-	Le dauphin bleu et blanc	94
8-	Richesse spécifique.....	97
II.C	<i>Modèle géostatistique d'abondance relative pour le rorqual commun et le cachalot.</i>	
1-	Le rorqual commun.....	99
2-	Le cachalot	101
III -	CARACTERISATION ENVIRONNEMENTALE DE L'HABITAT DES CETACES	103
III.A	<i>Les variations inter-annuelles des paramètres environnementaux</i>	103
III.B	<i>Analyses des conditions environnementales associées aux observations</i>	108
1-	Comparaison entre les six espèces.....	108
2-	Détermination des zones environnementales favorables de chaque espèce	115
a)	Le rorqual commun	116
b)	Le cachalot.....	119

c)	Le globicéphale noir	122
d)	Le dauphin de Risso.....	125
e)	Le grand dauphin	128
f)	Le dauphin bleu et blanc	131
III.C	<i>Modélisation de l'habitat préférentiel du rorqual et du cachalot.....</i>	134
1-	Analyse factorielle de la niche écologique (ENFA).....	134
a)	Le rorqual commun	134
b)	Le cachalot.....	145
2-	Modélisation par régression logistique	157
a)	Le rorqual commun	157
b)	Le cachalot.....	164
CHAPITRE III -	DISCUSSION.....	170
I -	NATURE ET EXPLOITATION DES DONNEES	172
I.A	<i>Les données cétacés</i>	172
1-	Source de données	172
2-	Collecte des données	173
I.B	<i>Les données environnementales.....</i>	174
II -	DISTRIBUTION, ABONDANCE RELATIVE ET HABITAT PREFERENTIEL DES ESPECES	177
II.A	<i>Le rorqual commun</i>	177
II.B	<i>Le cachalot.....</i>	183
II.C	<i>Le globicéphale</i>	186
II.D	<i>Le Dauphin de Risso.....</i>	188
II.E	<i>Le grand dauphin</i>	191
II.F	<i>Le dauphin bleu et blanc.....</i>	193
II.G	<i>Les autres espèces</i>	197
II.H	<i>Diversité spécifique du Sanctuaire PELAGOS</i>	197
III -	PRECISION DES MODELES.....	199
III.A	<i>Intérêt de ces types d'analyses.....</i>	199
III.B	<i>Les analyses géostatistiques</i>	200
1-	L'analyse géostatistique pour le rorqual commun	201
2-	L'analyse géostatistique pour le cachalot	201
III.C	<i>L'ENFA.....</i>	202
1-	L'ENFA pour le rorqual commun	202
2-	L'ENFA pour le cachalot.....	203
III.D	<i>La régression logistique</i>	205
1-	La régression logistique pour le rorqual commun.....	205
2-	La régression logistique pour le cachalot	206
III.E	<i>Comparaison des différents types de modélisations</i>	206
CHAPITRE IV -	CONCLUSION-PERSPECTIVES.....	209

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Schéma explicatif de la méthode de jointure des différentes variables environnementales considérées sous ArcView 9.3.	35
Figure 2. Répartition des observations de chaque espèce entre 1994 et 2008.....	51
Figure 3. Répartition des individus observés pour chaque espèce entre 1994 et 2008.	52
Figure 4. Répartition spécifique du nombre d'observations (en %) collectées entre 1994 et 2008 lors des campagnes avec effort associé.	77
Figure 5. Répartition spécifique du nombre d'individus (en %) observés entre 1994 à 2008 lors des campagnes avec effort associé.	77
Figure 6. Evolution du nombre d'observations cumulées de cétacés faites lors des campagnes avec effort associé (barre bleue) avec le nombre de kilomètres parcourus au cours de l'année (courbe rouge).	78
Figure 7. Evolution du nombre d'observations par kilomètre parcouru en effort et du nombre d'échouages enregistrés chaque année dans la zone d'étude.	79
Figure 8. Evolution du nombre de rorquals communs comptabilisés par kilomètre parcouru en effort et du nombre d'échouages de la même espèce enregistrés chaque année dans la zone d'étude.	80
Figure 9. Evolution du nombre de cachalots comptabilisés par kilomètre parcouru en effort et du nombre d'échouages de la même espèce enregistrés chaque année dans la zone d'étude.	80
Figure 10. Evolution du nombre de globicéphales noirs comptabilisés par kilomètre parcouru en effort et du nombre d'échouages de la même espèce enregistrés chaque année dans la zone d'étude.	81
Figure 11. Evolution du nombre de dauphins de Risso comptabilisés par kilomètre parcouru en effort et du nombre d'échouages de la même espèce enregistrés chaque année dans la zone d'étude.	81
Figure 12. Evolution du nombre de grands dauphins comptabilisés par kilomètre parcouru en effort et du nombre d'échouages de la même espèce enregistrés chaque année dans la zone d'étude.	82
Figure 13. Evolution du nombre de dauphins bleu et blanc comptabilisés par kilomètre parcouru en effort et du nombre d'échouages de la même espèce enregistrés chaque année dans la zone d'étude.	82
Figure 14. Evolution mensuelle de la température de surface de la mer (°C) de 1994 à 2007 (satellite Pathfinder).	104
Figure 15. Evolution mensuelle de la concentration en chlorophylle a (mg Chla.m ⁻³) de 1998 à 2007 (satellite SeaWiFS).	105
Figure 16. Evolution mensuelle de la température (°C) moyenne de surface entre février et septembre de 1993 à 2008.	106
Figure 17. Evolution de la moyenne de la concentration de chlorophylle a (mg Chla.m ⁻³) entre février et septembre de 1998 à 2008.	106
Figure 18. Evolution de la production primaire nette (gC.m ⁻² .j ⁻¹) moyenne entre février et septembre de 1998 à 2008.	107
Figure 19. Variation mensuelle (toutes années confondues) des médianes de profondeur (en mètres) pour les six espèces de cétacés.	109
Figure 20. Diagrammes en boîte représentant la distribution des observations par rapport à la profondeur pour les six espèces de cétacés. Le rectangle représentant la limite du 1 ^{er} et du 3 ^e quartile, et le trait central la médiane.	109
Figure 21. Comparaison de la distribution de l'effort d'observation sur quatre strates de profondeur. Transects réalisés de 1998 à 2008 (par les structures françaises).	110

Figure 22. Comparaison de la distribution des six espèces sur quatre strates de profondeur. Observations en effort de 1998 à 2008 (des structures françaises).	110
Figure 23. Variation mensuelle (toutes années confondues) des médianes de distance à la côte (en km) pour les six espèces de cétacés.	111
Figure 24. Diagrammes en boîte représentant la distribution des observations par rapport à la distance à la côte pour les six espèces de cétacés. Le rectangle représentant la limite du 1 ^{er} et du 3 ^e quartile, et le trait central la médiane.	111
Figure 25. Variation mensuelle (toutes années confondues) des médianes de température de surface (°C) pour les six espèces de cétacés.	112
Figure 26. Diagrammes en boîte représentant la distribution des observations vis-à-vis de la température de surface pour les six espèces de cétacés. Le rectangle représentant la limite du 1 ^{er} et du 3 ^e quartile, et le trait central la médiane.	112
Figure 27. Variation mensuelle (toutes années confondues) des médianes de chlorophylle a (mg Chla.m-3) pour les six espèces de cétacés.	113
Figure 28. Diagrammes en boîte représentant la distribution des observations vis à vis de la chlorophylle a pour les six espèces de cétacés. Le rectangle représentant la limite du 1 ^{er} et du 3 ^e quartile, et le trait central la médiane.	113
Figure 29. Diagrammes en boîte représentant la distribution des observations vis-à-vis de la production primaire pour les six espèces de cétacés. Le rectangle représentant la limite du 1 ^{er} et du 3 ^e quartile, et le trait central la médiane.	114
Figure 30. (a) Carte d'habitat favorable du rorqual commun, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008. La zone rouge correspond à la zone la plus favorable et la blanche à la zone la moins favorable. (b) Courbe du ratio prédit sur attendu (moyenne +- SD, continu) (c) Courbe du ratio prédit sur attendu (moyenne +- SD, boîtes).	135
Figure 31. (a) Carte d'habitat favorable (en rouge) du rorqual commun, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008. (b) Courbe du ratio prédit sur attendu (moyenne +- SD, continu) (c) Courbe du ratio prédit sur attendu (moyenne +- SD, boîtes).	137
Figure 32. (a) Carte d'habitat favorable du rorqual commun, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois de juin. La zone rouge correspond à la zone la plus favorable et la blanche à la zone la moins favorable. (b) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.494+/-0.23, continu) (c) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.723+/- 0.18, boîtes).	138
Figure 33. (a) Carte d'habitat favorable du rorqual commun, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois de juillet. La zone rouge correspond à la zone la plus favorable et la blanche à la zone la moins favorable. (b) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.041+/-0.52, continu) (c) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.186+/- 0.5, boîtes).	139
Figure 34. (a) Carte d'habitat favorable (en rouge) du rorqual commun, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois de juillet (b) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.0941 +- 0.392, continu) (c) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.331 +- 0.2605, boîtes).	140
Figure 35. (a) Carte d'habitat favorable du rorqual commun, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois d'août. (b) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.0731 +- 0.3666, continu) (c) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.76 +- 0.3072, boîtes).	141
Figure 36. (a) Carte d'habitat favorable (en rouge) du rorqual commun, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois d'août (b) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.371 +- 0.2371, continu) (c) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.54 +- 0.2835, boîtes).	142

Figure 37. (a) Carte d'habitat favorable du rorqual commun, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois de septembre. (b) Courbe du ratio prédit sur attendu (-0.121 +- 0.4438, continu) (c) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.417 +- 0.5863, boîte).....	143
Figure 38. (a) Carte d'habitat favorable (en rouge) du rorqual commun, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois de septembre. (b) Courbe du ratio prédit sur attendu (-0.195 +- 0.4669, continu) (c) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.312 +- 0.6567, boîtes).	144
Figure 39. (a) Carte d'habitat favorable du cachalot, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008. La zone rouge correspond à la zone la plus favorable et la blanche à la zone la moins favorable (b) Courbe du ratio prédit sur attendu (moyenne +- SD, continu) (c) Courbe du ratio prédit sur attendu (moyenne +- SD, boîtes).	146
Figure 40. (a) Carte d'habitat favorable (en rouge) du cachalot, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008. (b) Courbe du ratio prédit sur attendu (moyenne +- SD, continu) (c) Courbe du ratio prédit sur attendu (moyenne +- SD, boîtes).	147
Figure 41: Carte d'habitat favorable du cachalot, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois de juin. La zone rouge correspond à la zone la plus favorable et la blanche à la zone la moins favorable.	149
Figure 42. Carte d'habitat favorable (en rouge) cachalot, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois de juin.	150
Figure 43 (a) Carte d'habitat favorable (en rouge) du cachalot, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois de juillet. (b) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.166 +- 0.5325, continu) (c) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.431 +- 0.6144).....	151
Figure 44. Carte d'habitat favorable (en rouge) du cachalot ; données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois de juillet.	152
Figure 45. (a) Carte d'habitat favorable du cachalot, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois d'août. (b) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.409 +- 0.4614, continu) (c) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.574 +-0.5078).....	153
Figure 46. (a) Carte d'habitat favorable (en rouge) du cachalot, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois d'août. (b) Courbe du ratio prédit sur attendu (-0.124 +- 0.4542, continu) (c) Courbe du ratio prédit sur attendu (-0.236 +- 0.482).....	154
Figure 47. (a) Carte d'habitat favorable du cachalot, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois de septembre. (b) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.348 +- 0.4587, continu) (c) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.4+- 0.586).....	155
Figure 48. (a) Carte d'habitat favorable (en rouge) du cachalot, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois de septembre. (b) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.342 +- 0.4265, continu) (c) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.498 +- 0.4122).	156
Figure 49. Répartition des segments utilisés pour l'analyse en fonction de la latitude et de la longitude. En rouge les segments avec absence, en bleu avec présence de rorquals communs.	157
Figure 50. Diagrammes en boîte représentant la distribution des segments par rapport à la variable profondeur et distance à la côte, pour les segments avec absence et présence de rorquals communs. Le rectangle représentant la limite du 1 ^{er} et du 3 ^{ème} quartile, et le trait central la médiane.	158
Figure 51. Répartition des segments utilisés pour l'analyse en fonction de la température et de la concentration en chlorophylle a, mensuelles. En rouge les segments avec absence, en bleu avec présence de rorquals communs.	158

Figure 52. Courbe ROC réalisée pour le modèle obtenu par régression logistique pour le rorqual commun.....	160
Figure 53. Répartition des segments utilisés pour l'analyse en fonction de la latitude et de la longitude. En rouge les segments avec absence, en bleu avec présence de cachalots.....	165
Figure 54. Diagrammes en boîte représentant la distribution des segments par rapport à la variable profondeur et distance à la côte, pour les segments avec absence et présence de cachalots. Le rectangle représentant la limite du 1 ^{er} et du 3 ^{ème} quartile, et le trait central la médiane.	165
Figure 55. Répartition des segments utilisés pour l'analyse en fonction de la température et de la concentration en chlorophylle a, mensuelles. En rouge les segments avec absence, en bleu avec présence de cachalots.....	166
Figure 56. Courbe ROC réalisée pour le modèle obtenu par régression logistique pour le cachalot.	167
Figure 57. Comparaison de l'évolution du taux d'abondance relative des rorquals communs (ind.km ⁻¹) de différentes études. Notre étude en rouge (trait plein données françaises en effort ; trait pointillé : données française et italiennes en effort) et les résultats obtenus sur des jeux de données indépendants de Tethys (Panigada et al., 2005) et du GREC (Laran & Gannier, 2006a).....	180
Figure 58. Comparaison des abondances absolues calculées à partir de la technique du transect linéaire (logiciel DISTANCE) (en rouge) et la technique de krigeage par bloc selon un modèle poissonnien (en noir). Les intervalles de confiance à 95 % sont représentés par les barres d'erreur verticales. (d'après Monestiez et al., 2009).....	181
Figure 59. Carte de l'habitat favorable du cachalot (la zone grisée a été supprimée des analyses). Les points noirs représentent la localisation des cellules de présence utilisée pour l'analyse (d'après Praca & Gannier 2008).	204
Figure 60. Courbe du ratio prédit-sur-attendu (moy.±SD) et seuil entre zones favorables et non favorables (flèche) pour le cachalot (la limite du modèle de hasard, ratio prédit-sur-attendu Fi=1, est indiqué par la ligne en pointillée).....	204

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Liste des structures contactées (les partenaires qui ont répondu positivement sont soulignés).	22
Tableau 2. Liste des espèces présentes dans la base de données et des codes utilisés.....	23
Tableau 3. Champs composant la base d'observations opportunistes.....	25
Tableau 4. Principales prospections en transect linéaire (en km) utilisées pour l'analyse.....	27
Tableau 5. Champs composant la base d'effort d'observation.....	28
Tableau 6. Variables environnementales estimées pour cette étude.....	42
Tableau 7. Matrice de confusion et paramètres associés.....	44
Tableau 8. Synthèse des observations (nombre d'observations par année et par espèce), faites par les différentes structures ayant participé à ce projet.....	48
Tableau 9. Effectifs des groupes observés (individus par groupe) des différentes espèces de cétacés.....	52
Tableau 10. Répartition annuelle du nombre d'observations et du nombre d'individus vus (nombre entre parenthèses) en effort d'observation, toutes structures confondues, ainsi que du nombre moyen d'individus observés par groupe.....	78
Tableau 11. Synthèse du nombre d'observations et d'individus rencontrés de six espèces de cétacés dans les limites du Sanctuaire PELAGOS, entre 1994 et 2008.....	83
Tableau 12. Synthèse des taux de rencontre (observations par kilomètre) et des abondances relatives (individus par kilomètre) annuels de rorqual commun dans le Sanctuaire.....	89
Tableau 13. Synthèse des taux de rencontre (observations par kilomètre) et des abondances relatives (individus par kilomètre) annuels de dauphin bleu et blanc dans le Sanctuaire.....	96
Tableau 14. Composition des présences de différentes espèces de cétacés dans chaque maille.....	98
Tableau 15. Caractéristiques de la distribution des observations de rorquals communs vis-à-vis de la profondeur, de la température et de la chlorophylle a.....	116
Tableau 16. Caractéristiques de la distribution des observations de cachalots vis-à-vis de la profondeur, de la température et de la chlorophylle a.....	119
Tableau 17. Caractéristiques de la distribution des observations globicéphales noirs vis-à-vis de la profondeur, de la température et de la chlorophylle a.....	122
Tableau 18. Caractéristiques de la distribution des observations de dauphins de Risso vis-à-vis de la profondeur, de la température et de la chlorophylle a.....	125
Tableau 19. Caractéristiques de la distribution des observations de grands dauphins vis-à-vis de la profondeur, de la température et de la chlorophylle a.....	128
Tableau 20. Caractéristiques de la distribution des observations de dauphins bleu et blanc vis-à-vis de la profondeur, de la température et de la chlorophylle a.....	131
Tableau 21. Table des scores de l'ENFA pour le rorqual commun, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008.....	135
Tableau 22. Coefficients des EGV pour le premier facteur de l'analyse ENFA pour le rorqual commun, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008.....	135
Tableau 23. Rorqual commun, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008. Index de Boyce continu, marginalité et spécialisation.....	135
Tableau 24. Table des scores de l'ENFA pour le rorqual commun, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008.....	136

Tableau 25. Coefficients des EGV pour le premier facteur de l'analyse ENFA pour le rorqual commun, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008.....	136
Tableau 26. Rorqual commun, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008. Index de Boyce continu, marginalité et spécialisation.	137
Tableau 27. Table des scores de l'ENFA pour le rorqual commun, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois de juin.	138
Tableau 28. Coefficients des EGV pour le premier facteur de l'analyse ENFA pour le rorqual commun, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois de juin.....	138
Tableau 29. Table des scores de l'ENFA pour le rorqual commun, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois de juillet.	139
Tableau 30. Coefficients des EGV pour le premier facteur de l'analyse ENFA pour le rorqual commun, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois de juillet.....	139
Tableau 31. Table des scores de l'ENFA pour le rorqual commun, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, mois de juillet.	140
Tableau 32. Coefficients des EGV pour le premier facteur de l'analyse ENFA pour le rorqual commun, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, mois de juillet.....	140
Tableau 33. Table des scores de l'ENFA pour le rorqual commun, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois d'août.	141
Tableau 34. Coefficients des EGV pour le premier facteur de l'analyse ENFA pour le rorqual commun, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois d'août.	141
Tableau 35. Table des scores de l'ENFA pour le rorqual commun, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois d'août.....	142
Tableau 36. Coefficients des EGV pour le premier facteur de l'analyse ENFA pour le rorqual commun, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois d'août.	142
Tableau 37. Table des scores de l'ENFA pour le rorqual commun, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois de septembre.....	143
Tableau 38. Coefficients des EGV pour le premier facteur de l'analyse ENFA pour le rorqual commun, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois de septembre.	143
Tableau 39. Table des scores de l'ENFA pour le rorqual commun, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois de septembre. ...	144
Tableau 40. Coefficients des EGVs pour le premier facteur de l'analyse ENFA pour le rorqual commun, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois de septembre.....	144
Tableau 41. Table des scores de l'ENFA pour le cachalot, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008.....	145
Tableau 42. Coefficients des EGV pour le premier facteur, de l'analyse ENFA pour le cachalot, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008.....	145
Tableau 43. Cachalot, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008. Index de Boyce continu (variant entre -1 et 1), marginalité (variant entre 0 et 1) et spécialisation (indiquant le degré de spécialisation lorsque dépassant 1)	146
Tableau 44. Table des scores de l'ENFA pour le cachalot ; données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008.....	146

Tableau 45. Coefficients des EGV pour le premier facteur, pour l'analyse ENFA pour le cachalot ; données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008.....	147
Tableau 46. Cachalot, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008. Index de Boyce continu, marginalité et spécialisation.	147
Tableau 47. Table des scores de l'ENFA pour le cachalot, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois de juin.	149
Tableau 48. Coefficients des EGV pour le premier facteur de l'analyse ENFA pour le cachalot, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois de juin	149
Tableau 49. Table des scores de l'ENFA pour le cachalot ; données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois de juin.	150
Tableau 50. Coefficients des EGV pour le premier facteur de l'analyse ENFA pour le cachalot, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois de juin.	150
Tableau 51. Table des scores de l'ENFA pour le cachalot, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois de juillet.....	151
Tableau 52. Coefficients des EGV pour le premier facteur de l'analyse ENFA pour le cachalot, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois de juillet.....	151
Tableau 53. Table des scores de l'ENFA pour le cachalot ; données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, mois de juillet.....	152
Tableau 54. Coefficients des EGV pour le premier facteur de l'analyse du cachalot ; données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, mois de juillet.....	152
Tableau 55. Table des scores de l'ENFA pour le cachalot, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois d'août.	153
Tableau 56. Coefficients des EGV pour le premier facteur, pour l'analyse du cachalot, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois d'août.....	153
Tableau 57. Table des scores de l'ENFA pour le cachalot ; données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois d'août.....	154
Tableau 58. Coefficients des EGV pour le premier facteur, pour l'analyse ENFA pour le cachalot, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois d'août.	154
Tableau 59. Table des scores de l'ENFA pour le cachalot, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois de septembre.....	155
Tableau 60. Coefficients des EGV pour le premier facteur, pour l'analyse ENFA pour le cachalot, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois d'août.	155
Tableau 61. Table des scores de l'ENFA pour le cachalot ; données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois de septembre.....	156
Tableau 62. Coefficients des EGV pour le premier facteur, pour l'analyse ENFA pour le cachalot, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois de septembre.....	156
Tableau 63. Résultat du modèle obtenu par régression logistique pour le rorqual commun.....	159
Tableau 64. Résultat du modèle obtenu par régression logistique pour le cachalot.	166
Tableau 65. Distribution estivale des espèces par observations (en %).	173

LISTE DES CARTES

Carte 1. Présentation générale de la zone d'étude : le Sanctuaire PELAGOS.	21
Carte 2. Répartition des échouages (ou collisions) des rorquals, des cachalots et des grands cétacés entre 1999 et 2008.	46
Carte 3. Répartition des échouages des globicéphales noirs et des dauphins de Risso entre 1999 et 2007.	46
Carte 4. Répartition des échouages des grands dauphins entre 1999 et 2008.	47
Carte 5. Répartition des échouages des dauphins bleu et blanc entre 1999 et 2008.	47
Carte 6. Représentation de toutes les observations de cétacés de 1994 à 2008 compilées pour ce programme.	53
Carte 7. Distribution des observations de rorquals communs entre 1994 et 2008.	54
Carte 8. Distribution annuelle des observations de rorquals communs de 1994 à 2001.	55
Carte 9. Distribution annuelle des observations de rorquals communs de 2002 à 2008.	56
Carte 10. Distribution des observations de cachalots entre 1994 et 2008.	57
Carte 11. Distribution annuelle des observations de cachalots de 1994 à 2002.	58
Carte 12. Distribution annuelle des observations de cachalots de 2003 à 2008.	59
Carte 13. Distribution des observations de globicéphales noirs entre 1994 et 2008.	60
Carte 14. Distribution annuelle des observations de globicéphales noirs entre 1994 et 2001.	61
Carte 15. Distribution annuelle des observations de globicéphales noirs de 2002 à 2008.	62
Carte 16. Distribution des observations de dauphins de Risso entre 1994 et 2008.	63
Carte 17. Distribution annuelle des observations de dauphins de Risso de 1994 à 2001.	64
Carte 18. Distribution annuelle des observations de dauphins de Risso de 2002 à 2008.	65
Carte 19. Distribution des observations de grands dauphins entre 1994 et 2008.	66
Carte 20. Distribution annuelle des observations de grands dauphins de 1994 à 2002.	67
Carte 21. Distribution annuelle des observations de grands dauphins de 2003 à 2008.	68
Carte 22. Distribution des observations de dauphins bleu et blanc entre 1994 et 2008.	69
Carte 23. Distribution annuelle des observations de dauphins bleu et blanc de 1994 à 2001.	70
Carte 24. Distribution annuelle des observations de dauphins bleu et blanc de 2002 à 2008.	71
Carte 25. Transects réalisés en effort d'observation entre 1994 et 2008.	72
Carte 26. Transects réalisés en effort d'observation de 1994 à 2001.	74
Carte 27. Transects réalisés en effort d'observation de 2002 à 2008.	75
Carte 28. Synthèse de l'effort de prospection estival réalisé entre 1994 et 2008 en Méditerranée nord-occidentale. Effort significatif par maille au-delà de 16 km.	84
Carte 29. Effort de prospection estival annuel réalisé entre 1994 et 2001. Effort significatif par maille au-delà de 8 km.	85
Carte 30. Effort de prospection estival annuel réalisé entre 2005 et 2008. Effort significatif par maille au-delà de 8 km.	86
Carte 31. Abondance relative du rorqual commun en période estivale, années 1994 à 2008 cumulées, en Méditerranée nord-occidentale. Effort significatif par maille au-delà de 16 km.	87
Carte 32. Abondance relative annuelle du rorqual commun en période estivale, entre 1994 et 2006, en Méditerranée nord-occidentale. Effort significatif par maille au-delà de 8 km.	88
Carte 33. Abondance relative annuelle du rorqual commun en période estivale, entre 2007 et 2008, en Méditerranée nord-occidentale. Effort significatif par maille au-delà de 8 km.	89
Carte 34. Abondance relative du cachalot en période estivale, années 1994 à 2008 cumulées, en Méditerranée nord-occidentale. Effort significatif par maille au-delà de 16 km.	90

Carte 35. Abondance relative du globicéphale noir en période estivale, années 1994 à 2008 cumulées, en Méditerranée nord-occidentale. Effort significatif par maille au-delà de 16 km.	91
Carte 36. Abondance relative du dauphin de Risso en période estivale, années 1994 à 2008 cumulées, en Méditerranée nord-occidentale. Effort significatif par maille au-delà de 16 km.	92
Carte 37. Abondance relative du grand dauphin en période estivale, années 1994 à 2008 cumulées, en Méditerranée nord-occidentale. Effort significatif par maille au-delà de 16 km.	93
Carte 38. Abondance relative du dauphin bleu et blanc en période estivale, années 1994 à 2008 cumulées, en Méditerranée nord-occidentale. Effort significatif par maille au-delà de 16 km.	94
Carte 39. Abondance relative annuelle du dauphin bleu et blanc en période estivale, entre 1994 et 2001, en Méditerranée nord-occidentale. Effort significatif par maille au-delà de 8 km.	95
Carte 40. Abondance relative annuelle du dauphin bleu et blanc en période estivale, entre 2005 et 2008, en Méditerranée nord-occidentale. Effort significatif par maille au-delà de 8 km.	96
Carte 41. Richesse spécifique des cétacés en Méditerranée nord-occidentale entre 1994 et 2008.	97
Carte 42. Cartographie des valeurs krigées (espérance du nombre d'observations de rorquals communs par kilomètre d'effort), années 1994 à 2008 cumulées.	99
Carte 43. Cartographie des variances krigées (carré de l'erreur du nombre moyen des observations de rorquals communs par kilomètre d'effort), années 1994 à 2008 cumulées. En jaune et rouge les fortes variances.	100
Carte 44. Cartographie des valeurs krigées (espérance du nombre d'observations de cachalots par kilomètre d'effort), années 1994 à 2008 cumulées.	101
Carte 45. Cartographie des variances krigées (carré de l'erreur du nombre moyen des observations de cachalots par kilomètre d'effort), années 1994 à 2008 cumulées. En jaune et rouge les fortes variances.	102
Carte 46. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois de juin pour le rorqual commun, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1 ^{er} et 3 ^{ème} quartiles.	117
Carte 47. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois de juillet pour le rorqual commun, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1 ^{er} et 3 ^{ème} quartiles.	117
Carte 48. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois d'août pour le rorqual commun, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1 ^{er} et 3 ^{ème} quartiles.	118
Carte 49. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois de septembre pour le rorqual commun, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1 ^{er} et 3 ^{ème} quartiles.	118
Carte 50. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois de juillet pour le cachalot, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1 ^{er} et 3 ^{ème} quartiles.	120
Carte 51. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois d'août pour le cachalot, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1 ^{er} et 3 ^{ème} quartiles.	120
Carte 52. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois de septembre pour le cachalot, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1 ^{er} et 3 ^{ème} quartiles.	121
Carte 53. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois de juillet pour le globicéphale noir, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1 ^{er} et 3 ^{ème} quartiles.	123

Carte 54. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois d'août pour le globicéphale noir, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1 ^{er} et 3 ^{ème} quartiles.....	123
Carte 55. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois de septembre pour le globicéphale noir, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1 ^{er} et 3 ^{ème} quartiles.	124
Carte 56. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois de juillet pour le dauphin de Risso, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1 ^{er} et 3 ^{ème} quartiles.....	126
Carte 57. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois d'août pour le dauphin de Risso, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1 ^{er} et 3 ^{ème} quartiles.....	126
Carte 58. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois de septembre pour le dauphin de Risso, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1 ^{er} et 3 ^{ème} quartiles.	127
Carte 59. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois de juin pour le grand dauphin, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1 ^{er} et 3 ^{ème} quartiles.....	129
Carte 60. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois de juillet pour le grand dauphin, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1 ^{er} et 3 ^{ème} quartiles.....	129
Carte 61. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois d'août pour le grand dauphin, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1 ^{er} et 3 ^{ème} quartiles.....	130
Carte 62. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois de septembre pour le grand dauphin, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1 ^{er} et 3 ^{ème} quartiles.....	130
Carte 63. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois de juin pour le dauphin bleu et blanc, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1 ^{er} et 3 ^{ème} quartiles.....	132
Carte 64. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois de juillet pour le dauphin bleu et blanc, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1 ^{er} et 3 ^{ème} quartiles.....	132
Carte 65. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois d'août pour le dauphin bleu et blanc, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1 ^{er} et 3 ^{ème} quartiles.....	133
Carte 66. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois de septembre pour le dauphin bleu et blanc, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1 ^{er} et 3 ^{ème} quartiles.	133
Carte 67. Prédiction de présence du rorqual commun en juin obtenue par modélisation (régression logistique) et estimée à partir des conditions environnementales moyennes (climatologie 1998-2008).	161
Carte 68. Prédiction de présence du rorqual commun en juillet obtenue par modélisation (régression logistique) et estimée à partir des conditions environnementales moyennes (climatologie 1998-2008).	161

Carte 69. Prédiction de présence du rorqual commun en août obtenue par modélisation (régression logistique) et estimée à partir des conditions environnementales moyennes (climatologie 1998-2008).	162
Carte 70. Prédiction de présence du rorqual commun en septembre obtenue par modélisation (régression logistique) et estimée à partir des conditions environnementales moyennes (climatologie 1998-2008).	162
Carte 71. Prédiction de présence du rorqual commun obtenue par modélisation (régression logistique) à différentes périodes.	163
Carte 72. Prédiction de présence du cachalot en juin obtenue par modélisation (régression logistique).	168
Carte 73. Prédiction de présence du cachalot en juillet obtenue par modélisation (régression logistique).	168
Carte 74. Prédiction de présence du cachalot en août obtenue par modélisation (régression logistique).	169
Carte 75. Prédiction de présence du cachalot en septembre obtenue par modélisation (régression logistique).	169
Carte 76. Principaux sites de pollutions terrestres situés autour du Sanctuaires PELAGOS (http://prtr.ec.europa.eu/MapSearch.aspx - décembre 2009).....	171
Carte 77. Intensité de trafic des grands navires (ferry + NGV+navires marchands) en période estivale (en km par cellule) (David, 2005).	171
Carte 78. Synthèse des connaissances concernant la distribution du rorqual commun en Méditerranée. (Reeves & Notarbartolo di Sciara, 2006).....	178
Carte 79. Observations de dauphins bleu et blanc lors de suivis à bord de ferry (d'après Arcangelli et al., 2009).	194
Carte 80. Cartographie des valeurs krigées du rorqual commun (en couleur) et du cachalot (en noir), années 1994 à 2008 cumulées.	198
Carte 81. Zone de répartition des cétacés par régime alimentaire (données en effort) 1994-2008 ...	199

TABLE DES ABREVIATIONS

AUC	<i>Area Under the Curve</i> ou aire sous la courbe qui correspond à l'intégrale de la fonction sur l'intervalle.
Chl a	Chlorophylle a
CV	Coefficient de variation
ENFA	<i>Ecological Niche Factorial Analysis</i> ou Analyse factorielle des niches écologiques
GLM	<i>Generalized Linear Model</i> ou modèle linéaire généralisé
NPP	<i>Net Primary Production</i> ou production primaire nette
ROC	<i>Receiver Operating Characteristic curve</i> , c'est la représentation graphique de la sensibilité vs. (1 - spécificité) pour une variable binaire
SE	<i>Standard error</i> ou erreur type
SST	<i>Sea Surface Temperature</i> ou température de surface de la mer
95% IC	Intervalle de confiance à 95%

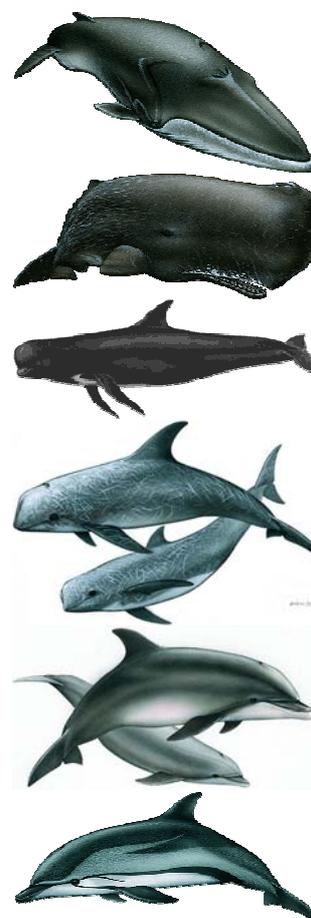
ANALYSE SPATIO-TEMPORELLE DE LA DISTRIBUTION DES CETACES EN RELATION AVEC LES PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX

- RAPPORT FINAL -

Dix-huit espèces de cétacés sont présentes, au moins occasionnellement, en Méditerranée nord-occidentale. Huit d'entre elles sont considérées comme communes dans les eaux du Sanctuaire PELAGOS (Notarbartolo di Sciara et al., 2008) (Carte 1). Il s'agit, par ordre décroissant de taille : chez les Mysticètes du rorqual commun (*Balaenoptera physalus*), et chez les Odontocètes : du cachalot commun (*Physeter macrocephalus*), de la baleine à bec de Cuvier (*Ziphius cavirostris*), du globicéphale noir (*Globicephala melas*), du dauphin de Risso (*Grampus griseus*), du grand dauphin (*Tursiops truncatus*), du dauphin bleu et blanc (*Stenella coeruleoalba*) et du dauphin commun (*Delphinus delphis*).

Dans cette étude, nous nous intéresserons aux six espèces les plus fréquentes dans le Sanctuaire PELAGOS, à savoir :

- Le rorqual commun *Balaenoptera physalus*
- le cachalot *Physeter macrocephalus*
- le globicéphale noir *Globicephala melas*
- le dauphin de Risso *Grampus griseus*
- le grand dauphin *Tursiops truncatus*
- le dauphin bleu et blanc *Stenella coeruleoalba*

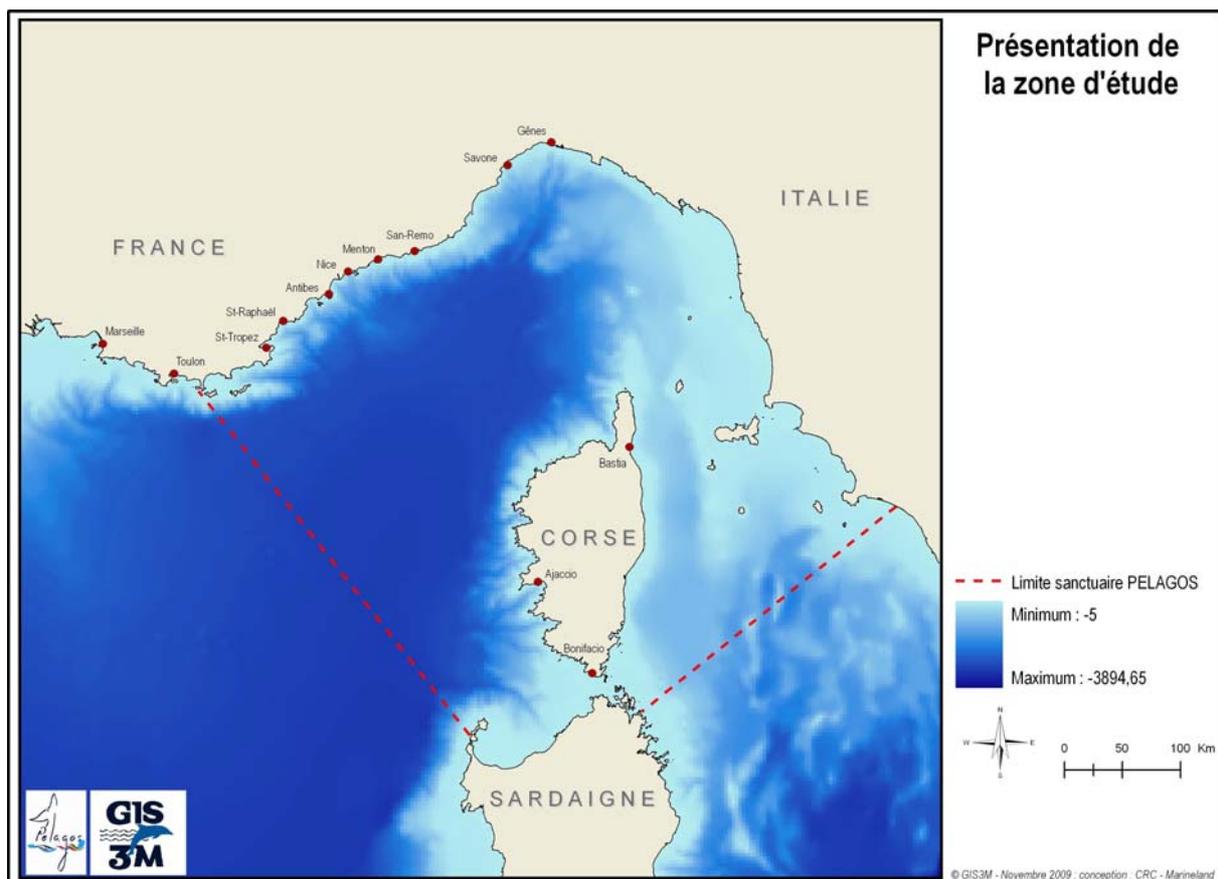


Illustrations : M. WURTZ

Profitant de la collaboration de plusieurs structures au sein du *Groupement d'Intérêt Scientifique pour les Mammifères Marins de Méditerranée et leur environnement* (GIS3M), nous avons démarré la mise en commun de nos données (CRC-Marineland, GECEM, WWF, Souffleurs d'écumes et EcoOcéan Institut¹) pour ce programme. Une collaboration à ce projet a ensuite été proposée à d'autres organismes. Ce regroupement temporaire des bases de données scientifiques ou non scientifiques a pour objectif d'analyser certains paramètres précis : la distribution des principales espèces de cétacés notamment dans le Sanctuaire PELAGOS, la quantification relative de leur présence et la description des paramètres environnementaux caractérisant leur répartition.

De plus, pour le rorqual commun et le cachalot, deux espèces fortement concernées par les interactions avec le trafic maritime, des méthodes de modélisation de leur distribution et de caractérisation de leurs niches écologiques ont été appliquées.

Le contact des différents partenaires potentiels (Tableau 1) s'est fait par l'envoi d'un courrier en français et en anglais (Annexe 1), afin de leur proposer de collaborer au projet. Lorsque nous avons obtenu une réponse positive (structures soulignées dans le Tableau 1) nous avons mis en place une convention pour l'échange des données (Annexe 2).



Carte 1. Présentation générale de la zone d'étude : le Sanctuaire PELAGOS.

¹ EOI

Tableau 1. Liste des structures contactées (les partenaires qui ont répondu positivement sont soulignés).

Pays	Structure	Contact	E-mail	Courrier	Relance
France	GREC	Alexandre Gannier	assgrec@wanadoo.fr	X	X
France	EPHE	Pierre Beaubrun	pierre-christian.beaubrun@cefe.cnrs.fr	X	X
France	CIESM	Pierre Beaubrun	pierre-christian.beaubrun@cefe.cnrs.fr	X	X
France	<u>Sos Grand bleu</u>	Jean-Pierre Sidois	gb@sosgrandbleu.asso.fr	X	
France	Ketos	Roger Arquier		X	X
France	BREACH	Nadège Gandilhon	nadege.gandilhon@breach-asso.org	X	X
France	<u>Baleines et Dauphins sans frontières</u>	Pierre Serra	whalesbdsf@yahoo.fr	X	
France	CETUS		CETUS@wanadoo.fr	X	
France	<u>Regard du Vivant (WW*)</u>	Thomas Roger	info@regard-du-vivant.fr	X	
France	<u>Participe Futur</u>	Jacques Landron	jacques.landron@orange.fr		
France	<u>Cybelle planète</u>	Céline Arnal	celine.arnal@cybelle-planete.org		
France	<u>Corsica Mare osservazione**</u>		corsica.mare@wanadoo.fr	X	X
France	CARI	Cathy Césarini	cathy.cesarini@wanadoo.fr	X	
France	<u>Swiss Cetacean Society</u>		scs1@vtxnet.ch		
Monaco	CIESM	Pierre Beaubrun / Frédéric Brian	fbriand@ciesm.org	X	X
Italie	Université de Gênes	M. Wurtz	wurtz-ge@unige.it	X	
Italie	Tethys	G. Beari	giovanni.bearzi@gmail.com	X	
Italie	"	S. Panigada	panigada@inwind.it	X	
Italie	Université de Gênes	Giulio Relini	biolmar@unige.it	X	
Italie	Leviatano	Luca Marini	aleviatano@hotmail.com	X	
Italie	BDRI	Bruno Diaz Lopez	bruno@thebdri.com	X	
Italie	Blue West (WW*)	Barbara Nani	barbara.nani@tiscalinet.it	X	
Italie	Blue West (WW*)	Alberto Sturlese	sturlese@tiscali.it	X	
Italie	<u>Aquarium de Gênes</u>	Guido Gnone	ggnone@acquariodigenova.it	X	
Italie	IFAW	Tim Lewis	tlewis@ifaw.org	X	
Italie	"		sotwteam@ifaw.org	X	
Italie	ICRAM	Giancarlo Lauriano	g.lauriano@icram.org	X	
Italie	Université de Pavia	Giovanni Pavan	gianni.pavan@unipv.it	X	
Italie	Ischia Dolphin Project	Barbara Mussi	barbara@delphismdc.org	X	
Italie	WWF Ligurie	Roberta Trucchi	r.trucchi@mclink.it	X	
Italie	<u>CETUS</u>	Silvio Nuti	cetus@supereva.it	X	

* WW : structure de whale-watching. ** données reçues trop tard pour être intégrées à l'étude

Chapitre I - Matériel et méthodes

Nous présenterons tout d'abord les détails de la base de donnée compilée pour ce programme et ses différentes subdivisions en fonction du type de données récoltées, à savoir des observations sans trajet en effort associé ou des observations associées avec des trajets en effort (ou transects). Dans une seconde partie, les différentes méthodes de traitement réalisées par les co-auteurs de cette étude seront présentées.

I - Les données utilisées

I.A Les bases de données cétacés

Suite à la collecte des données des différents partenaires, une longue phase d'homogénéisation des bases de données a été réalisée par les deux structures (EcoOcéan Institut et CRC), ainsi qu'une sélection des transects réalisés en effort d'observation (saisie, vérification). Pour l'effort d'observation, le tri s'est effectué sur des critères prédéfinis : rigueur du protocole, type de plate-forme et vitesse, nombre d'observateurs expérimentés, conditions météorologiques.

L'homogénéisation s'est faite sur le format des données mais aussi sur la mise en place d'une codification commune comme par exemple pour le nom des espèces (Tableau 2).

Tableau 2. Liste des espèces présentes dans la base de données et des codes utilisés.

Id	Nom latin	Nom commun	Abréviation
1	<i>sp.</i>	Cétacé indéterminé	Indet
2	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	Rorqual à museau pointu	Ba
4	<i>Balaenoptera physalus</i>	Rorqual commun	Bp
5	<i>Balaenoptera sp.</i>	Rorqual sp.	Rorq sp
6		Grand cétacé indéterminé	GCI
7		Moyen cétacé indéterminé	MCI
8		Petit cétacé indéterminé	PCI
9	<i>Delphinus delphis</i>	Dauphin commun	Dd
10	<i>Globicephala melas</i>	Globicéphale noir	Gm
11	<i>Grampus griseus</i>	Dauphin de Risso	Gg
15	<i>Physeter macrocephalus</i>	Cachalot	Pm
17	<i>Stenella coeruleoalba</i>	Dauphin bleu et blanc	Sc
20	<i>Tursiops truncatus</i>	Grand dauphin	Tt
21	<i>Ziphius cavirostris</i>	Baleine à bec de Cuvier	Zc

Toutes les bases ont donc été rassemblées en deux bases communes et homogènes : une base rassemblant l'ensemble des observations sans effort associé (base « observation »), l'autre comportant les trajets réalisés en effort d'observation et les détections de cétacés associées (base « effort »). Ces deux bases ont ensuite été utilisées comme point de départ pour toutes les analyses.

Cependant les données fournies par le CETUS Italie et l'Aquarium de Gênes ont été reçues tardivement. Ces données ne sont pas dans un format compatible et ne possèdent pas un détail d'information suffisant pour une partie des analyses ; elles n'ont été intégrées que dans les parties abondance relative sur maillage, krigeage et ENFA de cette étude.

1- Les observations opportunistes

Les données d'observations opportunistes proviennent d'organismes très divers. Certaines ont été transmises par des plaisanciers, des associations ou des structures de recherche. D'autres données proviennent de structures de Whale-watching ou d'associations à but scientifique. Toutes ces observations ont été intégrées dans la base de donnée uniquement après vérification.

Les données scientifiques

Les données collectées par l'OTAN - Undersea Research Center entre 1995 et 2006 nous ont été transmises pour le projet. Cela représente plus de 1 500 observations réalisées dans le Sanctuaire PELAGOS. Elles ont été collectées essentiellement à partir du R/V Alliance (navire de 93 m de long). Cette plate-forme est très différente des autres plates-formes (hauteur d'observation et vitesse) qui ont permis la collecte des données de cette étude (plus petites et avec des observateurs bien moins hauts sur l'eau). A cause de cette différence, nous n'avons pas pu utiliser les données d'effort associé car ces données n'auraient pas été homogènes avec les autres échantillonnages dont nous disposons (voir Tableau 4).

De même, pour les données collectées par l'EPHE-Souffleurs d'Ecume en 2001 à bord de ferries (245 observations), seules les observations ont été considérées et non l'effort.

Les données collectées par l'Aquarium de Gênes et par l'association CETUS Italie, ont été également intégrées à ce pool de données et non aux données en effort uniquement pour certaines analyses.

Enfin, les données collectées entre 2005 et 2008 par EcoOcéan Institut lors de vols à bord d'hélicoptères de la Marine Nationale (programme IMPACT-CET), ont été mises uniquement dans la base de données d'observations opportunistes car ces données ont été collectées selon des conditions très différentes (méthode du transect de bande, plateforme, vitesse, etc.).

Les données du whale-watching et des structures de sensibilisation

Les structures telles que Baleines et Dauphins sans Frontières, Regard du Vivant ou Sos Grand Bleu ont montré leur intérêt à collaborer à ce projet.

Ces données seront utilisées sans effort associé, mais apporteront des informations sur la répartition des espèces et la caractérisation de leur habitat préférentiel.

Les autres données (Douanes, plaisanciers, etc.)

Les données des Douanes françaises collectées entre 2003 et 2005 (dont le CRC était chargé de la numérisation) ont également été intégrées à cette étude. Seules les observations considérées comme fiables (photos associées, taille de l'animal permettant de vérifier l'espèce, etc.) ont été retenues.

Toutes ces données ont donc été rassemblées sous forme d'une base de données dont la liste des champs est détaillée dans le Tableau 3. Nous avons ajouté les champs *auteur*, *organisme* et *financement* dans un souci de traçabilité des données.

Tableau 3. Champs composant la base d'observations opportunistes.

Champ	Format
Date	Date de l'observation
Heure	Heure de l'observation
Semaine	Numéro de semaine
Statut	Animal observé en Effort ou Observation
Latitude	Degrés Minutes, centième de minutes
Longitude	Degrés Minutes, centième de minutes
Latitude décimale	Degrés décimaux
Longitude décimale	Degrés décimaux
Espèce	Nom scientifique
Code espèce	Code associé à chaque espèce
Effectif	Nombre exact d'animaux observés
Effectif minimum	Nombre minimum d'animaux observés
Effectif maximum	Nombre maximum d'animaux observés
Auteur	Auteur de la donnée
Organisme	Organisme producteur de la donnée
Financement	Financement du programme
Remarque	Toutes les informations supplémentaires

2- Les données scientifiques avec effort associé

Les données scientifiques en effort d'observation nous ont été fournies principalement par sept structures. Le nombre de kilomètres et les périodes couvertes sont synthétisés pour chaque structure dans le Tableau 4 (détails en Annexe 3).

Les données collectées dans le cadre du programme Life Linda (projet mené par le WWF et le GECM), ainsi que les données du WWF, d'EcoOcéan Institut, du CRC, d'une partie de l'EPHE² (via EcoOcean Institut), ont été intégrées à la base commune. Dans cette base se retrouvent également les données collectées par le CETUS Italie, l'Aquarium de Gênes ainsi que celles collectées pour les programmes d'EcoOcéan Institut par les associations Cybelle Planète et la Swiss Cetacean Society. L'ensemble de ces données a été collecté soit selon la méthode standardisée du transect linéaire, soit avec un effort permanent d'observation et sur des plates-formes où les trois observateurs permanents se trouvent entre 2 et 3 mètres au-dessus de l'eau (voir caractéristiques dans le tableau 4).

Toutes ces données ont été vérifiées, compilées, indexées et homogénéisées. Le format final de cette base est décrit dans le Tableau 5.

Ces données ont été utilisées pour les cartes de répartition de l'effort de prospection et d'abondance relative, tandis que seules les données françaises ont été utilisées pour comparer les taux d'abondance relative annuelle avec les échouages sur les côtes françaises de la zone d'étude, de même pour les méthodes de détermination de l'habitat préférentiel du rorqual commun et du cachalot, ces données n'ont pas été considérées pour la régression logistique. En effet, les méthodes utilisées pour la création des bases de données de l'association CETUS et de l'Aquarium de Gênes et leur format ne nous a pas permis de faire certaines manipulations précises, nécessaires à nos analyses (notamment relation et extraction avec les paramètres environnementaux pour la régression logistique).

² Ecole Pratique des Hautes Etudes

Tableau 4. Principales prospections en transect linéaire (en km) utilisées pour l'analyse.

Structure	Campagne	Année	Vit moy	Nb Observateurs	Type bateau
Cybelle Planète-EOI	IMPACT-CET	2005	4 à 6	3	Voilier
Cybelle Planète-EOI	IMPACT-CET	2006	4 à 6	3	Voilier
Cybelle Planète-EOI	IMPACT-CET	2007	4 à 6	3	Voilier
Cybelle Planète-EOI	IMPACT-CET	2008	4 à 6	3	Voilier
SCS-EOI	IMPACT-CET	2005	5 à 6.5	3	Voilier
SCS-EOI	IMPACT-CET	2006	5 à 6.5	3	Voilier
SCS-EOI	IMPACT-CET	2007	5 à 6.5	3	Voilier
SCS-EOI	IMPACT-CET	2008	5 à 6.5	3	Voilier
CRC	Sanctu99	1999	10	3	Bateau moteur
CRC	Sanctu2001	2001	10	3	Bateau moteur
CRC	Radiale corse	2001	11 à 12	3	Bateau moteur
CRC	Radiale corse	2002	11 à 12	3	Bateau moteur
CRC	Radiale corse	2003	11 à 12	3	Bateau moteur
CRC	Sc09 à Sc10	2003	7	3	Bateau moteur
CRC	Sc20 à Sc23	2004	7	3	Bateau moteur
CRC	Sc33 à Sc35	2005	7	3	Bateau moteur
CRC	Sc40 à Sc45	2006	7-6	3	Bateau moteur
CRC	Sc54 à Sc64	2007	6	3	Voilier
CRC	Biopsie I	2007	6	3	Voilier
CRC	Biopsie II	2007	6	3	Voilier
EOI	Données NDM	2000	6	3	Voilier
EOI	Données NDM	2002	6	3	Voilier
EOI	EPHE	1994	6	3	Voilier
EOI	EPHE	1995	6	3	Voilier
EOI	EPHE	1996	6	3	Voilier
EOI	EPHE	1997	6	3	Voilier
EOI	EPHE	1998	6	3	Voilier
EOI	EPHE	2000	6	3	Voilier
GECEM	Life LINDA	2000	6	Min 3	Voilier
GECEM	Life LINDA	2003	6	Min 3	Voilier
WWF	Cap Ligures	2001	5	3	Voilier
WWF-CRC	Cap cétacés / GIS3M	2008	5	3	Voilier
WWF-EOI	Cap Cétacés	2007	5	3	Voilier
WWF-EOI	Cap cétacés / GIS3M	2008	5	3	Voilier
WWF-FNH-EOI	Objectifs Cétacés	2006	5	3	Voilier
WWF-FNH-EOI	Objectifs Cétacés	2007	5	3	Voilier
CETUS Italie		2003			Catamaran
CETUS Italie		2004			Catamaran
CETUS Italie		2005			Catamaran
CETUS Italie		2006			Catamaran
CETUS Italie		2007			Catamaran
CETUS Italie		2008			Catamaran
Aquarium de Gênes	Delphini Metropolitan	2001	7-9	3	Pneumatique
Aquarium de Gênes	Delphini Metropolitan	2002	7-9	3	Pneumatique
Aquarium de Gênes	Delphini Metropolitan	2003	7-9	3	Pneumatique
Aquarium de Gênes	Delphini Metropolitan	2004	7-9	3	Pneumatique
Aquarium de Gênes	Delphini Metropolitan	2005	7-9	3	Pneumatique
Aquarium de Gênes	Delphini Metropolitan	2006	7-9	3	Pneumatique
Aquarium de Gênes	Delphini Metropolitan	2007	7-9	3	Pneumatique
Aquarium de Gênes	Delphini Metropolitan	2008	7-9	3	Pneumatique
Aquarium de Gênes	Crocieracquario	2007	10-12	3	Pneumatique
Aquarium de Gênes	Crocieracquario	2008	10-12	3	Pneumatique

Vit moy : vitesse moyenne du bateau – Nb observateurs : nombre d'observateurs à bord

Tableau 5. Champs composant la base d'effort d'observation.

Champ	Format
Date	Date de l'observation
Heure	Heure de l'observation
Semaine	Numéro de semaine
Leg	Numérotation de chaque transect
Statut	Effort d'observation ou déjà en observation
Latitude	Degrés Minutes, centième de minutes
Longitude	Degrés Minutes, centième de minutes
Latitude décimale	Degrés décimaux
Longitude décimale	Degrés décimaux
Espèce	Nom scientifique
Code espèce	Code associé à chaque espèce
Effectif	Nombre exact d'animaux observés
Auteur	Auteur de la donnée
Organisme	Organisme producteur de la donnée
Financement	Financement du programme
Remarque	Toutes informations complémentaires

3- Les données des échouages



Photo 1. Dauphin bleu et blanc échoué (photo : CRC-Marineland).

Afin de considérer l'information apportée par les échouages enregistrés le long des côtes, entre Marseille et la frontière italienne, une présentation cartographique de chaque espèce a été réalisée. Ces données d'échouage entre 1999 et 2008 ont été transmises par le GECEM coordinateur du Réseau National Echouage (RNE) pour les côtes méditerranéennes françaises.

De même l'évolution des échouages par espèce au cours des années a été comparée aux observations réalisées en effort, afin de visualiser s'il existe des similitudes entre les deux séries temporelles.

I.B Les données environnementales

1- Les données topographiques

Le facteur topographique est connu pour influencer la distribution des différentes espèces de cétacés (e.g. Cañadas et al., 2002 ; Hamazaki, 2002). Nous avons considéré ce paramètre sous trois aspects : bathymétrie, avec la **profondeur** sur laquelle se trouve l'animal ; puis en terme de **distance** aux principaux isobathes : la **côte**, **200 m** pour la fin du plateau continental et **2 000 m** pour la fin du talus continental ; enfin pour l'analyse ENFA la pente a été estimée.

Les données utilisées sont issues de l'Atlas digital GEBCO³ (2003) avec une résolution 1x1 min. La profondeur la plus proche de l'observation et les distances minimales aux trois isobathes ($D_{côt}$, D_{200m} , D_{2000m}) ont été traitées à l'aide de l'outil *Jointure* sous le logiciel ARCGIS 9.3 (ESRI, 2008).

2- Les données issues de la télédétection

Les techniques de télédétection nous permettent d'obtenir une bonne couverture spatiotemporelle de la zone d'étude. Les données issues de la télédétection ont été acquises gratuitement (voir détails ci-dessous) moyennées sur des périodes de un mois. En effet, nous avons choisi de travailler sur une échelle de temps mensuelle.

Les paramètres qui sont utilisés pour cette étude sont :

- la couleur de l'océan,
- la température superficielle de l'eau,
- et la production primaire.

La couleur de l'océan

La couleur de l'océan, indicateur de la biomasse phytoplanctonique présente en surface (chlorophylle a) est, par définition, la variation spectrale de la réflectance diffuse de la couche de surface. La corrélation entre la biomasse de surface ou sub-surface avec la présence de cétacés a été montrée par différents auteurs (eg. Hamazaki, 2002 ; Laran & Gannier, 2008 ; Littaye et al., 2004).

Les données utilisées dans cette étude sont celles du satellite SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field of view Sensor, <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>). Les images de "Niveau 3" que nous avons utilisées tiennent compte des corrections atmosphériques et sont spatialement moyennées avec une résolution d'environ 9x9 km (à l'équateur) pour chaque pixel et la chlorophylle a est exprimée en mg Chla.m^{-3} .

Les fichiers compilés sur un mois sont distribués au format HDF (Hierarchical Data Format) et ce capteur fournit des données depuis septembre 1997. La visualisation et l'extraction des fichiers numériques ont été réalisées à l'aide du logiciel WIMSOFT 6 (Kahru, 2003).

³ General Bathymetry Chart of the Ocean - British Oceanographic Data Centre (BODC), Natural Environment Research Council, Liverpool L3 5DA, UK.

Température superficielle de l'eau (AVHRR)

La température superficielle de la couche d'eau, SST, pour Sea Surface Temperature, a été identifiée comme utile pour caractériser la distribution des cétacés dans plusieurs études (e.g. : Gregr & Trites, 2001 ; Hamazaki, 2002 ; Littaye et al., 2004 ; Laran & Gannier, 2008).

Les données utilisées pour la température de surface de l'eau sont issues du capteur Pathfinder (« NOAA/NASA AVHRR Oceans Pathfinder Sea Surface Temperature Data Set », <http://podaac.jpl.nasa.gov/>) et sont celles mesurées de nuit (images descendantes) afin de ne pas biaiser les résultats avec les conditions météorologiques. Afin de rester homogène, les données ont été transformées pour obtenir une résolution identique aux images de chlorophylle *a*. Cette étape s'est effectuée sous WIMSOFT, grâce à l'option *Remap* qui a utilisé les paramètres de projection des images de chlorophylle pour re-projeter les images de température. Les données téléchargées sont des moyennes mensuelles de température superficielle en degrés celsius.

La production primaire

Les radiations photosynthétiques actives, PAR pour Photosynthetically Active Radiation, n'ont été téléchargées que pour l'obtention de la production primaire. Par définition la production primaire exprime la fixation du carbone inorganique dissous dans l'eau par le phénomène de photosynthèse. Elle conduit les végétaux à transformer l'eau et les éléments minéraux disponibles en matière organique, grâce à l'énergie lumineuse qu'ils reçoivent. Les cartes de production primaire sont obtenues à partir de trois types d'informations différentes mesurées par les satellites : la couleur de la mer, la température superficielle et les radiations photosynthétiques actives (PAR, distribuée également par SeaWIFS) atteignant la surface. Les résolutions temporelle et spatiale sont les mêmes que pour les données précédentes.

Ces données ont été compilées grâce au logiciel WIMSOFT, en utilisant l'option du modèle de Behrenfeld et Falkowski de 1997 pour le modèle lumière-photosynthèse, et de Morel et Berthon de 1989 pour la profondeur de la zone euphotique. Cette méthode permet d'estimer la production primaire, en $\text{gC.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$, dans la couche de surface à partir des paramètres mesurés uniquement par télédétection.

Les variables déterminées pour chaque observation de cétacés sont donc :

- Pour les variables spatiales et topographiques :

Prof	Profondeur (en m)
D_{cote}	Distance à la côte (en km)
D₂₀₀	Distance à l'isobathe 200 m (en km)
D₂₀₀₀	Distance à l'isobathe 2 000 m (en km)

- Pour les variables climatiques et biologiques : résolution temporelle mensuelle :

Temp	Température de surface (en °C)
Chla	Concentration en chlorophylle <i>a</i> (mg Chla.m^{-3})
NPP	Production primaire nette ($\text{gC.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$)

II - Les méthodes d'analyses

II.A La distribution des observations

Afin de représenter l'emprise spatiale de chaque espèce de cétacés dans la zone du Sanctuaire PELAGOS, des cartes de distribution ont dans un premier temps été réalisées. Les cartes d'abondances relatives ont ensuite permis de mettre en évidence les zones échantillonnées et parmi elles les zones peu fréquentées par les cétacés ainsi que les zones préférentielles pour chacune des espèces. Enfin une méthode de krigeage développée par Monestiez et al. (2006) a été appliquée afin d'interpréter, d'homogénéiser et d'étendre en quelque sorte les résultats sur les zones proches non observées, pour une meilleure interprétation sur la globalité de l'espace du Sanctuaire.

1- Les cartes de distribution

Les données une fois rassemblées ont été intégrées sous ArcView 9.3 pour produire des cartes de distribution.

Différentes cartes ont été produites :

- Des cartes pour chacune des six espèces regroupant toutes les observations de 1994 à 2008. Ces premières cartes permettent de connaître l'emprise géographique des données.
- Le détail année par année a été représenté. Ces cartes permettent d'une part de visualiser l'emprise spatiale et d'autre part les variations annuelles de ce jeu de données : certaines espèces n'ayant pas ou peu été observées certaines années.
- Enfin, des cartes par structure sont également présentées en annexe du document (Annexe 3).

2- L'estimation des abondances relatives

Des indices d'abondances relatives globaux ont été estimés pour chaque espèce. Ces estimations rassemblent un grand nombre de campagnes réalisées, dont certaines collectées dans des conditions différentes (données italiennes) n'ont pas été intégrées. Elles serviront à plusieurs niveaux : à titre indicatif pour les comparer aux échouages obtenus dans la zone d'étude, afin de visualiser si les tendances étaient similaires. Par ailleurs, représentées cartographiquement sur une grille, ces données permettent une comparaison spatio-temporelle sur l'ensemble de la zone d'étude. Ainsi les différences quantitatives annuelles sont abordées. Enfin elles constitueront la référence terrain qui permettra entre autres de juger du pouvoir prédictif de certains modèles (au niveau global et mensuel).

Globalement, la procédure de traitement des données se fait sous le logiciel ArcGis 9.2., avec les outils existants ou avec de petites extensions téléchargées et intégrées au logiciel.

L'effort de prospection

Les polygones correspondant aux différents transects sont créées en reliant entre eux les points portant tous le même numéro de segment. Cette procédure se fait à l'aide d'un outil nommé *ETGeowizards 9.9* intégré à ArcGIS. Le nombre de transects s'élève à 152 717 sur l'ensemble de la période.

Les analyses sont faites dans une grille régulière couvrant l'ensemble de la zone d'étude. Cette méthode de spatialisation des données permet d'homogénéiser les surfaces d'analyse, donc de comparer les résultats entre eux. A l'aide de l'outil *ET Vector Grid* intégré sous ArcGIS, une grille de mailles régulières de 0,1 degré de latitude x 0,1 degré de longitude, en WGS84 (coordonnées géographiques) est créée. Elle se compose de 38 lignes x 86 colonnes = 3 268 cellules, dont 2 401 partiellement ou totalement en mer.

Les couches de données des transects sont alors intersectées avec la grille (Arctoolbox), les distances kilométriques de chaque segment mesurées (*Xtools*) et sommées par maille (outil *Statistiques par zones*). Cette procédure est répétée pour chaque année puis pour chaque mois toutes années confondues. On obtient de la sorte un effort annuel, global et mensuel par maille (en km).

Les abondances relatives

L'abondance relative est définie, dans une maille, par le rapport entre le nombre d'individus observés pour l'espèce sur l'effort correspondant (nb ind.km^{-1}) : pour une année donnée par exemple, ou pour une espèce sur l'ensemble de la période d'étude. Le taux de rencontre est défini, dans une maille, pour une espèce et une année donnée, par le rapport entre le nombre d'observations concernant l'espèce sur l'effort de la même année (nb d'obs.km^{-1}). Ces deux indices ont été calculés par année pour chacune des six espèces qui nous concernent : rorqual commun, dauphin bleu et blanc, cachalot, globicéphale, dauphin de Risso et grand dauphin.

Le jeu de données des observations est organisé par espèce et année (*ETGeowizard*). Puis pour chacune, on utilise l'outil *Statistiques par zones* afin de connaître le nombre d'individus par maille. Enfin, un simple calcul par maille du nombre d'individus vus, divisé par l'effort nous donne les valeurs d'abondances relatives. Cet indice peut alors être cartographié.

Les indices d'abondance relative sont calculés quel que soit l'effort. Dans le cas de présence de cétacés pour un effort infime (par exemple, si une route se termine dans une maille, et que seule une très petite portion de cette route se situe dans cette maille), on obtient un indice anormalement très élevé. L'information est conservée à titre indicatif sur la présence de l'espèce, mais sa valeur n'est pas fiable. On estime que 10% de la surface d'une zone d'étude doit être couverte pour être admise comme représentative (Gannier, 1995). Dans notre cas la surface de la maille est d'environ 90 km². Etant donné qu'en bateau on observe efficacement pour toutes les espèces de cétacés sur une largeur d'au moins 600 m de part et d'autre de la route du navire (Gannier, 1995, Di-Meglio, 1999), soit une largeur totale de 1,2 km, il faut donc parcourir au moins 8 km (soit échantillonner 9,6 km²) pour échantillonner 10% de la maille. Ainsi, une maille dans laquelle l'effort annuel est inférieur à 8 km sera considérée comme non validée. Dans le même esprit, un effort global sur l'ensemble des années cumulées inférieur à 16 km (donc inférieur à deux années de

validation) sera également invalidant. Ces deux limites sont représentées cartographiquement sur les cartes (couleur spécifique ou trame hachurée).

Les mailles prospectées sont figurées sur les cartes tandis que les mailles non prospectées ont été retirées de la grille.

Enfin pour permettre de comparer les résultats des modélisations mensuelles (ENFA et régression logistique), nous avons également réalisé des cartes d'abondances relatives pour les quatre mois de la période estivale étudiée.

3- Le modèle géostatistique de krigeage

Quantifier de façon relative l'abondance des cétacés et la cartographier peut être délicat lorsque l'on ne possède qu'un jeu de données d'effort spatialement hétérogène et des observations d'animaux éparées et peu fréquentes, ce qui est le cas pour les cétacés. La méthode du **krigeage**, ou interpolation, est une procédure permettant d'estimer la valeur d'un paramètre dans un secteur où l'effort de prospection est insuffisant voire dans des secteurs non échantillonnés (Baillargeon, 2005). L'interpolation repose sur le principe de l'auto-corrélation spatiale selon lequel des objets proches dans l'espace tendent à posséder des caractéristiques similaires (Webster et Oliver, 2007) : les valeurs inconnues pour une variables sont donc estimées à partir des points environnants. Les données utilisées sont celles des observations avec effort, et l'indice est exprimé pour l'occasion en nombre d'individus par kilomètre parcouru en effort. Le modèle de krigeage et la méthode d'estimation de la structure spatiale appliqués ici sont décrits en détail dans Monestiez *et al.* 2006. Le principe est de modéliser le processus d'observation et la variable de comptage qui en résulte comme une distribution de Poisson et de les combiner à une approche géostatistique classique. De la sorte on améliore à la fois l'estimation du variogramme et la précision du krigeage, c'est-à-dire que la variance de l'erreur de prédiction du nombre de groupes de rorquals par kilomètre est fortement diminuée. Cette méthode nous permet ainsi d'estimer le nombre d'observations de cétacés par kilomètre dans des zones moins connues et surtout avec une variance bien inférieure à celle associée à d'autres méthodes de krigeage plus classiques. L'autre intérêt est qu'en faisant l'hypothèse de stationnarité sur une longue période temporelle, cette carte devient une sorte de moyenne de référence. Il est alors possible chaque année de bonne couverture spatiale en effort, de comparer la valeur d'abondance relative obtenue cette année-là à celle de référence précédente afin de situer l'année en cours voire de détecter des tendances sur plusieurs années.

Techniquement, avant de réaliser la méthode de krigeage, il est nécessaire d'effectuer une **spatialisation des données** brutes. C'est une étape qui ressemble à celle décrite dans le paragraphe 2 : l'estimation des abondances relatives. L'objectif de cette manipulation est de transformer les données ponctuelles en données sommées à l'intérieur des mailles d'une grille régulière. Cette étape se fait à l'aide d'une programmation spécifique dans le logiciel R. Les distances et les observations sont sommées dans des mailles spatiales suffisamment larges pour accumuler assez d'informations, et suffisamment fines pour obtenir une bonne résolution spatiale. Ainsi, toutes les données sont agrégées dans des mailles de 0,1° de latitude par 0,1° de longitude, soit sur une surface d'environ 90 km². L'effort d'observation est mesuré en additionnant la distance parcourue par tous les segments de transect de ligne,

dans chaque maille. L'effort calculé sous forme de distance permet de minimiser les biais liés aux changements de vitesse des différents bateaux. De la même façon, les observations de cétacés sont additionnées par maille. On obtient ainsi un taux de rencontre (nombre d'observations.km⁻¹) par maille. Une programmation sous R est ensuite utilisée pour l'estimation du variogramme, et pour interpoler les espérances du nombre de groupes de rorquals par kilomètre en tout point du domaine d'étude. Le principe du modèle est le suivant : pour tous les sites appartenant au domaine D , le modèle est défini par un champ aléatoire $Z(s)$.

$$Z(s)/Y(s) \sim P(d(s)Y(s))$$

où $d(s)$ est l'effort d'observation (en km) au site s ,
et $Y(s)$ est proportionnel à l'abondance du rorqual commun au site s et mesure l'espérance du nombre de groupes de rorquals observés par unité d'effort.

$Y(s)$ est un champ aléatoire positif ($Y \geq 0$) stationnaire d'ordre deux de moyenne m , de variance σ_Y^2 , et de fonction de covariance $C_Y(s-s')$ qui ne dépend que de la distance entre les sites s et s' . La fonction de covariance peut être remplacée par la fonction de variogramme.

$Z(s)/Y(s)$ est distribué suivant une loi de Poisson dont le paramètre d'intensité est le produit de $d(s)$ par $Y(s)$. Les estimations du variogramme et de la variance sont expliquées dans Monestiez et al. (2006).

II.B Caractérisation de l'habitat des cétacés

1- Analyse des conditions environnementales associées aux observations pour les six espèces

Toutes les données satellites ont été téléchargées. Une fois toutes ces données acquises il a tout d'abord fallu les homogénéiser. En effet, les images satellites de température superficielle de la mer ont une résolution de 4x4 km tandis que les images de chlorophylle *a* et de radiation solaire ont une résolution de 9x9 km. L'homogénéisation puis la recoupe des données pour ne plus garder que la partie correspondant à la zone d'étude (40°30'N-3°E à 44°N-12°E) s'est faite sous WIMSOF. Suite à cette homogénéisation, la production primaire a pu être calculée. Toutes ces données ont ensuite été extraites dans un format intégrable sous ArcView sous forme de fichiers de points (latitude, longitude, valeur).

Ces données forment donc de nouvelles couches de données qui sont associées aux deux couches de données cétacés : la base de données d'observations opportunistes et la base de données d'observations avec effort associé. Sur ces deux couches sont donc créés de nouveaux champs avec les valeurs de chlorophylle *a*, de température de surface, et de production primaire (Figure 1).

A ces deux bases de données "cétacés" sont aussi associées des variables topographiques. La donnée bathymétrique est associée aux bases de données cétacés comme les données environnementales grâce à l'outil jointure d'ArcView puis avec ce même outil, les distances aux lignes de bathymétrie 200 m, 2 000 m et à la côte sont calculées pour chaque observation et segment d'effort.

Au final, la base de donnée obtenue permet d'avoir associé à chaque observation et à chaque transect une valeur de chlorophylle *a*, une valeur de température de surface, une valeur de production primaire, une profondeur, une distance à la côte et aux isobathes 200 m et 2 000 m.

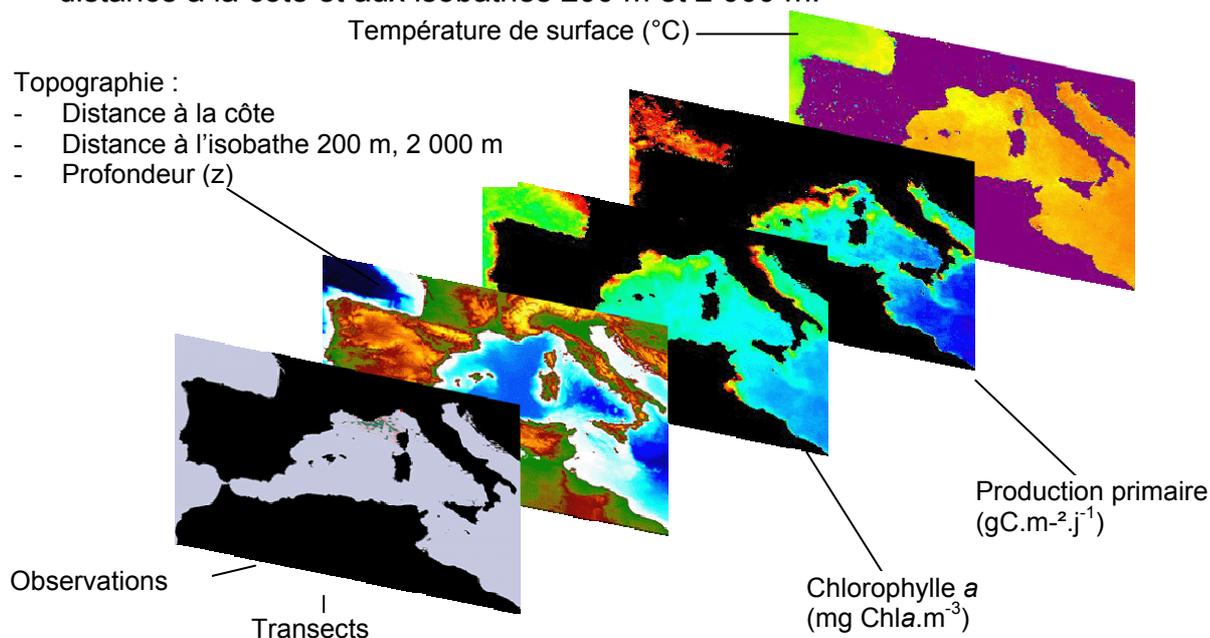


Figure 1. Schéma explicatif de la méthode de jointure des différentes variables environnementales considérées sous ArcView 9.3.

Afin d'étudier la répartition des espèces sur les différentes strates bathymétriques. La profondeur associée à chaque observation a été regroupée en quatre classes :

- le plateau, compris entre 0 et 200 m de profondeur,
- le haut du talus, entre 200 et 1 000 m,
- le bas du talus, entre 1 000 et 2 000 m,
- la zone profonde située au-delà de l'isobathe 2 000 m.

Une fois ces zones définies, nous calculons le nombre d'observations faites de chaque espèce dans chacun de ces intervalles de profondeur afin d'avoir un pourcentage pour chaque espèce par classe de profondeur. Afin de comparer cette répartition à la distribution de l'effort d'observation, pas nécessairement homogène sur ces différentes strates, les données collectées en effort (observations et effort associé) de 1998 à 2008 par les équipes françaises, ont été utilisées pour cette analyse. En effet, pour l'analyse en régression logistique (voir plus loin, §3), un découpage en segments de 18,5 km a été utilisé et chaque centre de segment a été associé à une profondeur. Cette valeur a été utilisée pour caractériser la classe de chaque segment.

Les données obtenues après jointure avec les données environnementales permettent de définir des habitats potentiellement favorables pour les six espèces de cétacés. Nous avons procédé comme suit : pour chaque espèce, nous avons déterminé un intervalle regroupant la moitié des valeurs centrées autour de la médiane (le 1^{er} et le 3^{ème} quartile). Ces intervalles ont été calculés pour trois variables environnementales : la profondeur de l'observation, la concentration en chlorophylle a et la température de surface de mer. Seuls ces trois paramètres ont été conservés après analyse de la répartition des observations selon tous les paramètres environnementaux : profondeur, distance à la côte, aux isobathes 200 et 2 000 m, concentration en chlorophylle a, température superficielle de la mer, et production primaire.

Pour chaque espèce, une carte mensuelle (pour les quatre mois estivaux) a été produite représentant les intervalles définis par les quartiles⁴ pour les trois paramètres sélectionnés. Sur chacune des cartes chaque paramètre apparaît avec une symbologie différente et le croisement des trois paramètres permet de définir les zones les plus potentiellement favorables à chacune des espèces.

⁴ En statistique descriptive, un quartile est chacune des trois valeurs qui divisent les données triées en quatre parts égales, de sorte que chaque partie représente 1/4 de l'échantillon de population.

2- Analyse factorielle de la niche écologique (ENFA) pour le rorqual et le cachalot – analyse de données

La modélisation de l'habitat préférentiel d'une espèce se base sur les observations de sa présence mais aussi sur celles de son absence. Or les "vraies" données d'absence (lorsque les animaux sont réellement absents d'une zone) sont difficiles à collecter lorsqu'il s'agit d'espèces mobiles, discrètes, voire peu détectables en surface (cas des cétacés). Des biais peuvent être causés par des absences erronées : lorsque les animaux sont présents mais non détectés, ou encore lorsque l'habitat est favorable mais l'espèce n'est pas encore ou n'est plus présente. La méthode de l'Ecological-Niche Factor Analysis (ENFA) a été développée afin de se baser que sur les données de présence (une observation constituée de 1 à n individus) et elle est construite sur le concept de niche de Hutchinson (Hirzel et al., 2002). L'utilité de l'ENFA pour caractériser la distribution des cétacés a été prouvée notamment pour le cachalot en Méditerranée (Praca & Gannier, 2008 ; Praca et al., 2009)

L'ENFA est une analyse multifactorielle comparant la distribution d'une espèce à son environnement global dans l'hyperespace défini par les variables Eco-geographiques (EGVs pour Eco-Geographical Variables). Ici l'objectif est de déterminer quels sont les paramètres environnementaux qui ont une influence sur la distribution du rorqual et du cachalot. Telle une analyse en composantes principales, l'ENFA synthétise plusieurs EGVs en un nombre limité de facteurs non corrélés intégrant les informations essentielles. Les facteurs ont ici une signification écologique. Par exemple le premier axe factoriel représente la **marginalité** (combien l'habitat de l'espèce étudiée diffère des conditions moyennes), tandis que les autres axes exprimeront la **spécialisation** (mesure la variance de l'espèce par rapport à la variance de la zone d'étude, en d'autres termes la largeur de la niche écologique). Leurs définitions mathématiques sont :

$$\text{Marginalité} = \frac{|\mu_G - \mu_S|}{1.96\sigma_G} \qquad \text{Specialisation} = \frac{\sigma_G}{\sigma_S}$$

où μ_G est la moyenne globale de la zone d'étude, μ_S la moyenne de l'espèce, σ_G est la déviation standard globale et σ_S la déviation standard de l'espèce (la description mathématique est détaillée dans (Hirzel et al., 2002 ; Hizel et al, 2006).

La marginalité est comprise entre 0 et 1 ; plus la valeur pour l'espèce est proche de 1, plus l'espèce vit dans des habitats extrêmes. La valeur des coefficients qui composent ce facteur de marginalité est positive pour indiquer que l'espèce occupe des zones où les valeurs de la variable environnementale concernée sont plus hautes que la moyenne ; inversement, un coefficient négatif indique qu'elle préfère des valeurs plus basses que la moyenne. La valeur absolue des coefficients de spécialisation est proportionnelle à l'étroitesse de la niche sur la variable considérée.

Les coefficients dans la matrice des scores donnent l'importance de chaque EGV sur les différents axes, donc leur contribution dans le modèle, et leur rang

relatif. Enfin une carte de l'habitat favorable est générée (Habitat Suitability (HS) map). Cette analyse permet de créer un modèle de niche écologique, permettant ainsi de visualiser mais aussi d'analyser la distribution potentielle des cétacés. L'analyse se base sur la comparaison de la position de chaque maille de la zone d'étude à la distribution des mailles de présence de l'espèce sur les différents axes factoriels. Plusieurs algorithmes différents peuvent être appliqués pour créer les cartes ; la médiane, la moyenne géométrique, la moyenne harmonique et la distance minimale. Par exemple pour l'algorithme de la médiane, les valeurs de HS vont de 0 à 100 : une maille adjacente à l'axe de la médiane vaudra 100 tandis qu'une maille hors de la distribution de l'espèce vaudra 0.

L'évaluation du pouvoir prédictif du modèle implique l'évaluation de sa précision statistique. Le modèle est donc évalué par la tendance de la courbe du ratio prédit sur attendu (F_i) et l'indice de Boyce (B). B est une corrélation de rang de Spearman entre F_i et les valeurs de HS. Le calcul donne un intervalle de confiance sur le modèle de la façon suivante. Les observations sont divisées au hasard en k partitions ; $k-1$ modèles sont utilisés pour faire le modèle HS et la partition mise de côté est utilisée comme donnée indépendante et est utilisée pour la validation. Ce processus est répété k fois, à chaque fois, c'est une partition différente qui est mise de côté. Pour des échantillons conséquents, dix partitions sont utilisées, ce qui est le cas pour nos données. Plusieurs cartes HS sont construites, ce qui permet au final de calculer un paramètre central et sa variance. **L'intervalle de confiance, les variances et la forme de la courbe de Boyce** sont les critères qui indiquent si le modèle prédit correctement les données analysées. Un modèle robuste doit être représenté par une courbe linéaire ou exponentielle. Plus l'**indice de Boyce** est grand, plus le modèle est satisfaisant. Selon le point où la courbe coupe la ligne du hasard ($x=y$), il faut relancer une classification des mailles pour produire une carte HS plus robuste. A priori $B \approx 0,6$ correspond à une aire sous la courbe ROC (Receiver Operating Characteristic) $> 0,9$. La courbe ROC évalue les proportions de classifications correctes et fausses le long d'un gradient continu de seuils de présence/absence (Hirzel et al., 2006). Plus l'aire sous la courbe est proche de 1, meilleur est le modèle.

L'ensemble de ces analyses est fait à l'aide du logiciel dédié nommé Biomapper 4.0 (Hirzel et al. 2006a), avec certaines étapes réalisées sous Idrisi, ArcGIS et R de façon complémentaire.

L'ENFA se base habituellement uniquement sur des données de présence, indépendamment d'un quelconque effort. Néanmoins, afin de pouvoir comparer les résultats ENFA avec la régression logistique, qui elle n'utilise que les données en effort, nous avons réalisé des analyses ENFA intégrant également uniquement des données en effort. Cela implique que la donnée de présence traitée ne correspond pas à une observation, mais à un taux d'observation (nombre d'observations.km⁻¹).

Enfin, également par souci de comparaison avec la modélisation par régression logistique et l'analyse des caractéristiques environnementales des cétacés, l'ENFA a été réalisée sur les quatre mois : en juin, juillet, août et septembre pour le rorqual et le cachalot.

Techniquement les étapes suivantes ont été réalisées afin de mener à bien les analyses.

➤ Etape 1 : Formatage des données.

Les données d'observations des cétacés, points « présences », sont au format Excel. Le logiciel utilisé pour la modélisation nécessite une adaptation des données d'Excel en .txt puis en .rst via le logiciel *Convertor* que l'on trouve dans le kit Biomapper 4.0.

La zone d'étude a été découpée selon une grille de 0,1° de latitude x 0,1° de longitude via Idrisi, sur laquelle la présence des espèces et les EGVs ont été traitées.

Dans cette étude, une partie des analyses prend en compte l'effort de prospection effectué en bateau. Pour pouvoir intégrer l'effort, le nombre d'observations a été divisé par les kilomètres parcourus dans chacune des cellules de la grille de la zone d'étude (données issues de l'analyse des abondances relatives, voir le paragraphe 2- L'estimation des abondances relatives). Pour les analyses ENFA, ce chiffre a été multiplié par 100, converti en nombres entiers et donc arrondi en tant que « Species map ». Le logiciel Biomapper a ainsi pu intégrer cette nouvelle information dans les analyses en prenant chaque valeur comme des « poids » qu'il a confronté aux EGV's pour faire les cartes de modèles.

➤ Etape 2 : Construction des Eco-Geographical Variables (EGVs).

Les variables utilisées sont au nombre de six. Les variables topographiques sont la bathymétrie, la distance à la côte et la pente. Les variables environnementales sont la concentration en chlorophylle *a*, la température de surface (SST) et la productivité primaire nette (Net Primary productivity, NPP).

La bathymétrie est celle de GEBCO Digital Atlas (IOC-IHO-BODC, 2003). A partir de cette variable sont extraites des variables dérivées : la pente, la distance à la côte (D_{cot}), les distances aux isobathes 200 m, 1 000 m et 2 000 m (D_{200} , D_{1000} et D_{2000}). Pour importer la bathymétrie dans Biomapper, une étape intermédiaire avec ArcGis s'est avérée indispensable. La fonction *Clip* a permis de redimensionner la zone d'étude puis la carte a été importée dans Idrisi 32 en format ASCII afin d'être lue par ce dernier. Dans Idrisi, des changements de résolution ainsi que de géoréférencement ont été faits. Certaines cartes ont dû être recadrées aux bonnes coordonnées géographiques, les fonctions *Project* et *Resample* dans Idrisi ont été utilisées. Le changement de format implique un changement du nombre de colonnes et de lignes, de résolution. Le géoréférencement a été changé de « plane » à « latlong » qui correspond au système géodésique WGS 1984.

A partir de la bathymétrie, les cartes de la pente et des distances aux principales isobathes ont pu être calculées avec la fonction *Slope* (sous Idrisi) et *Distan* (Kit Biomapper) respectivement. La distance a été calculée pour la côte, à 200 m, à 1 000 m et à 2 000 m. La pente est estimée en pourcent et a été transformée (par la fonction Box Cox de Biomapper) car la variance était trop grande.

Concernant les variables environnementales (SST, chlorophylle *a* et NPP), une fois lues par Idrisi, les cartes mensuelles (avril à septembre de 1998 à 2008) ont toutes été additionnées puis une moyenne a été calculée. Les cartes ont subi des changements de résolution et de géoréférencement afin d'être superposables dans Biomapper.

Toutes les variables ont la même résolution et le même géoréférencement (« latitude/longitude », WGS84). Un masque a été appliqué sur toutes les variables

dans Biomapper afin d'identifier les données aberrantes ou sur la terre, et de leur assigner une valeur extrême de -9999, non prise en compte dans les analyses.

➤ Etape 3 : lancement des analyses ENFA et validation des modèles.

Enfin, les analyses ont été lancées, produisant les types de résultats détaillés dans le chapitre II Résultats, à la fois pour l'ensemble des données (avec ou sans effort associé) que pour les données pondérées par l'effort uniquement.

3- Modélisation de la distribution du rorqual commun et du cachalot par régression logistique

L'ensemble des segments considérés comme homogènes sont utilisés pour déterminer les variables influençant le plus la présence du rorqual commun et du cachalot. Ceci afin d'essayer de prévoir la distribution de la présence de ces deux espèces à partir des données environnementales.

Ce qui distingue le modèle de régression logistique d'un modèle de régression linéaire simple c'est que dans le premier cas la variable dépendante est dichotomique, elle n'a pas de réelle valeur numérique (vrai/faux, présent/absent, etc.). Nous avons choisi de travailler en présence/absence afin de mettre en évidence les variables qui pouvaient caractériser la distribution des deux espèces. Ce type d'analyse a été utilisé pour prédire les habitats de plusieurs espèces à partir des données de captures de la chasse baleinière, pour lesquelles la notion d'effort n'a pas été considérée (Gregr & Trites, 2001) ou sur des données d'observations (Hamazaki, 2002 ; Waring et al., 2001).

a) Principe mathématique

A partir du codage de la variable dépendante (y), présence (1) ou absence (0), un lien est établi entre l'espérance mathématique de y en fonction des variables conditionnelles et la probabilité p de y :

$$y = \begin{cases} 1 & \text{espèce présente avec une probabilité } p \\ 0 & \text{espèce présente avec une probabilité } 1-p \end{cases}$$

La probabilité (p) de présence de chaque espèce est déterminée par :

$$\Pr(\text{species}_i) = \frac{1}{1 + e^{-z_i}} \quad \text{avec} \quad z_i = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 \dots + a_ix_i$$

Soit a_i les coefficients de régression et x_i les variables explicatives.

A la différence de la régression linéaire classique, la réponse binaire entraîne une distribution des erreurs (ϵ_i) qui ne peut pas être considérée comme normale et des variances non homogènes (Legendre & Legendre, 1998). A la place de la méthode des moindres carrés, c'est le principe du maximum de vraisemblance (Likelihood, L) qui est utilisé pour déterminer la meilleure modélisation. L'évaluation du modèle est testée par le rapport de vraisemblance :

$$LR = 2.[\text{Log}(L(n)) - \text{Log}(L(0))]$$

avec $L(n)$: vraisemblance obtenue pour le modèle complet et $L(0)$: vraisemblance pour le modèle sans variable (uniquement la constante).

Un test de χ^2 est utilisé pour tester statistiquement que $-2LL^5$ n'est pas significativement différent de 0. Le degré de liberté est alors égal au nombre de covariables utilisées pour la construction du modèle. Le rapport de vraisemblance est ensuite exprimé par le coefficient ρ^2 de MacFaden, compris entre 0 et 1.

b) Découpage des données

Les transects réalisés en effort ont été découpés en segments de 10 milles nautiques (soit 18,52 km) sous ArcGIS 9.3 avec l'outil ETGeowizard. Les segments restants de transects, correspondant au fin de trajet, ont été conservé si la présence de l'espèce ciblée était avérée et en cas d'absence au-delà d'un seuil de 13 km. Ce dernier correspondant au côté d'une cellule ayant pour diagonale 18,5 km (Laran & Gannier, 2008).

Pour chacun de ces segments, le centre a été calculé, également sous ArcGIS et chaque variable environnementale (Tableau 6) correspondant à la période de l'échantillonnage a été associée. De même le nombre d'observations et d'individus pour les deux espèces cibles a été associé puis codé en présence ou absence par la suite.

Certaines variables dérivées ont été obtenues en moyennant par exemple la concentration en chlorophylle sur le transect sur plusieurs mois au moment du bloom phytoplanctonique printanier (entre février et avril). De même, afin d'exprimer une valeur relative pour la température ou la chlorophylle, à la valeur mensuelle a été soustraite la médiane sur l'ensemble du bassin (3°-12° E et 40°30'- 44° N).

⁵ Rapport de vraisemblance / *Likelihood ratio*

Tableau 6. Variables environnementales estimées pour cette étude.

Variable	Source
Mois	
Année	
<u>Déterminée pour le centre du transect</u>	
Longitude	
Latitude	
Profondeur	GEBCO
Distance à la côte	"
Distance à l'isobathe 200 m	"
Distance à l'isobathe 2 000 m	"
<u>Déterminée pour le centre du transect, le mois et l'année de l'échantillonnage</u>	
Chlorophylle mensuelle	Seawifs mensuelle (9km)
Température de la surface de l'eau instantanée	PathFinder mensuelle (9km)
Production primaire instantanée	Voir § I.B2-
<u>Déterminée pour le centre du transect et l'année de l'échantillonnage</u>	
Chlorophylle moyenne en février, mars et avril	Seawifs, mensuelle
Chlorophylle moyenne en février et mars	"
Chlorophylle en février	"
Chlorophylle en mars	"
Chlorophylle en avril	"
Température de surface de l'eau en février	PathFinder mensuelle (9km)
Température de surface de l'eau en mars	"
Température de surface de l'eau en avril	"
Production primaire en février	Voir § I.B2-
Production primaire en mars	"
Production primaire en avril	"
<u>Déterminée pour le centre du transect, le mois et l'année de l'échantillonnage</u>	
Chlorophylle mensuelle = Chl	Seawifs, mensuelle
Chlorophylle globale mensuelle = ChlGlob	Médiane sur l'ensemble du bassin
Ecart de chlorophylle = Chl - ChlGlob	
Température mensuelle = Temp	PathFinder mensuelle (9km)
Température globale mensuelle = TempGlob	Médiane sur l'ensemble du bassin
Ecart de température = Temp - TempGlob	
Production primaire mensuelle	Voir § I.B2-

c) Détermination du modèle

Le modèle le plus approprié a été déterminé pour chaque espèce avec la fonction *Logit* du logiciel SYSTAT en testant différentes méthodes de sélection (forward, backward et les deux simultanées) ainsi que deux seuils d'entrée et de sortie des variables (0,10 et 0,15). Dans un premier temps l'ensemble des variables disponibles a été testé. Les corrélations entre les variables explicatives ont ensuite été testées afin de vérifier que les coefficients de détermination r^2 étaient inférieurs à 0,8, le seuil déterminé pour les risques de colinéarité (Gregr, 2000).

d) Validation partielle du modèle

Sur les quatre mois estivaux nous avons produit des cartes de distribution prévisible pour chacune des deux espèces.

Ceci a été réalisé en utilisant les conditions environnementales sur une grille d'environ 9x9 km², correspondant à la résolution des images satellites. Les variables environnementales ont également été réintégréées sur cette grille à l'aide d'ArcGis. Cette représentation a été réalisée d'une part en utilisant les paramètres environnementaux moyens (climatologie de 1998 à 2008), puis pour quelques mois particuliers pour lesquels les données en effort étaient conséquentes. Sur ces cartes, les segments d'effort d'observation ainsi que les observations associées (ayant servi à construire le modèle) ont été représentés. Mais les données opportunistes qui elles n'ont pas été utilisées pour la construction du modèle, ont également été cartographiées pour visualiser le pouvoir prédictif des modèles.

Les mesures d'erreur de prédiction sont de deux types : les fausses présences ou les fausses absences. La probabilité de 0,5 est généralement admise comme limite entre l'absence ($p < 0,5$) et la présence ($p \geq 0,5$). Cependant nous avons utilisé la courbe ROC (Receiver Operating Characteristic curve) pour déterminer au mieux ce seuil (Fielding & Bell, 1997). Cette courbe est créée en traçant les valeurs de sensibilité en fonction de 1-spécificité. La **sensitivité** étant le taux de présence observée correctement prédite et la **spécificité** le taux d'absence observée (avec un effort suffisant) correctement prédite comme absence. La courbe ROC a été obtenue à l'aide du logiciel Analyse-it. Le seuil p_s de probabilité, où l'écart entre la sensibilité et la spécificité est minimum, est choisi comme limite entre l'absence ($[0 ; p_s]$) et la présence ($] p_s ; 1]$).

La performance d'un modèle peut être résumée par une matrice de confusion et les paramètres qui en sont dérivés tel que le taux de classification correcte (Tableau 7) (Fielding & Bell, 1997).

Tableau 7. Matrice de confusion et paramètres associés.

		Observé		N
		1 (présence)	0 (absence)	
Prédit	1 (présence)	a	b	
	0 (absence)	c	d	
$(a + d) / N$	Taux de classification correcte			
$a / (a + c)$	Sensitivité : taux de présence correcte			
$d / (b + d)$	Spécificité : taux d'absence correcte			
$b / (b + d)$	Taux de fausse présence			
$c / (a + c)$	Taux de fausse absence			
$a / (a + b)$	Puissance de prédiction positive			
$d / (c + d)$	Puissance de prédiction négative			

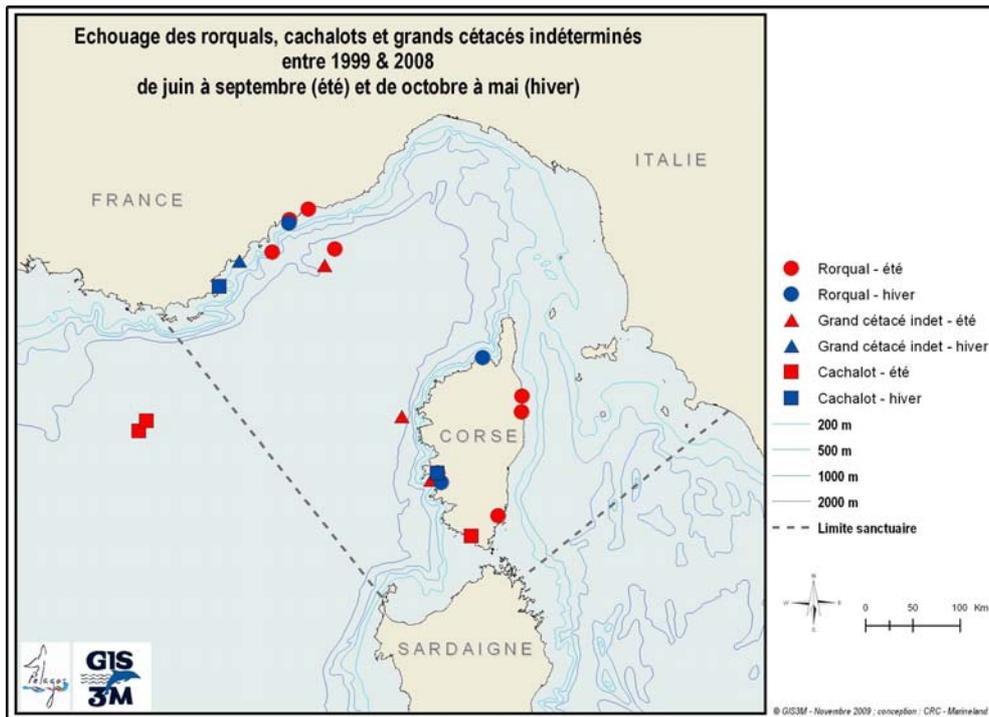
Chapitre II - Résultats

I - Distribution

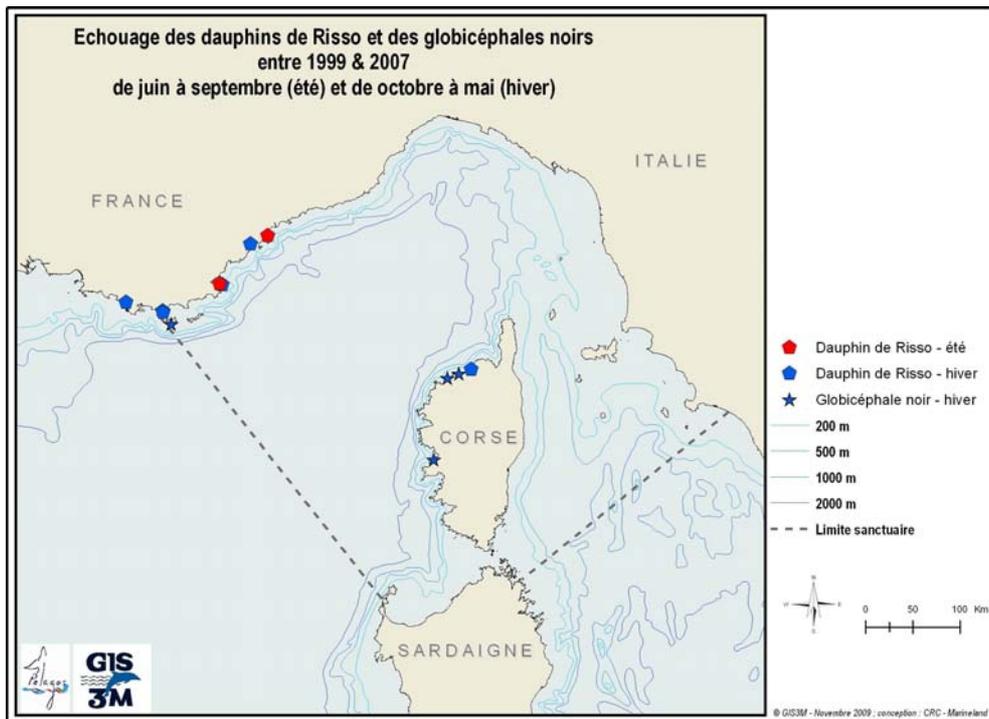
I.A Les données des échouages

Les données françaises des échouages collectés entre Marseille et la frontière italienne entre 1999 et 2008 ont été cartographiées (Carte 2 à Carte 5). Pour chaque espèce, la symbologie des points d'échouages a été différenciée par la couleur en fonction de la période de l'année : période estivale (juin à septembre) en rouge, alors que le reste de l'année (octobre à mai) apparaît en bleu. Les rorquals communs, les cachalots ainsi que les grands cétacés non identifiés, dont les échouages ou collisions ne sont pas très nombreux ont été rassemblés sur une même carte (Carte 2). De même les échouages de dauphins de Risso et de globicéphales noirs ont été rassemblés sur une carte (Carte 3). Par contre, les échouages de dauphins bleu et blanc (Carte 5) et de grands dauphins (Carte 4) ont été cartographiés séparément.

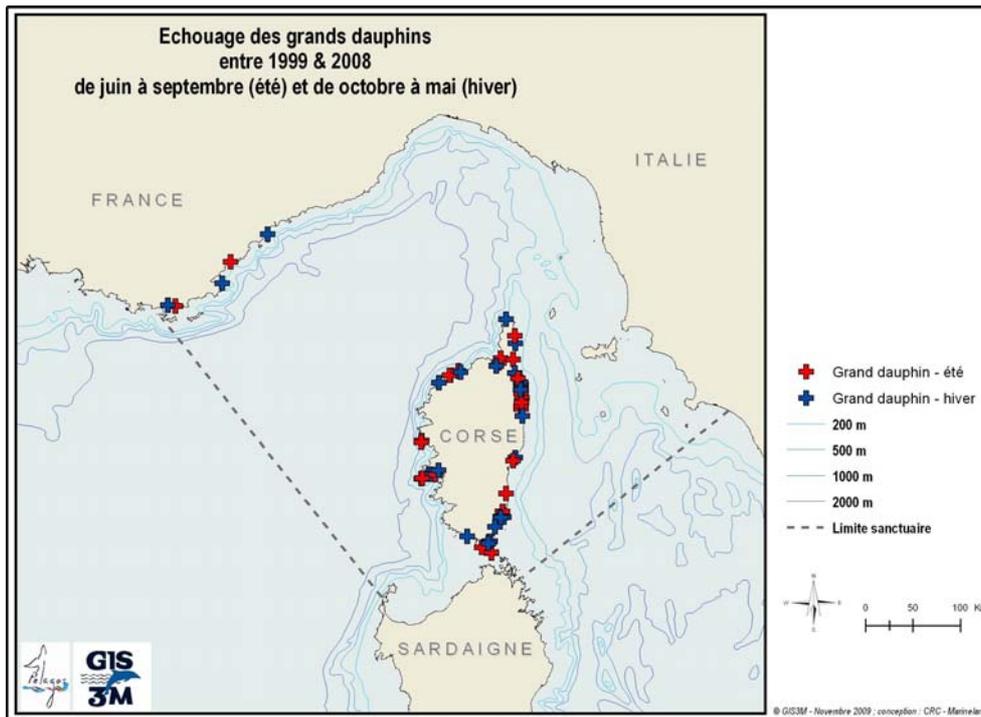
Nous observons tout d'abord une présence estivale d'échouages de rorquals dans le canal de Corse et en mer Tyrrhénienne. Des individus appartenant aux deux grandes espèces de cétacés se sont échoués dans la zone du Sanctuaire PELAGOS, tant sur le continent que sur la côte corse, et ce en saison froide comme en période estivale (Carte 2). Il en est de même pour le dauphin de Risso, dont les échouages sont principalement localisés sur le littoral varois et de la Côte d'Azur (Carte 3). Pour les globicéphales noirs les quatre échouages répertoriés sur cette portion de littoral en 10 ans ont eu lieu en mars et avril, côté continent ainsi que sur la côte ouest corse. Les échouages de grands dauphins sont assez nombreux, tout au long de l'année, autour de la Corse et moins représentés sur le littoral continental (Carte 4). Enfin, l'espèce la plus représentée est le dauphin bleu et blanc, dont les échouages sont présents sur tout le littoral et tout au long de l'année (Carte 5).



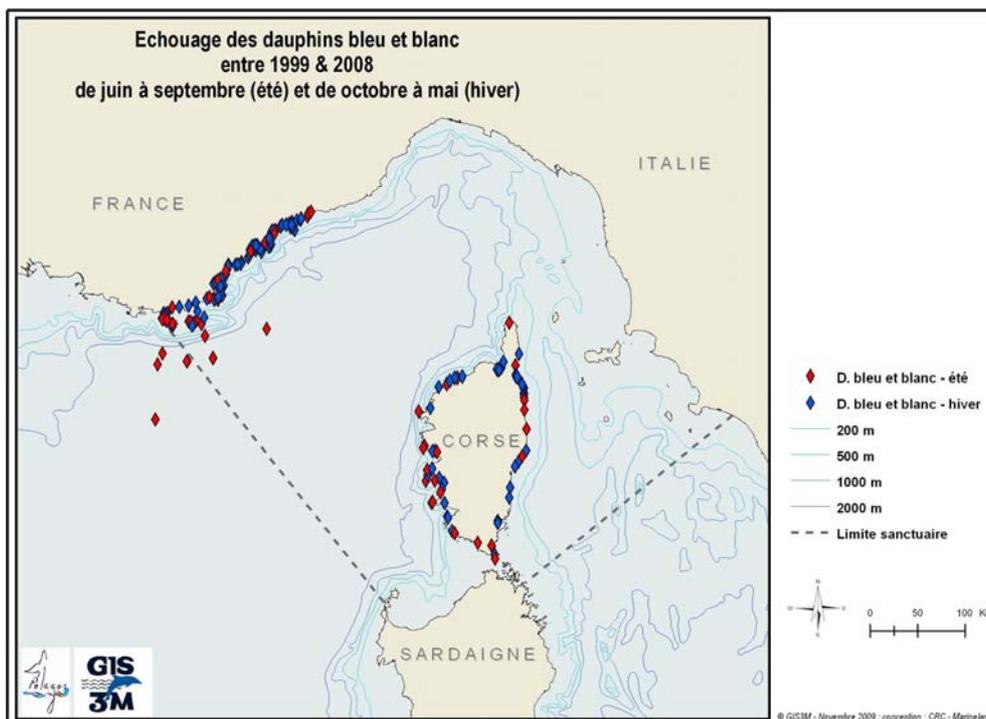
Carte 2. Répartition des échouages (ou collisions) des rorquals, des cachalots et des grands cétacés entre 1999 et 2008.



Carte 3. Répartition des échouages des globicéphales noirs et des dauphins de Risso entre 1999 et 2007.



Carte 4. Répartition des échouages des grands dauphins entre 1999 et 2008.



Carte 5. Répartition des échouages des dauphins bleu et blanc entre 1999 et 2008.

I.B Les observations en mer

1- Composition spécifique des observations

Les données d'observations proviennent de 16 structures différentes. Ces observations ont été faites entre 1994 et 2008. Pour cette étude, seules les données des mois de juin, juillet, août et septembre ont été conservées. Le Tableau 8 présente pour chaque organisme le nombre total d'individus observés par espèce. Au total 6 084 observations ont été enregistrées en 14 ans, représentant 54 834 individus. Le Sanctuaire PELAGOS est très bien représenté dans ce jeu de données puisque 4 632 observations ont été réalisées au sein de ses limites.

L'espèce la plus représentée est le dauphin bleu et blanc qui comptabilise à elle seule 3 474 observations soit un peu plus de 50% de l'ensemble des observations (Figure 2). La seconde espèce la plus observée est le rorqual commun avec plus de 25% des observations (1 707 observations). Ensuite, en nombre bien inférieur, sont observés les cachalots (340 observations), les grands dauphins (291 observations), les dauphins de Risso (138 observations) et les globicéphales noirs (134 observations).

Tableau 8. Synthèse des observations (nombre d'observations par année et par espèce), faites par les différentes structures ayant participé à ce projet.

Organisme	Année	Rorqual	Cachalot	Globicéphale	D. Risso	Grand dauphin	D. bleu et blanc	Total
Aquarium de Gênes	2001					7	2	9
	2002	1			2	3	3	9
	2003					2	5	7
	2004						2	2
	2005					8		8
	2006				2	16	12	30
	2007		1			12	64	77
	2008		3			9	19	31
Total Aquarium de Gênes		1	4		4	57	107	173
Baleines et Dauphins sans Frontière	2005	35	4	1	1	1		42
	2007	18	7	4	8		72	109
	2008	29	13	4	5	7	78	136
Total BDSF		82	24	9	14	8	150	287
CETUS	2003					17		17
	2004	1				14	1	16
	2005					2	8	10
	2006	1			2	12	5	20
	2007	1				21		22
	2008	1	1			16	4	22
Total CETUS		4	1		2	82	18	107

Organisme	Année	Rorqual	Cachalot	Globicéphale	D. Risso	Grand dauphin	D. bleu et blanc	Total
CRC	1999	16	2	1	1		33	53
	2001	50	3	1	3	1	86	144
	2002	35	4	5	2	1	54	101
	2003	26	5	2			68	101
	2004	4	2		1		38	45
	2005						3	3
	2006						7	7
	2007	19	7	2		3	115	146
	2008	1						1
Total CRC		151	23	11	7	5	404	601
Cybelle Planète - EOI	2005	1	5		1		22	29
	2006	27	5	6	1		82	121
	2007	14	6	1			71	92
	2008	33	7		1		82	123
Total Cybelle Planète - EOI		75	23	7	3		257	365
Douanes françaises	2003	6	6	4				16
	2004	25		3				28
	2005	12		1				13
Total Douanes françaises		43	6	8				57
EcoOcéan Institut	1994	109	1	5	4	3	210	332
	1995	160	5	9	9	3	223	409
	1996	79	2	6	14		198	299
	1997	43	9	8	12	5	162	239
	1998						16	16
	2000	4			1	4	31	40
	2002	13	2			1	13	29
	2003	2	2		1	2	17	24
	2005	11	1				11	23
	2006	11			5		11	27
	2007	1	1	1	1		3	7
2008	3	1	2			3	9	
Total EcoOcéan Institut		436	24	31	47	18	898	1 454
GECEM	2000	5				33	7	45
	2003				1	32	2	35
	2004					6		6
	2005					5		5
	2006					11		11
	2008						10	10
Total GECEM		5			1	87	19	112
Inconnu	2006			1				1
	2007						1	1
	2008	3	1				2	6
Total Inconnu		3	1	1			3	8

Organisme	Année	Rorqual	Cachalot	Globicéphale	D. Risso	Grand dauphin	D. bleu et blanc	Total
NURC	1995	54	6		7		9	76
	1996	18	6					24
	1997	8	2					10
	1999	160	6	12	2		138	318
	2000	79	52	3	2	5	102	243
	2001	14	14	1	7	1	34	71
	2002	40	44		1		48	133
	2003	18	23	2	6	3	62	114
	2005	2			2		41	45
2006	36	2				47	85	
Total NURC		429	155	18	27	9	481	1 119
Participe Futur	2006						6	6
	2007						42	42
	2008						17	17
Total Participe Futur							65	65
Regard du vivant	2007	2	5			1	46	54
	2008	2	1	2			1	6
Total Regard du vivant		4	6	2		1	47	60
SCS	1997	8	3				14	25
	1998	24		5			36	65
	1999	69	8	12		2	76	167
	2000	43	14	10	3	5	127	202
Total SCS		144	25	27	3	7	253	459
SCS-EcoOcéan Institut	2005	15	1	2	1	1	47	67
	2006	26	9	1		1	36	73
	2007	17	1	3		1	77	99
	2008	29	10		5		75	119
Total SCS-EcoOcéan Institut		87	21	6	6	3	235	358
SOS Grand Bleu	1996	5			1		6	12
	1997	2			1		3	6
	1998	8			1	1	3	13
	2006						1	1
	2007				1		5	6
Total SOS Grand Bleu		15			4	1	18	38
Souffleur d'Ecumes	2001	99	3	4	2	5	143	256
	2004				1	2	1	4
Total Souffleur d'Ecumes		99	3	4	3	7	144	260
WWF	2000	4	3		4	3	20	34
	2001	44	1	3	7		67	122
	2008	1						1
Total WWF		49	4	3	11	3	87	157
WWF-CRC	2008	14	5	3	1		70	93
Total WWF-CRC		14	5	3	1		70	93
WWF-EcoOcean Institut	2007	3	3		2		8	16
	2008	14	4				33	51
Total WWF-EcoOcean Institut		17	7		2		41	67
WWF-FNH-EcoOcéan Institut	2006	26		2		2	50	80
	2007	23	8	2	2	1	127	163
Total WWF-FNH-EcoOcéan Institut		49	8	4	2	3	177	243
TOTAL		1 707	340	134	138	291	3 474	6 084

Cette forte représentation des dauphins bleu et blanc est encore plus marquée si l'on regarde le nombre d'individus, car cette espèce représente plus des trois quarts des individus observés (Figure 3). Cet effectif s'expliquant d'une part par le grand nombre d'observations mais également par le fait que ces animaux se rencontrent en moyenne dans des groupes de 13 individus, contrairement aux rorquals communs et aux cachalots que l'on observe plus souvent seuls, avec un effectif moyen de 1,5 et 1,4 respectivement (Tableau 9)

Pour les autres delphinidés, l'effectif des groupes est plus important avec en moyenne 9,2 individus par groupe pour le dauphin de Risso, 10,2 pour le grand dauphin et 19,3 pour le globicéphale noir (Tableau 9).

Si l'on considère les six espèces, 56% des observations sont des observations de dauphins bleu et blanc, soit 83% du nombre d'individus observés. Les rorquals quant à eux représentent 29% des observations mais seulement 5% du nombre d'individus observés.

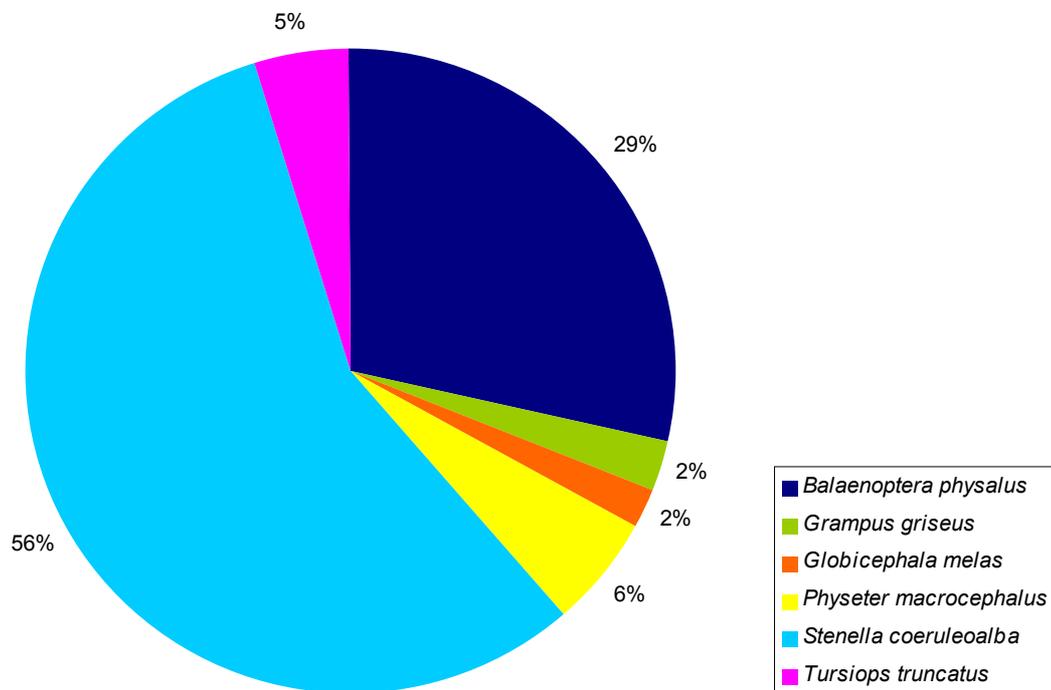


Figure 2. Répartition des observations de chaque espèce entre 1994 et 2008.

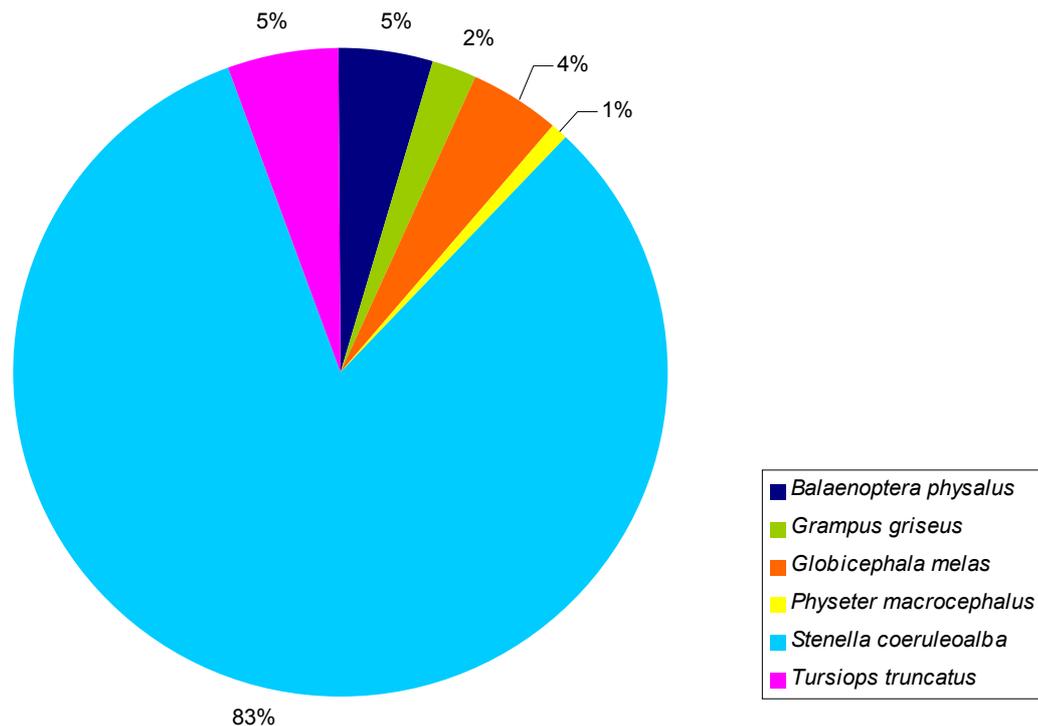


Figure 3. Répartition des individus observés pour chaque espèce entre 1994 et 2008.

Tableau 9. Effectifs des groupes observés (individus par groupe) des différentes espèces de cétacés.

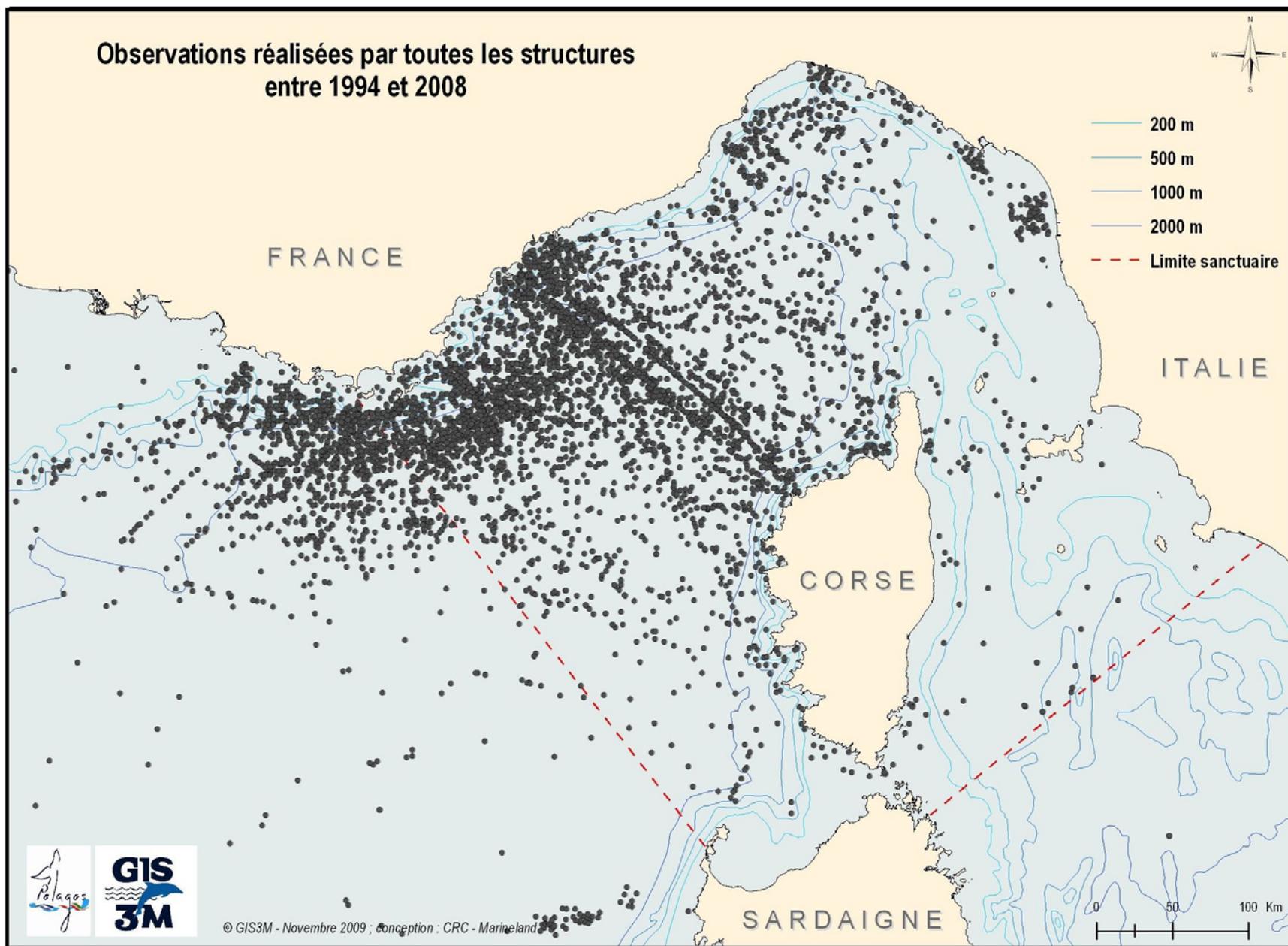
	Nombre d'observations	Effectifs observés	Effectif moyen
<i>Balaenoptera physalus</i>	1 707	2 607	1,5
<i>Physeter macrocephalus</i>	340	464	1,4
<i>Globicephala melas</i>	134	2 586	19,3
<i>Grampus griseus</i>	137	1 255	9,2
<i>Tursiops truncatus</i>	291	2 978	10,2
<i>Stenella coeruleoalba</i>	3 474	44 944	12,9

2- Répartition des six espèces de cétacés dans le Sanctuaire

Comme mentionné précédemment, 16 structures ont accepté de nous fournir leurs données pour cette étude collaborative. Si certaines d'entre elles ont l'habitude de traiter des données spatialisées, d'autres n'avaient peut-être jamais compilé leurs données sous forme de cartes globales représentant leur travail. Les cartes de distribution par structure sont donc disponibles en Annexe 3.

Une première carte (Carte 6) représentant la totalité des observations (base « observation ») permet d'avoir un aperçu de la distribution des cétacés dans la région du Sanctuaire PELAGOS.

Peu d'observations ont été faites à l'est de la Corse et la majorité des données rassemblées pour ce projet se situent entre Toulon, San Remo et l'ouest de la Corse. La plupart des données à l'est de la Corse proviennent des deux seuls partenaires italiens (CETUS Italie et l'Acquarium de Gênes).

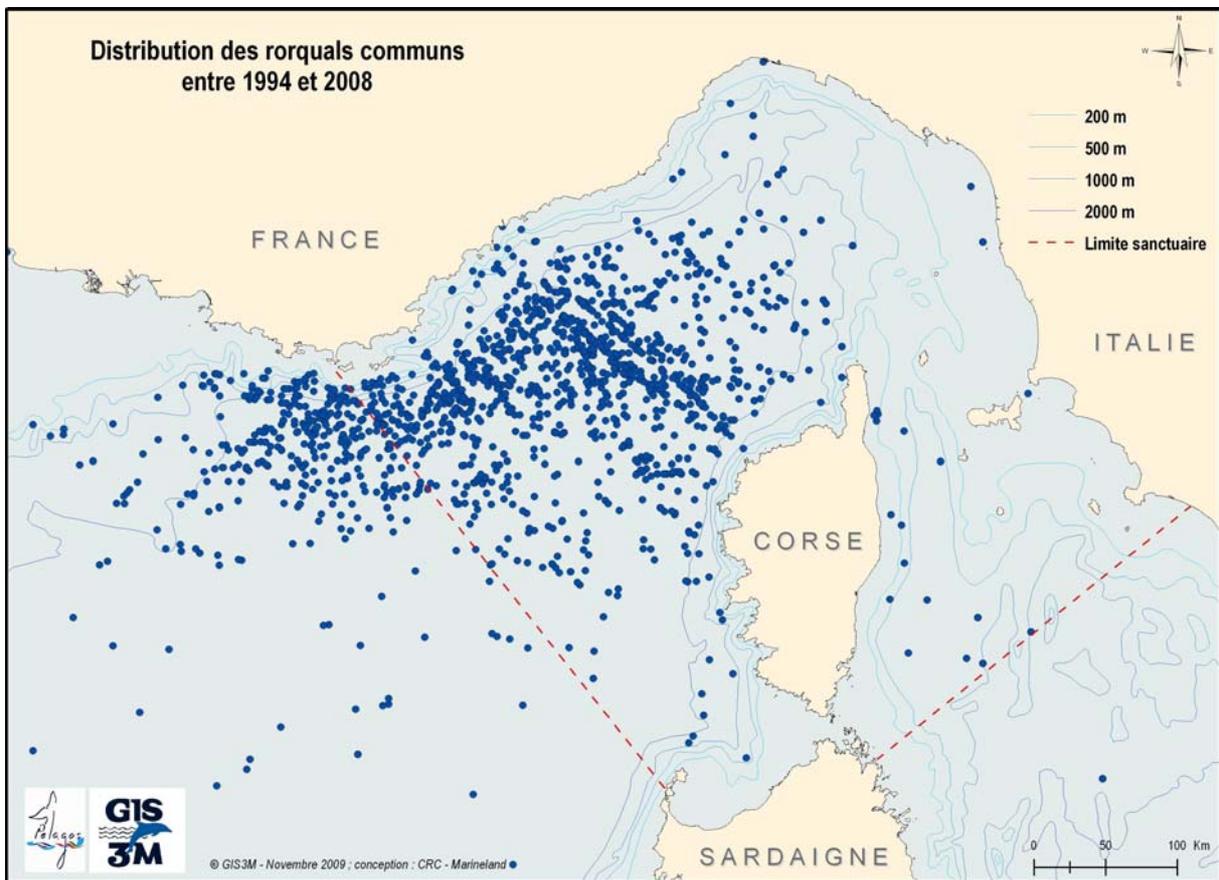


Carte 6. Représentation de toutes les observations de cétacés de 1994 à 2008 compilées pour ce programme.

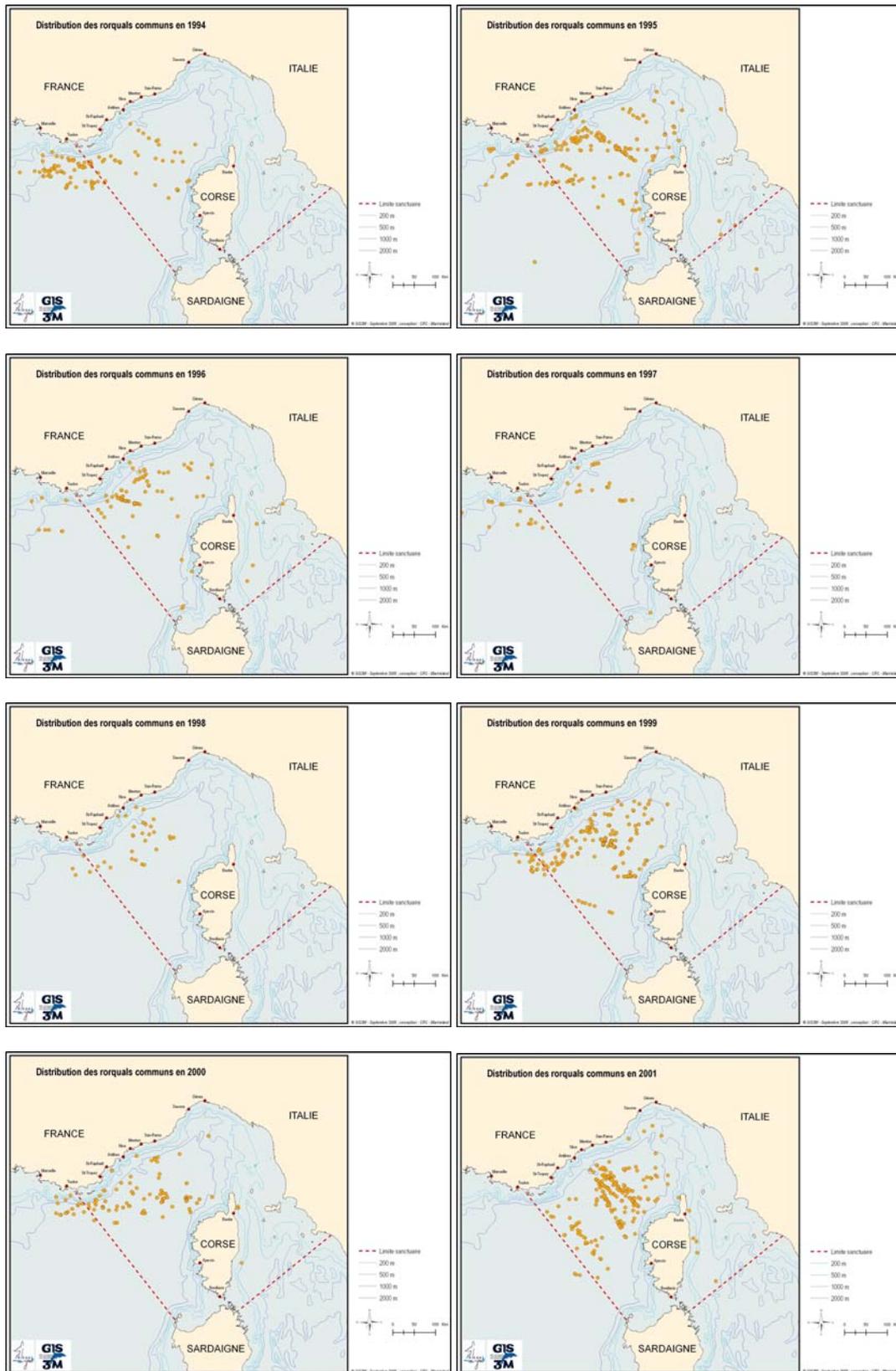
a) Le rorqual commun

Les rorquals communs se distribuent essentiellement sur des profondeurs supérieures à 2 000 m (Carte 7). Nous pouvons cependant constater que quelques individus ont été observés très proches du littoral, sur de faibles profondeurs. Les observations en mer Tyrrhénienne sont peu nombreuses, mais ce résultat pourrait être biaisé par un faible effort de prospection dans cette zone et malgré l'important jeu de données rassemblé.

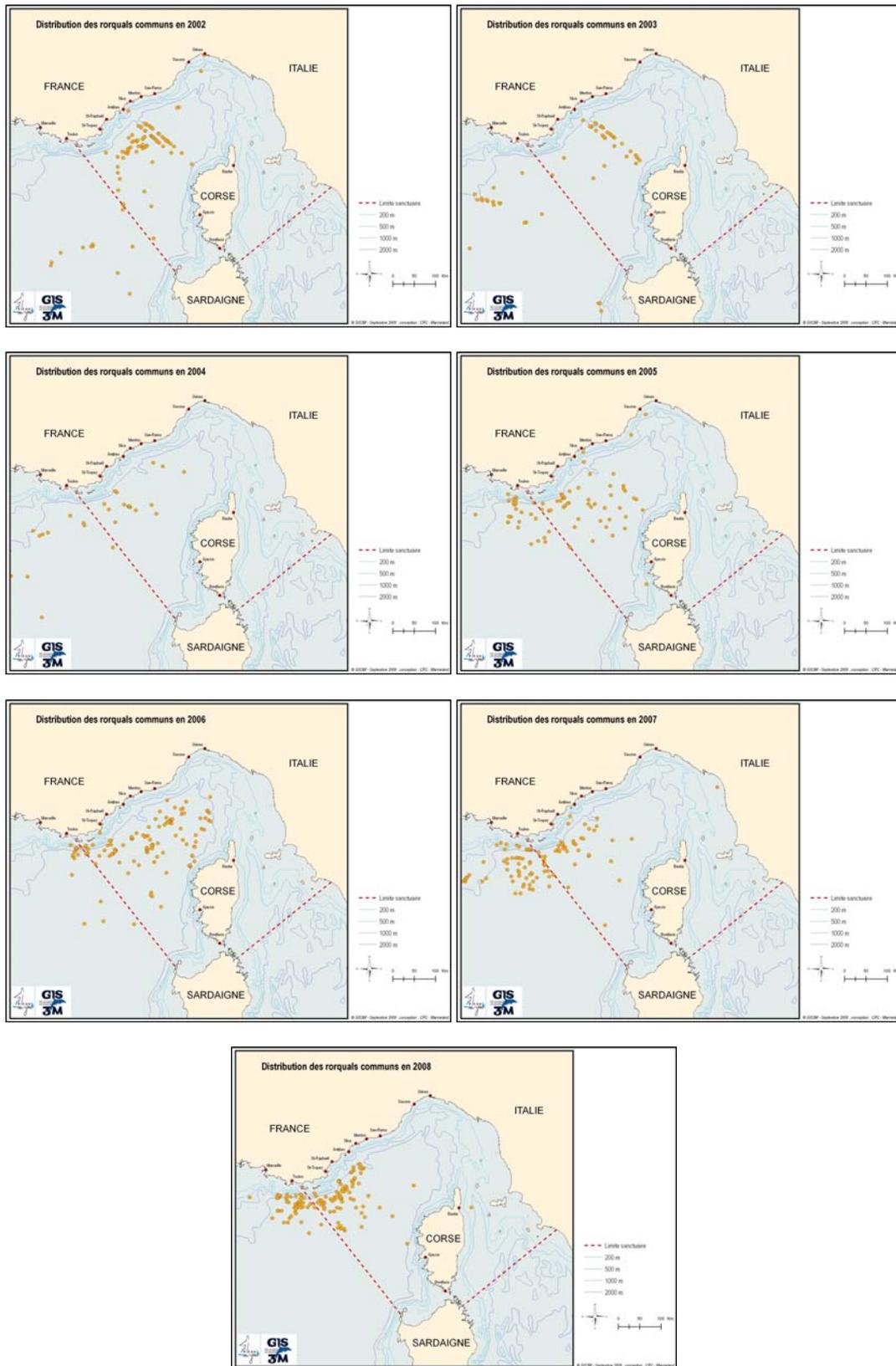
Les Carte 8 et Carte 9 permettent de visualiser les observations de rorquals par année. Encore une fois ces résultats sont fortement influencés par les campagnes de prospections organisées, mais ils permettent de représenter le détail annuel de l'emprise spatiale du jeu de données.



Carte 7. Distribution des observations de rorquals communs entre 1994 et 2008.



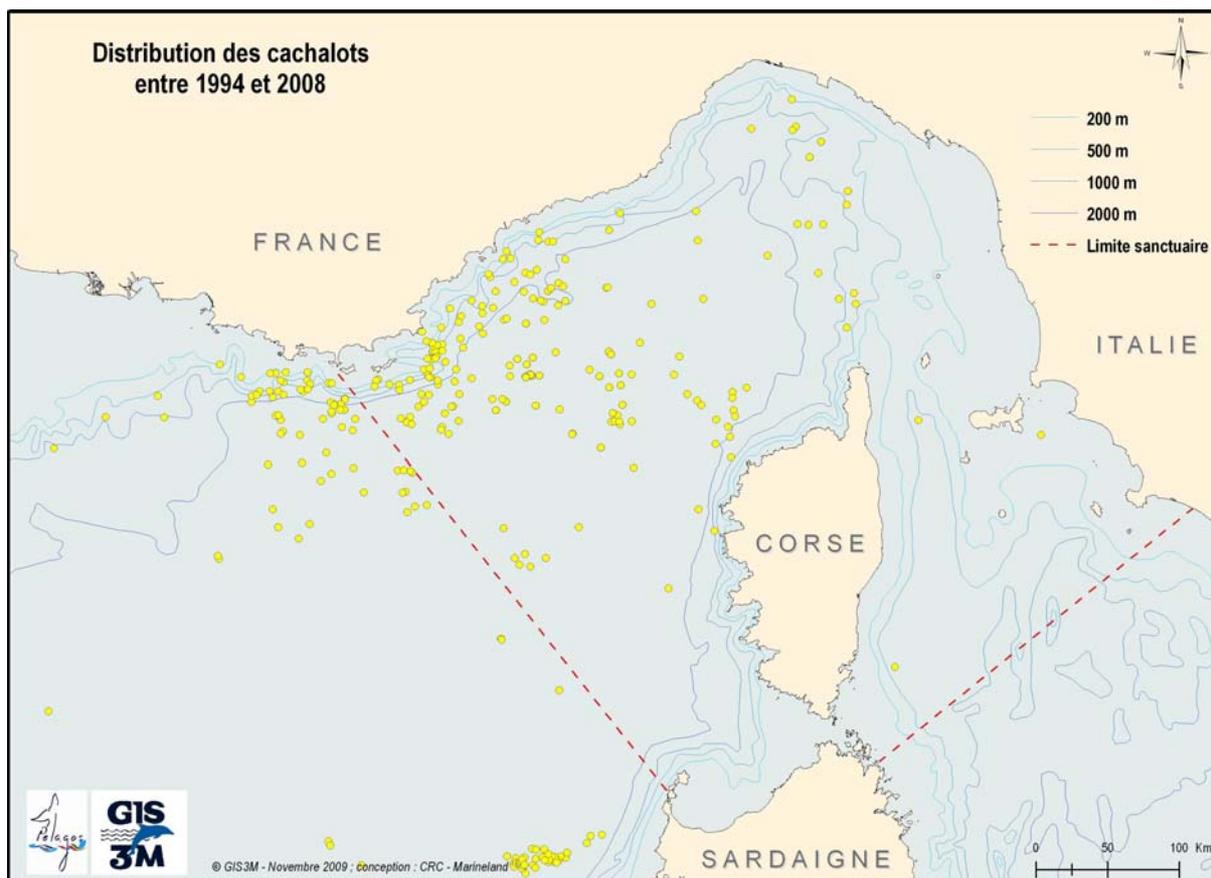
Carte 8. Distribution annuelle des observations de rorquals communs de 1994 à 2001.



Carte 9. Distribution annuelle des observations de rorquals communs de 2002 à 2008.

b) Le cachalot

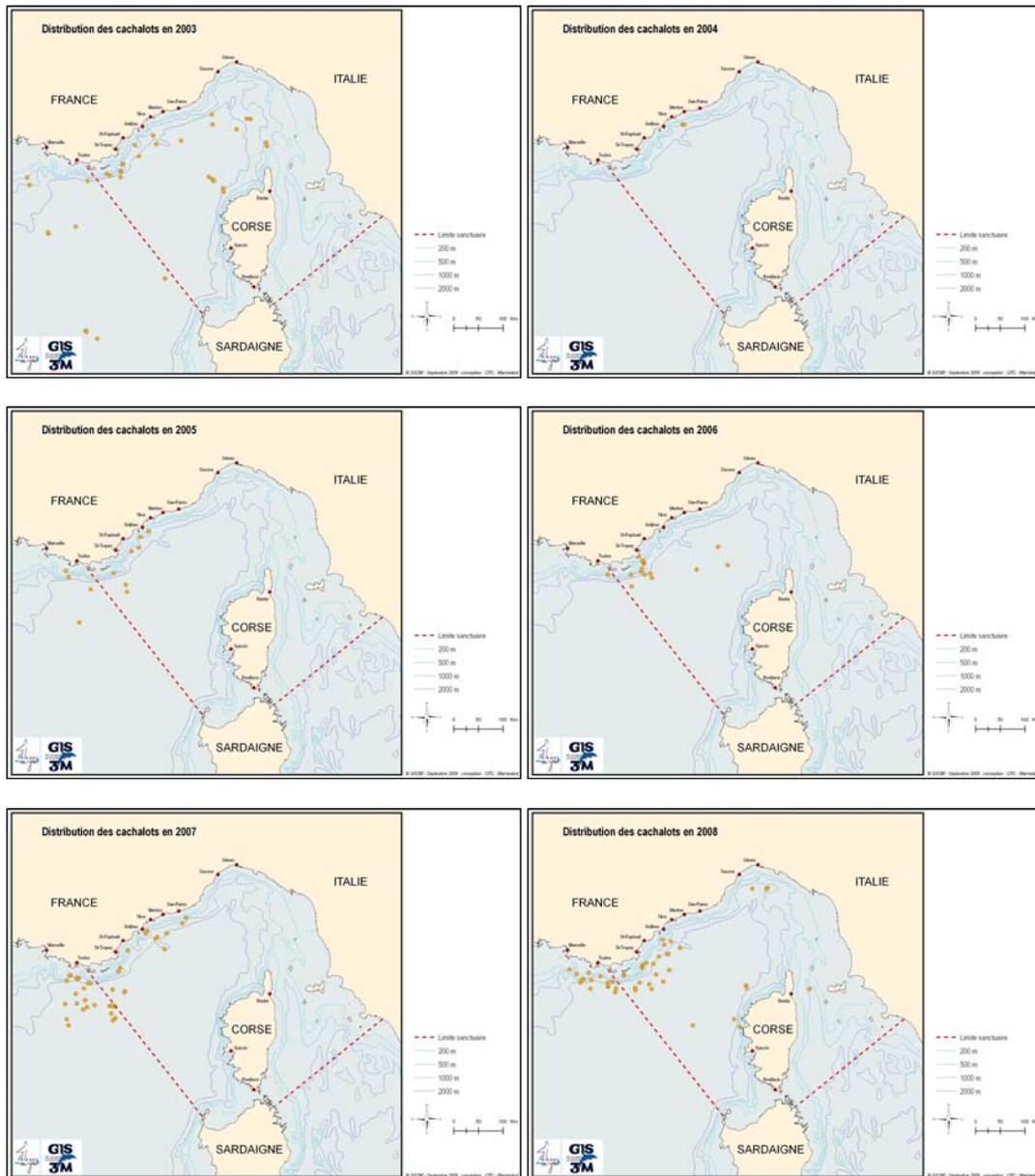
La répartition globale des observations de cachalots est présentée sur la Carte 10 ; nous observons que la zone du talus est bien fréquentée par les cachalots, mais elle n'est pas forcément préférentielle. En effet une large proportion des observations est réalisée au large. A nouveau la mer Tyrrhénienne est faiblement représentée. Les Carte 11 et Carte 12 permettent de visualiser les observations de cachalots par année.



Carte 10. Distribution des observations de cachalots entre 1994 et 2008.



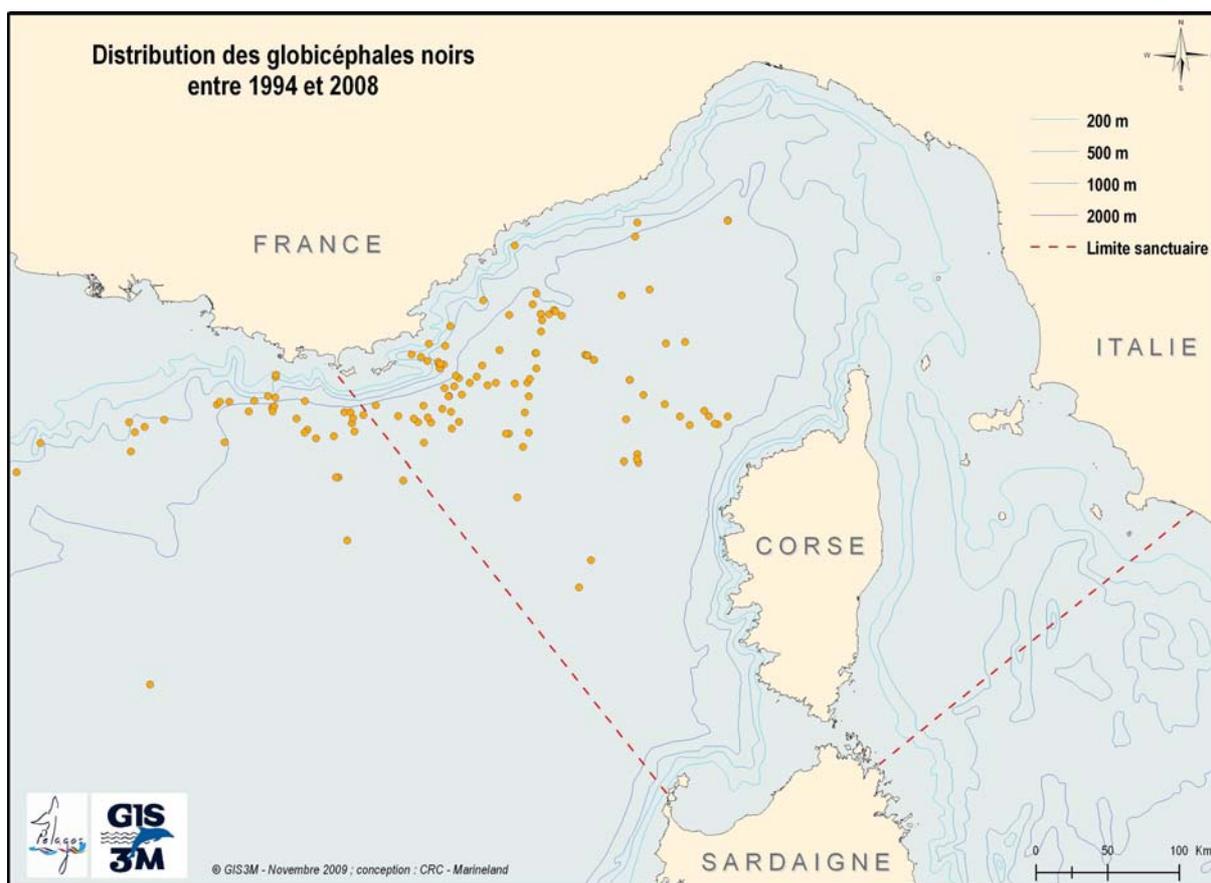
Carte 11. Distribution annuelle des observations de cachalots de 1994 à 2002.



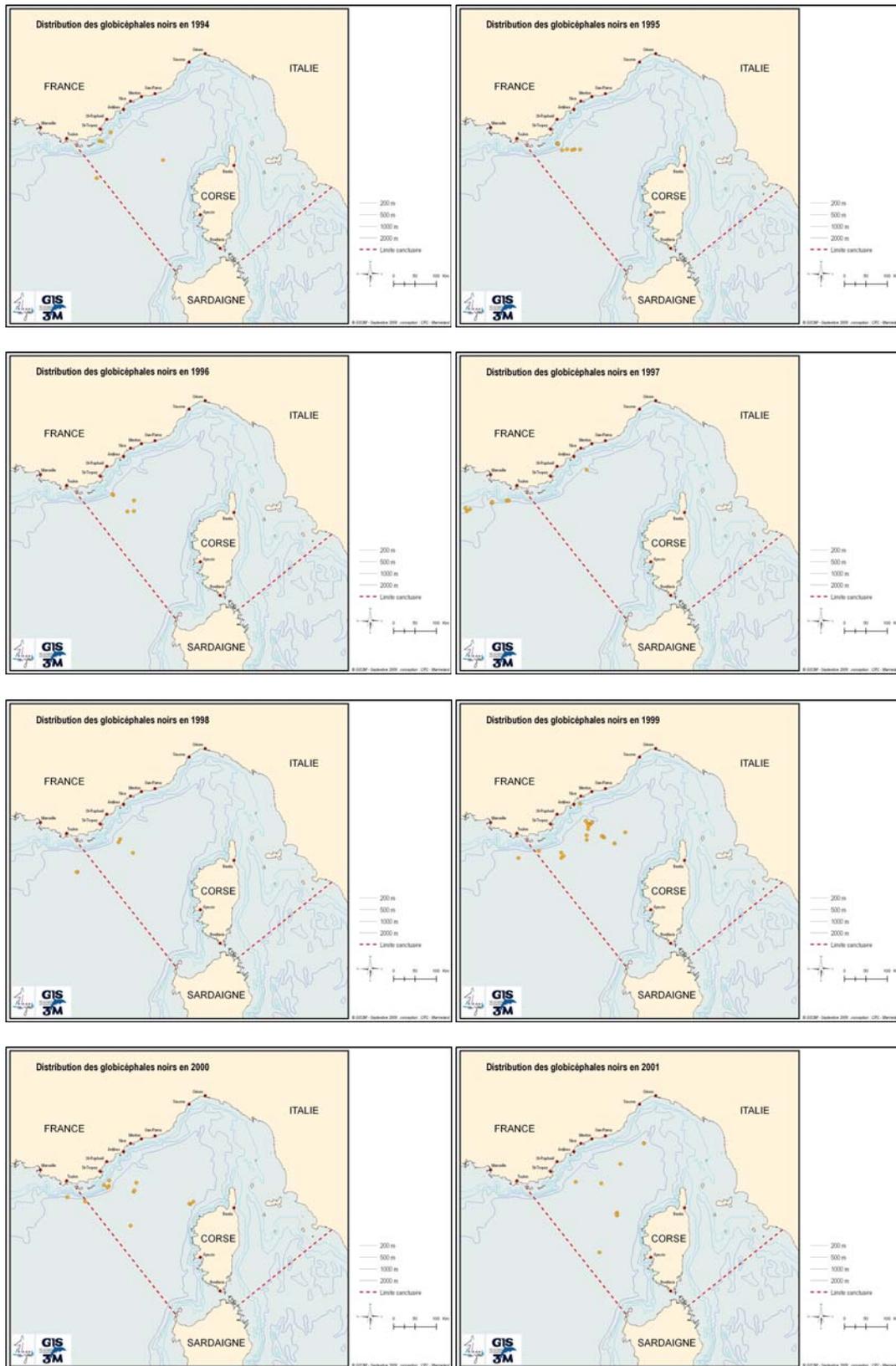
Carte 12. Distribution annuelle des observations de cachalots de 2003 à 2008.

c) Le globicéphale noir

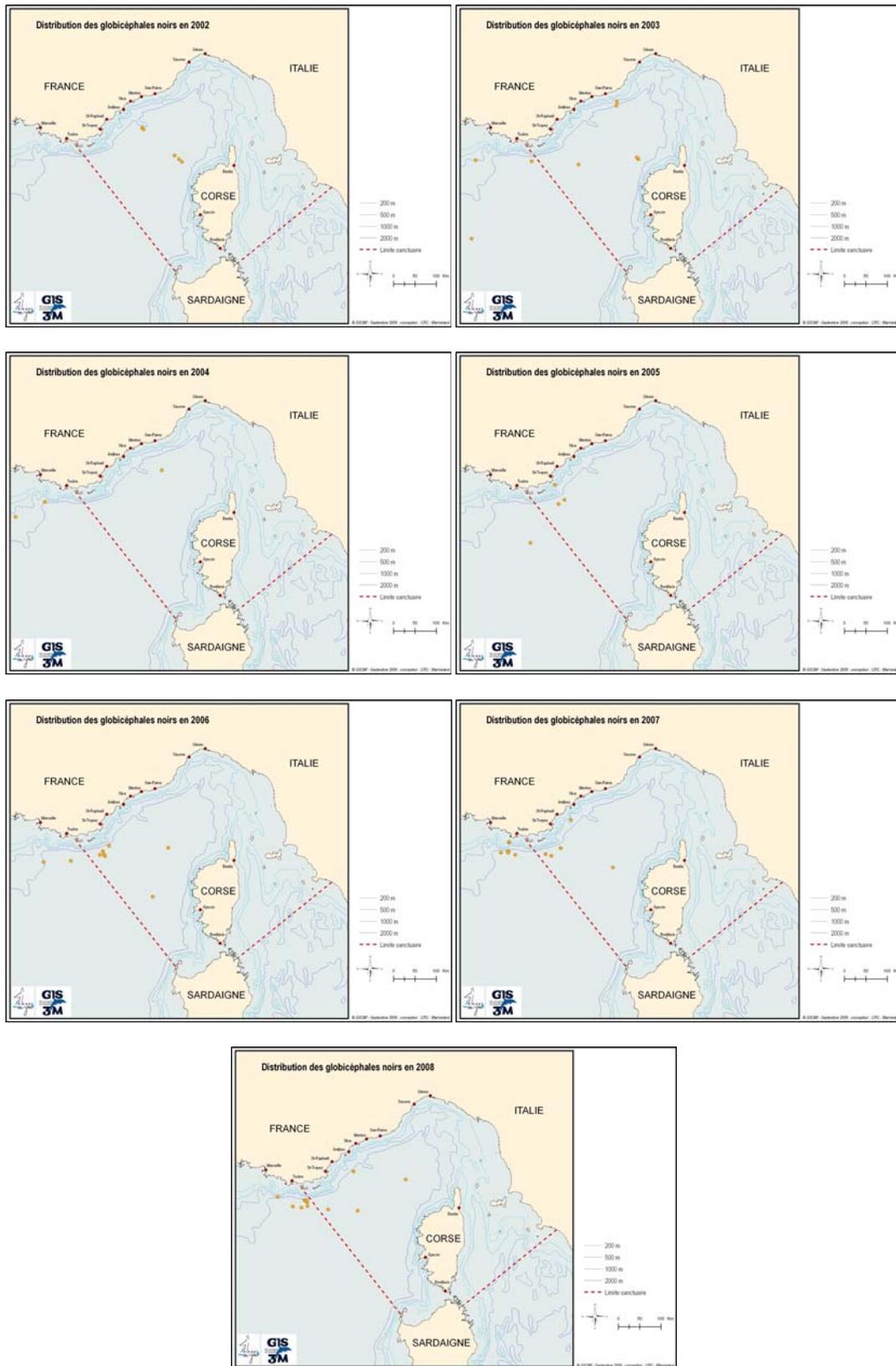
La répartition globale des observations de globicéphales noirs (Carte 13) montre une préférence pour la zone du large et le bas du talus (autour de l'isobathe 2 000 m), principalement pour le littoral continental. Les cartes de répartition année par année (Carte 14 ; Carte 15) montrent souvent un regroupement spatial des observations, ce qui nous laisse envisager qu'éventuellement une certaine cohésion sociale existe entre les différents groupes observés ou que d'autres facteurs, tels que la distribution des proies, conditionnent leur distribution (Tableau 9).



Carte 13. Distribution des observations de globicéphales noirs entre 1994 et 2008.



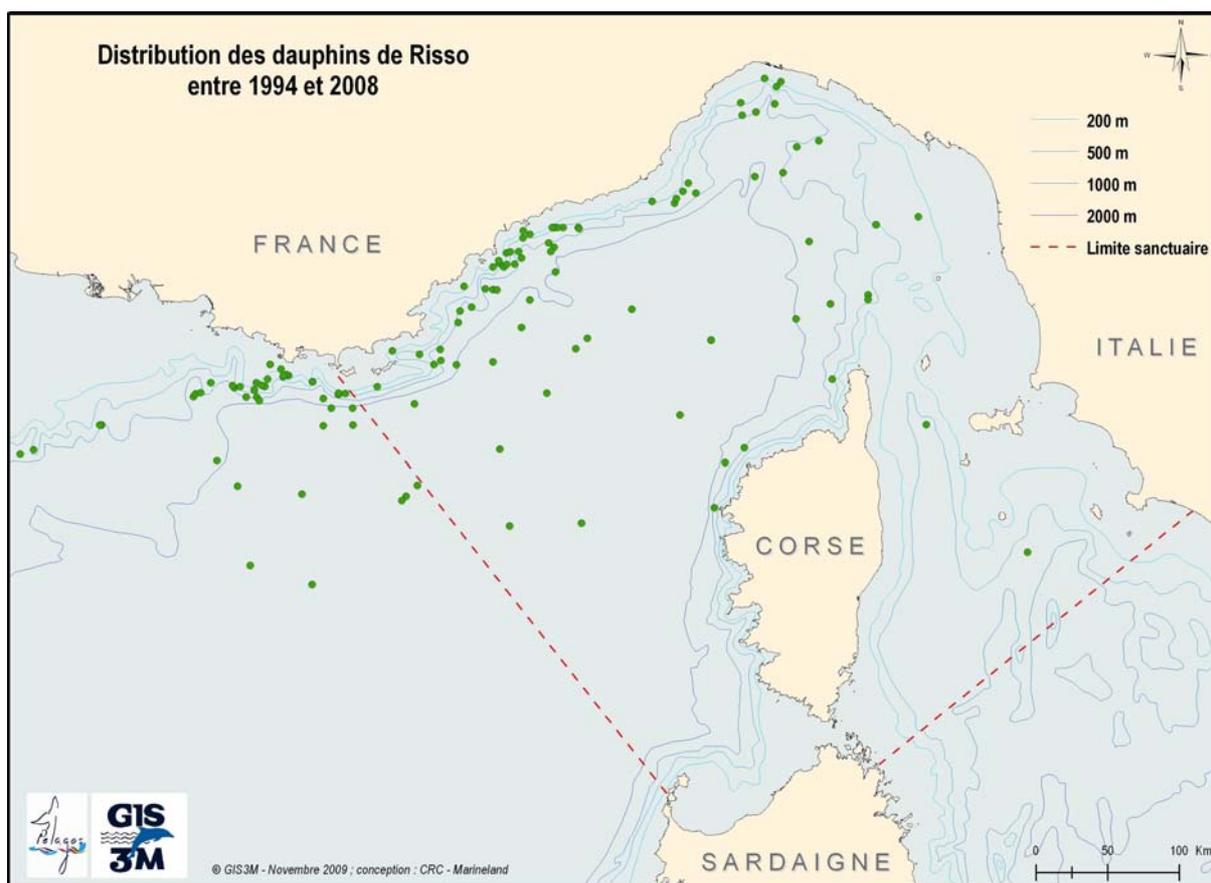
Carte 14. Distribution annuelle des observations de globicéphales noirs entre 1994 et 2001.



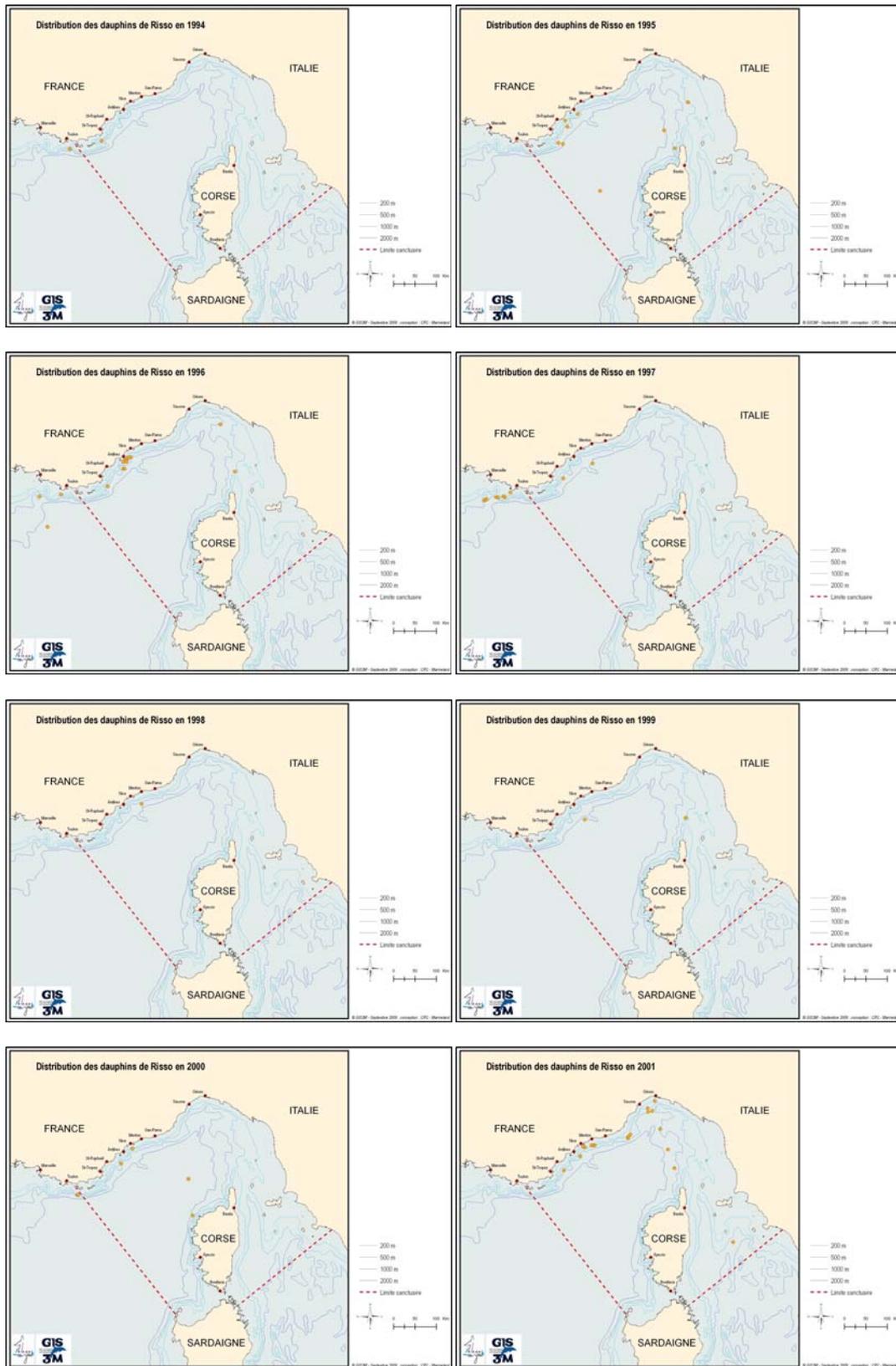
Carte 15. Distribution annuelle des observations de globicéphales noirs de 2002 à 2008.

d) Le dauphin de Risso

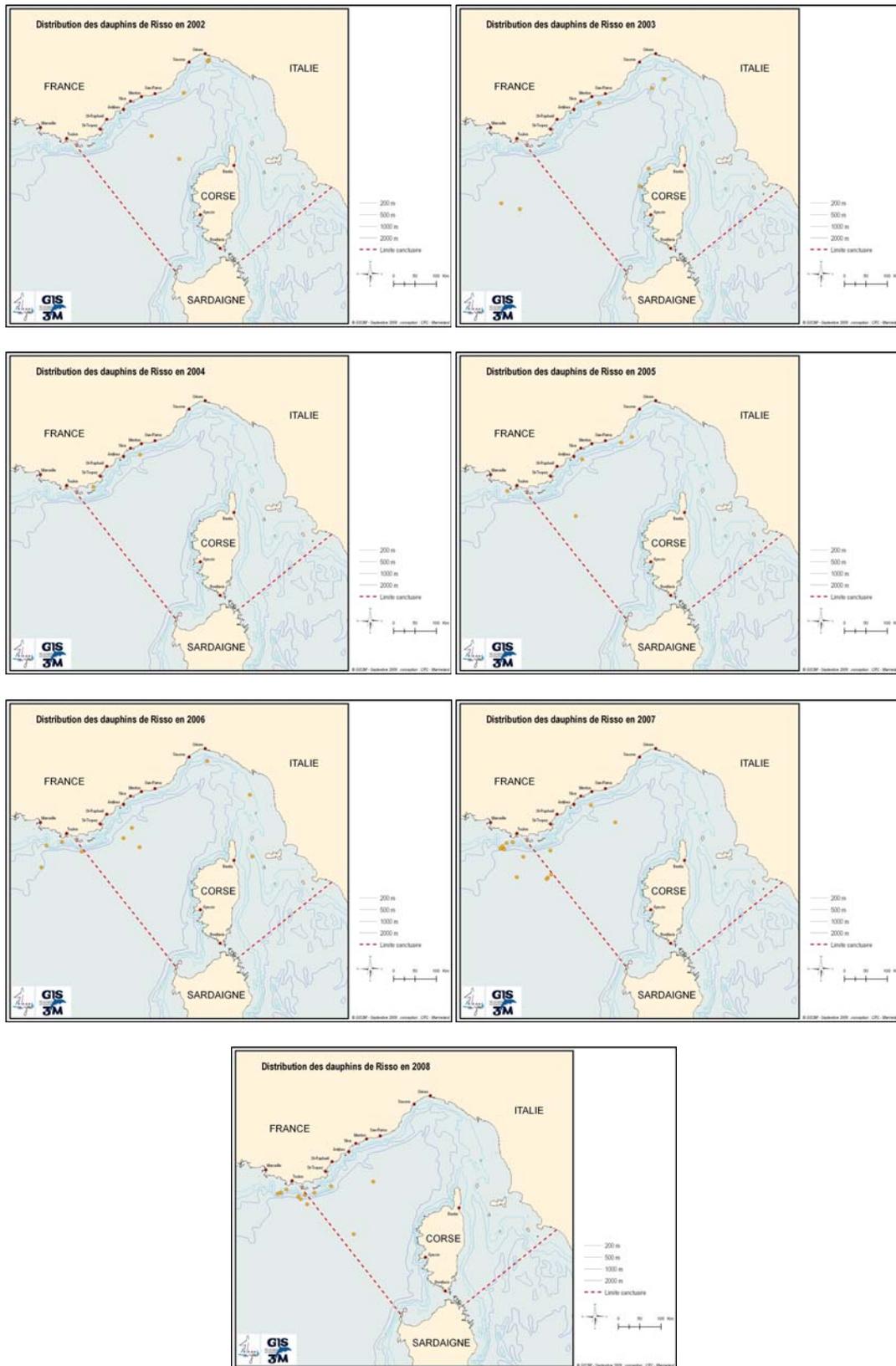
L'ensemble des observations de dauphins de Risso (Carte 16) montre une préférence pour la zone du haut du talus (200 - 1 000 m de profondeur) principalement pour le littoral continental. Les cartes de répartition année par année montrent une répartition relativement homogène entre les années (Carte 17 ; Carte 18), même si à nouveau les différentes configurations des missions en mer, entraînent une hétérogénéité dans la répartition spatiale de l'effort de prospection et donc des observations.



Carte 16. Distribution des observations de dauphins de Risso entre 1994 et 2008.



Carte 17. Distribution annuelle des observations de dauphins de Risso de 1994 à 2001.

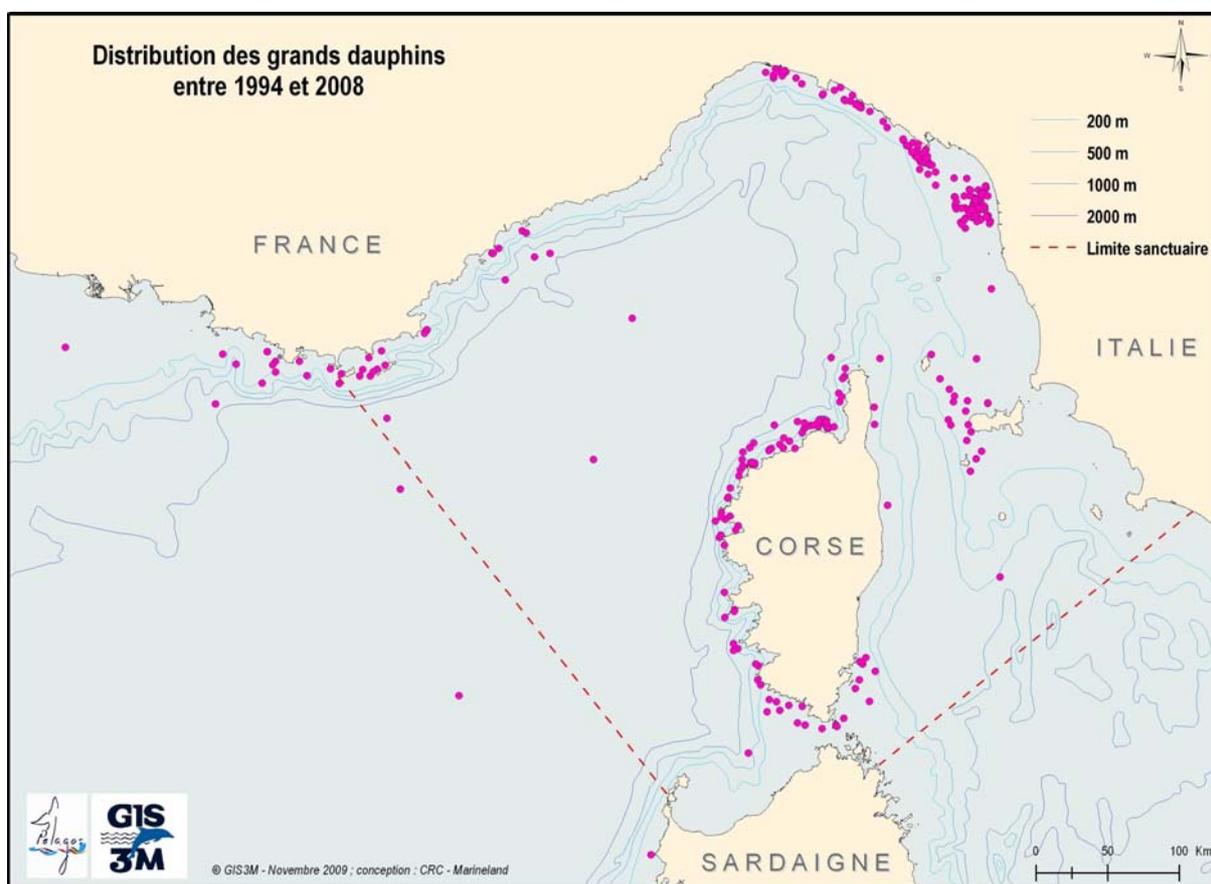


Carte 18. Distribution annuelle des observations de dauphins de Risso de 2002 à 2008.

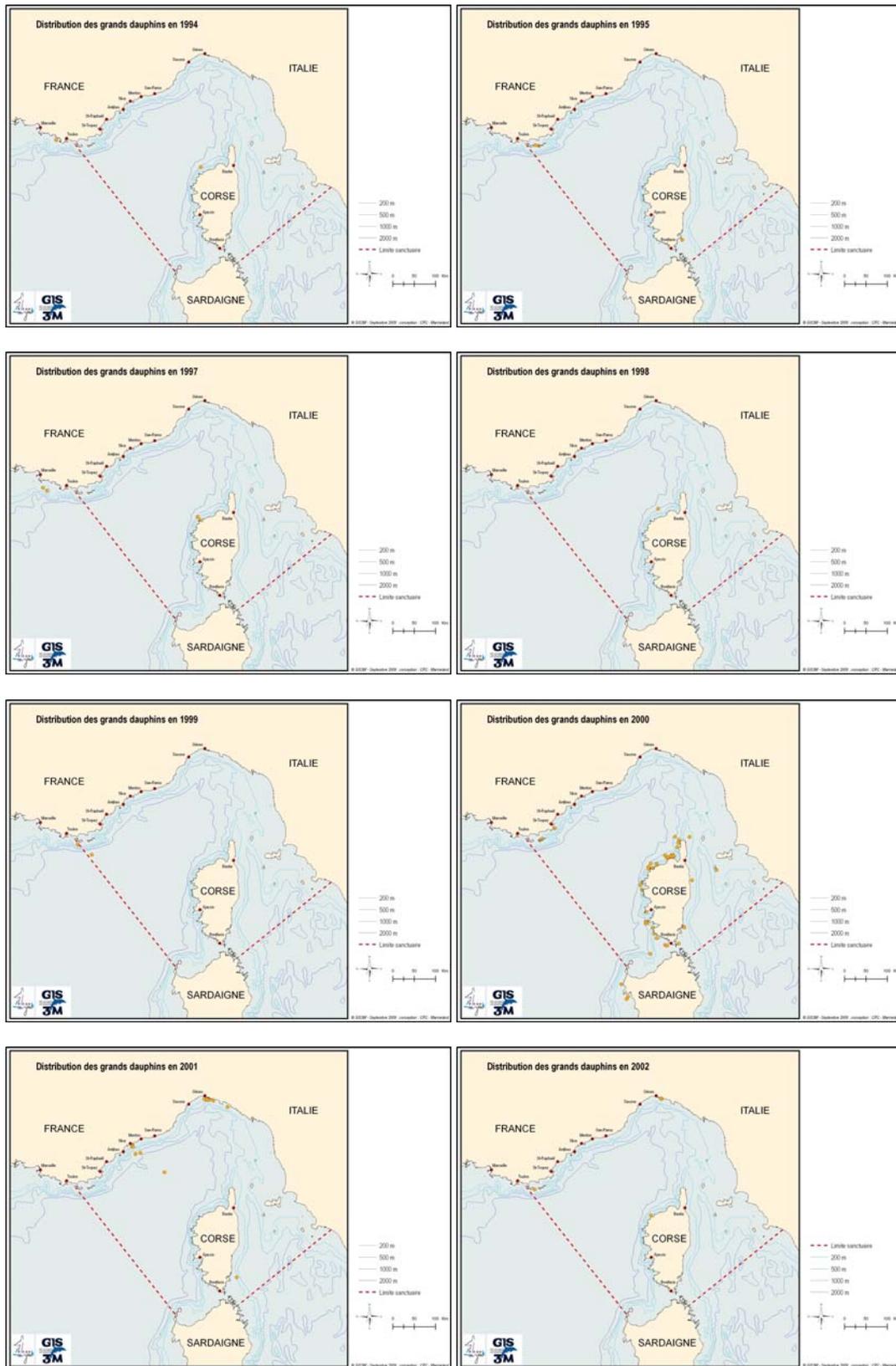
e) Le grand dauphin

C'est clairement la frange littorale, le plus souvent inférieure à 500 m que les grands dauphins affectionnent le plus (Carte 19) que cela soit sur la partie continentale ou aussi bien autour de la Corse. La forte proportion des observations autour de la zone corse et dans le Golfe de Gênes est certainement induite par un effort de prospection ciblé sur cette espèce dans ces deux régions. Les régions Ile d'Elbe, Iles d'Hyères et plus faiblement autour de Nice apparaissent comme également bien représentées. Nous observons également quelques observations ponctuelles localisées au large, pouvant correspondre à un transit d'individus d'une zone à l'autre.

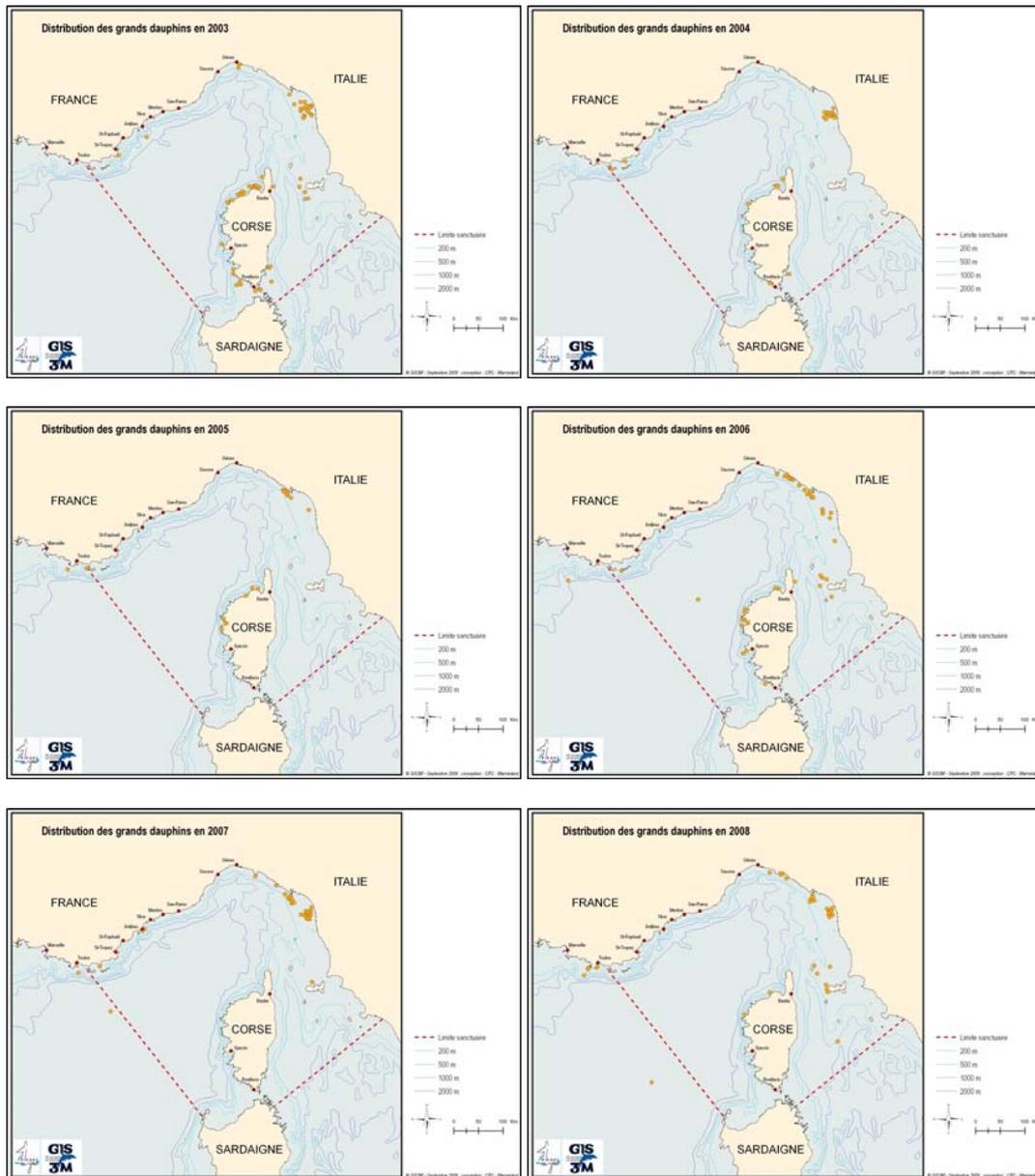
Les cartes de répartition année par année (Carte 20 ; Carte 21) montrent des observations très localisées qui peuvent être le fait de groupes sédentaires rencontrés régulièrement au sein de leur domaine vital. Ces groupes se composent en moyenne d'une dizaine d'individus (Tableau 9).



Carte 19. Distribution des observations de grands dauphins entre 1994 et 2008.



Carte 20. Distribution annuelle des observations de grands dauphins de 1994 à 2002.

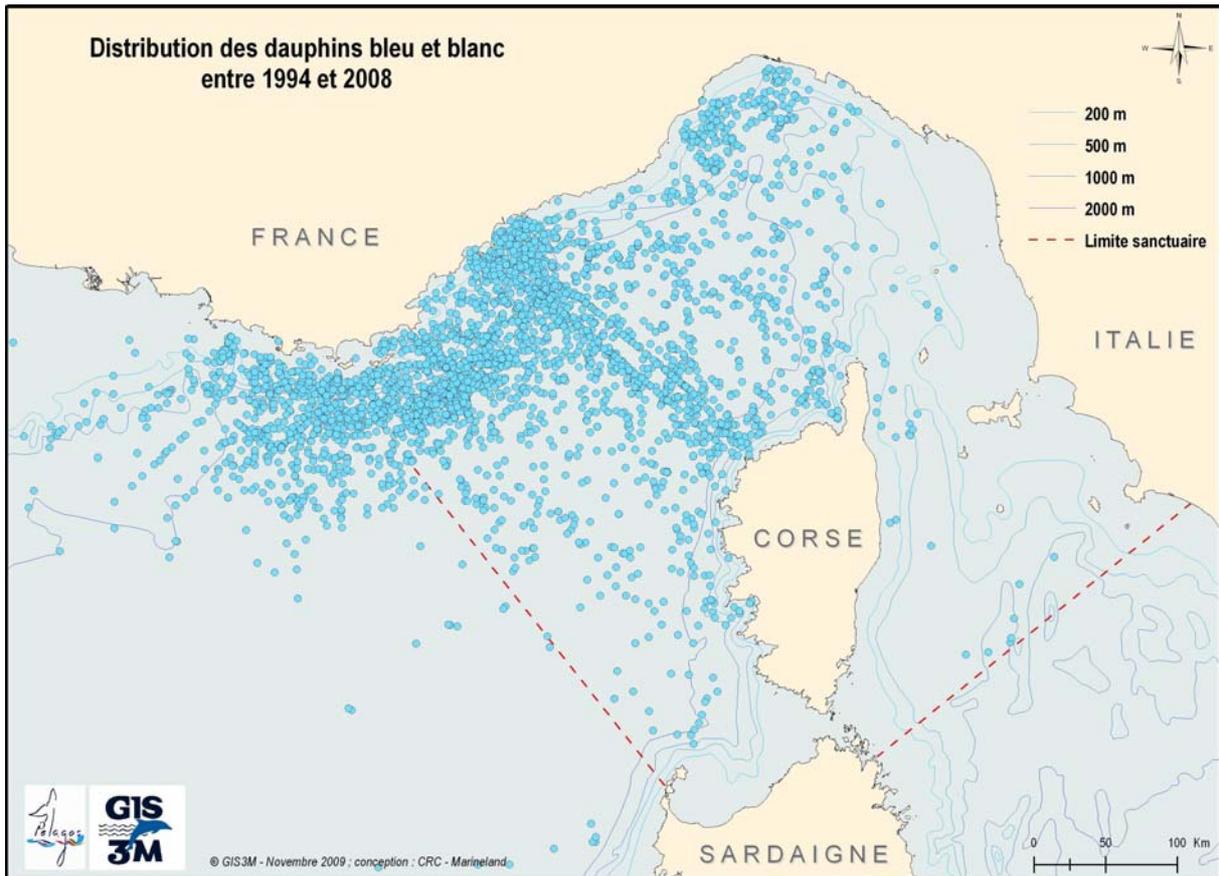


Carte 21. Distribution annuelle des observations de grands dauphins de 2003 à 2008.

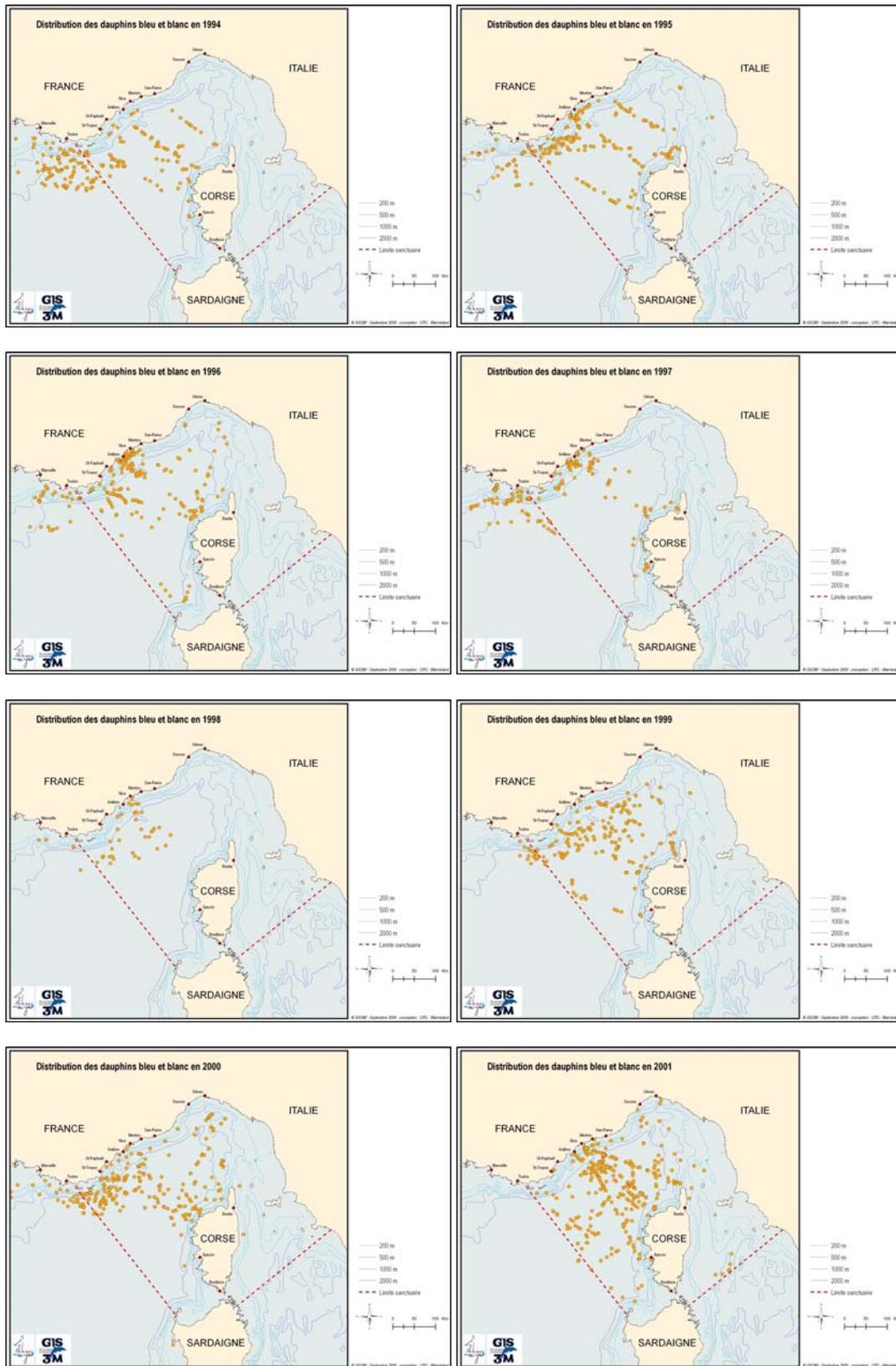
f) Le dauphin bleu et blanc

Les observations de dauphins bleu et blanc sont localisées aussi bien au large que dans les zones côtières continentale et corse (Carte 19). Il est fort possible que le faible nombre en mer Tyrrhénienne soit induit par la rareté de l'effort de prospection dans ce secteur.

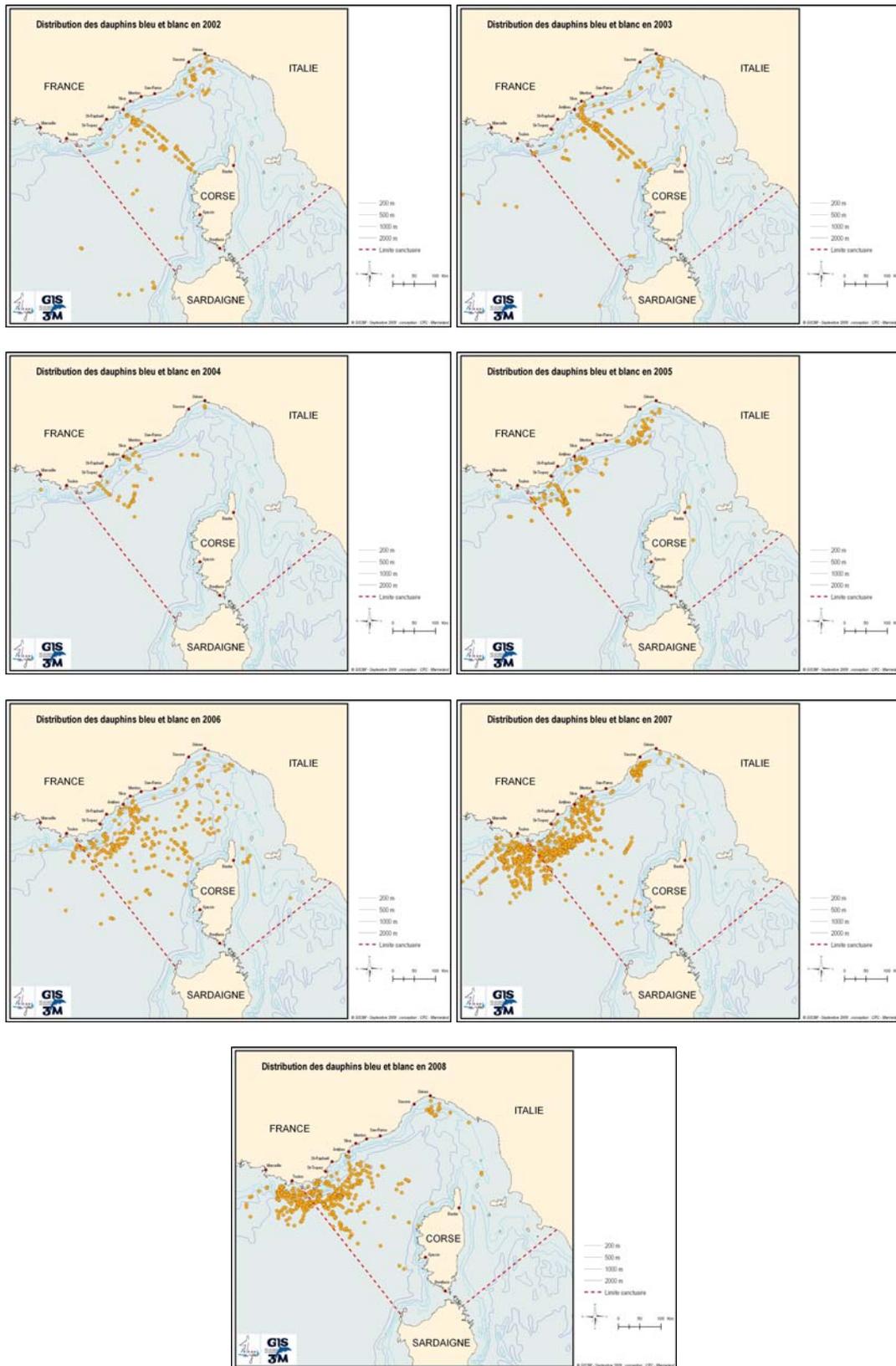
Les cartes de répartition année par année (Carte 23 ; Carte 24) montrent une distribution hétérogène fortement liée à l'effort de prospection.



Carte 22. Distribution des observations de dauphins bleu et blanc entre 1994 et 2008.



Carte 23. Distribution annuelle des observations de dauphins bleu et blanc de 1994 à 2001.

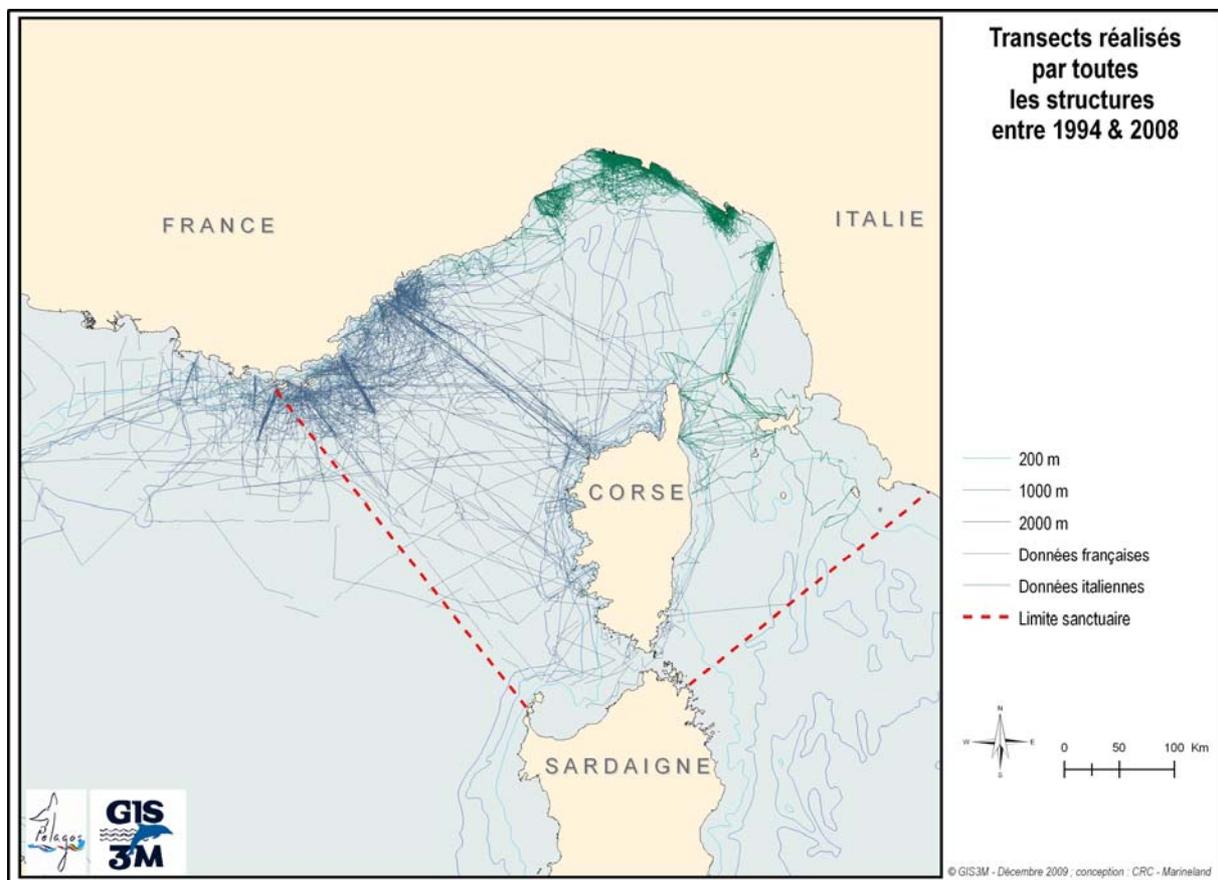


Carte 24. Distribution annuelle des observations de dauphins bleu et blanc de 2002 à 2008.

II - Abondance relative et analyse géostatistique

II.A Abondance relative

La base de donnée effort a été produite à partir des données fournies par neuf structures : Cybelle Planète, la Swiss Cetacean Society, le CRC, EcoOcéan Institut, le GECEM, le WWF, la fondation Nicolas Hulot, l'Aquarium de Gênes et le CETUS Italie. Les données de ces deux dernières structures, très spécifiques par leur localisation, sont intégrées dans les cartes (couleur verte sur les cartes), dans la partie abondance relative par maille, l'analyse géostatistique et l'ENFA, mais pas dans l'abondance relative globale ni la régression logistique. Cette base a été cartographiée pour avoir une idée de sa répartition spatiale toutes années et toutes structures confondues (Carte 25).

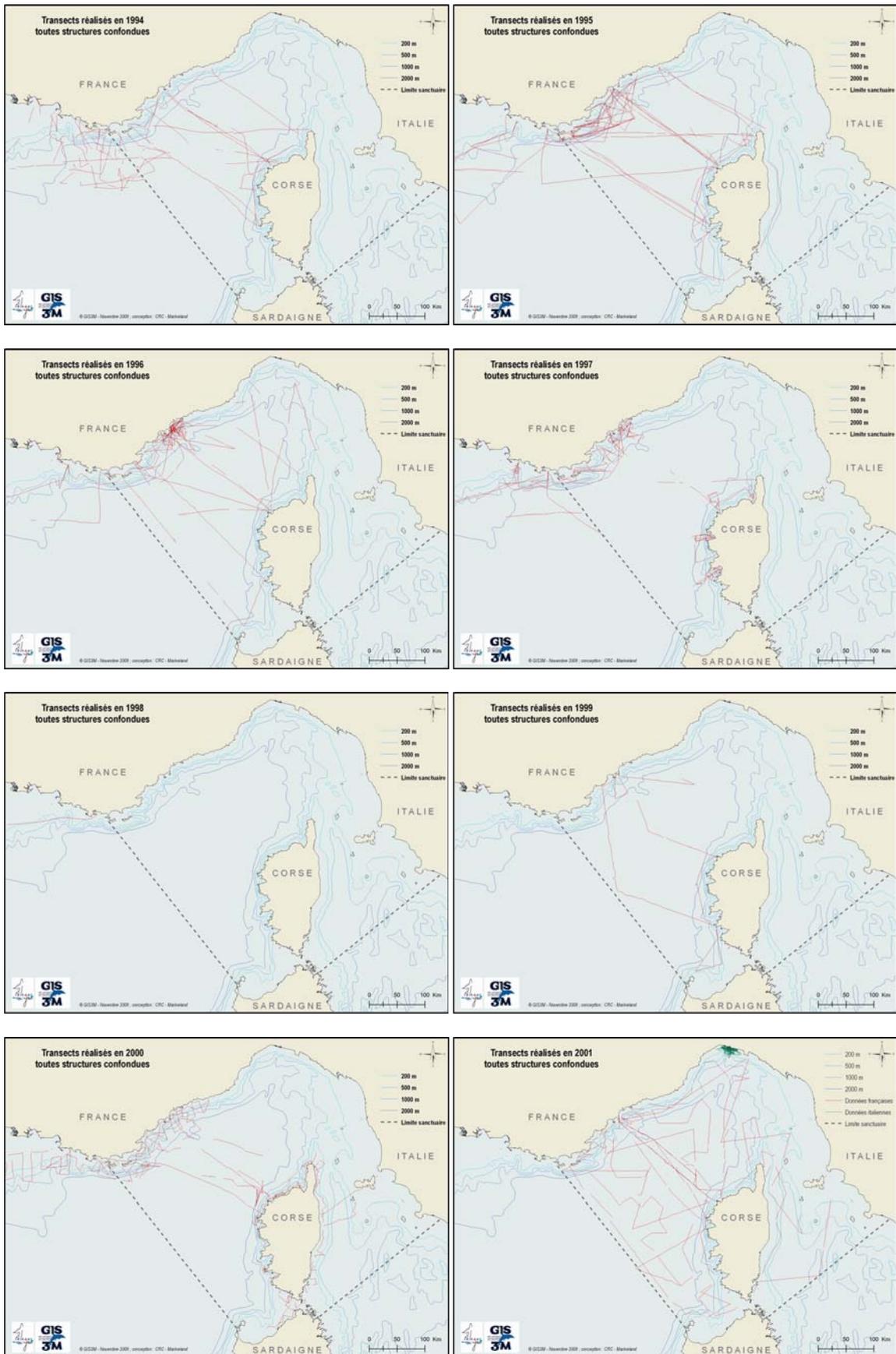


Carte 25. Transects réalisés en effort d'observation entre 1994 et 2008.

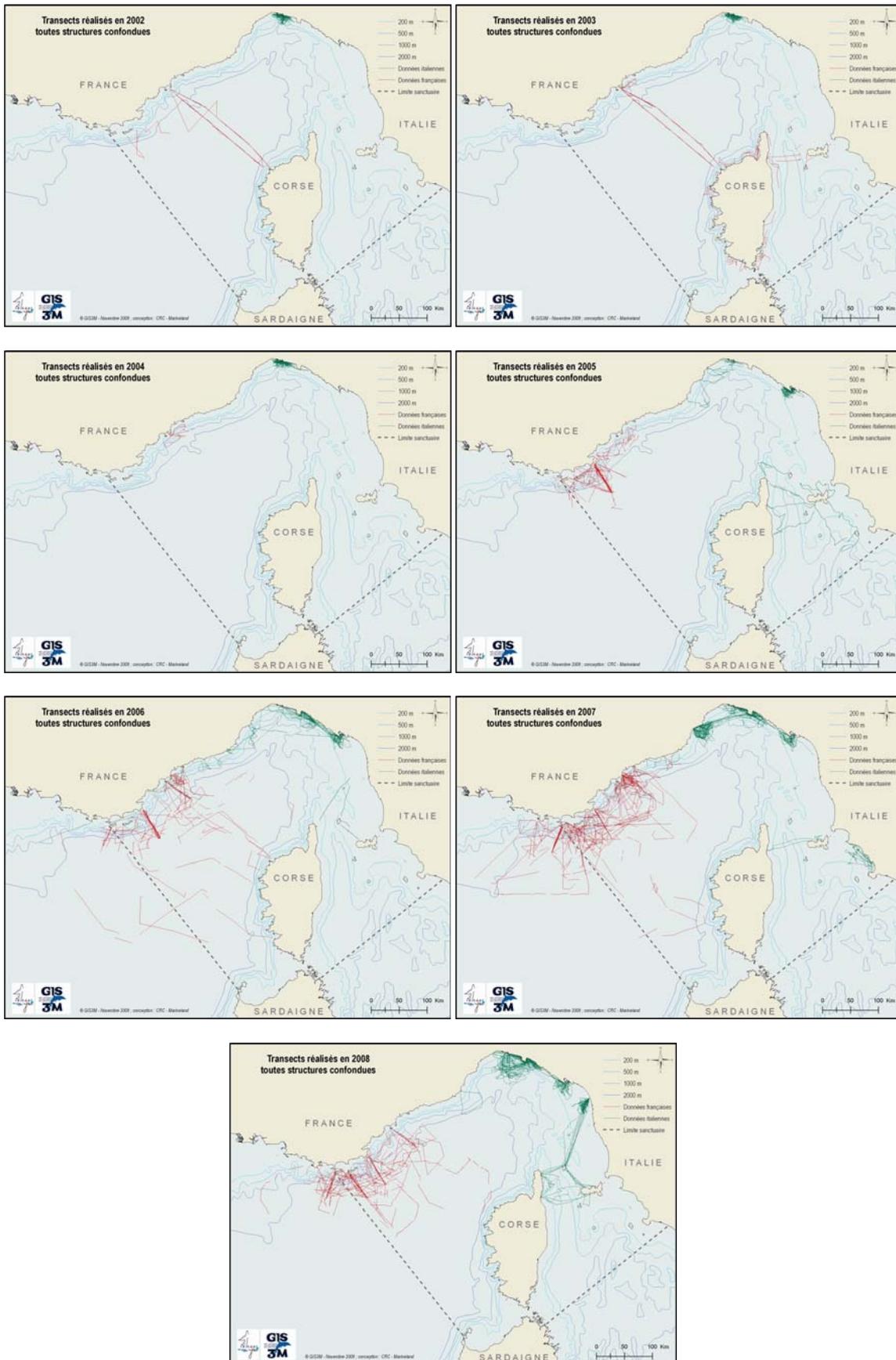
La distance totale parcourue au cours des différents programmes, sans les données des italiens, réalisés entre 1994 et 2008, est de 51 046 km sur toute la zone, ce qui représente 41 035 km parcourus au sein même du Sanctuaire PELAGOS. Cette distance est de 71 657 km soit 61 966 km au sein du Sanctuaire PELAGOS avec les données des italiens.

Le nombre de kilomètres parcourus est extrêmement variable d'une année sur l'autre. La moyenne annuelle est de 3 403 km avec une très grande amplitude : 8 136 km parcourus en 2007 contre 215 km seulement en 2004 ou 269 km en 1998 (Figure 6). Cette grande différence s'explique surtout par le nombre de structures ayant pu mener des campagnes en mer ces années là : par exemple en 1998, parmi les structures qui ont accepté de participer au projet, seulement une (EcoOcéan Institut) a réalisé une campagne en mer tandis qu'en 2007, cinq organismes (WWF associé à EcoOcéan Institut, la Swiss Cetacean Society et l'association Cybelle Planète associées à EcoOcéan Institut, et le CRC) ont fourni des données.

Les cartes qui suivent représentent les différents transects réalisés par année et permettent de visualiser les zones prospectées annuellement. Toutes les données des différentes structures ont été fusionnées et n'apparaissent pas différenciées sur ces cartes, mais les données des deux structures italiennes sont représentées d'une couleur différente (verte).



Carte 26. Transects réalisés en effort d'observation de 1994 à 2001.



Carte 27. Transects réalisés en effort d'observation de 2002 à 2008.

Le nombre d'observations (Tableau 10) au cours des campagnes d'échantillonnage avec effort associé est également très variable d'une année sur l'autre. En 1998, 269 km sont parcourus, et seuls 9 groupes de dauphins bleu et blanc ont été observés alors qu'en 2007, année où le nombre de campagnes en mer a été le plus élevé, 402 observations de cétacés ont été enregistrées.

La composition spécifique des observations (Figure 4) toutes années confondues souligne l'importance du dauphin bleu et blanc (66% des observations) comme précédemment, lorsque l'on a considéré le jeu de données complet de la base d'observations opportunistes (Figure 2). Un quart des observations lors des campagnes avec effort sont des observations de rorquals communs ; 9% des autres observations regroupent quatre espèces : le globicéphale noir (2%), le dauphin de Risso (2%), le grand dauphin (2%) et le cachalot (3%).

La prédominance du dauphin bleu et blanc est encore plus marquée si l'on considère le nombre d'individus (Figure 5 ; Tableau 10) soit 23 356 individus observés entre 1994 et 2008 en échantillonnage avec effort associé (89%). 11% des effectifs représentent donc les cinq espèces restantes dont seulement 106 cachalots en 14 ans.

Par ailleurs, bien que le nombre d'observations de cachalots soit relativement élevé, la taille des groupes de cette espèce est très faible (1,3 individus en moyenne par groupe) surtout si elle est comparée à celle des dauphins bleu et blanc (14 individus par groupe estimé) (Tableau 10).

D'une année sur l'autre, les quantités de données (effort et observations) sont très variables. En comparant le nombre d'observations de cétacés avec la distance parcourue (Figure 6), cela permet de mettre en évidence que plus l'effort est important, plus le nombre d'observations est élevé (Figure 6). En moyenne, le taux d'observations de cétacés (nombre d'observations divisé par le nombre de kilomètres) pour l'ensemble des années est de $0,048 \text{ obs.km}^{-1}$. On note également que ce taux peut varier d'une année sur l'autre. Ainsi, certaines années comme 1994 et 2002 présentent un taux d'observation supérieur à la moyenne ($0,067$ et $0,068 \text{ obs.km}^{-1}$ respectivement). A contrario, les années 2000 ou 2005 ($0,020$ et $0,030 \text{ obs.km}^{-1}$ respectivement) semblent moins riches en rencontres.

Ce taux d'observation par kilomètre parcouru est ensuite comparé au nombre d'échouages afin de voir si les tendances sont similaires (Figure 6).

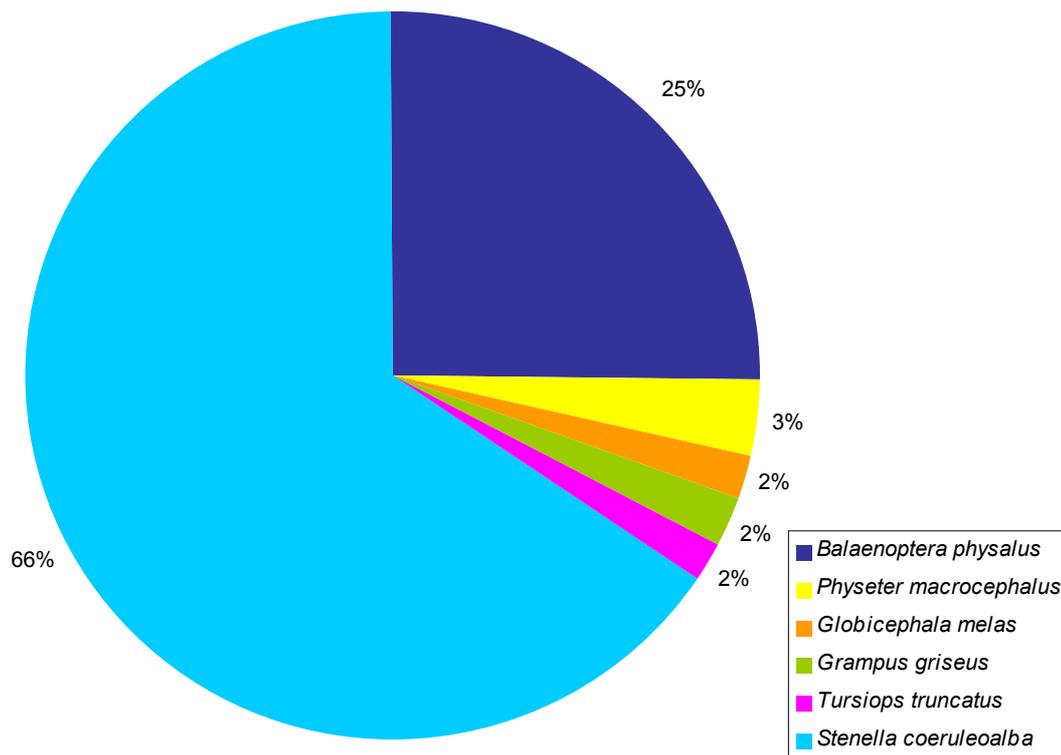


Figure 4. Répartition spécifique du nombre d'observations (en %) collectées entre 1994 et 2008 lors des campagnes avec effort associé.

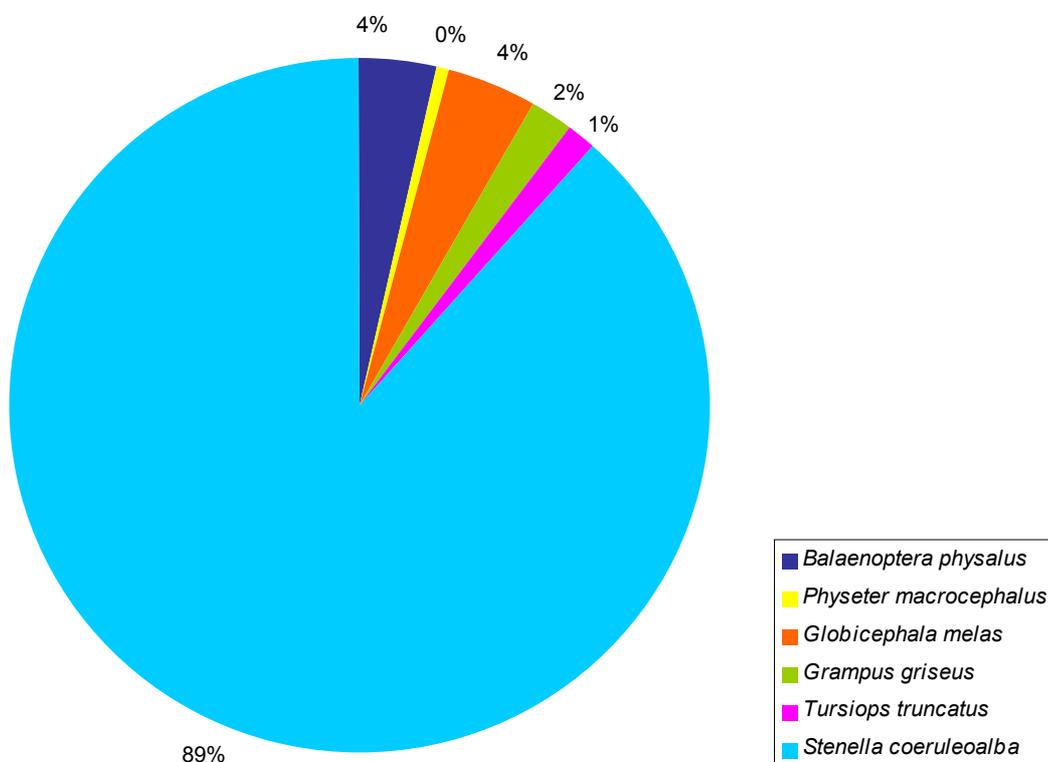


Figure 5. Répartition spécifique du nombre d'individus (en %) observés entre 1994 à 2008 lors des campagnes avec effort associé.

Tableau 10. Répartition annuelle du nombre d'observations et du nombre d'individus vus (nombre entre parenthèses) en effort d'observation, toutes structures confondues, ainsi que du nombre moyen d'individus observés par groupe.

Année	Nombre de km	<i>Balaenoptera physalus</i>	<i>Physeter macrocephalus</i>	<i>Globicephala melas</i>	<i>Grampus griseus</i>	<i>Tursiops truncatus</i>	<i>Stenella coeruleoalba</i>
1994	3 516	77 (159)	1 (1)	4 (69)	1 (6)	1 (1)	148 (2 259)
1995	6 114	133 (219)	5 (5)	7 (77)	9 (91)	0 (0)	173 (2 259)
1996	3 737	58 (72)	2 (2)	3 (35)	13 (107)	0 (0)	157 (2 204)
1997	3 567	31 (35)	8 (9)	7 (131)	10 (44)	4 (57)	131 (2 013)
1998	269	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	9 (115)
1999	919	15 (25)	2 (2)	1 (80)	0 (0)	0 (0)	32 (827)
2000	4 009	10 (10)	3 (3)	0 (0)	4 (55)	16 (117)	48 (859)
2001	4 822	84 (135)	6 (10)	2 (98)	9 (79)	1 (3)	129 (2 906)
2002	1 511	35 (42)	4 (6)	5 (50)	2 (19)	0 (0)	56 (1 049)
2003	2 406	25 (31)	5 (11)	2 (40)	1 (3)	19 (144)	68 (1 561)
2004	216	0 (0)	1 (1)	0 (0)	1 (1)	0 (0)	5 (300)
2005	2 473	9 (13)	5 (5)	2 (29)	1 (6)	0 (0)	59 (705)
2006	4 331	43 (69)	9 (13)	7 (282)	0 (0)	2 (8)	135 (1 800)
2007	8 136	60 (87)	17 (23)	5 (169)	3 (10)	2 (25)	315 (2 893)
2008	5 021	66 (91)	14 (15)	2 (42)	5 (71)	1 (10)	202 (1 606)
Total	51 046	646 (988)	82 (106)	47 (1102)	59 (492)	46 (365)	1 667 (23 356)
Effectif moyen des groupes		1,5	1,3	23,4	8,3	7,9	14,0

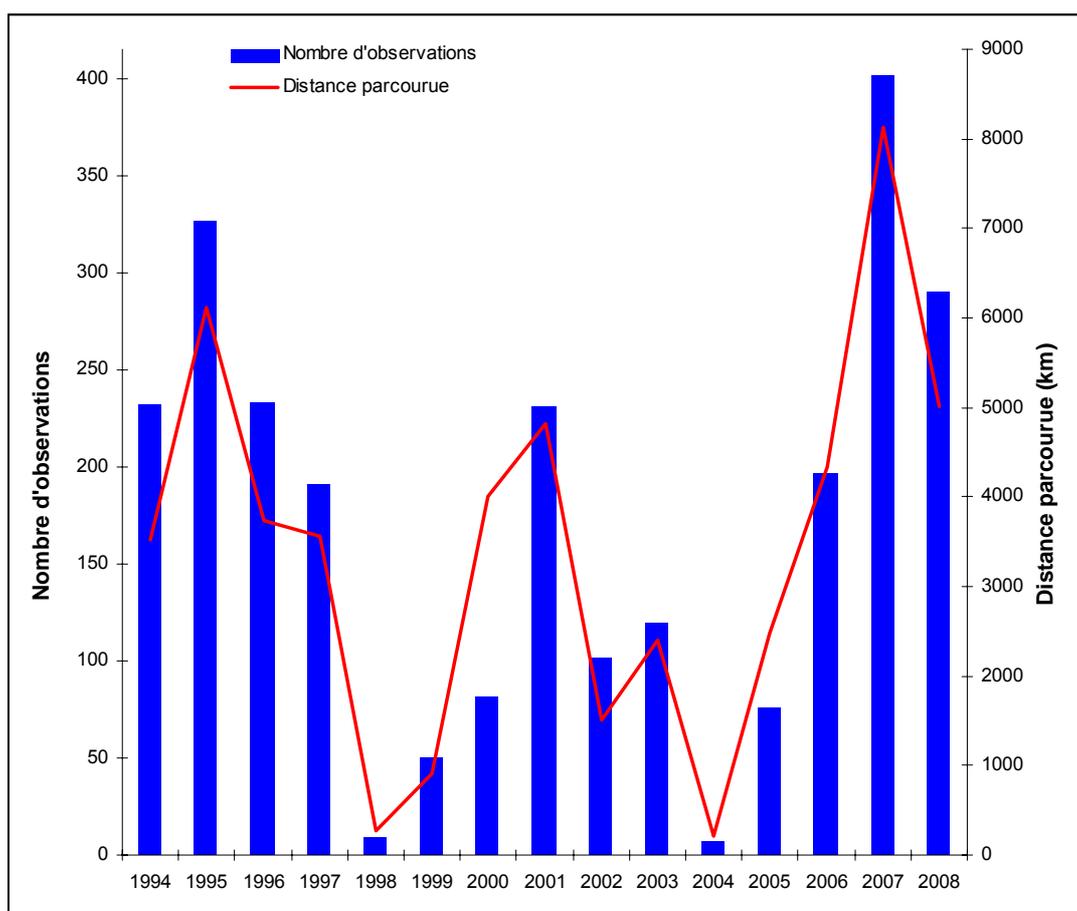


Figure 6. Evolution du nombre d'observations cumulées de cétacés faites lors des campagnes avec effort associé (barre bleue) avec le nombre de kilomètres parcourus au cours de l'année (courbe rouge).

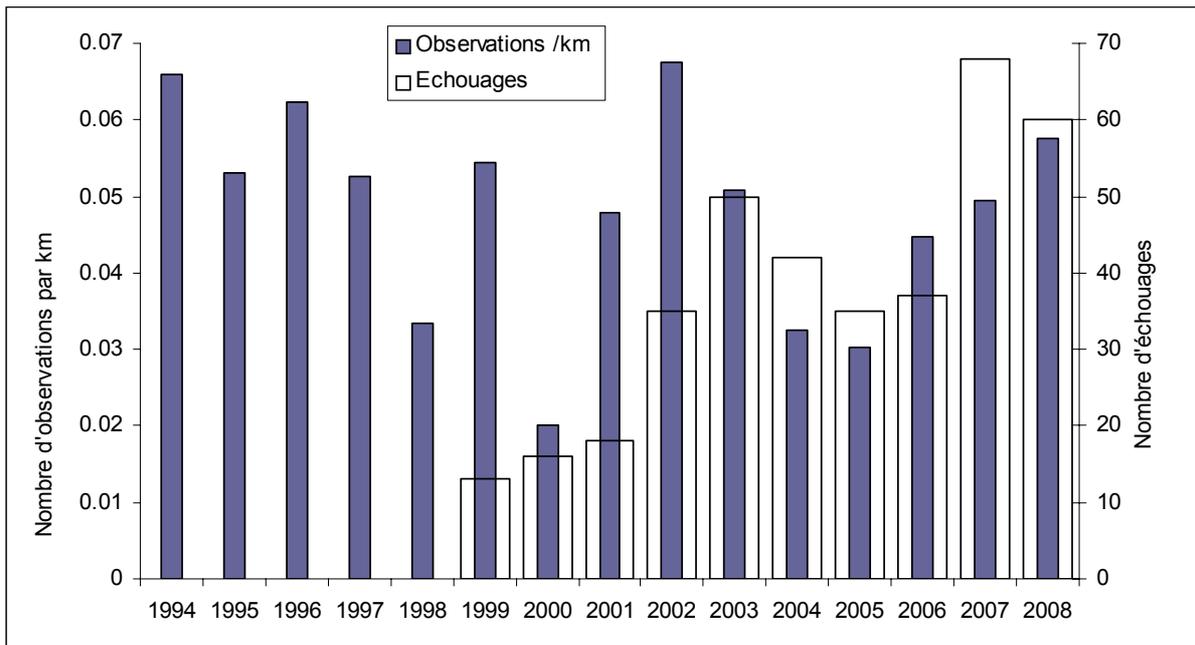


Figure 7. Evolution du nombre d'observations par kilomètre parcouru en effort et du nombre d'échouages enregistrés chaque année dans la zone d'étude.

L'évolution du taux d'observation montre certaines similitudes avec l'évolution du nombre d'échouages (toutes espèces confondues ; Figure 7). Avec de faibles valeurs en 2000, puis une tendance à l'augmentation jusqu'en 2003, suivi d'une baisse relative jusqu'en 2005 et à nouveau une augmentation sur les trois dernières années (Figure 7).

Pour les rorquals communs on retrouve un pic identique sur le nombre d'individus comptabilisés et le nombre d'échouages en 1999, 2002 et en 2006 (Figure 8). Pour le cachalot, excepté en 2003 et en 2008, les similitudes sont moins évidentes, car le nombre d'échouages est très faible (Figure 9).

Pour le globicéphale noir, très peu d'échouages ont été enregistrés (quatre au total sur 10 ans) et il est difficile de savoir si les échouages récents de 2005, 2006 et 2007 sont liés à un pic observé en 2006 du nombre d'individus comptabilisés en effort d'observation (Figure 10).

Pour le dauphin de Risso, le nombre d'échouages est assez homogène, et l'on n'observe pas de synchronisation ou alors avec un décalage dans le temps (Figure 11), avec un pic d'échouage en 2000, suivi d'un pic d'abondance relative en 2001 et à nouveau en 2007 et en 2008. Il faut également préciser que la période estivale (sur laquelle est estimée le nombre d'individus observés par kilomètre) n'est pas la plus favorable pour le dauphin de Risso (Laran, 2005).

Concernant le grand dauphin, dont l'habitat est très côtier on retrouve dans l'évolution du taux d'abondance relative (ind.km^{-1}) les trois missions dédiées à l'espèce en 1997, 2000 et 2003 (Figure 12). En effet, dans cette analyse, les données des équipes italiennes travaillant sur cette espèce n'ont pas pu être prises en compte. Les valeurs quasi nulles entre ces années sont probablement liées à l'absence d'échantillonnage dans les zones de distribution des grands dauphins.

Enfin pour le dauphin bleu et blanc un pic d'échouage apparaît en 2003, alors que pour l'abondance relative il est bien plus marqué en 2004. Cependant cette année là n'est caractérisée que par une seule campagne (dédiée aux dauphins bleu et blanc, sur environ 200 km d'effort). En revanche, en 2007 et en 2008, les

échouages sont plus nombreux, vraisemblablement liés à une épidémie de morbillivirus (Dhermain, 2009) mais l'abondance relative reste stationnaire (Figure 13).

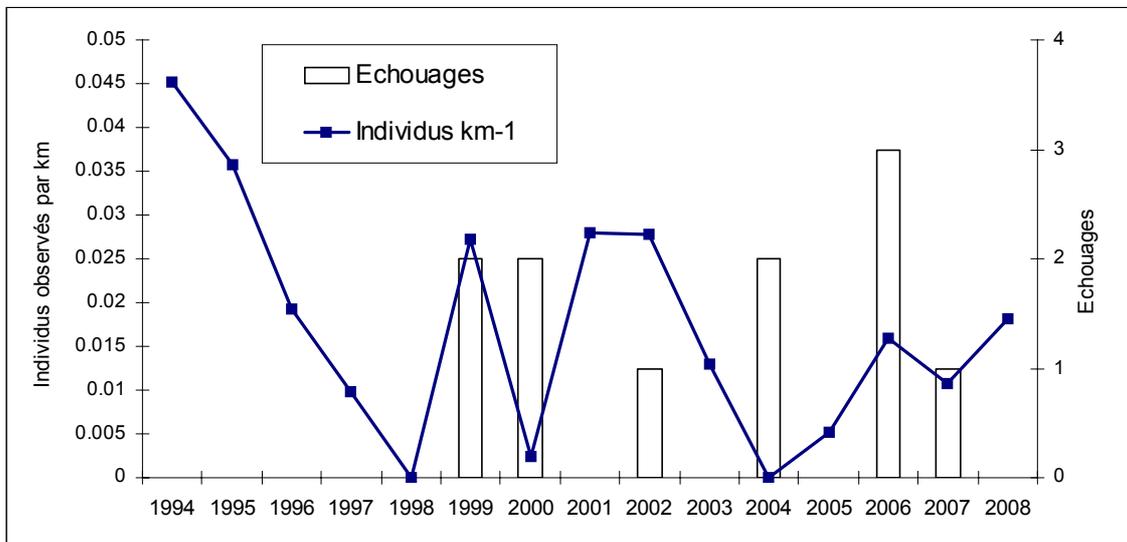


Figure 8. Evolution du nombre de rorquals communs comptabilisés par kilomètre parcouru en effort et du nombre d'échouages de la même espèce enregistrés chaque année dans la zone d'étude.

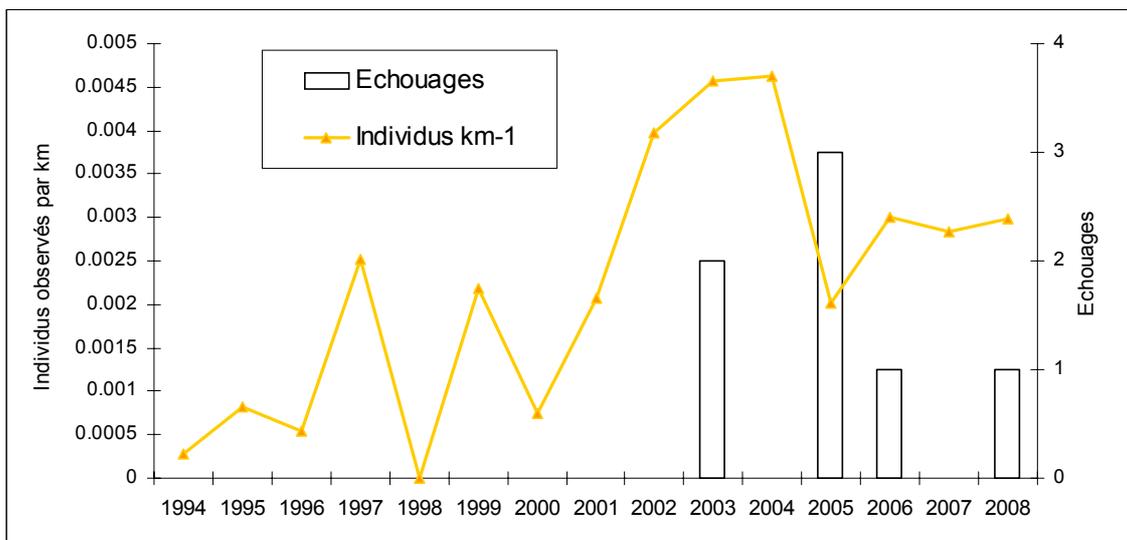


Figure 9. Evolution du nombre de cachalots comptabilisés par kilomètre parcouru en effort et du nombre d'échouages de la même espèce enregistrés chaque année dans la zone d'étude.

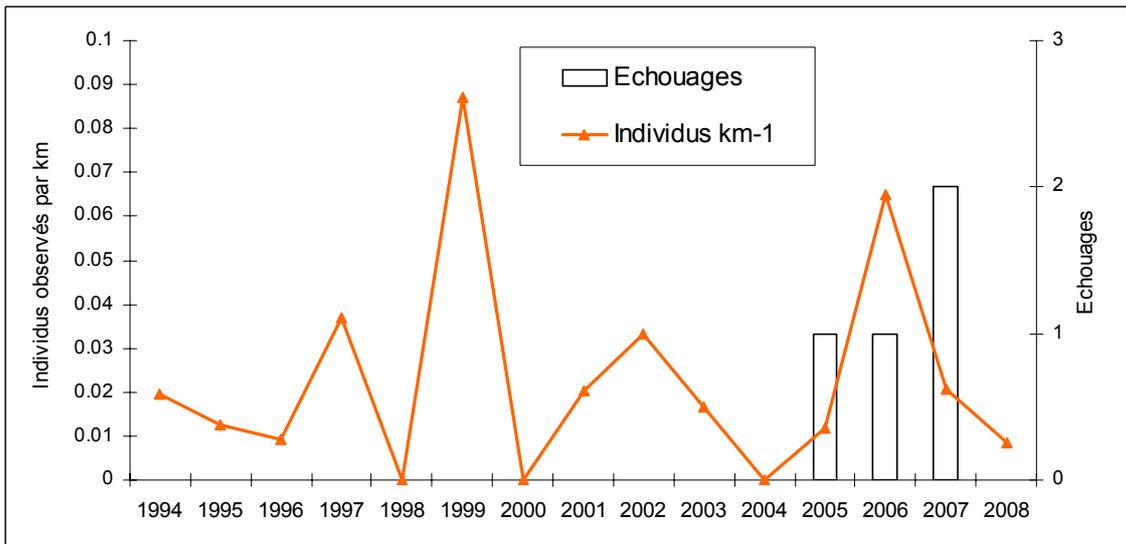


Figure 10. Evolution du nombre de globicéphales noirs comptabilisés par kilomètre parcouru en effort et du nombre d'échouages de la même espèce enregistrés chaque année dans la zone d'étude.

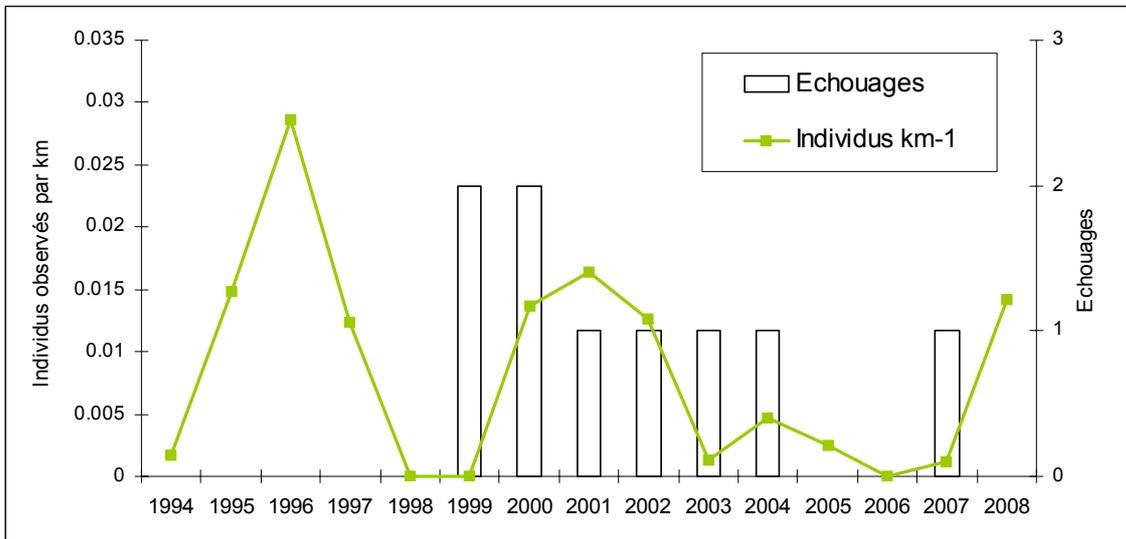


Figure 11. Evolution du nombre de dauphins de Risso comptabilisés par kilomètre parcouru en effort et du nombre d'échouages de la même espèce enregistrés chaque année dans la zone d'étude.

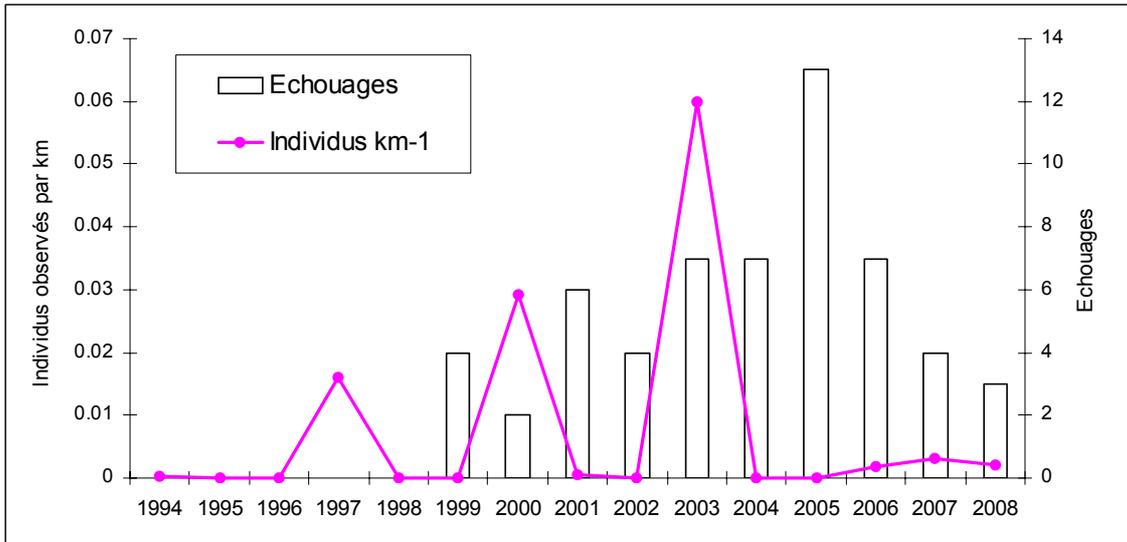


Figure 12. Evolution du nombre de grands dauphins comptabilisés par kilomètre parcouru en effort et du nombre d'échouages de la même espèce enregistrés chaque année dans la zone d'étude.

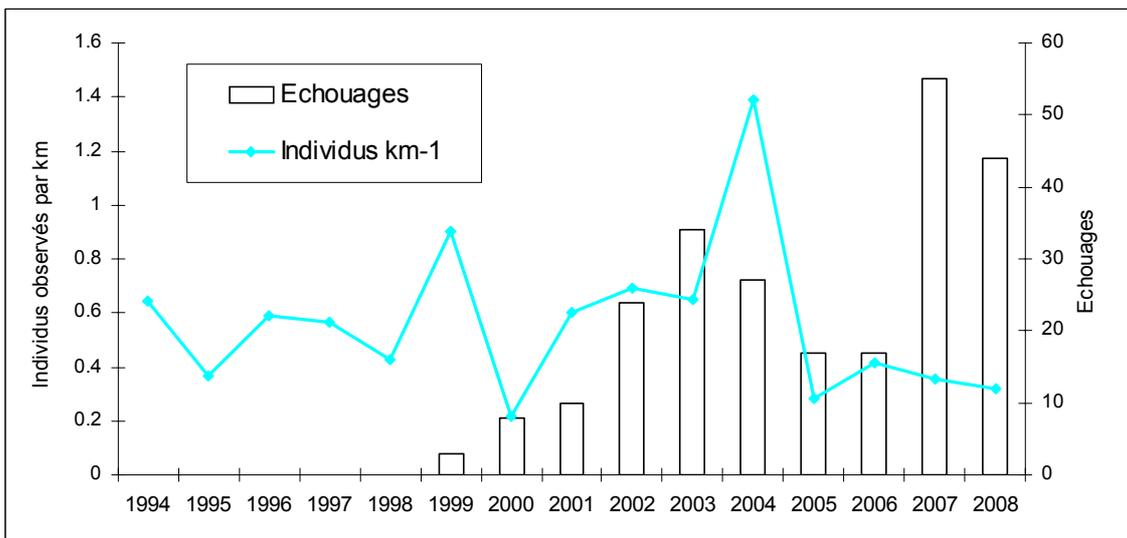


Figure 13. Evolution du nombre de dauphins bleu et blanc comptabilisés par kilomètre parcouru en effort et du nombre d'échouages de la même espèce enregistrés chaque année dans la zone d'étude.

II.B Abondance relative par maille

Au total ce sont 2 748 observations (ou contacts, ou rencontres) de cétacés comprenant 1 à n individus qui ont été effectuées tout au long des 71 657 km de transects retenus, entre 1994 et 2008.

Parmi elles, à l'intérieur même des limites du Sanctuaire, on dénombre 2 138 observations le long des 61 966 km de prospection réalisés par les structures françaises et italiennes. Les abondances relatives globales des six espèces communes dans le Sanctuaire sont présentées dans le tableau 11.

Les résultats des efforts par année et des observations par année permettent d'écartier certaines années pour lesquelles l'effort est trop faible (inférieur à 2 500 km) et/ou trop localisé sur une zone restreinte (inférieur à 160 mailles) (Tableau 10 et Carte 29 à Carte 30). Dans les deux cas les indices sur les espèces (abondance relative et taux de rencontre) ne seraient pas pertinents ni représentatifs de notre zone d'étude du Sanctuaire PELAGOS. Les années retenues pour cette analyse par maille des abondances relatives sont donc les dix années suivantes : 1994 à 1997, 2000 à 2001, 2005 à 2008.

Cependant, il est important de signaler que les données des années non détaillées ici, à savoir 1998, 1999, 2002, 2003 et 2004 ont été incluses dans les cartes globales de l'effort et des abondances relatives des espèces et ont été analysées dans cette étude.

Tableau 11. Synthèse du nombre d'observations et d'individus rencontrés de six espèces de cétacés dans les limites du Sanctuaire PELAGOS, entre 1994 et 2008.

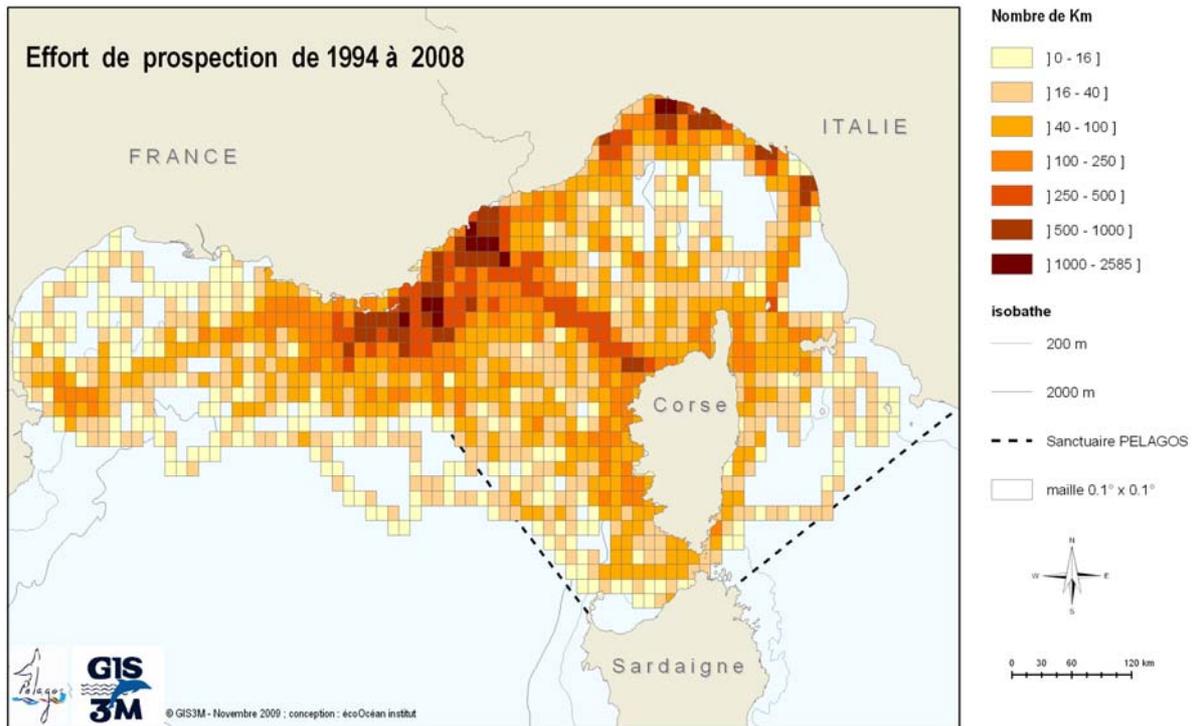
Espèce	Effort	Nb obs	Nb ind	Taux de contact $\times 10^{-2}$ (obs.km ⁻¹)	Abondance relative $\times 10^{-2}$ (nb ind.km ⁻¹)
Rorqual	61 966	487	723	0,79	1,17
Cachalot	61 966	62	91	0,10	0,15
Globicéphale	61 966	35	883	0,06	1,42
Dauphin de Risso	61 966	41	350	0,07	0,56
Grand dauphin	61 966	122	1291	0,20	2,08
Dauphin b&b	61 966	1 391	21 036	2,24	33,95

De même, pour les abondances relatives des différentes espèces de cétacés, nous ne présenterons ici le détail des cartes annuelles que pour le rorqual commun et le dauphin bleu et blanc, espèces pour lesquelles nous avons une quantité d'observations suffisantes chaque année pour cartographier une distribution représentative.

1- Effort d'observation

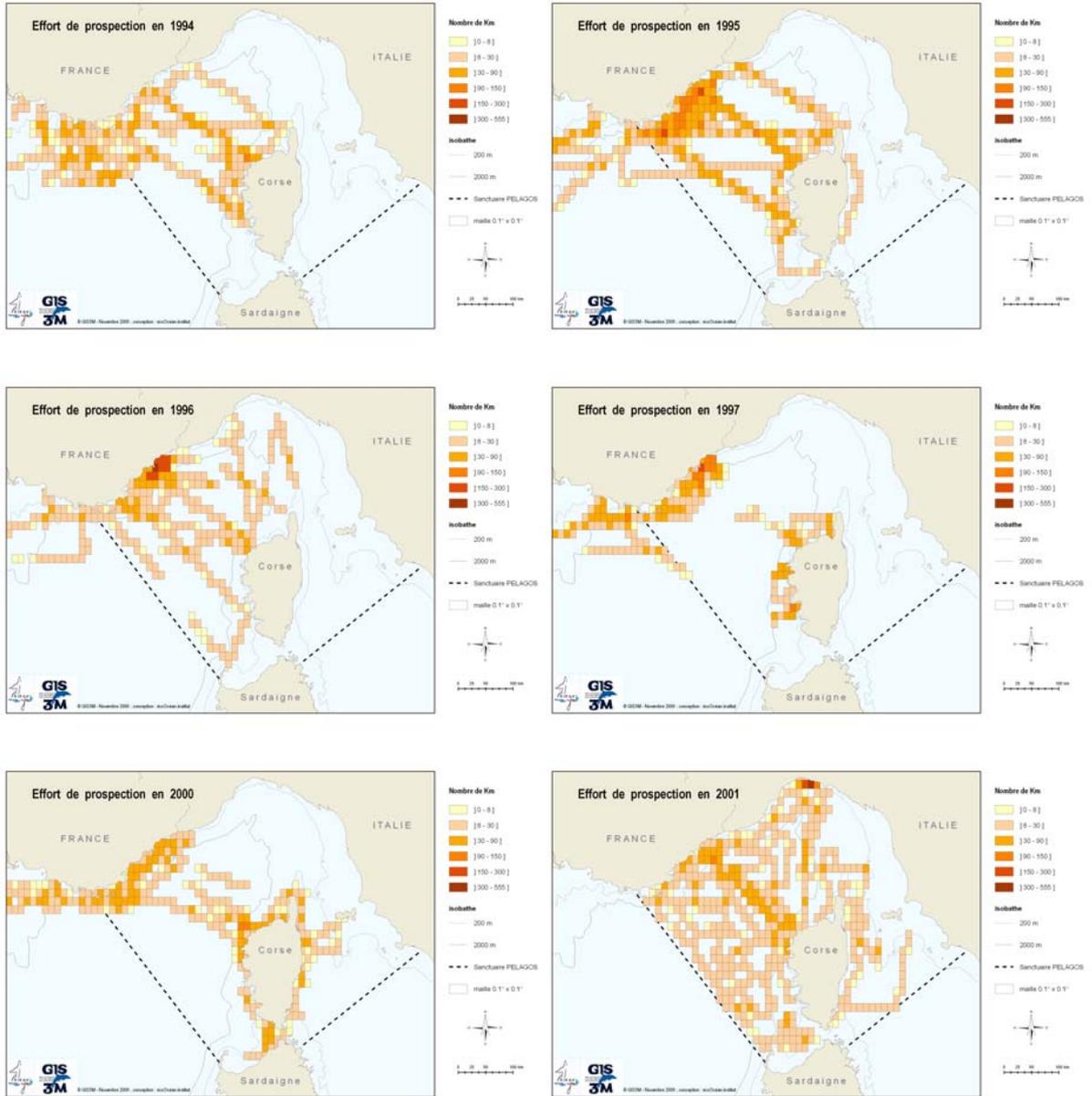
La Carte 28 représente l'ensemble de l'effort d'observation qui a été analysé dans cette étude. La différence avec les résultats globaux précédents est due, rappelons-le, à la prise en compte de l'effort de prospection des équipes italiennes CETUS et Aquarium de Gênes, de 2001 à 2008.

Bien que cette étude porte uniquement sur le Sanctuaire PELAGOS, nous avons fait le choix d'intégrer dans notre jeu de données l'ensemble de celles disponibles en Méditerranée nord-occidentale, car le fait d'intégrer des données plus nombreuses et d'avoir de l'information en bordure de la zone d'intérêt améliore nettement la robustesse des modèles. Cela a servi en particulier pour construire les modèles géostatistiques des rorquals communs et des cachalots (modèle de krigeage, cf. le paragraphe II.2.2) et caractériser l'habitat préférentiel des six espèces ciblées. Pour cette partie des analyses, nous nous focaliserons uniquement sur le Sanctuaire PELAGOS.

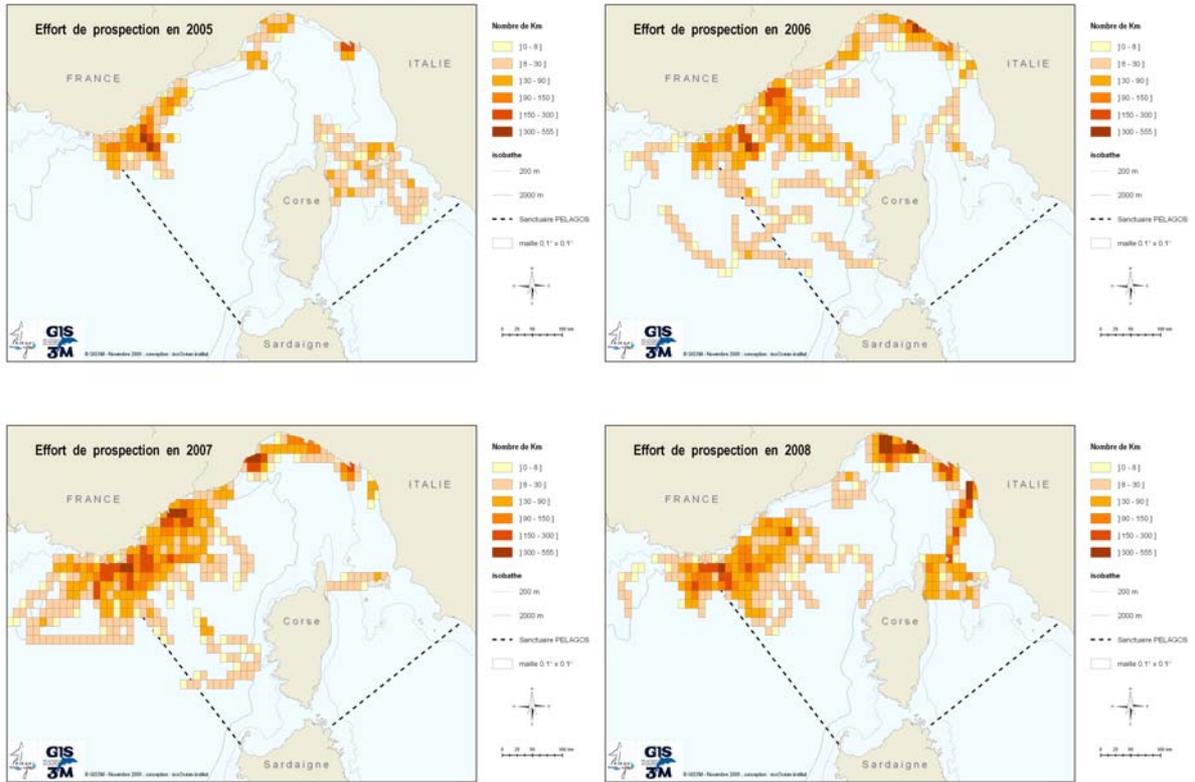


Carte 28. Synthèse de l'effort de prospection estival réalisé entre 1994 et 2008 en Méditerranée nord-occidentale. Effort significatif par maille au-delà de 16 km.

Globalement, l'effort d'échantillonnage cumulé sur les 15 années couvre bien le secteur du Sanctuaire PELAGOS. L'ensemble du secteur côtier est bien échantillonné, avec une bande débordant nettement vers le large sur les côtes provençales. Cependant, l'effort de prospection estival apparaît comme très variable d'une année sur l'autre (Carte 29 et Carte 30 et Tableau 11). On note ainsi une très bonne couverture du Sanctuaire en 2001 (486 mailles échantillonnées), alors que durant les autres années l'effort a été régulier entre le continent français et la Corse (partie ouest du Sanctuaire), et bien moindre entre l'Italie et la Corse. Cependant, on peut observer que, depuis 2005, l'effort de prospection du côté italien (Golfe de Gênes et traversée de la Corse vers l'île d'Elbe) se développe et plus particulièrement dans la zone côtière. A noter qu'en 1997, 2000 et 2005, l'effort d'échantillonnage s'est cantonné à des secteurs plutôt côtiers, la prospection pélagique étant très faible.



Carte 29. Effort de prospection estival annuel réalisé entre 1994 et 2001. Effort significatif par maille au-delà de 8 km.

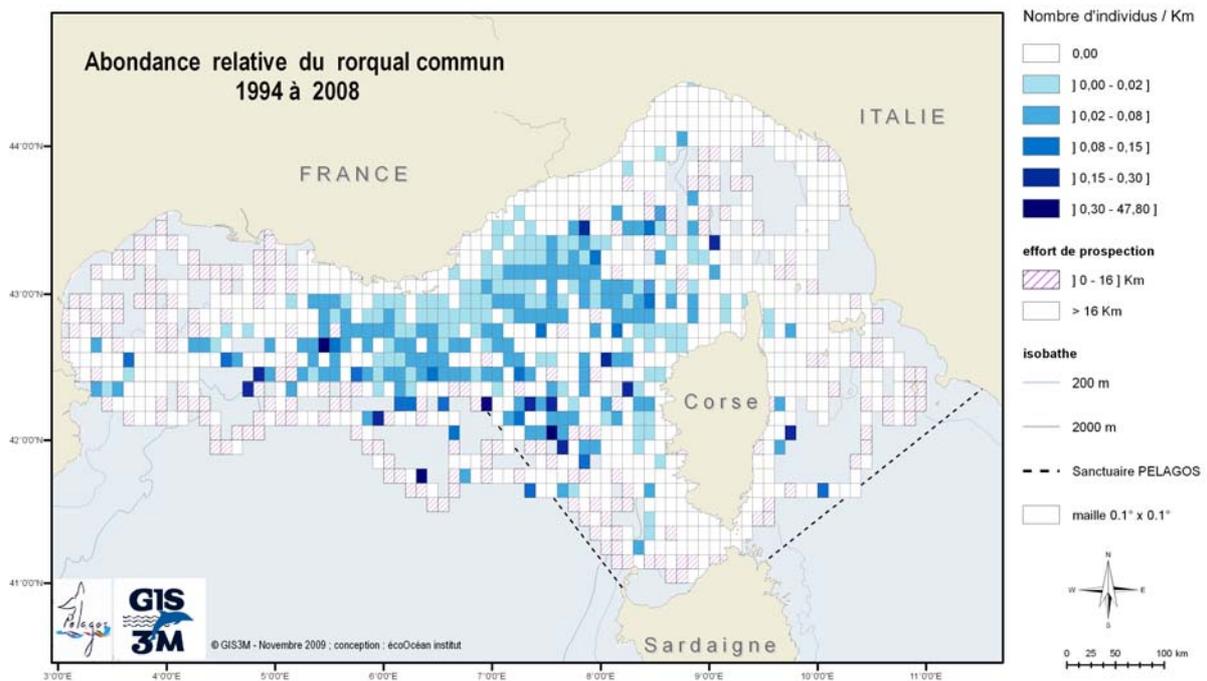


Carte 30. Effort de prospection estival annuel réalisé entre 2005 et 2008. Effort significatif par maille au-delà de 8 km.

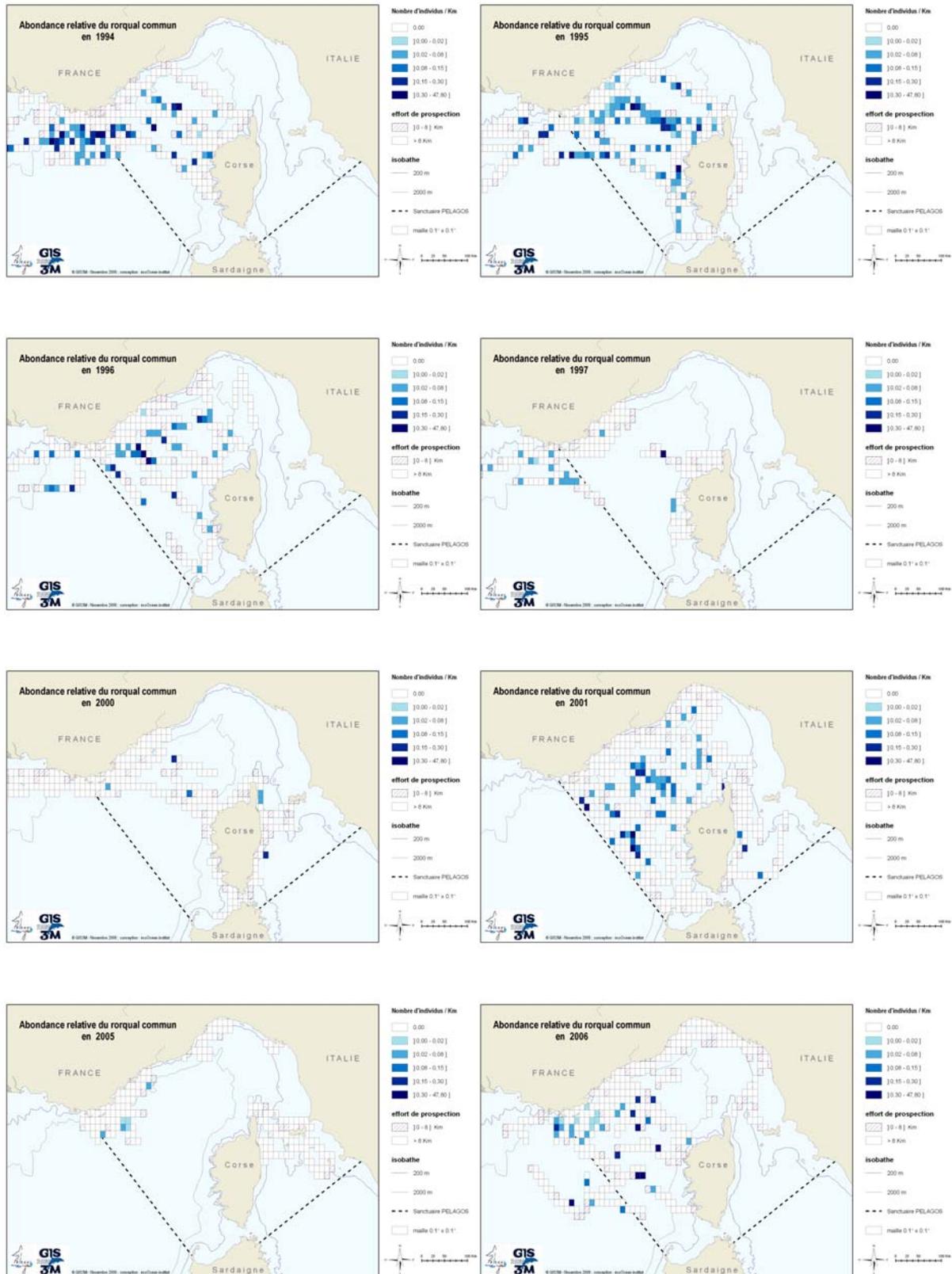
2- Le rorqual commun

Globalement, les rorquals communs semblent fréquenter aussi bien le Sanctuaire PELAGOS que les eaux adjacentes situées plus à l'Ouest (large Provence) et sud du Golfe du Lion (Carte 31). Quels que soient l'année ou le secteur considéré (Carte 31 à Carte 33) on observe que cette espèce se situe préférentiellement au-delà des fonds de 2 000 mètres. La bande côtière est visiblement délaissée par l'espèce. Dans le Sanctuaire, elle semble surtout présente dans l'Ouest, là où se trouve la majorité des fonds importants. A l'est du Sanctuaire, zone globalement moins profonde, les rorquals sont principalement vus au sud-est de la Corse, où l'on retrouve de plus grandes profondeurs.

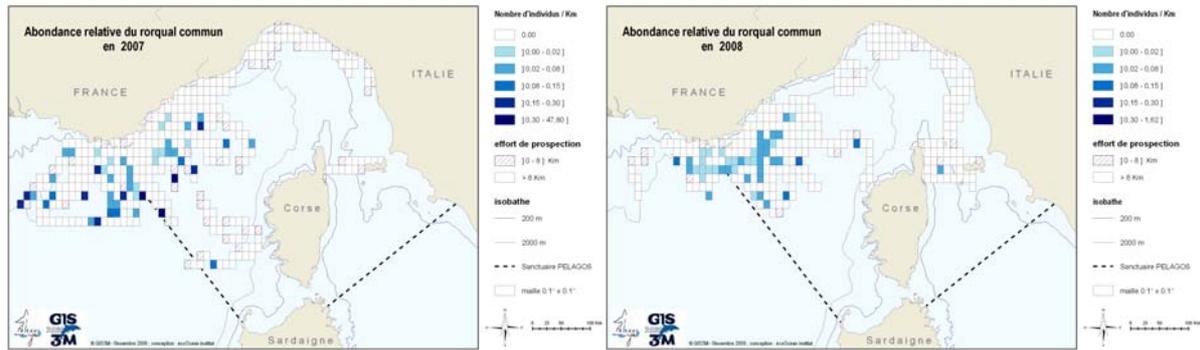
D'autre part, on remarque que la distribution et l'abondance des rorquals communs varient d'une année sur l'autre. En effet, cette espèce a été vue dans le Golfe de Gênes uniquement en 2001, bien que ce secteur ait été prospecté en 1996, 2006, 2007 et 2008 (Carte 33). De même, durant certaines années comme 1994 et 2007, les cétacés semblent désertier la zone du Sanctuaire PELAGOS en été, au profit d'autres zones situées plus à l'Ouest.



Carte 31. Abondance relative du rorqual commun en période estivale, années 1994 à 2008 cumulées, en Méditerranée nord-occidentale. Effort significatif par maille au-delà de 16 km.



Carte 32. Abondance relative annuelle du rorqual commun en période estivale, entre 1994 et 2006, en Méditerranée nord-occidentale. Effort significatif par maille au-delà de 8 km.



Carte 33. Abondance relative annuelle du rorqual commun en période estivale, entre 2007 et 2008, en Méditerranée nord-occidentale. Effort significatif par maille au-delà de 8 km.

Les abondances relatives estivales du rorqual par maille sur l'ensemble de la zone atteignent rarement plus de 0,3 individus par kilomètre : la valeur unique et extrême de 47,8 individus par kilomètre, visible sur la carte 31 est en fait biaisée par un effort trop faible (<1 km) dans une maille où une observation de 2 individus a été réalisée. Annuellement, ces abondances ne dépassent pas 0,022 individus par kilomètre au maximum et varient d'une année sur l'autre. Ainsi les années quatre vingt dix (1994 et 1995) ont été des années avec des abondances de rorquals élevées (0,046 à 0,035 ind.km⁻¹), tandis que la fin des années deux mille présentent des valeurs bien moindre (0,003 à 0,010 ind.km⁻¹) de 2005 à 2007. Au milieu, des années exceptionnellement pauvre en rorquals (1997) ou plus riches (2001) s'intercalent, témoignant d'une grande variabilité non seulement spatiale comme vu précédemment mais également quantitative. Les taux d'observation confirme cette tendance entre les années quatre vingt dix (0,022 à 0,015 obs.km⁻¹) et les années deux mille (0,003 à 0,010 obs.km⁻¹), sans que l'on puisse affirmer qu'il s'agisse d'une tendance à la baisse générale ou d'une succession d'année très différentes et avec des quantités d'animaux très variables dues à des mouvements dans et hors de la zone. Les faibles valeurs de l'année 2000 sont dues à un effort essentiellement côtier et peu important dans les zones de prédilection de cette espèce, au-dessus des grandes profondeurs.

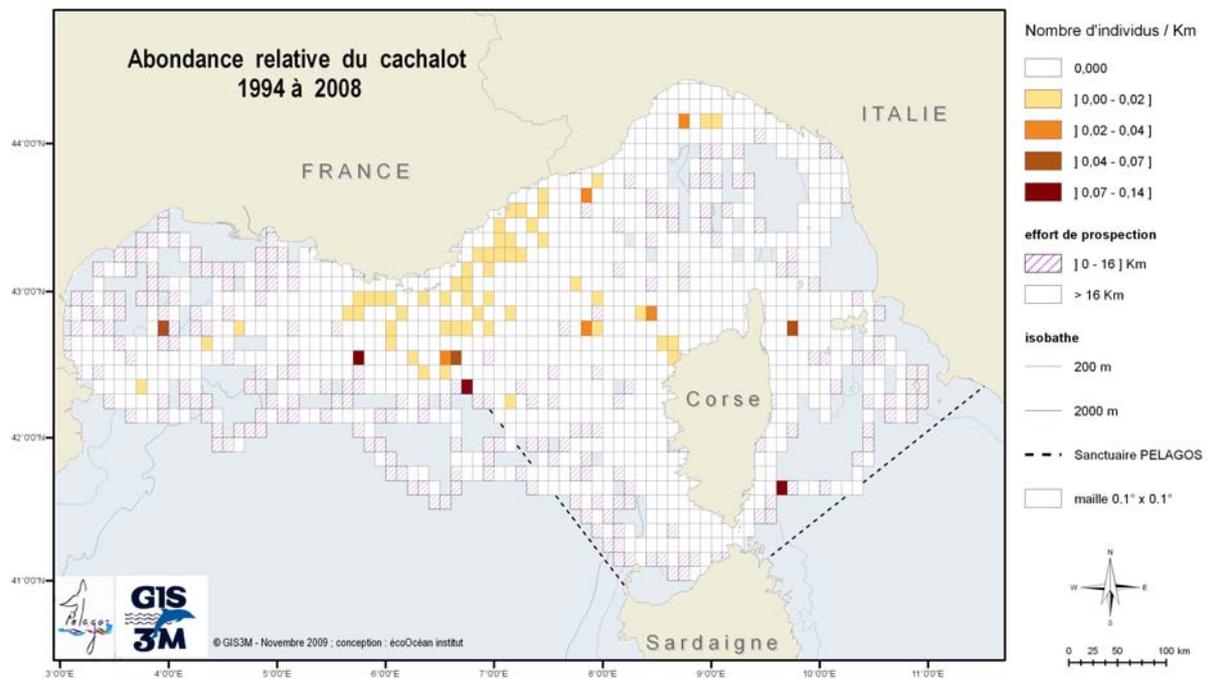
Tableau 12. Synthèse des taux de rencontre (observations par kilomètre) et des abondances relatives (individus par kilomètre) annuels de rorqual commun dans le Sanctuaire.

	1994	1995	1996	1997	2000	2001	2005	2006	2007	2008
Taux de rencontre moyen	0,022	0,022	0,015	0,008	0,003	0,015	0,003	0,005	0,005	0,007
Abondance relative moyenne	0,046	0,035	0,019	0,010	0,003	0,023	0,003	0,010	0,007	0,008

3- Le cachalot

Globalement, le cachalot se distribue en majorité sur le talus que ce soit dans le Golfe du Lion, la mer liguro-provençale ou en Corse (Carte 34). Cependant, cet animal fréquente aussi les fonds de plus de 2 000 mètres, où l'on note les plus fortes abondances relatives ($> 0,07 \text{ ind.km}^{-1}$). Les plus grands groupes de cachalots (7 individus) ont été vus dans cette zone pélagique alors que sur le talus ce sont des individus le plus souvent isolés qui ont été rencontrés.

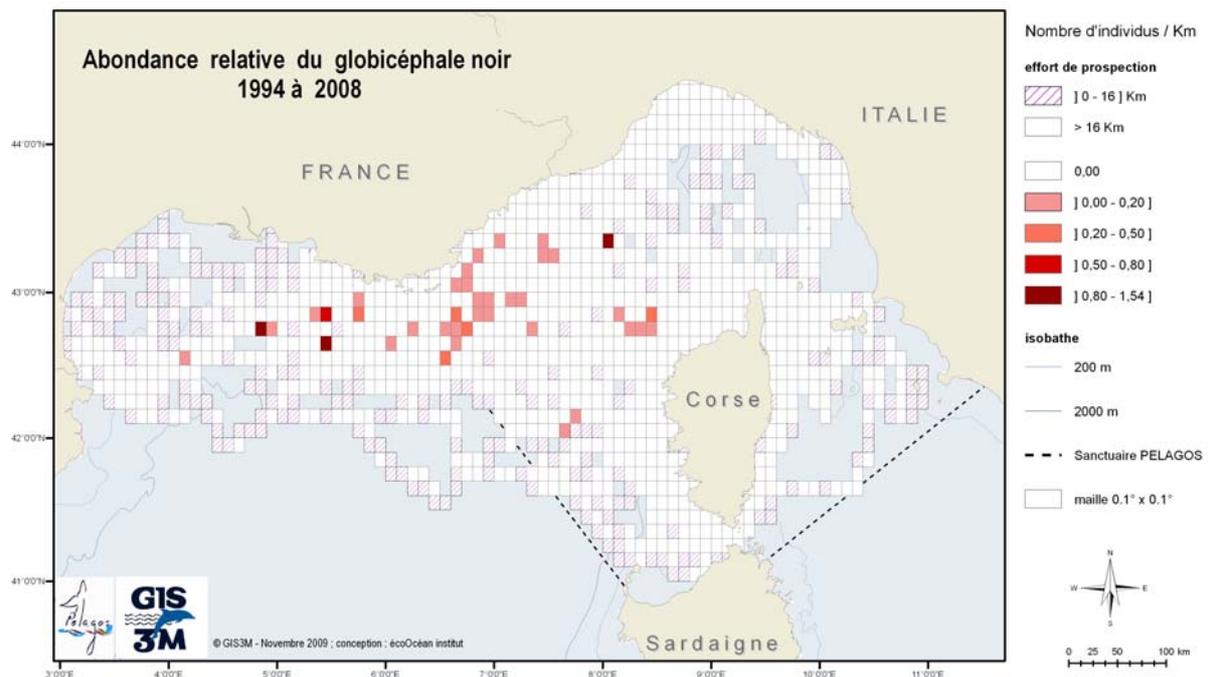
Enfin, il faut avoir à l'esprit que cette carte n'est représentative que des observations visuelles, ce qui représente un faible pourcentage des animaux distribués dans la zone, si l'on considère que cette espèce passe près de 80 % de son temps en plongée sous la surface. Aucune donnée faite en acoustique n'ayant été intégrée dans ce jeu de données pour des raisons d'homogénéité sur les différents jeux de données utilisés, nous comparerons donc ultérieurement ces résultats avec des travaux incluant ce type de détections.



Carte 34. Abondance relative du cachalot en période estivale, années 1994 à 2008 cumulées, en Méditerranée nord-occidentale. Effort significatif par maille au-delà de 16 km.

4- Le globicéphale noir

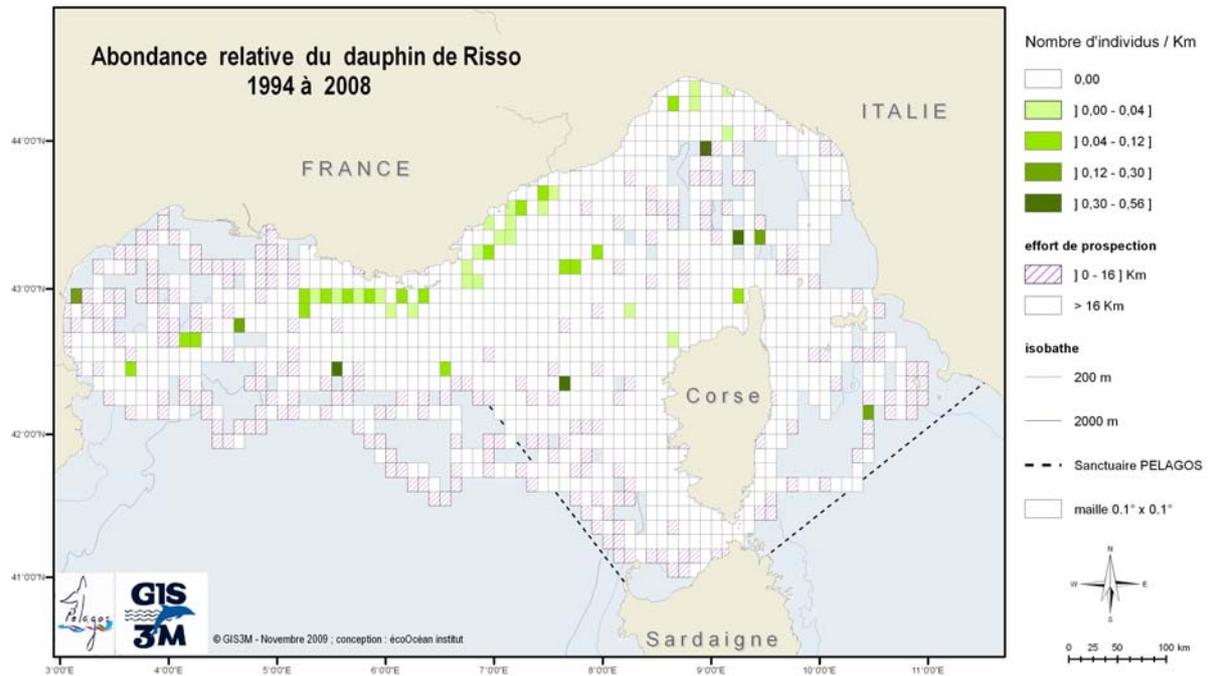
En Méditerranée nord-occidentale, le globicéphale noir se distribue essentiellement dans la zone pélagique située au-delà du plateau continental et plus particulièrement sur les fonds de plus de 2 000 mètres où plus de 70% des individus ont été observés et où l'on rencontre les plus fortes abondances relatives (jusqu'à 1,5 individu par kilomètre). Dans le Sanctuaire PELAGOS, ces animaux semblent surtout fréquenter le Nord-Ouest de la zone en période estivale (Carte 35) : peu d'observations ayant été faites au Sud et aucune dans l'Est ni le Nord du Sanctuaire. Leur distribution est donc très localisée dans l'espace.



Carte 35. Abondance relative du globicéphale noir en période estivale, années 1994 à 2008 cumulées, en Méditerranée nord-occidentale. Effort significatif par maille au-delà de 16 km.

5- Le dauphin de Risso

Que cela soit à l'intérieur ou à l'extérieur du Sanctuaire PELAGOS, le dauphin de Risso se distribue, entre 1994 et 2008, principalement sur le talus, à des profondeurs comprises entre 200 et 2 000 mètres (Carte 36). Dans le Sanctuaire, cette espèce affectionne plus particulièrement les côtes continentales françaises et le Nord du Golfe de Gênes, même si elle a aussi été observée avec de forte abondance (0,56 individu par kilomètre) au Nord de la Corse. Les dauphins de Risso ne se cantonnent pas qu'au talus puisque parfois de grands groupes sont observés bien au large.

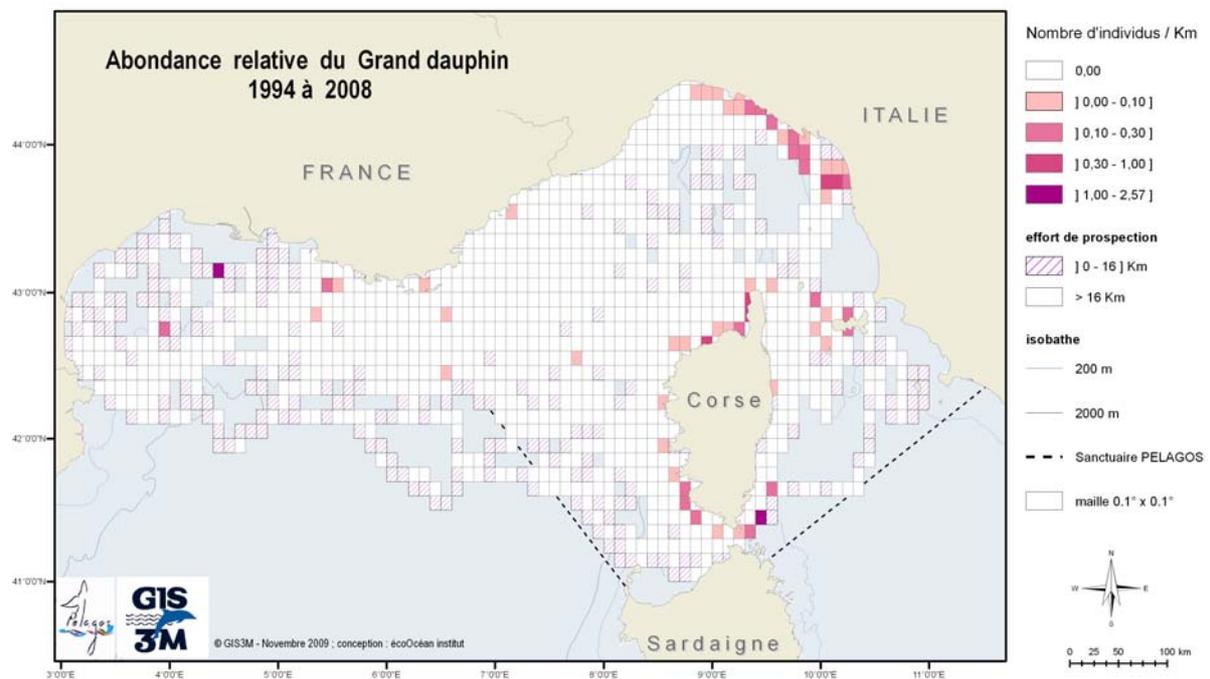


Carte 36. Abondance relative du dauphin de Risso en période estivale, années 1994 à 2008 cumulées, en Méditerranée nord-occidentale. Effort significatif par maille au-delà de 16 km.

6- Le grand dauphin

Nos résultats (Carte 37) montrent que le grand dauphin est surtout présent dans les eaux côtières de l'ensemble de la Méditerranée nord-occidentale et en particulier sur le plateau continental.

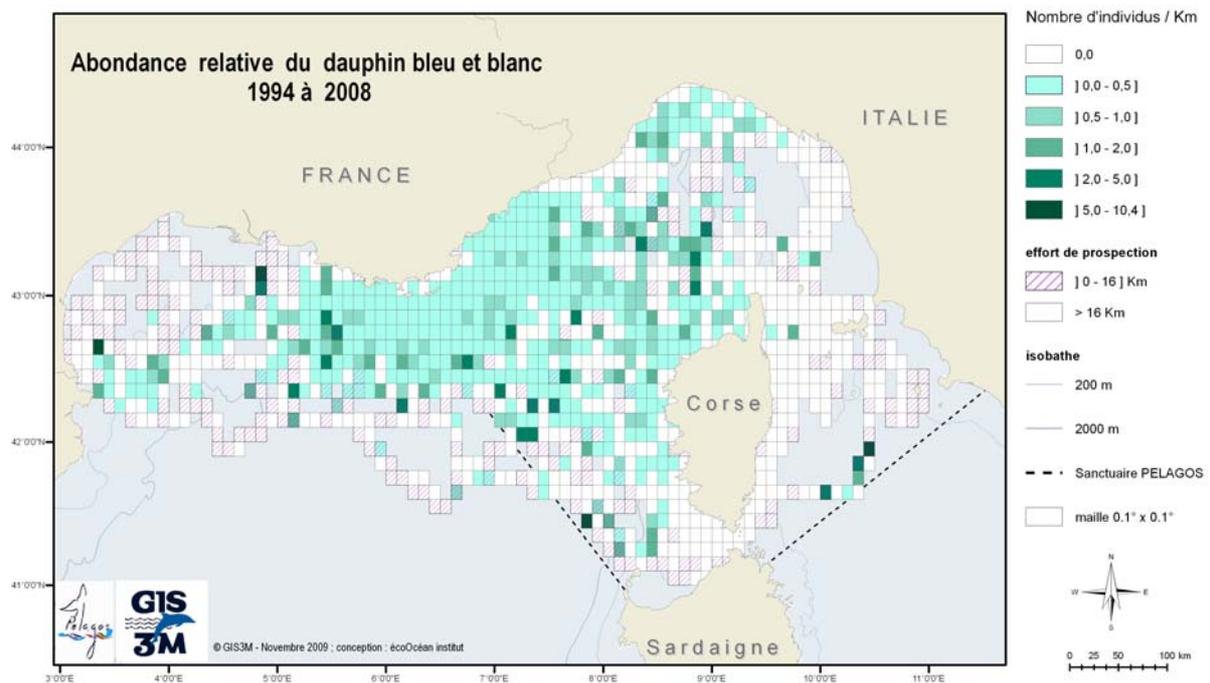
Dans le Sanctuaire, cette espèce a été particulièrement observée le long des côtes italiennes, au Nord du Golfe de Gênes, et tout autour de la Corse, où l'on note des abondances relatives pouvant aller jusqu'à 2,5 individus par kilomètre. Enfin, les côtes continentales françaises ne présentent pas de forte abondance de grands dauphins, malgré un effort d'échantillonnage important (Carte 28). Des observations ponctuelles au large témoignent que ces dauphins peuvent également traverser du continent aux îles directement.



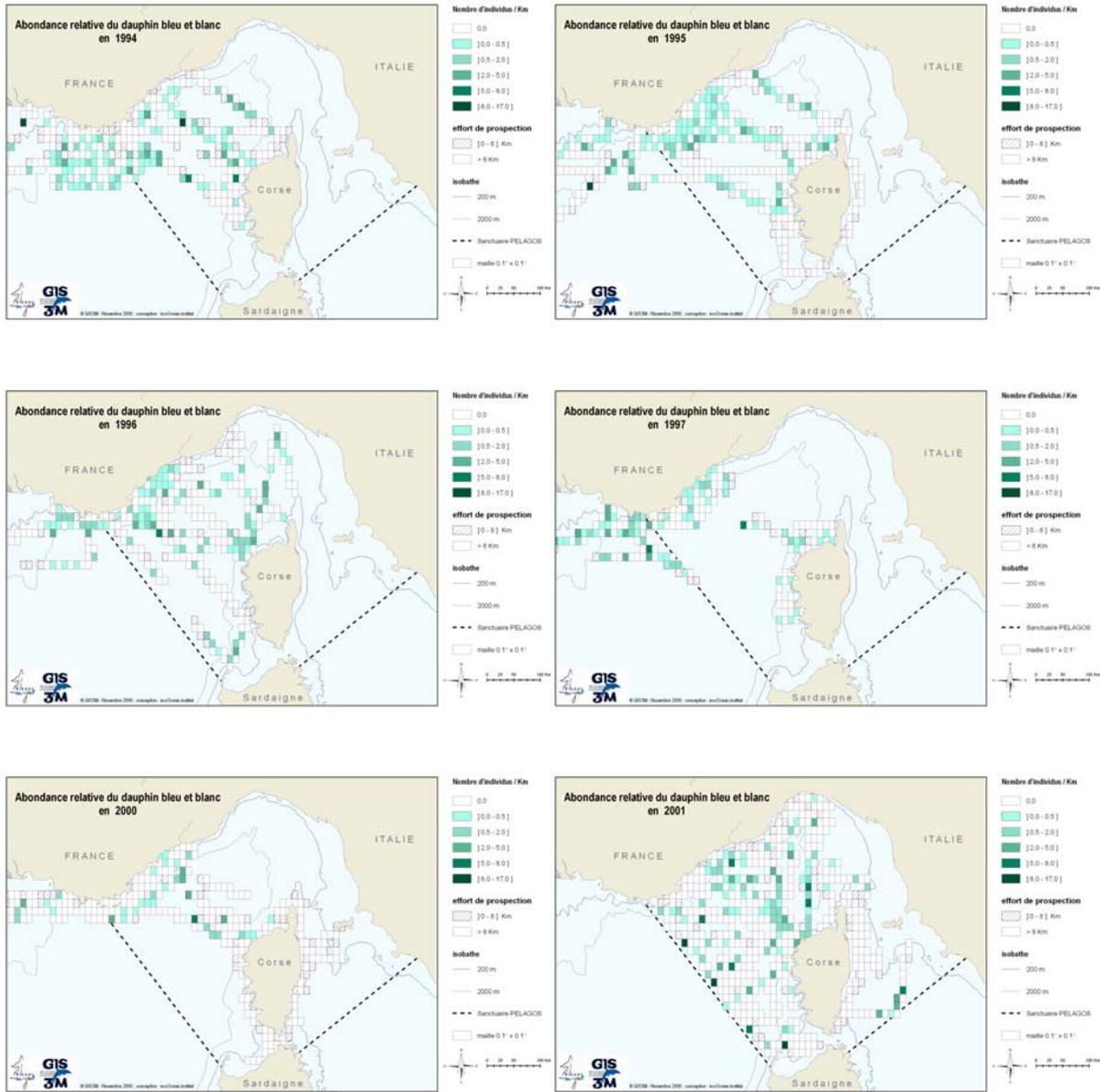
Carte 37. Abondance relative du grand dauphin en période estivale, années 1994 à 2008 cumulées, en Méditerranée nord-occidentale. Effort significatif par maille au-delà de 16 km.

7- Le dauphin bleu et blanc

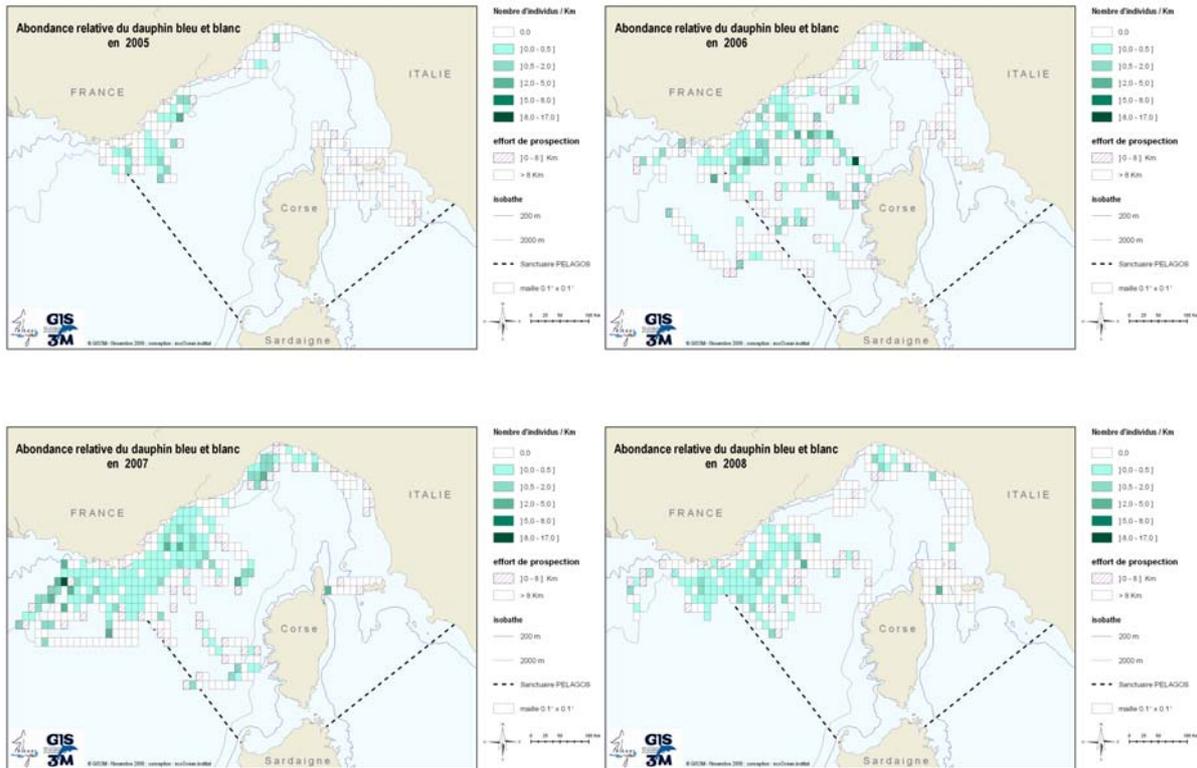
Si l'on considère l'ensemble des données, on note que le dauphin bleu et blanc est une espèce très présente en Méditerranée nord-occidentale (Carte 38), avec des abondances pouvant aller jusqu'à 10 individus par kilomètre. Quelle que soit la zone, cette espèce se rencontre aussi bien près des côtes qu'au large. De même, quelle que soit l'année considérée, ce dauphin semble préférer les eaux situées à l'Ouest du Sanctuaire (Carte 39 et Carte 40) : peu d'observations ayant été faites à l'Est de la zone entre 1994 et 2008. On retrouve ensuite des groupes au nord de la mer Tyrrhénienne, lorsque les fonds sont plus importants.



Carte 38. Abondance relative du dauphin bleu et blanc en période estivale, années 1994 à 2008 cumulée, en Méditerranée nord-occidentale. Effort significatif par maille au-delà de 16 km.



Carte 39. Abondance relative annuelle du dauphin bleu et blanc en période estivale, entre 1994 et 2001, en Méditerranée nord-occidentale. Effort significatif par maille au-delà de 8 km.



Carte 40. Abondance relative annuelle du dauphin bleu et blanc en période estivale, entre 2005 et 2008, en Méditerranée nord-occidentale. Effort significatif par maille au-delà de 8 km.

Au niveau quantitatif les taux de rencontres moyens sont relativement constants dans les années quatre vingt dix ($0,029$ à $0,042$ obs.km⁻¹, Tableau 13), et légèrement inférieurs dans les années deux mille ($0,015$ à $0,030$ obs.km⁻¹). Le minimum de l'année 2000 est certainement dû au fait que les prospections étaient essentiellement côtières. En revanche, on observe que les dauphins bleu et blanc ont été très fréquents en 1994, 1996, 1997 et 2001 ($> 0,52$ ind.km⁻¹), tandis qu'ils l'étaient bien moins en 2000, 2005 et 2008 ($< 0,23$ ind.km⁻¹).

Tableau 13. Synthèse des taux de rencontre (observations par kilomètre) et des abondances relatives (individus par kilomètre) annuels de dauphin bleu et blanc dans le Sanctuaire.

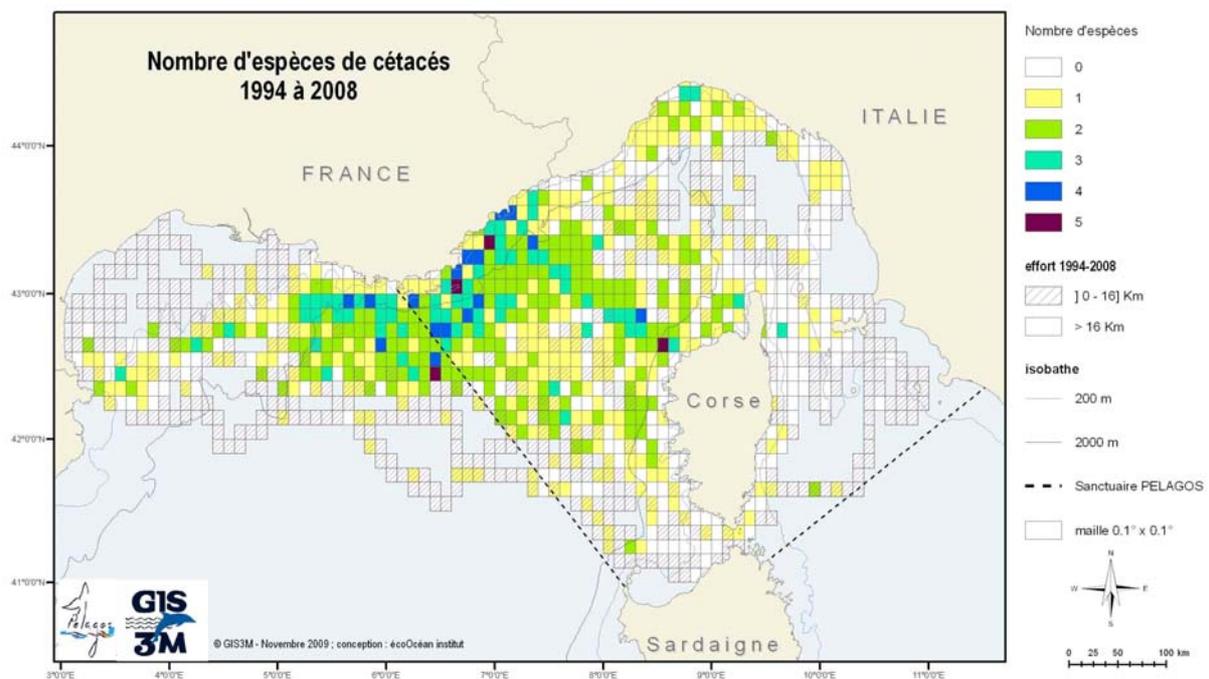
	1994	1995	1996	1997	2000	2001	2005	2006	2007	2008
Taux de rencontre moyen	0,042	0,029	0,042	0,037	0,012	0,023	0,015	0,020	0,030	0,020
Abondance relative moyenne	0,642	0,373	0,590	0,565	0,214	0,517	0,181	0,275	0,324	0,226

8- Richesse spécifique

Si l'on cartographie la richesse spécifique dans chaque maille (Carte 41), on remarque que globalement la majorité des secteurs qui ont été prospectés entre 1994 et 2008 ont abrité au moins une espèce de cétacé : l'essentiel des mailles sans observation ayant de surcroît un effort insuffisant pour valider la maille. Ceci est vrai quel que soit le secteur de Méditerranée nord-occidentale. Dans le Sanctuaire PELAGOS, les zones les plus riches en espèces sont dans la partie Ouest du Sanctuaire et le fond du Golfe de Gênes, avec des richesses spécifiques maximales le long des côtes liguro-provençales et de façon moindre au Nord du Golfe de Gênes. Cependant, l'Est et le Sud du Sanctuaire ayant été peu prospectés, il serait intéressant d'augmenter l'effort d'échantillonnage dans ces zones.

Il est d'autre part intéressant de constater que cette forte richesse spécifique se prolonge à l'Ouest du Sanctuaire et ce, jusqu'au Golfe du Lion.

Par ailleurs, l'analyse des compositions spécifiques dans chaque maille (Tableau 14) montre que le grand dauphin est l'espèce qui a un secteur qui lui est le plus spécifique, avec 67,2 % des mailles où cette espèce est rencontrée seule. Globalement les espèces qui ont un habitat très étendu, comme le rorqual et le dauphin bleu et blanc, sont très souvent en association avec une à quatre espèces. Chez les cétacés exclusivement teutophages, on note que certaines espèces comme le dauphin de Risso et le globicéphale noir sont très peu vues ensemble puisque seulement 0,86 % des mailles présente ces deux espèces. Il en est de même pour le dauphin de Risso et le cachalot (2,8% des mailles) ou le globicéphale noir et le cachalot (2,8% des mailles). Chaque espèce semble donc avoir son propre habitat distinct des autres espèces teutophages.



Carte 41. Richesse spécifique des cétacés en Méditerranée nord-occidentale entre 1994 et 2008.

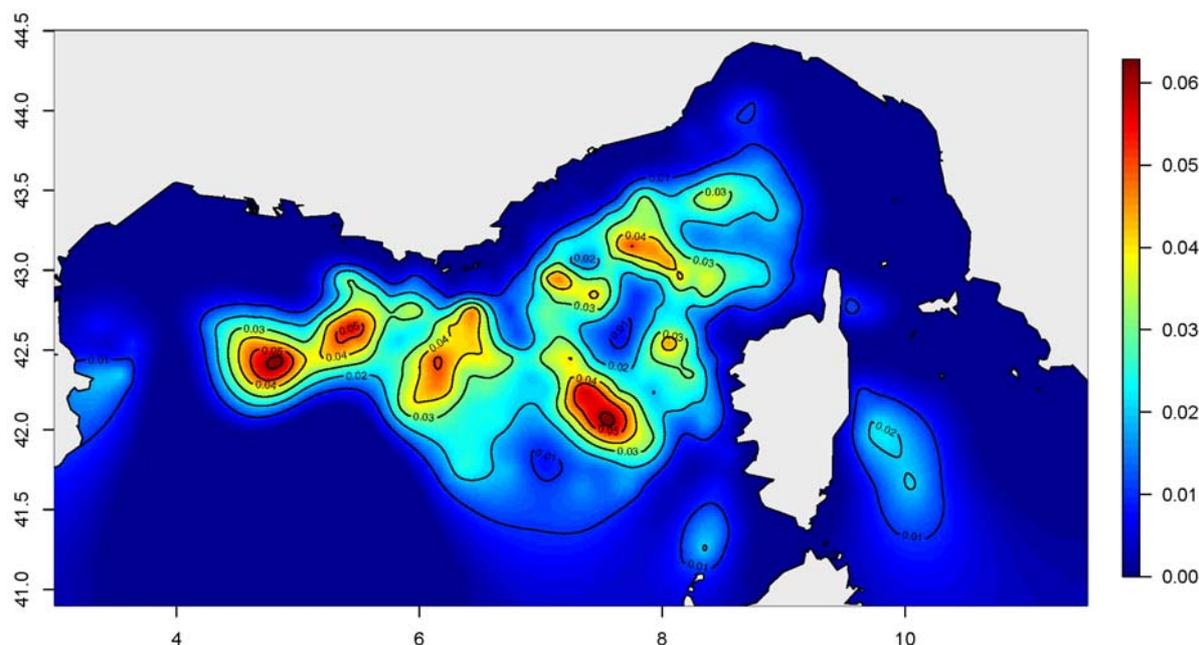
Tableau 14. Composition des présences de différentes espèces de cétacés dans chaque maille.

Nb d'espèces	Nb total de maille	Bp	Pm	Gm	Gg	Tt	Sc	Nb de maille	% de maille /catégorie	% de maille par espèce où elle est seule		
1	301	X	X	X	X	X	X	51	16,9	18,3		
									4	1,3	6,2	
								3	1,0	7,7		
				3				1,0	6,3			
				39	13,0			67,2				
				201	66,8	42,2						
2	193	X		X	X	X	X	2	1,0			
		X							1	0,5		
		X								157	81,3	
			X						11	5,7		
			X					1	0,5			
				X				2	1,0			
					X			10	5,2			
								9	4,7			
3	65	X		X	X	X	X	14	21,5			
		X							16	24,6		
		X								3	4,6	
		X		X						21	32,3	
			X		X			2	3,1			
			X		X			5	7,7			
				X				1	1,5			
			X	X				3	4,6			
4	16	X	X		X		X	4	25,0			
		X	X	X			X	8	50,0			
			X	X	X		X	3	18,8			
			X		X	X	X	1	6,3			
5	4	X	X	X	X		X	2	50,0			
		X	X		X	X	X	2	50,0			
Nb de maille contenant l'espèce		279	65	39	48	58	476					

II.C Modèle géostatistique d'abondance relative pour le rorqual commun et le cachalot

1- Le rorqual commun

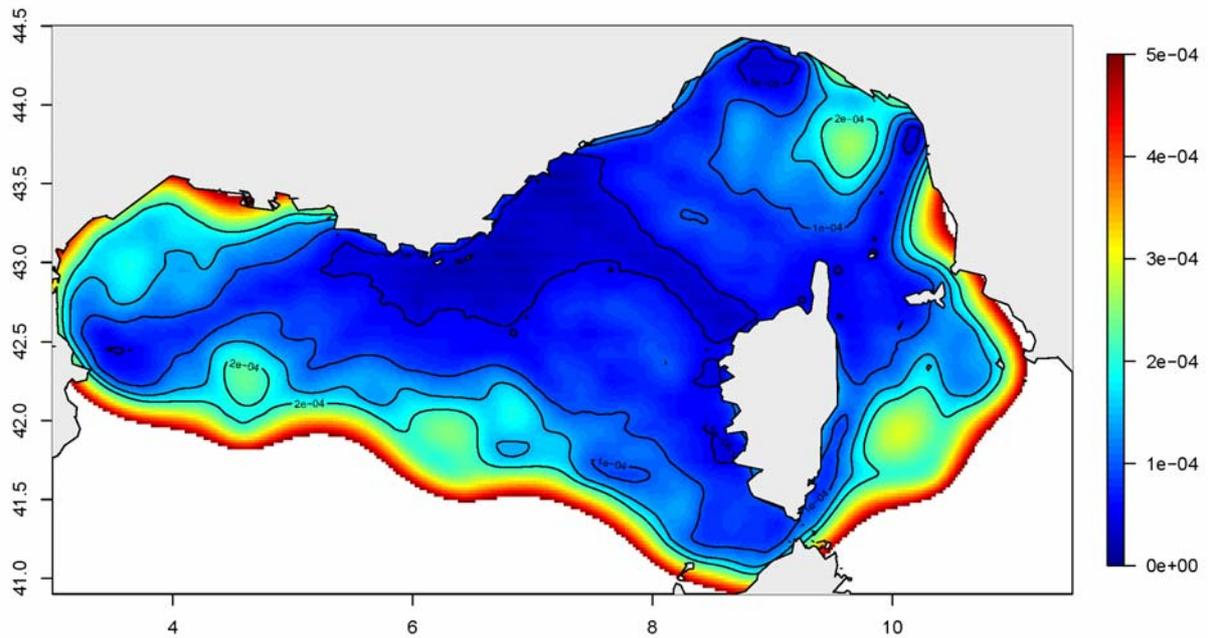
La distribution et la quantification relative des rorquals communs par krigeage (Carte 42) sont relativement fiables, ce qui est démontré par une variance globale faible sur la zone d'étude (Carte 43). La carte résultant du krigeage met en évidence une zone de prédilection pour les rorquals s'étendant quasiment sur l'ensemble de la Méditerranée nord-occidentale (0,02 groupe km⁻¹). Si on situe bien les limites nord, est et ouest de cette grande aire de répartition potentielle de l'espèce, on connaît probablement mal la limite sud. L'écart à la côte correspond à peu près à l'isobathe 1 500 ou 2 000 m. A l'intérieur de cet habitat potentiel (profondeur > 1 500 m), des structures de l'ordre de 50 à 80 km de diamètre se dessinent, avec des densités de groupes maximales (0,03 à 0,06 groupe par km). Il est difficile de dire si elles sont stables d'une année à l'autre. Des zones de très faibles densités (≈ 0 groupes par km) sont aussi apparentes au milieu des structures de fortes densités dans le bassin liguro-corsico-provençal (notamment à la position 7,6°E– 42,5°N). Enfin des zones de quasi absence sont localisées dans les zones moins profondes (< 1 500 m) du Golfe du Lion au Golfe de Gênes puis jusque dans le Nord-Est de la mer Tyrrhénienne.



Carte 42. Cartographie des valeurs krigées (espérance du nombre d'observations de rorquals communs par kilomètre d'effort), années 1994 à 2008 cumulées.

La carte des variances krigées (Carte 43) montre l'estimation des erreurs potentielles faites sur les valeurs krigées. Cette carte peut être mise en relation avec la densité et la disposition des transects d'effort de prospection dans la zone (Carte 25). En effet, les zones couvertes par de nombreux transects présentent une faible variance, et dans les zones peu prospectées la variance est plus élevée. Ainsi la

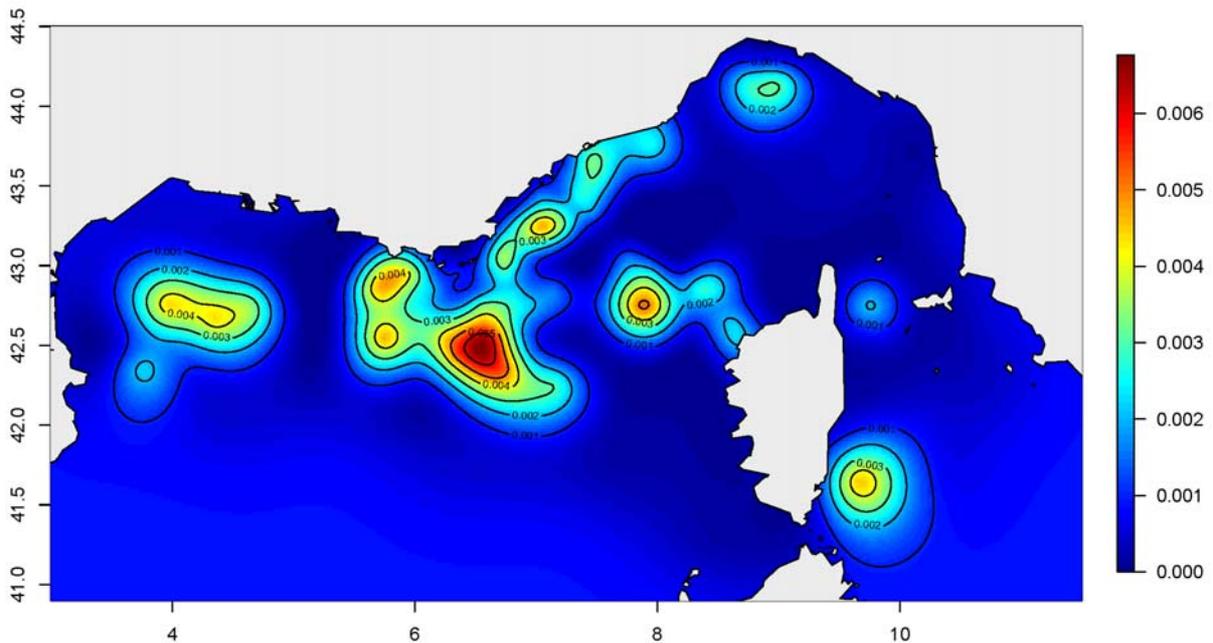
couverture globale est relativement bonne avec quelques rares zones moins bien échantillonnées (Golfe du Lion, une tache dans le golfe de Gênes). La précision devient très médiocre par manque total d'information au sud d'une ligne Cap Creus - Sardaigne, et au sud-est de la zone PELAGOS.



Carte 43. Cartographie des variances krigées (carré de l'erreur du nombre moyen des observations de rorquals communs par kilomètre d'effort), années 1994 à 2008 cumulées. En jaune et rouge les fortes variances.

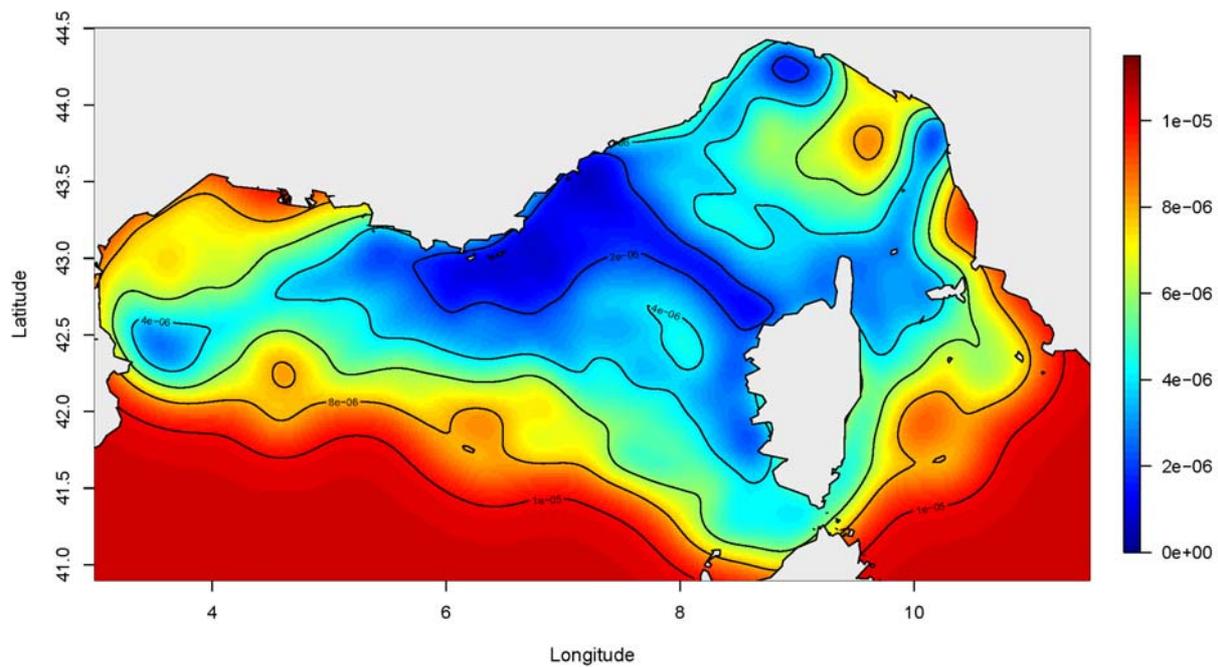
2- Le cachalot

La distribution du cachalot, même extrapolée (Carte 44), présente une structure spatiale "éparse". La carte souligne néanmoins l'affinité de l'espèce pour une zone proche des côtes, de Gênes à La Ciotat, correspondant au talus continental. Dans le Golfe de Gênes et le Golfe du Lion, les secteurs de fortes densités se localisent vraisemblablement dans les grands canyons sous-marins entaillant le talus. A côté de cela, quelques secteurs de fortes densités apparaissent plus au large, au sud de Toulon (6,5° E et 42,5° N) ou au centre de la mer Ligure (en 8° E, 42°,7 N).



Carte 44. Cartographie des valeurs krigées (espérance du nombre d'observations de cachalots par kilomètre d'effort), années 1994 à 2008 cumulées.

La carte des variances (Carte 45) là aussi reflète la densité des transects. Cependant l'erreur relative prédite au niveau des zones de plus fortes concentrations locales est élevée, du fait du petit nombre des observations et du côté très aléatoire de ces rares rencontres.



Carte 45. Cartographie des variances krigées (carré de l'erreur du nombre moyen des observations de cachalots par kilomètre d'effort), années 1994 à 2008 cumulées. En jaune et rouge les fortes variances.

III - Caractérisation environnementale de l'habitat des cétacés

III.A Les variations inter-annuelles des paramètres environnementaux

Chaque année, chaque mois, la température de surface, les concentrations en chlorophylle et par conséquent la production primaire varient. Les évolutions de la température superficielle de la mer et de la concentration en chlorophylle *a* ont été représentées avec une échelle de couleur identique afin d'apprécier cette variation spatio-temporelle (Figure 14 et Figure 15). Les données de l'année 2008 ne sont pas représentées sur ces deux figures car elles n'ont été disponibles sur le site que tardivement.

Globalement la température de surface de la mer (Figure 16) évolue de manière identique d'une année sur l'autre. Une augmentation a lieu à partir du mois d'avril et se poursuit jusqu'à atteindre un seuil maximal en juillet-août, avant de s'infléchir à partir du mois de septembre. Par ailleurs, on peut remarquer, en 2003 (année de la canicule) et en 2006, des valeurs de température de surface de la mer très élevées.

L'évolution annuelle de chlorophylle *a* (Figure 17) présente également une forte variabilité inter-annuelle bien qu'un schéma type se dessine, avec une augmentation plus ou moins marquée à partir du mois de février qui atteint un pic en avril (période du bloom phytoplanctonique) puis une diminution assez rapide en mai pour atteindre des valeurs très faibles dès le mois de juin. Certaines années ont eu de très fort pics de chlorophylle *a* comme 2001, 2005 et 2006 contrairement à des années comme 1998, 1999 ou 2003 où le pic a été peu marqué en avril.

La variation de la production primaire nette (Figure 18) dépend directement de la température de surface de la mer et de la chlorophylle *a* mais également de la radiation solaire. Le schéma annuel est calqué sur celui de la chlorophylle *a* : un pic de production primaire en mars-avril et une diminution un peu moins brutale que pour la chlorophylle *a* pour atteindre les minimums en juin.

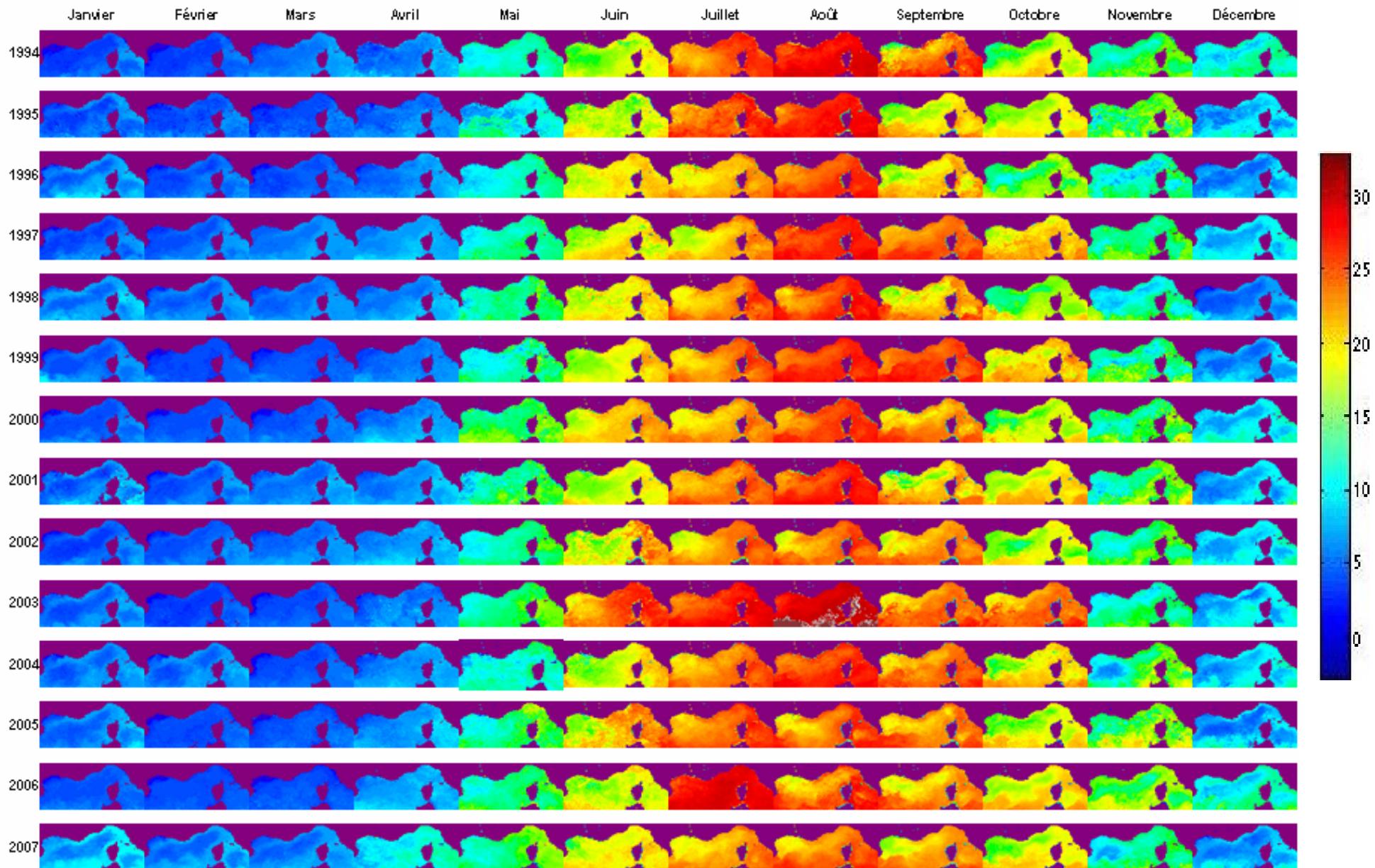


Figure 14. Evolution mensuelle de la température de surface de la mer (°C) de 1994 à 2007 (satellite Pathfinder).

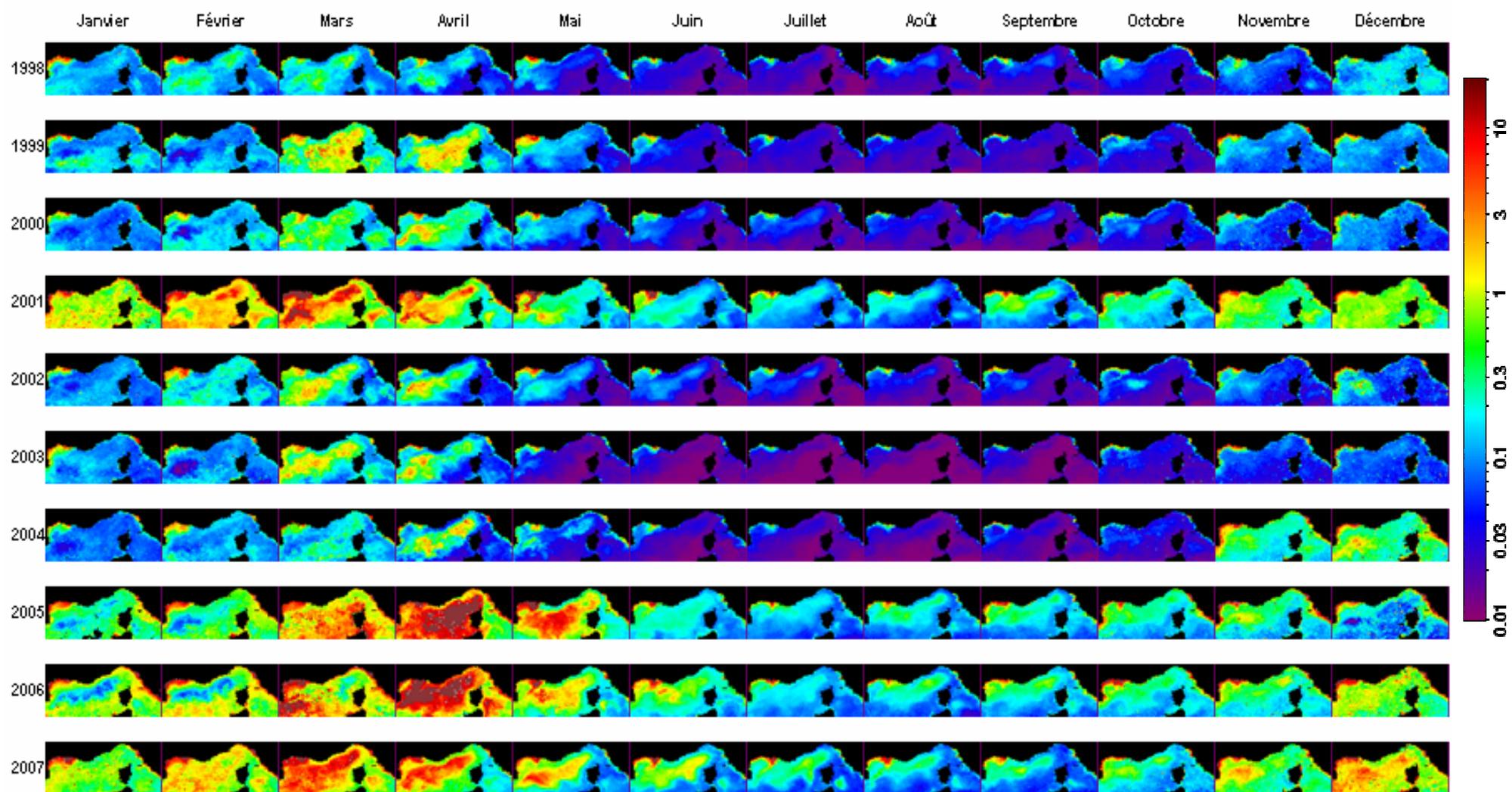


Figure 15. Evolution mensuelle de la concentration en chlorophylle a (mg Chla.m^{-3}) de 1998 à 2007 (satellite SeaWiFS).

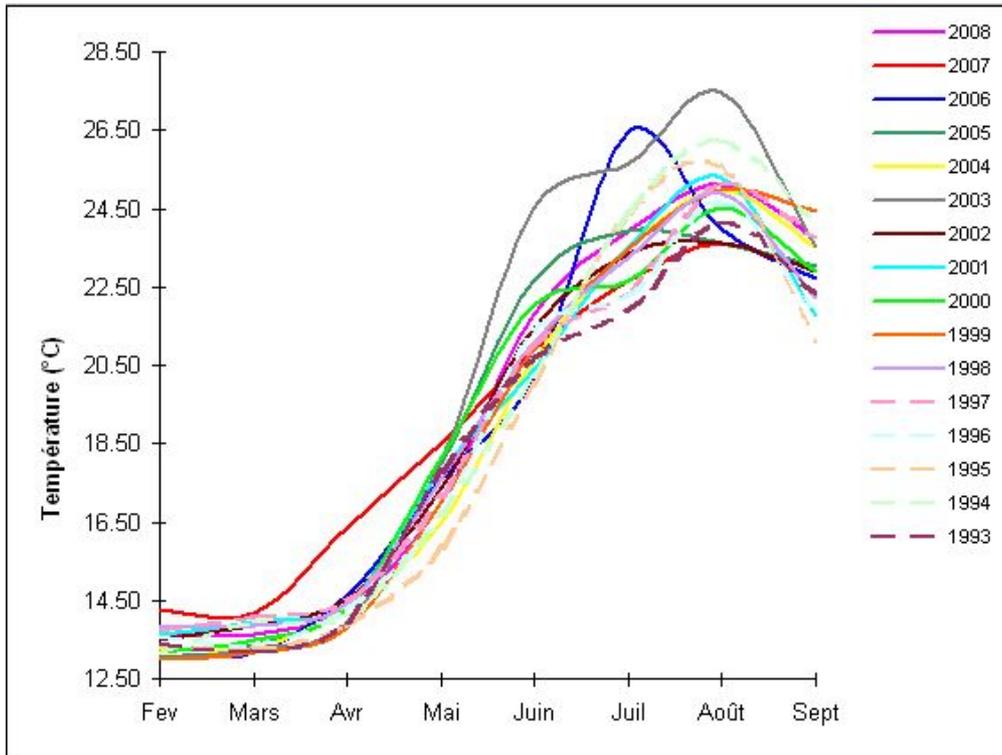


Figure 16. Evolution mensuelle de la température (°C) moyenne de surface entre février et septembre de 1993 à 2008.

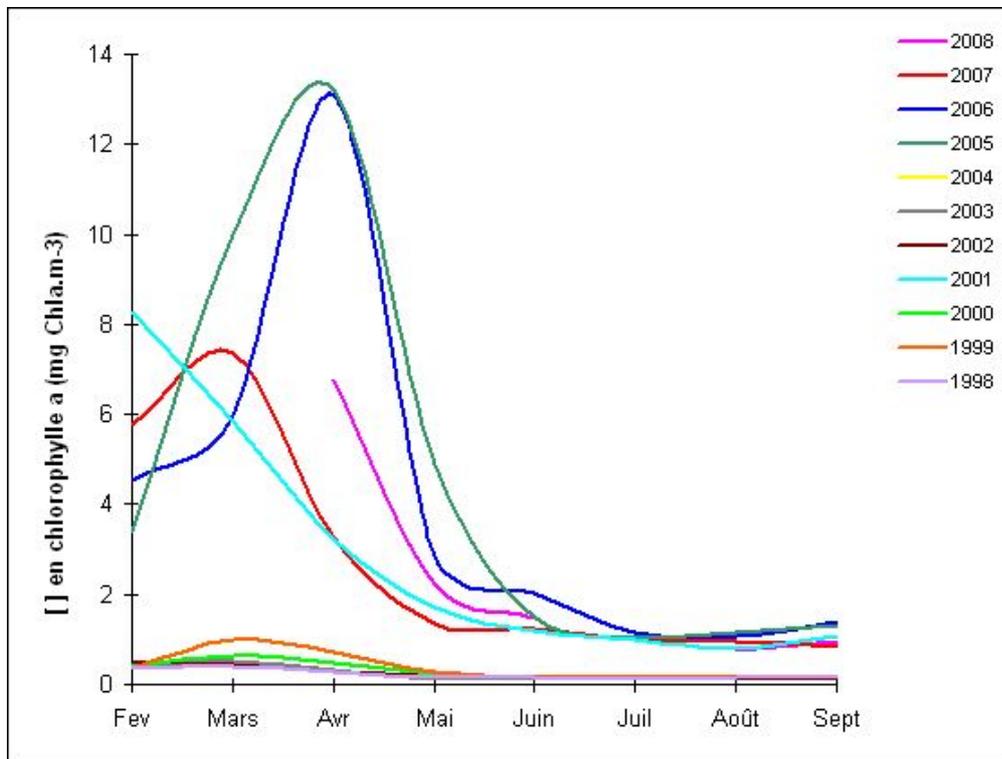


Figure 17. Evolution de la moyenne de la concentration de chlorophylle a (mg Chla.m^{-3}) entre février et septembre de 1998 à 2008.

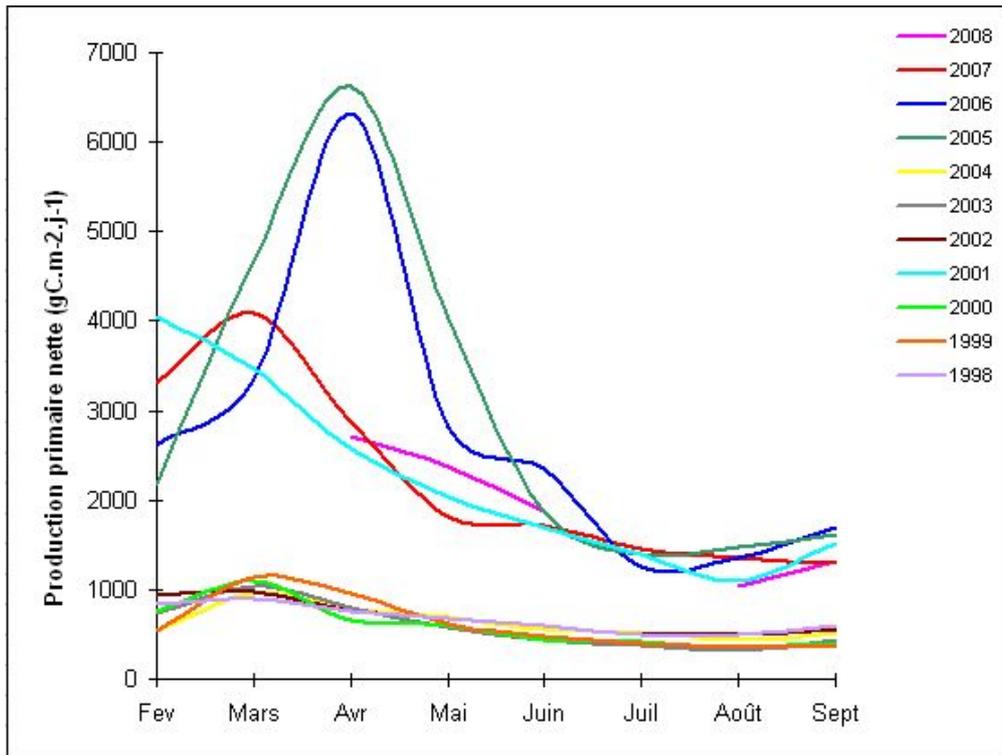


Figure 18. Evolution de la production primaire nette ($\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{j}^{-1}$) moyenne entre février et septembre de 1998 à 2008.

III.B Analyses des conditions environnementales associées aux observations

1- Comparaison entre les six espèces

Profondeur

Nous avons analysé ici les données de profondeur associées à chaque observation (Figure 19 et Figure 20). Nous avons pu montrer que quatre espèces (rorqual commun, cachalot, globicéphale noir et dauphin bleu et blanc) se distribuent sur les mêmes types de profondeurs ($\geq 2\ 000$ m) et ce, quel que soit le mois considéré, excepté le mois de juin où le cachalot se retrouve sur des fonds moins profonds (en moyenne 1 700 m ; Figure 19). Deux espèces se distinguent au niveau de leur distribution, le dauphin de Risso et le grand dauphin. Le premier se trouve en moyenne sur des fonds de 1 000 à 1 600 m de profondeur (Figure 19) c'est-à-dire la partie profonde du talus continental, tandis que la seconde espèce est le plus souvent rencontrée à proximité des côtes.

La préférence pour certaines profondeurs est plus ou moins marquée en fonction des espèces. Le rorqual, le globicéphale et le grand dauphin montrent une préférence marquée pour certaines profondeurs, comme l'atteste leurs valeurs assez resserrées autour de la médiane (Figure 20). Par contre les trois autres espèces sont moins spécifiques et peuvent être rencontrées sur des profondeurs variables.

Nous avons également analysé la répartition de chaque espèce sur quatre classes bathymétriques. Pour cette analyse seules les observations en effort entre 1998 et 2008 ont été analysées (voir le chapitre Méthode). La répartition de l'effort montre que la zone du large ($> 2\ 000$ m de profondeur) a largement été échantillonnée, avec 2,5 à 4 fois plus de kilomètres parcourus que sur les autres strates (Figure 21). Les deux strates intermédiaires sont relativement homogènes en terme de prospection tandis que la zone du talus a été très peu échantillonnée (12%). Malgré ce faible échantillonnage 88% des observations de grands dauphins se localisent sur le plateau (Figure 22). Le rorqual commun et le globicéphale noir apparaissent comme inféodés au large avec 88% des observations réalisées au-delà de l'isobathe 2 000 m. Cette observation est moins nette pour le dauphin bleu et blanc, avec seulement 71% des observations sur la strate profonde. Pour le dauphin de Risso et le cachalot la répartition est plus homogène sur 3 ou 4 classes de profondeur.

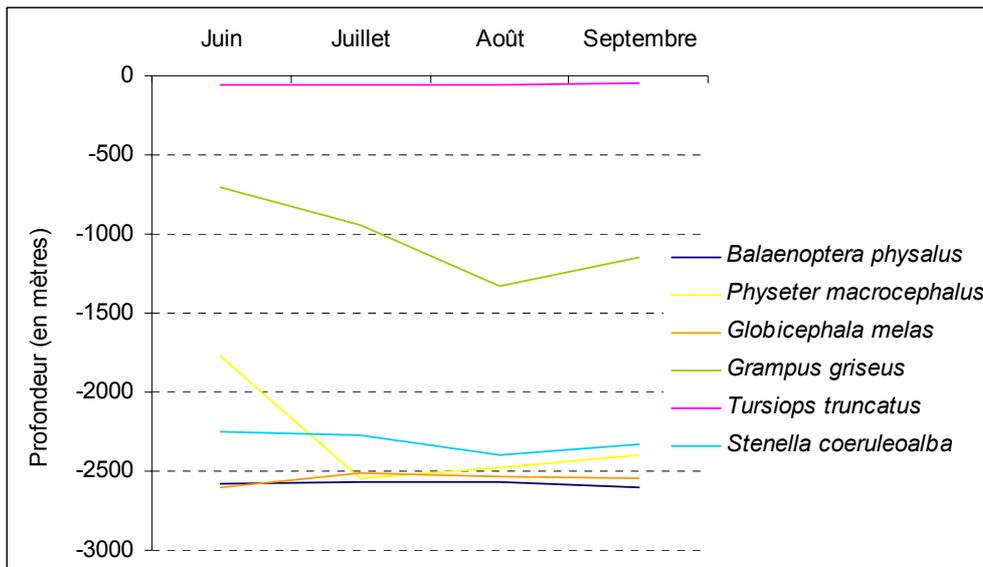


Figure 19. Variation mensuelle (toutes années confondues) des médianes de profondeur (en mètres) pour les six espèces de cétacés.

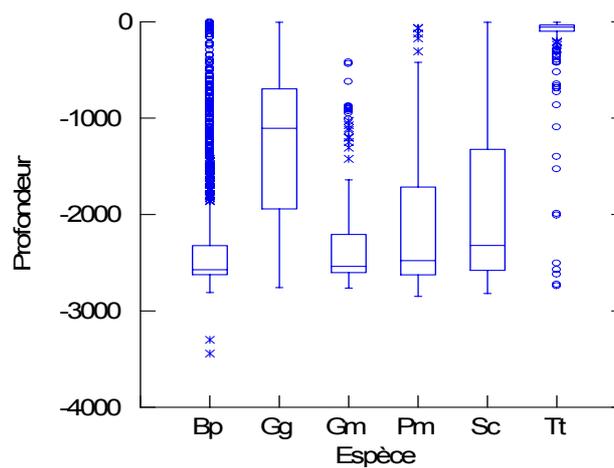


Figure 20. Diagrammes en boîte représentant la distribution des observations par rapport à la profondeur pour les six espèces de cétacés. Le rectangle représentant la limite du 1^{er} et du 3^e quartile, et le trait central la médiane.

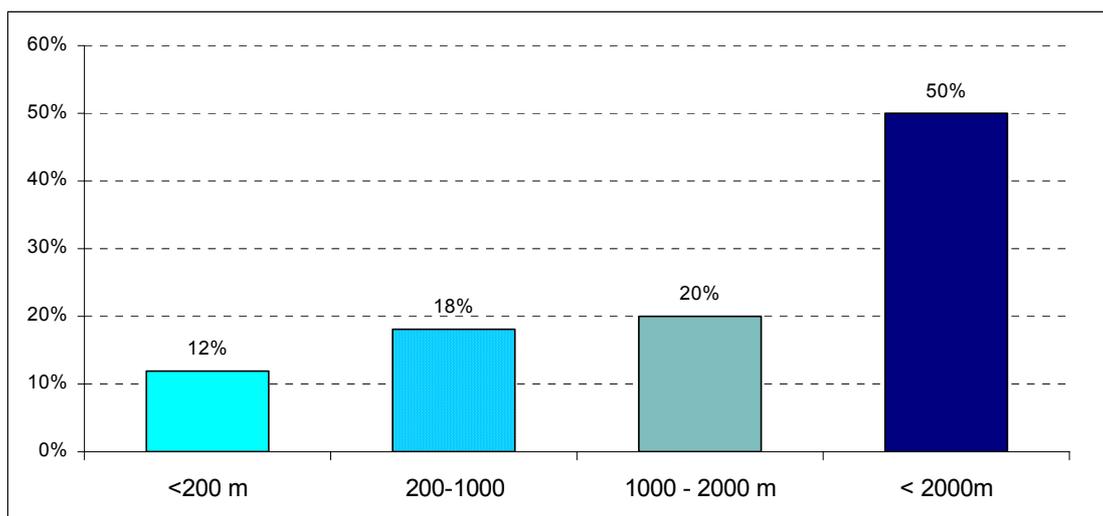


Figure 21. Comparaison de la distribution de l'effort d'observation sur quatre strates de profondeur. Transects réalisés de 1998 à 2008 (par les structures françaises).

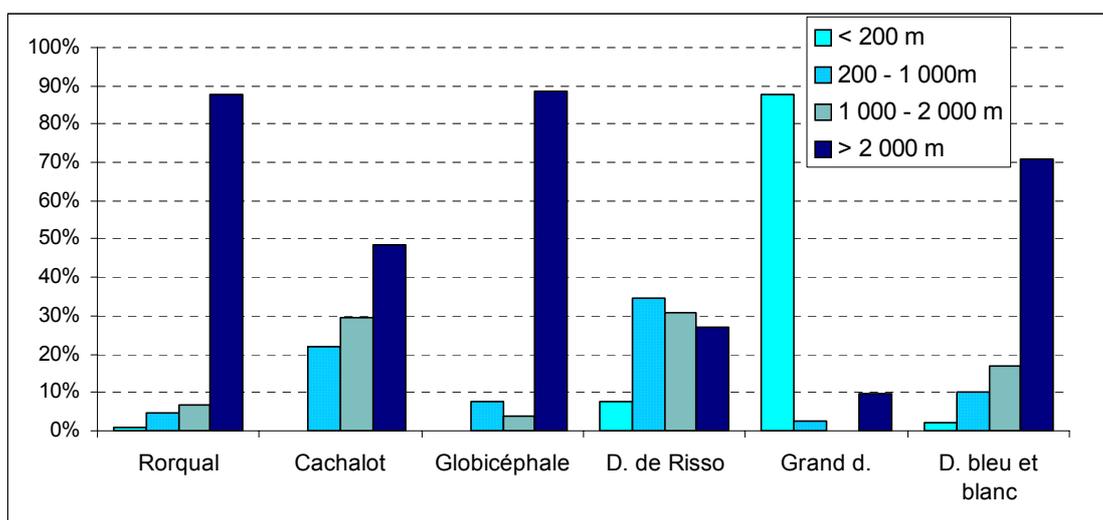


Figure 22. Comparaison de la distribution des six espèces sur quatre strates de profondeur. Observations en effort de 1998 à 2008 (des structures françaises).

Distance à la côte

Après analyse de la distribution par rapport à la distance à la côte, la distance à l'isobathe 200 m et à l'isobathe 2 000 m, seule la première de ces variables est retenue (Figure 23 et Figure 24). En effet, les deux autres ne sont pas pertinentes et ne permettent pas de discriminer les espèces entre elles car leurs valeurs sont très similaires.

La Figure 23 fait apparaître un gradient qui va de l'espèce la plus côtière à la plus pélagique. Ainsi, de la côte au large, on trouve successivement : le grand dauphin (avec une distance moyenne de 4 km par rapport à la côte), puis le dauphin de Risso (entre 12 et 20 km selon les mois), le dauphin bleu et blanc (en moyenne entre 40 et 48 Km) et enfin on notera le rorqual commun comme l'espèce la plus pélagique avec une distance moyenne supérieure à 44 km. Les trois espèces les

plus éloignées de la côte montrent également les plus fortes variations mensuelles de distance à la côte (Figure 23).

Si l'on considère la distribution des observations vis-à-vis de la distance à la côte (Figure 24), on remarque que toutes les observations de grands dauphins sont très resserrées autour de la médiane (4,6 km). Pour les cinq autres espèces, les distances varient plus fortement.

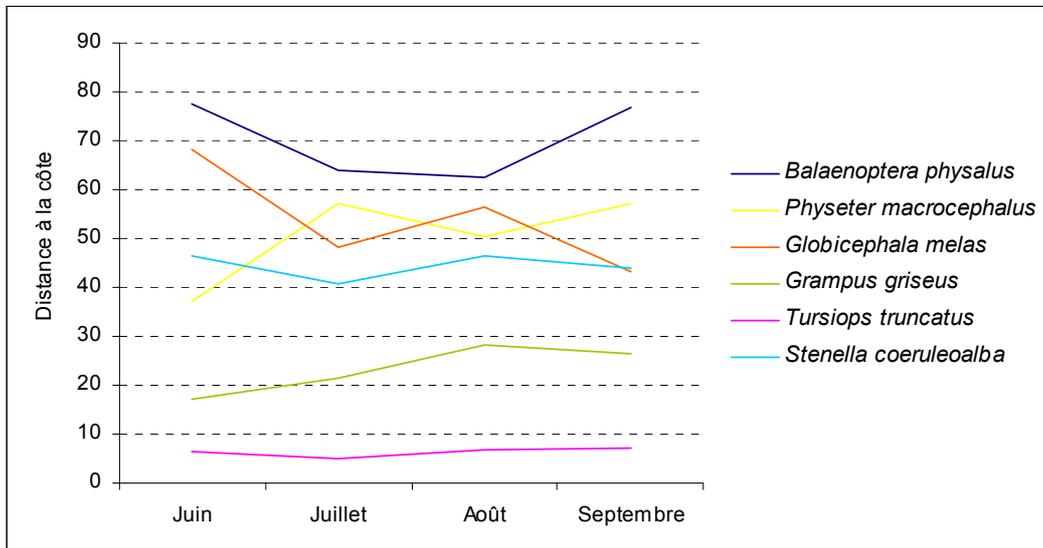


Figure 23. Variation mensuelle (toutes années confondues) des médianes de distance à la côte (en km) pour les six espèces de cétacés.

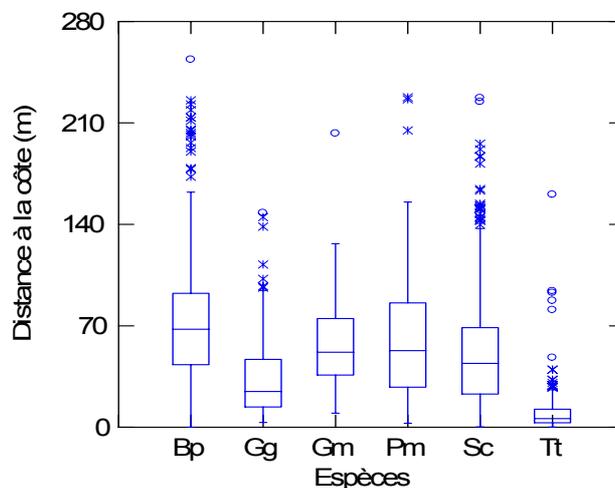


Figure 24. Diagrammes en boîte représentant la distribution des observations par rapport à la distance à la côte pour les six espèces de cétacés. Le rectangle représentant la limite du 1^{er} et du 3^e quartile, et le trait central la médiane.

Température de l'eau

L'évolution mensuelle de la médiane des températures de surface associées aux observations des six espèces (Figure 25) suit l'évolution de la température du milieu environnant (Figure 16). Ce paramètre ne permet pas de discrimination des six espèces de cétacés en Méditerranée. La seule différence visible apparaît pour les grands dauphins qui se retrouvent dans des eaux en « moyenne » plus chaudes que les cinq autres espèces. Cette position s'explique aisément puisque ces dauphins sont très proches de la côte et que les eaux de surface ont une température plus élevée sur les faibles profondeurs.

La répartition des observations par espèce vis-à-vis du paramètre température (Figure 26) ne montre aucune différence significative, avec une variabilité des données identique pour toutes les espèces.

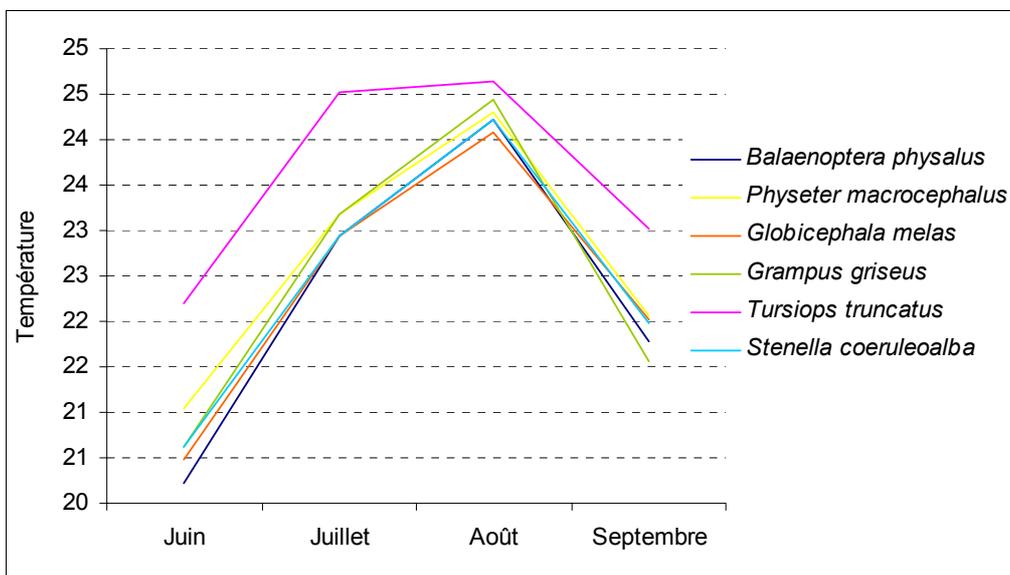


Figure 25. Variation mensuelle (toutes années confondues) des médianes de température de surface (°C) pour les six espèces de cétacés.

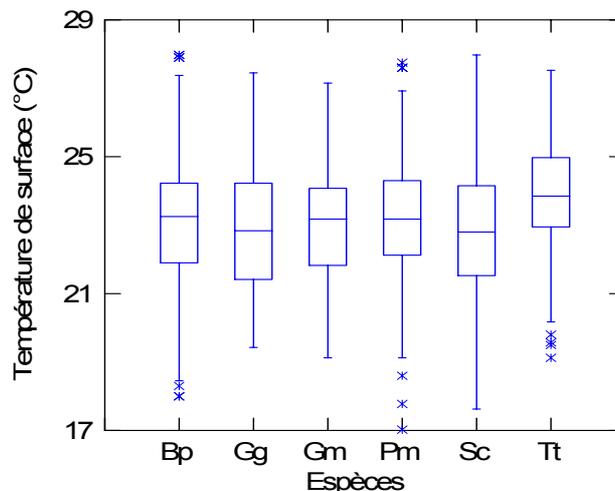


Figure 26. Diagrammes en boîte représentant la distribution des observations vis-à-vis de la température de surface pour les six espèces de cétacés. Le rectangle représentant la limite du 1^{er} et du 3^e quartile, et le trait central la médiane.

Chlorophylle et production primaire

La variable environnementale, concentration en chlorophylle a, ne permet pas non plus de mettre en évidence des valeurs préférentielles pour chacune des six espèces. Toutes se distribuent dans des zones ayant des concentrations de chlorophylle entre 0 et 2 mg Chla.m⁻³ sans tendance particulière (Figure 28) Les concentrations en chlorophylle a, relevées pour chacune des observations, se révèlent très faibles en juillet et en août et légèrement plus élevées en juin et septembre (Figure 27) ce qui suit les tendances globales des concentrations sur l'ensemble de la zone (Figure 17). Des résultats identiques sont observés en ce qui concerne la production primaire (Figure 27), ce qui s'explique par la très forte dépendance de ce paramètre avec la concentration en chlorophylle a (Figure 17 et 18)

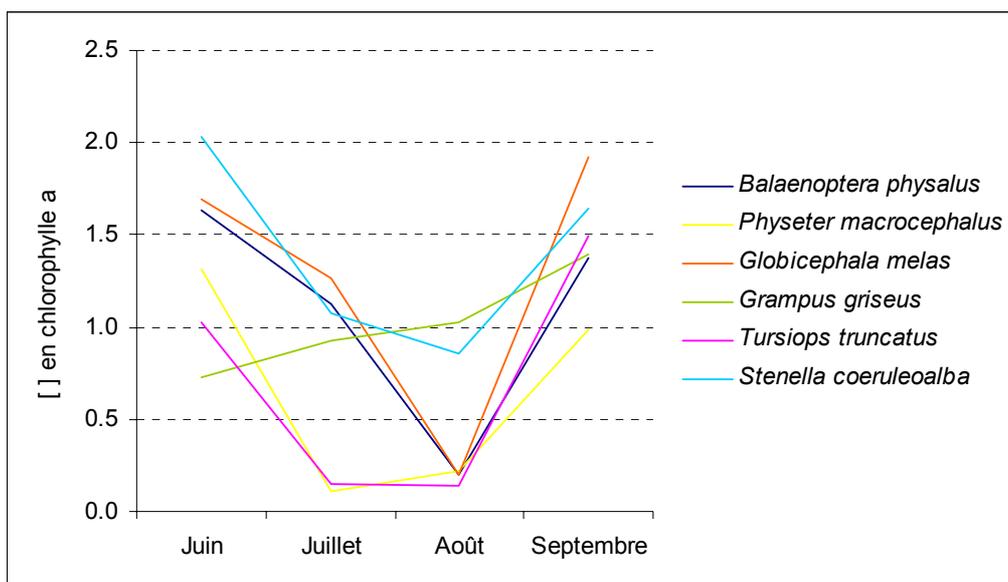


Figure 27. Variation mensuelle (toutes années confondues) des médianes de chlorophylle a (mg Chla.m⁻³) pour les six espèces de cétacés.

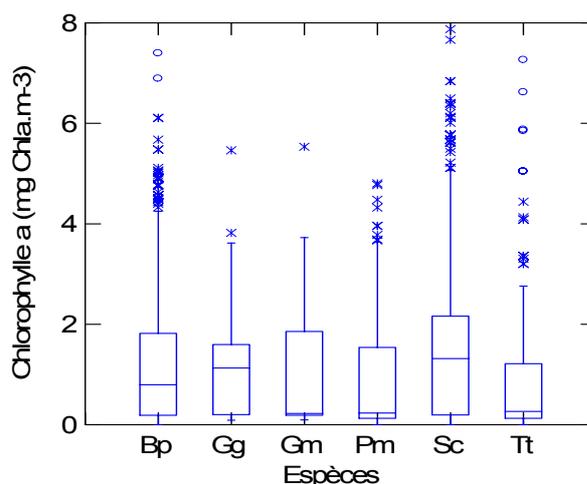


Figure 28. Diagrammes en boîte représentant la distribution des observations vis à vis de la chlorophylle a pour les six espèces de cétacés. Le rectangle représentant la limite du 1^{er} et du 3^e quartile, et le trait central la médiane.

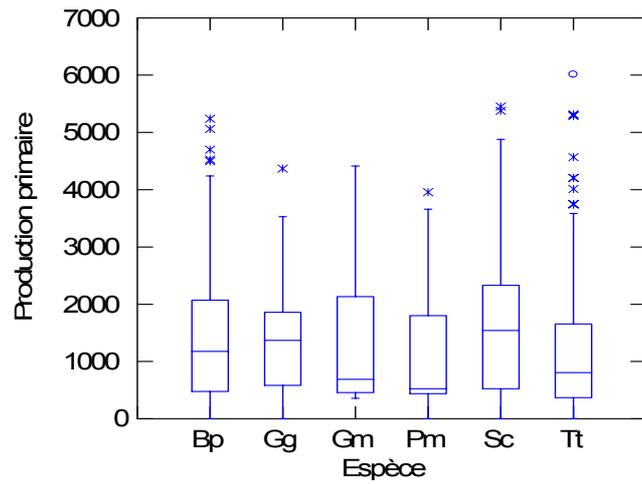


Figure 29. Diagrammes en boîte représentant la distribution des observations vis-à-vis de la production primaire pour les six espèces de cétacés. Le rectangle représentant la limite du 1^{er} et du 3^e quartile, et le trait central la médiane.

2- Détermination des zones environnementales favorables de chaque espèce

Suite aux premières analyses, les deux variables qui semblent les plus significatives pour les six espèces de cétacés sont la profondeur, et la concentration en chlorophylle *a* mais nous avons décidé de conserver la température de surface car d'un point de vue spatial cette variable montre un intérêt pour discriminer les zones favorables aux espèces. Pour chacune de ces trois variables, des intervalles regroupant 50% des valeurs autour de la médiane ont été définis pour chacun de ces paramètres environnementaux. Cet intervalle permet de définir une enveloppe qui élimine 25% des valeurs minimales et maximales et décrit une zone préférentielle sur chacun de ces paramètres.

Les limites de ces intervalles de valeurs sur les paramètres environnementaux cités ont été représentées sur une carte en se basant sur les données satellites (climatologie) et les données de profondeur de l'atlas GEBCO. Les secteurs de préférence sur chacun des paramètres environnementaux sont ainsi délimités, et leur superposition permet de cartographier des zones de chevauchement. Ces zones sont par conséquent celles où l'espèce étudiée trouve un environnement le plus favorable, et ce en terme de profondeur, de température superficielle et de concentration en chlorophylle *a*. Les zones favorables apparaissent en bleu avec trame croisée. Sur ces cartes de zonage ont également été superposées les observations de chacune des espèces respectivement. Des zones où les conditions sont potentiellement favorables mais où aucune observation n'a été réalisée sont ainsi mises en évidence, probablement souvent pour cause d'un effort insuffisant de prospection.

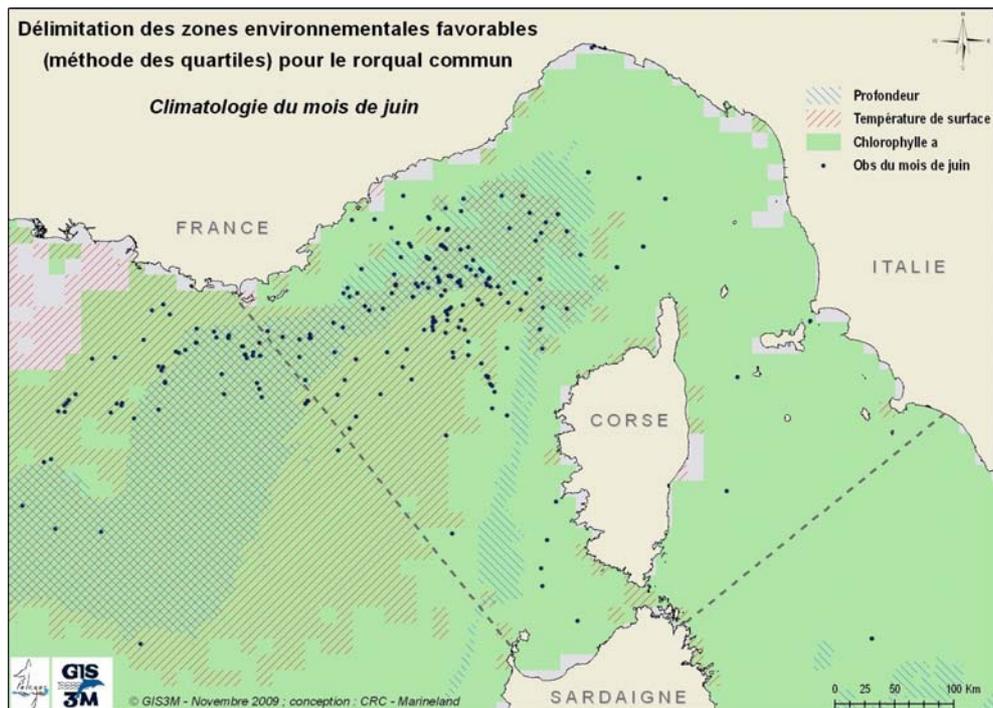
a) Le rorqual commun

Selon nos données, les observations de rorqual commun ont été faites dans des eaux dont la profondeur varie de 5 à 3 300 m, dont la température est comprise entre 18,0 et 27,9°C et les concentrations en chlorophylle *a* entre 0,07 et 7,39 mg Chl*a*.m⁻³ (Tableau 15). Les limites de ces intervalles de valeurs concernant les paramètres environnementaux cités ont été représentées sur les Carte 46 à Carte 49. Ces zones délimitent ainsi les secteurs où le rorqual commun trouve l'environnement le plus favorable, et ce en terme de profondeur, température superficielle et concentration en chlorophylle *a*.

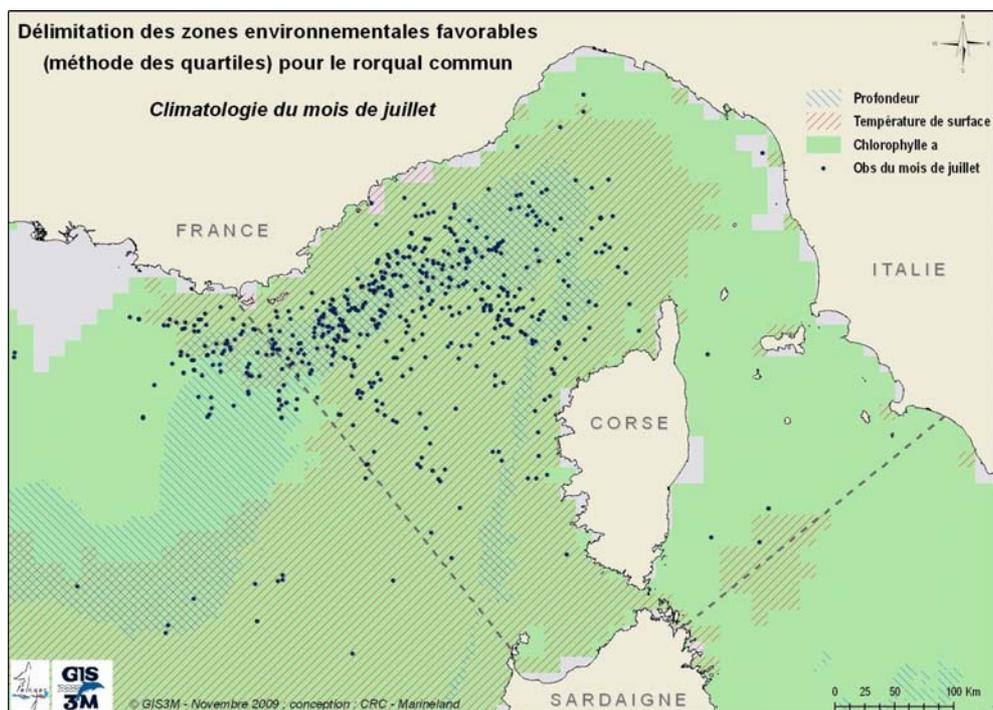
Ainsi, au mois de juin, la zone préférentielle des rorquals communs se situe au nord-ouest de la Corse et au large de l'isobathe 2 000 m sur une large bande allant de San Remo à Toulon puis descend ensuite au sud des côtes varoises. Cette grande bande décrite précédemment garde une forme très similaire tout au long des mois mais se rétrécit ensuite en juillet, août et en septembre. Et l'intervalle de température qui semblent les plus favorables pour observer les rorquals évoluent aussi en fonction des mois.

Tableau 15. Caractéristiques de la distribution des observations de rorquals communs vis-à-vis de la profondeur, de la température et de la chlorophylle *a*.

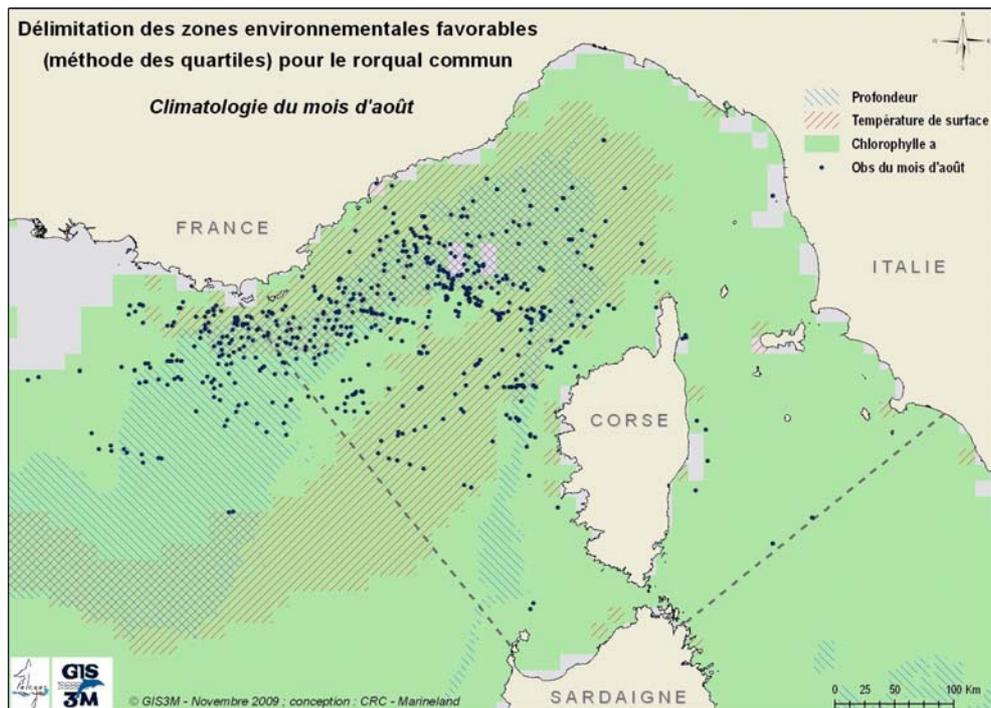
Taille de l'échantillon		Juin	Juillet	Août	Septembre	Été
		250	572	683	202	1 707
Profondeur	Min	39	22	5	37	5
	Q1	2 275	2 386	2 232	2 440	2 323
	Moyenne	2 333	2 389	2 314	2 366	2 348
	Médiane	2 577	2 568	2 564	2 601	2 573
	Q3	2 624	2 621	2 622	2 644	2 624
	Max	3 300	2 810	3 443	2 784	3 443
Température	Min	18,0	19,3	20,8	18,8	18,0
	Q1	19,5	22,4	23,9	21,1	21,9
	Moyenne	20,3	23,2	24,2	21,7	23,0
	Médiane	20,2	23,0	24,2	21,8	23,3
	Q3	20,9	23,8	24,7	22,3	24,2
	Max	24,8	27,2	28,0	24,4	28,0
Chlorophylle <i>a</i>	Min	0,11	0,10	0,07	0,10	0,07
	Q1	0,22	0,20	0,18	0,23	0,19
	Moyenne	2,00	1,02	0,93	1,46	1,18
	Médiane	1,64	1,13	0,20	1,38	0,85
	Q3	3,46	1,64	1,72	2,46	1,82
	Max	7,39	5,04	4,91	5,06	7,39



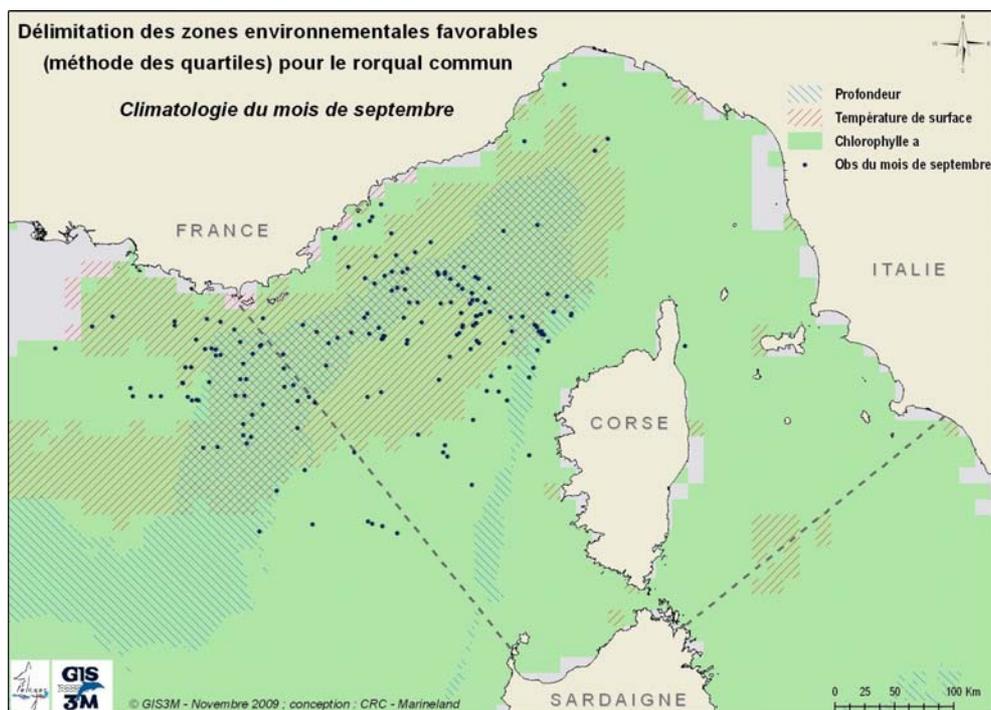
Carte 46. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois de juin pour le rorqual commun, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1^{er} et 3^{ème} quartiles.



Carte 47. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois de juillet pour le rorqual commun, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1^{er} et 3^{ème} quartiles.



Carte 48. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois d'août pour le rorqual commun, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1^{er} et 3^{ème} quartiles.



Carte 49. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois de septembre pour le rorqual commun, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1^{er} et 3^{ème} quartiles.

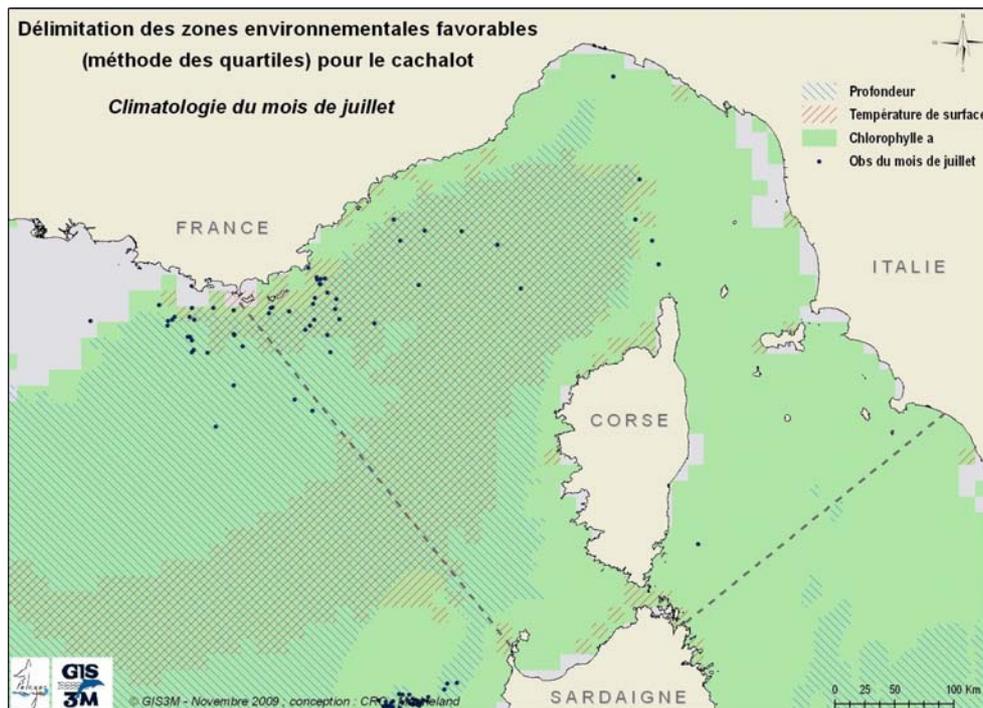
b) Le cachalot

Le cachalot se distribue dans des eaux dont la profondeur varie de 64 m à 2 849 m dont la température est comprise entre 17,0 et 27,7°C avec des concentrations en chlorophylle *a* entre 0,07 et 4,81 mg Chl*a*.m⁻³ (Tableau 16). Les limites de ces intervalles de valeurs sur les paramètres environnementaux cités ont été représentées sur une carte, délimitant ainsi, pour chaque paramètre, des zones préférentielles et par conséquent le secteur le plus favorable à l'espèce lorsque ces différentes zones se chevauchent (Carte 50 à Carte 52). Seuls les mois de juillet à septembre présentent assez d'observations de cachalot (taille de l'échantillon ≥ 87). Pour ces mois, les intervalles définis par la méthode des quartiles permettent de mettre en évidence les zones où les trois variables se chevauchent et qui peuvent être considérées comme celles où le cachalot trouve un environnement le plus favorable.

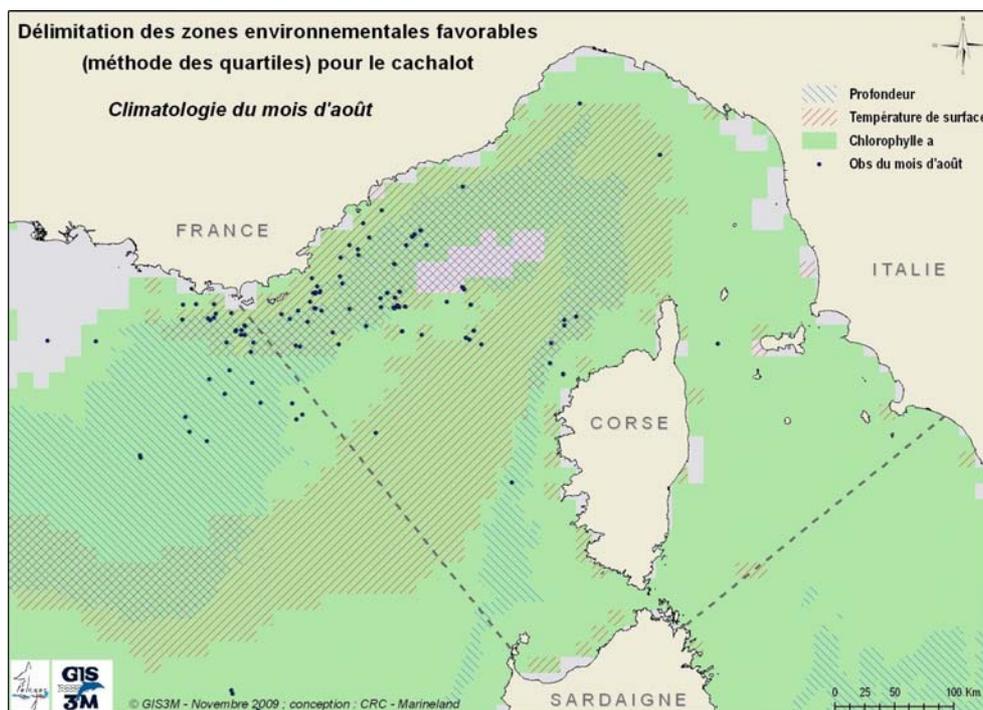
Le secteur favorable le plus étendu est au mois de juillet. Il va du large de Toulon à Savone et au cap Corse puis redescend au large de la côte occidentale corse avant d'aller vers les Baléares. Cette zone se rétrécit en août en une bande en U renversé allant du large de Toulon à Savone puis au cap Corse. En septembre, la zone préférentielle pour les cachalots s'agrandit légèrement tout en gardant la même forme que le mois précédent.

Tableau 16. Caractéristiques de la distribution des observations de cachalots vis-à-vis de la profondeur, de la température et de la chlorophylle *a*.

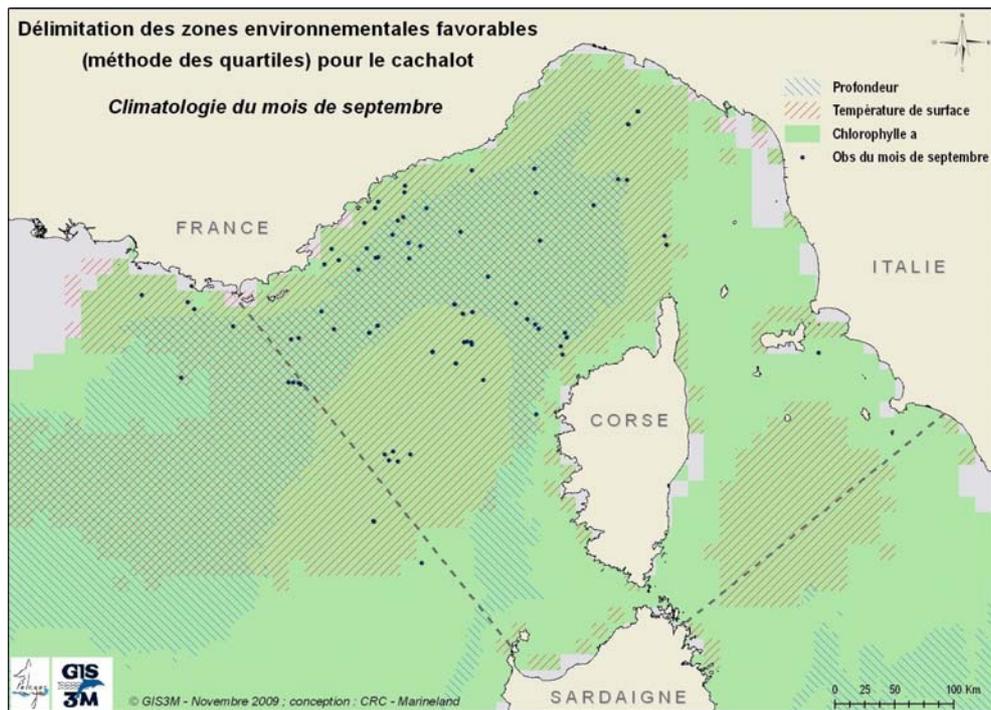
		Juin	Juillet	Août	Septembre	Été
Taille de l'échantillon		18	106	129	87	340
Profondeur	Min	67	64	173	123	64
	Q1	1 055	1 676	1 813	1 813	1 722
	Moyenne	1 719	2 183	2 115	2 103	2 112
	Médiane	1 770	2 547	2 475	2 400	2 479
	Q3	2 483	2 807	2 606	2 656	2 626
	Max	2 760	2 849	2 764	2 806	2 849
Température	Min	17,8	19,1	17,0	18,6	17,0
	Q1	20,4	22,6	23,9	21,1	22,1
	Moyenne	21,0	23,3	24,3	22,0	23,2
	Médiane	21,0	23,2	24,3	22,1	23,2
	Q3	21,7	23,4	24,8	23,0	24,3
	Max	22,9	26,9	27,8	24,6	27,8
Chlorophylle <i>a</i>	Min	0,15	0,10	0,07	0,09	0,07
	Q1	0,38	0,10	0,18	0,17	0,13
	Moyenne	1,86	0,56	0,87	1,17	0,92
	Médiane	1,32	0,10	0,22	0,99	0,23
	Q3	2,52	1,17	1,54	2,03	1,54
	Max	4,77	2,93	4,81	4,32	4,81



Carte 50. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois de juillet pour le cachalot, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1^{er} et 3^{ème} quartiles.



Carte 51. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois d'août pour le cachalot, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1^{er} et 3^{ème} quartiles.



Carte 52. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois de septembre pour le cachalot, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1^{er} et 3^{ème} quartiles.

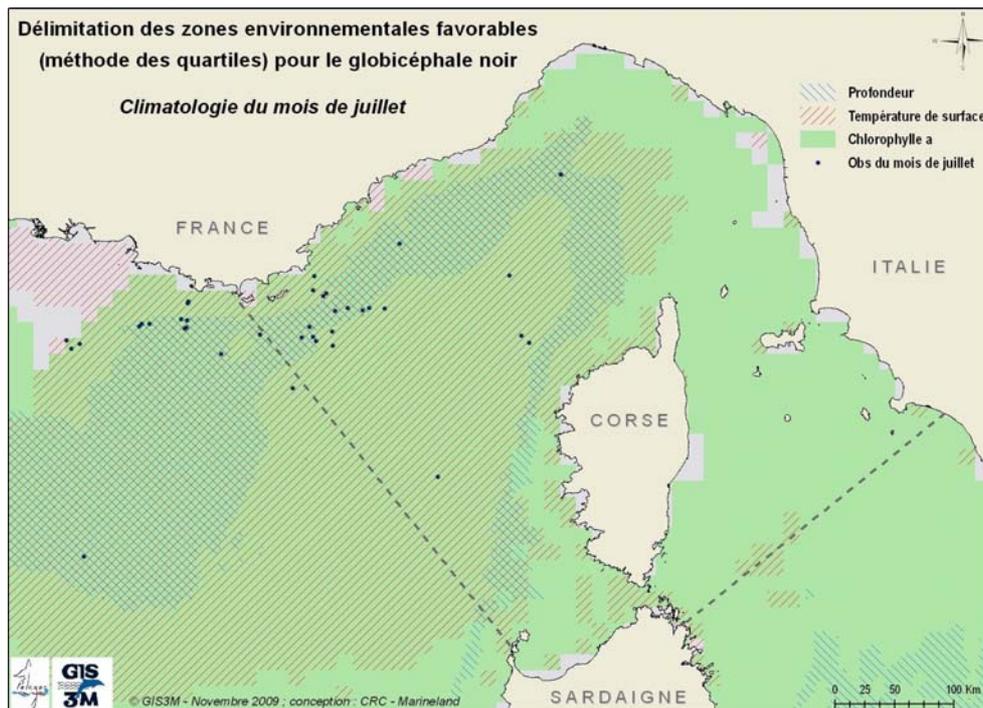
c) Le globicéphale noir

Le globicéphale noir fréquente des eaux dont la profondeur varie de 422 m à 2 763 m dont la température est comprise entre 19,1 et 27,2°C avec des concentrations en chlorophylle *a* entre 0,10 et 5,53 mg Chl_a.m⁻³ (Tableau 17). Les limites des trois intervalles déterminés par les quartiles ont été reproduites sur les cartes (Carte 53 à Carte 55). Seuls les mois de juillet à septembre sont présentés avec un nombre d'échantillon ≥ 32 observations.

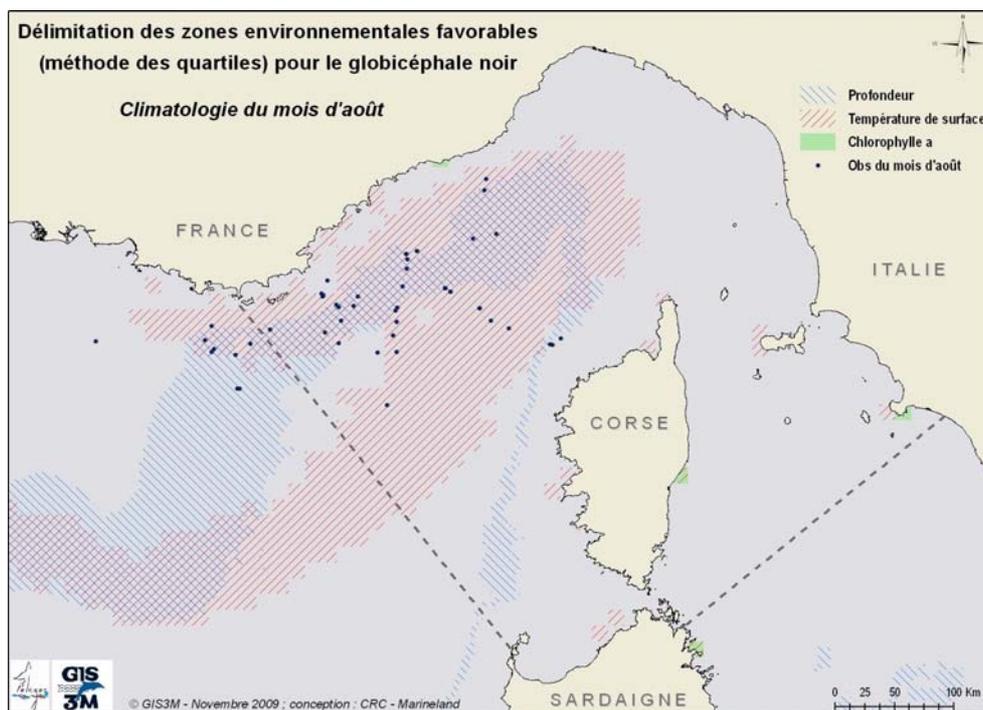
Au mois de juillet, la variable la plus discriminante est la variable profondeur. C'est elle qui délimite le plus la zone dans laquelle les globicéphales se distribuent. Au mois d'août, l'intervalle de chlorophylle *a* étant tellement faible, très peu de zones sont délimitées par cette variable environnementale ; les zones préférentielles sont déterminées uniquement sur les zones de chevauchement de la température de surface et de la profondeur. Deux zones apparaissent de forme similaire tout au long des mois : une large bande du cap Corse à Savone qui se poursuit jusqu'à Toulon et une zone très au large de Toulon à Marseille. Au mois de septembre, les zones préférentielles délimitées sont moins étendues dans le Sanctuaire.

Tableau 17. Caractéristiques de la distribution des observations globicéphales noirs vis-à-vis de la profondeur, de la température et de la chlorophylle *a*.

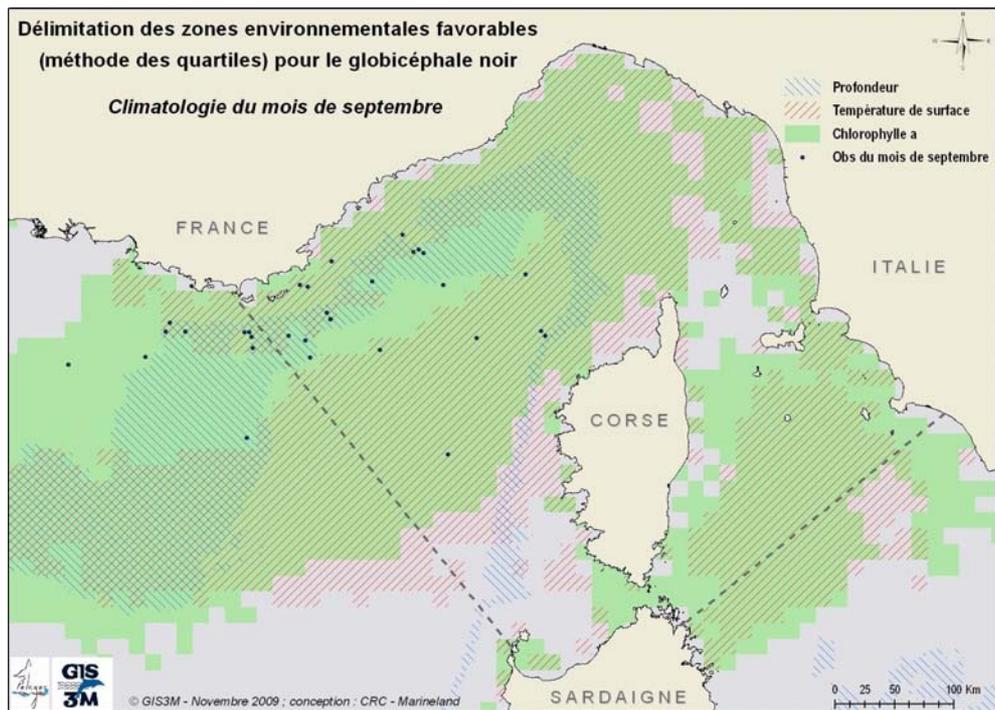
		Juin	Juillet	Août	Septembre	Eté
Taille de l'échantillon		11	39	52	32	134
Profondeur	Min	624	422	877	439	422
	Q1	1 729	1 865	2 325	2 187	2 209
	Moyenne	2 170	2 100	2 376	2 240	2 246
	Médiane	2 606	2 509	2 540	2 549	2 539
	Q3	2 718	2 583	2 608	2 592	2 603
	Max	2 719	2 763	2 729	2 763	2 763
Température	Min	19,8	19,4	21,8	19,1	19,1
	Q1	19,9	21,5	23,8	21,5	21,8
	Moyenne	20,5	22,9	24,2	22,1	23,0
	Médiane	20,5	23,0	24,1	22,0	23,2
	Q3	21,0	23,6	24,5	23,2	24,1
	Max	21,9	26,4	27,2	24,5	27,2
Chlorophylle <i>a</i>	Min	0,19	0,13	0,11	0,10	0,10
	Q1	0,54	0,20	0,19	0,52	0,19
	Moyenne	1,80	1,04	0,50	1,79	1,07
	Médiane	1,69	1,26	0,20	1,92	0,22
	Q3	1,74	1,63	0,22	2,59	1,83
	Max	5,53	2,89	3,72	3,69	5,53



Carte 53. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois de juillet pour le globicéphale noir, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1^{er} et 3^{ème} quartiles.



Carte 54. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois d'août pour le globicéphale noir, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1^{er} et 3^{ème} quartiles.



Carte 55. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois de septembre pour le globicéphale noir, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1^{er} et 3^{ème} quartiles.

d) Le dauphin de Risso

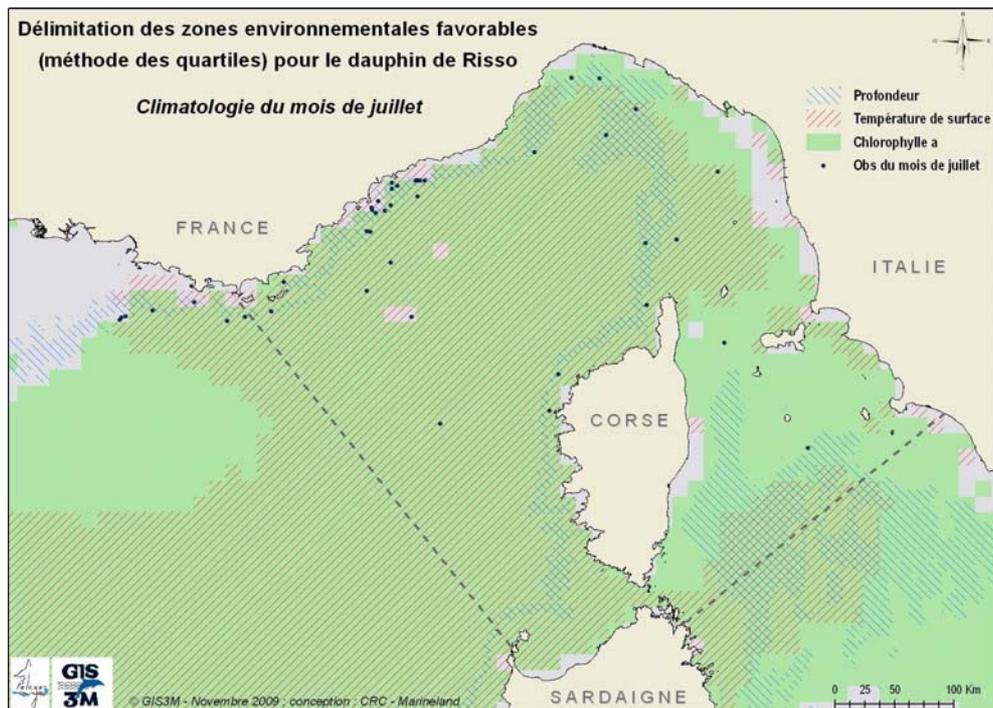
Le dauphin de Risso se distribue dans des eaux dont la profondeur varie de 5 m à 2 758 m dont la température est comprise entre 19,4 et 27,5°C avec des concentrations en chlorophylle *a* entre 0,09 et 5,46 mg Chl*a*.m⁻³ (Tableau 18). Les trois intervalles déterminés par les quartiles ont été reproduits sur des cartes (Carte 56 à Carte 58). Seuls les mois de juillet à septembre comportent suffisamment d'observations avec une taille d'échantillon ≥ 34 observations.

Contrairement au cachalot et au globicéphale noir peu de zones présentant des conditions favorables à cette espèce (donc identiques à celles déduites des distributions des animaux observés) et vides d'observations ont été mises en évidence : seule la mer Tyrrhénienne apparaît favorable et aucune observation n'y a été faite.

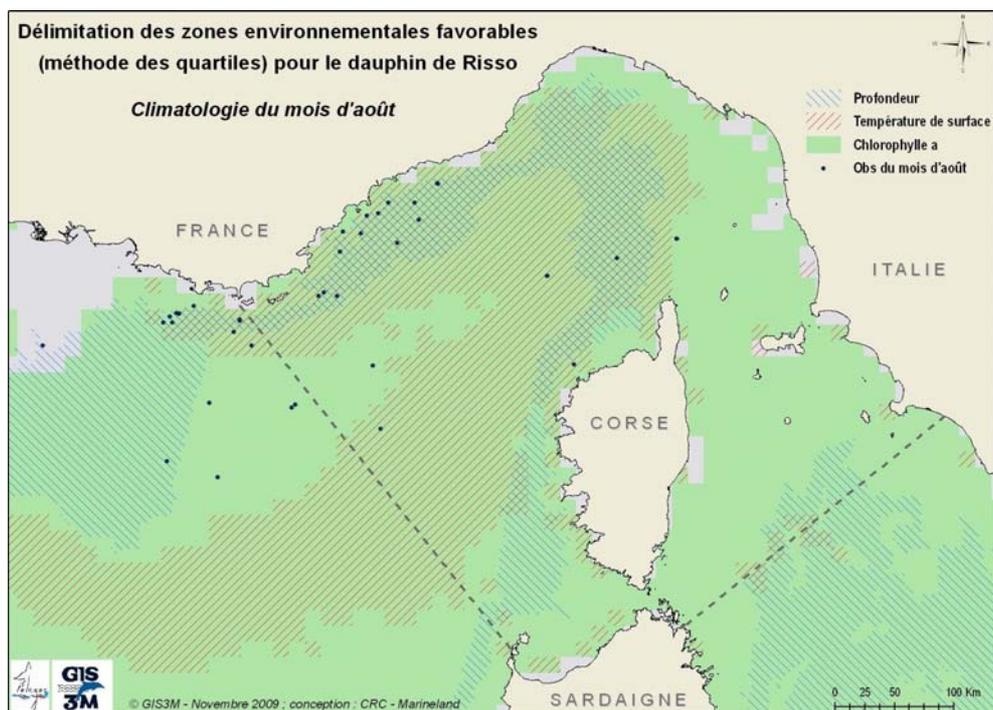
Au mois de juillet (Carte 56), la variable la plus discriminante est la profondeur car les intervalles des valeurs sur les deux autres variables sont trop étendus (zone vaste) pour être discriminants. La zone la plus favorable au dauphin de Risso correspond pour ce mois là au talus continental ; elle est donc très étroite. Au mois d'août, la bande délimitant les zones favorables est plus étendue qu'au mois de juillet mais suit toujours le talus. Au mois de septembre, la zone favorable pour le dauphin de Risso est très réduite et il y a peu d'endroit où les trois paramètres favorables se recoupent. Une zone se distingue à l'ouest de Toulon et au sud de Marseille. La bande à l'ouest de la Corse disparaît car seul le paramètre profondeur entre en jeu.

Tableau 18. Caractéristiques de la distribution des observations de dauphins de Risso vis-à-vis de la profondeur, de la température et de la chlorophylle *a*.

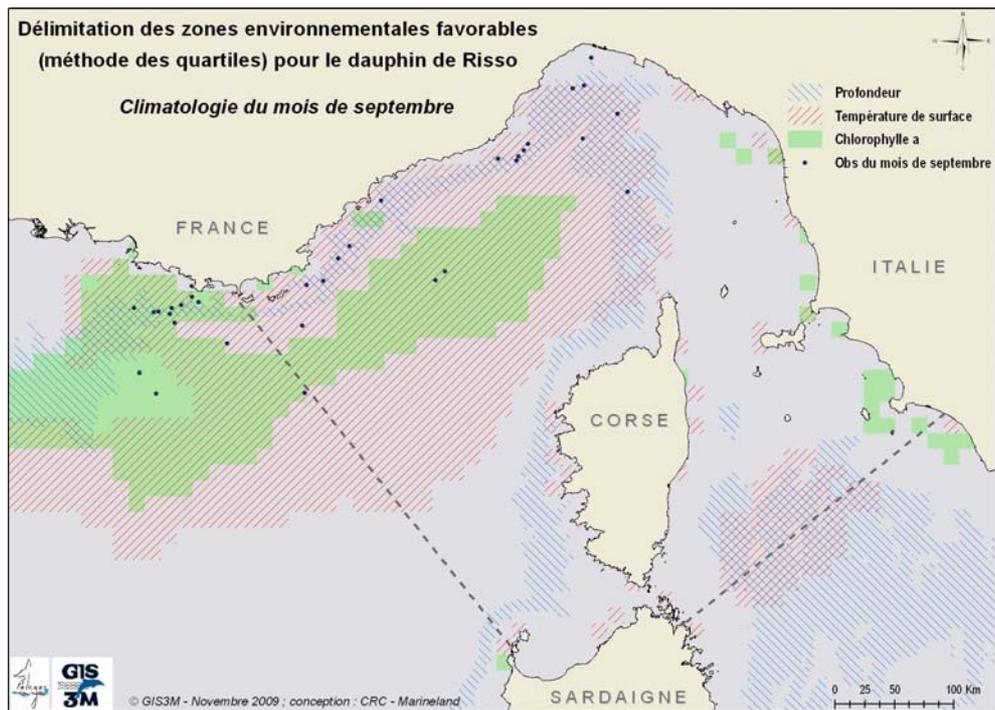
		Juin	Juillet	Août	Septembre	Eté
Taille de l'échantillon		16	48	39	34	137
Profondeur	Min	5	48	513	289	5
	Q1	487	645	973	796	696
	Moyenne	1 026	1 069	1 616	1 351	1 290
	Médiane	701	944	1 331	1 153	1 106
	Q3	1 283	1 365	2 434	2 002	1 943
	Max	2 628	2 758	2 737	2 631	2 758
Température	Min	19,4	19,5	21,6	20,2	19,4
	Q1	19,8	22,1	23,9	21,0	21,4
	Moyenne	20,9	23,2	24,3	21,8	22,9
	Médiane	20,6	23,2	24,5	21,6	22,8
	Q3	21,4	24,1	24,9	22,7	24,2
	Max	23,6	27,4	27,5	23,6	27,5
Chlorophylle <i>a</i>	Min	0,16	0,09	0,09	0,10	0,09
	Q1	0,27	0,30	0,17	1,19	0,20
	Moyenne	1,88	0,82	1,04	1,53	1,19
	Médiane	0,72	0,92	1,03	1,39	1,13
	Q3	3,62	1,13	1,82	2,08	1,60
	Max	5,46	1,69	2,62	3,18	5,46



Carte 56. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois de juillet pour le dauphin de Risso, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1^{er} et 3^{ème} quartiles.



Carte 57. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois d'août pour le dauphin de Risso, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1^{er} et 3^{ème} quartiles.



Carte 58. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois de septembre pour le dauphin de Risso, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1^{er} et 3^{ème} quartiles.

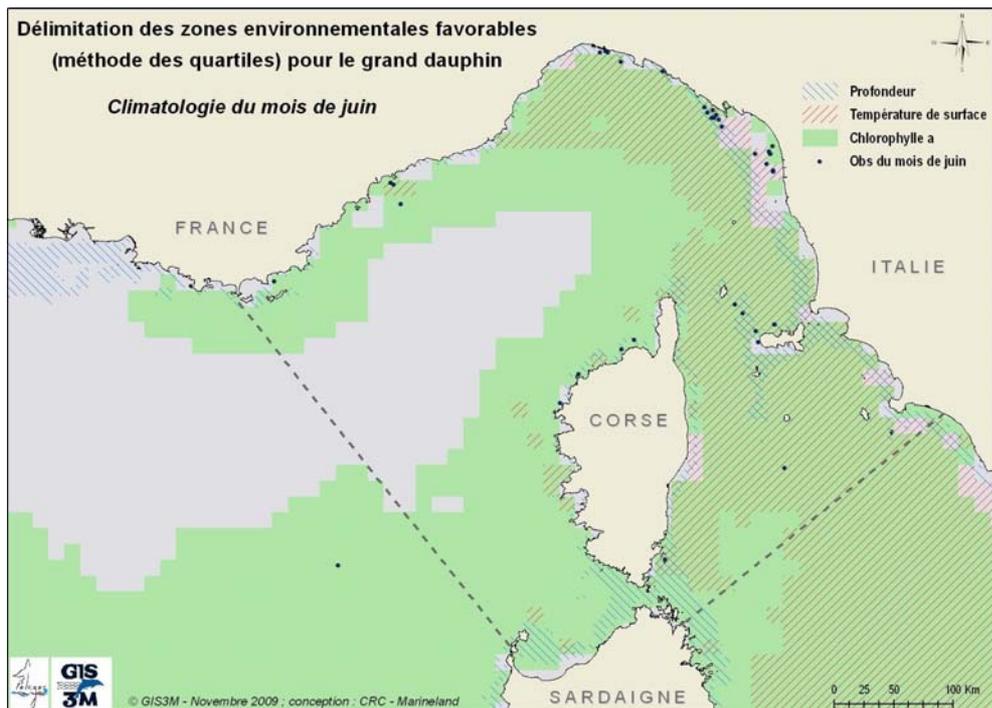
e) Le grand dauphin

Ce dauphin se distribue dans des eaux dont la profondeur varie de 5 m à 2 744 m dont la température est comprise entre 13,8 et 27,5°C avec des concentrations en chlorophylle *a* entre 0,07 et 11,00 mg Chl_a.m⁻³ (Tableau 19). Les trois intervalles déterminés par les quartiles sont représentés sur des cartes (Carte 59 à Carte 62). Contrairement aux espèces citées précédemment, le grand dauphin est une espèce couramment rencontrée autour des côtes corses et des côtes italiennes. De nombreuses observations ont été faites pour les quatre mois estivaux (taille des échantillons ≥ 40 observations). Comme le dauphin de Risso, peu de zones nouvelles ont été mises en évidence par cette méthode comme étant des habitats favorables pour le grand dauphin. En effet, quel que soit le mois, les zones favorables mises en exergue contiennent des observations de cette espèce. Ces zones suivent la côte italienne, le tour de l'île d'Elbe, la côte corse et sont très restreintes.

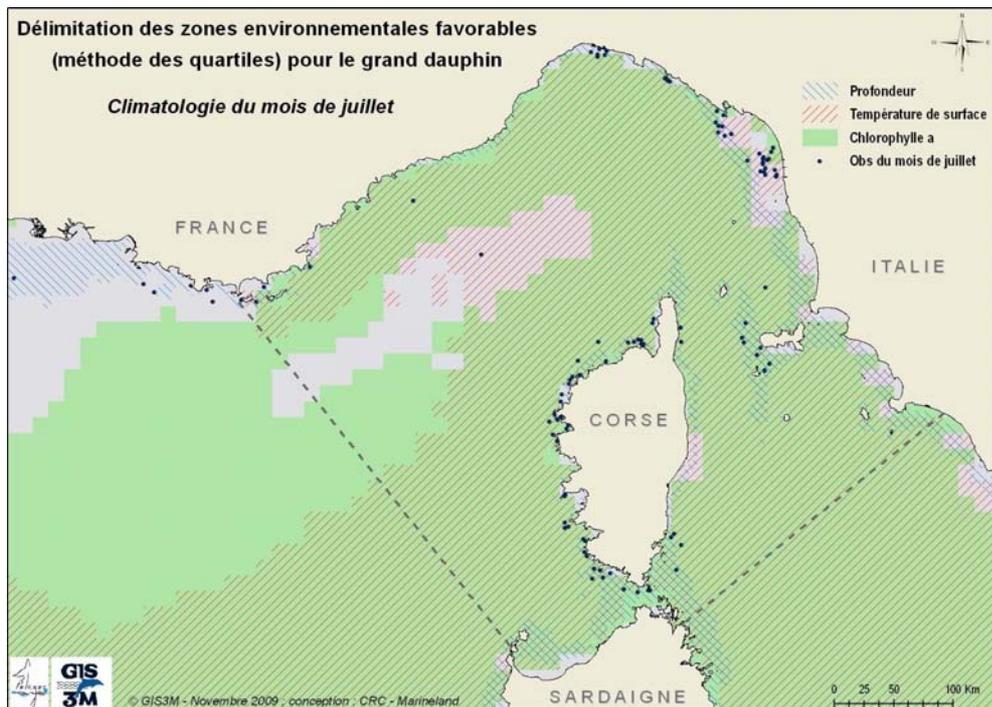
D'un mois sur l'autre, il y a peu d'évolution de cette zone favorable.

Tableau 19. Caractéristiques de la distribution des observations de grands dauphins vis-à-vis de la profondeur, de la température et de la chlorophylle *a*.

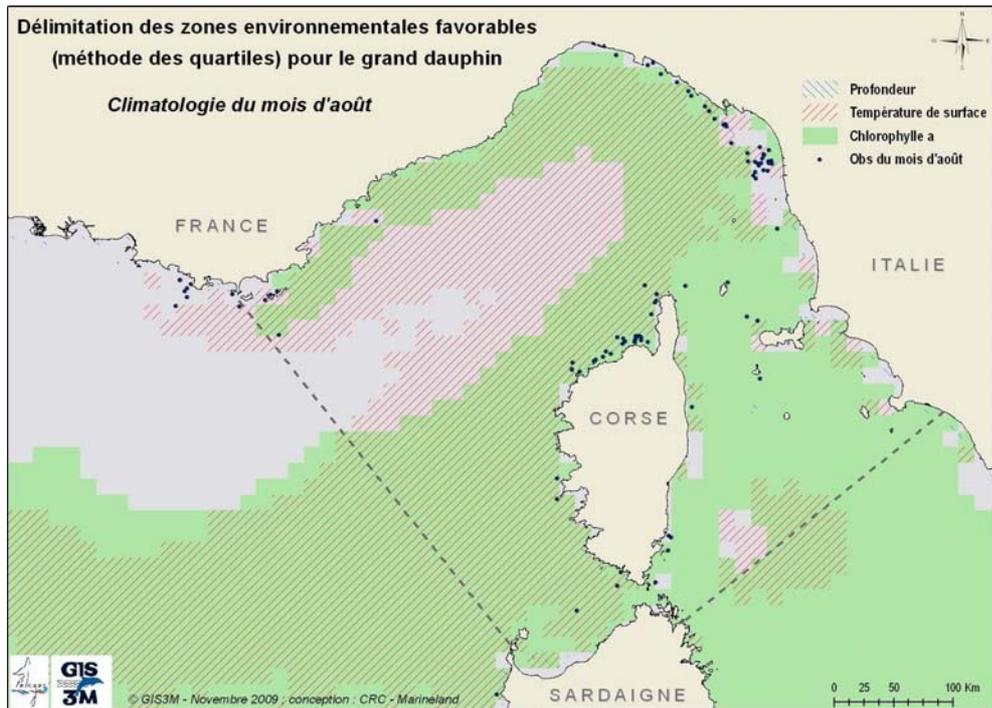
		Juin	Juillet	Août	Septembre	Eté
Taille de l'échantillon		40	108	91	52	291
Profondeur	Min	8	5	5	8	5
	Q1	37	36	39	25	34
	Moyenne	208	146	131	194	158
	Médiane	55	58	60	40	55
	Q3	99	108	36	54	98
	Max	2 744	2 576	2 509	2 728	2 744
Température	Min	15,4	19,1	21,8	13,8	13,8
	Q1	21,4	22,9	23,9	22,4	22,9
	Moyenne	22,3	24,4	24,8	22,6	23,9
	Médiane	22,2	24,5	24,6	23,0	23,9
	Q3	23,7	25,9	25,1	23,5	25,0
	Max	24,8	27,2	27,5	24,1	27,5
Chlorophylle <i>a</i>	Min	0,12	0,07	0,07	0,11	0,07
	Q1	0,20	0,11	0,12	0,36	0,13
	Moyenne	1,21	0,75	0,81	1,97	1,14
	Médiane	1,02	0,15	0,14	1,50	0,57
	Q3	1,40	0,95	0,80	2,46	1,45
	Max	5,85	5,04	11,00	9,66	11,00



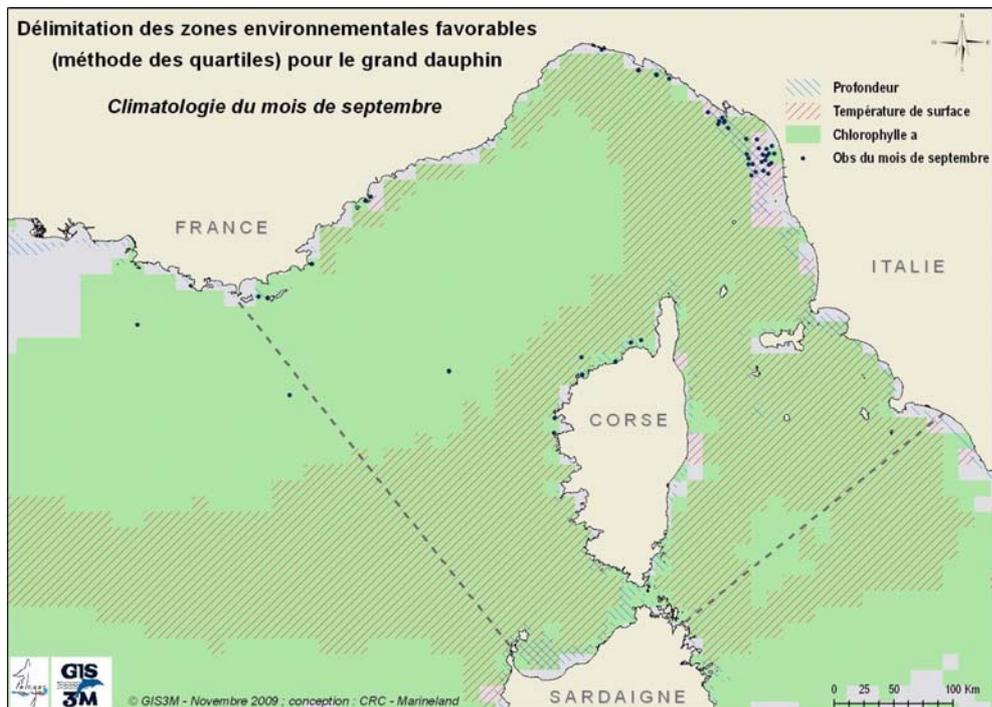
Carte 59. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois de juin pour le grand dauphin, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1^{er} et 3^{ème} quartiles.



Carte 60. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois de juillet pour le grand dauphin, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1^{er} et 3^{ème} quartiles.



Carte 61. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois d'août pour le grand dauphin, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1^{er} et 3^{ème} quartiles.



Carte 62. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois de septembre pour le grand dauphin, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1^{er} et 3^{ème} quartiles.

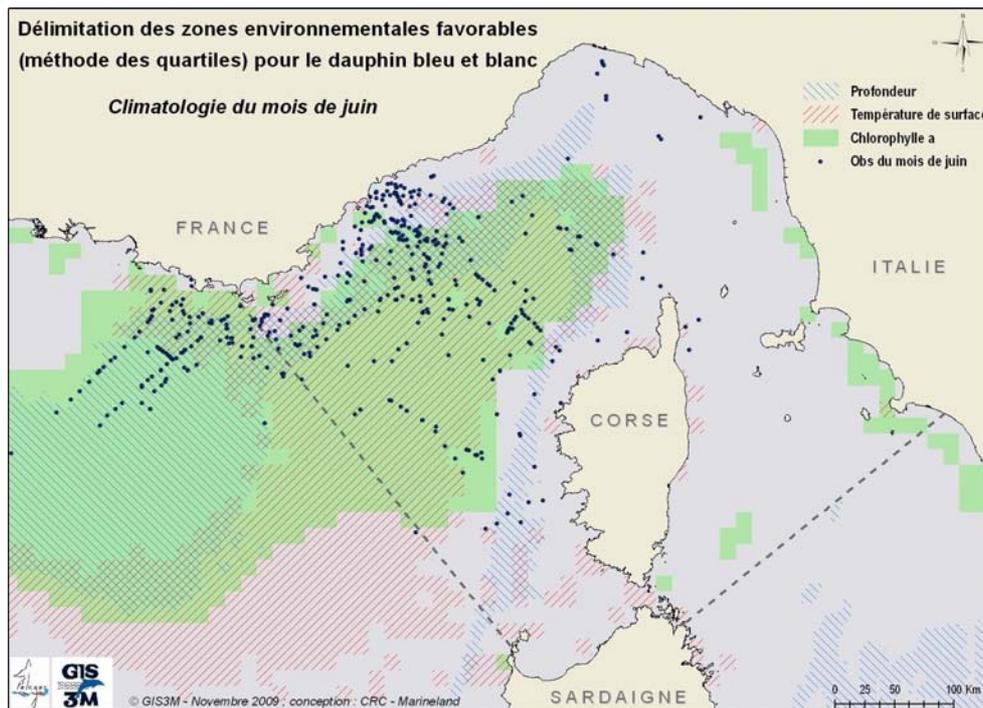
f) Le dauphin bleu et blanc

Le dauphin bleu et blanc se distribue dans des eaux dont la profondeur varie de 5 m à 2 820 m dont la température est comprise entre 17,6 et 28,0°C avec des concentrations en chlorophylle *a* entre 0,08 et 7,88 mg Chl*a*.m⁻³ (Tableau 20). Les trois intervalles déterminés par les quartiles sont représentés sur les Carte 63 à Carte 66. Tous les mois estivaux (juin à septembre) ont donc été considérés pour cette espèce, le nombre mensuel d'observations étant largement suffisant. Des zones non échantillonnées ont été mises en évidence comme étant des habitats favorables pour le dauphin bleu et blanc, entre autres, au large dans le sud du Golfe du Lion.

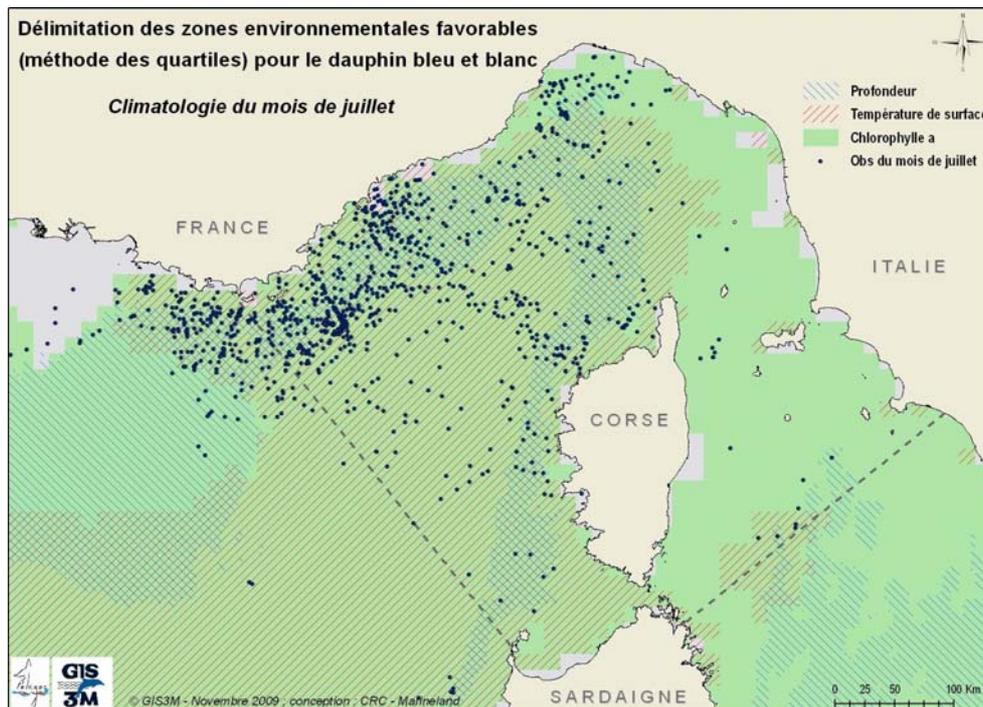
Pour les quatre mois, la zone favorable principale se situe au large entre les îles d'Hyères, Nice et Savone puis redescend vers le cap Corse. Cette bande est plus ou moins large d'un mois sur l'autre, notamment dans le Golfe de Gênes mais reste globalement constante mis à part le long de la côte occidentale corse. Comme pour les autres espèces, les deux paramètres qui déterminent principalement la présence des dauphins bleu et blanc sont la profondeur en premier lieu puis la température superficielle de la masse d'eau. Le paramètre chlorophylle *a* entre peu en compte pour cette espèce. Aucune zone favorable n'a été mise en évidence en mer tyrrhénienne.

Tableau 20. Caractéristiques de la distribution des observations de dauphins bleu et blanc vis-à-vis de la profondeur, de la température et de la chlorophylle *a*.

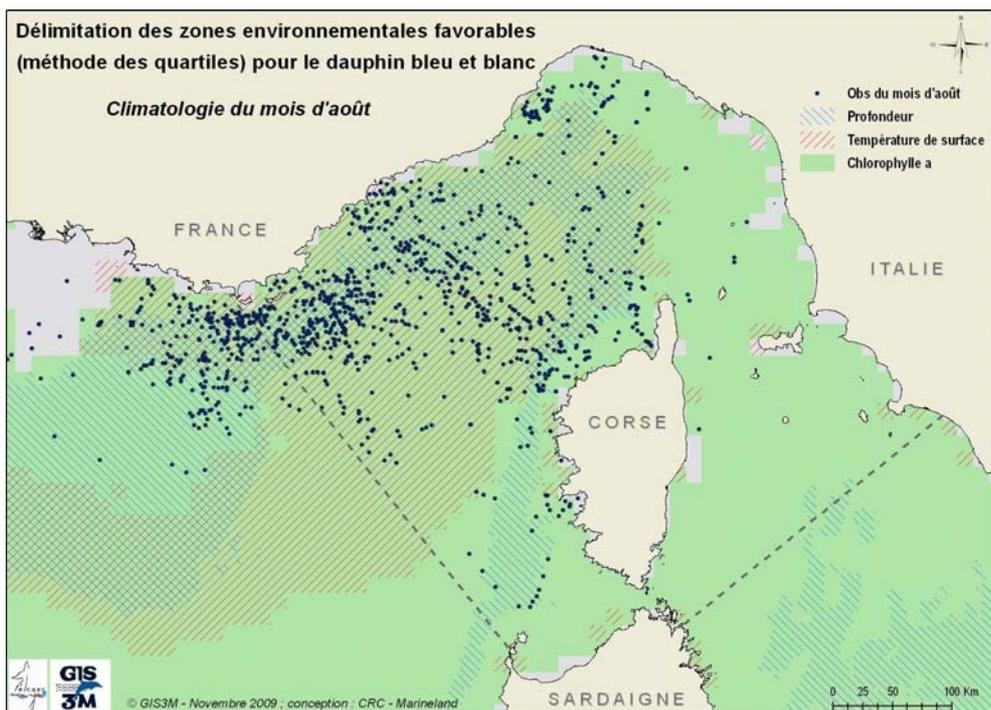
Taille de l'échantillon		Juin	Juillet	Août	Septembre	Eté
		448	1 081	1 200	745	3 474
Profondeur	Min	5	21	65	36	5
	Q1	1 731	1 244	1 410	1 218	1 325
	Moyenne	2 026	1 899	1 992	1 899	1 948
	Médiane	2 251	2 273	2 398	2 326	2 322
	Q3	2 589	2 574	2 589	2 568	2 580
	Max	2 788	2 820	2 786	2 762	2 820
Température	Min	18,1	18,9	18,8	17,6	17,6
	Q1	20,1	22,1	23,4	21,2	21,5
	Moyenne	20,6	23,1	24,1	21,9	22,9
	Médiane	20,6	23,0	24,2	22,0	22,8
	Q3	21,0	23,8	24,7	22,7	24,2
	Max	25,4	27,2	28,0	25,1	28,0
Chlorophylle <i>a</i>	Min	0,11	0,08	0,08	0,09	0,08
	Q1	1,06	0,20	0,18	0,24	0,20
	Moyenne	2,30	1,11	1,09	1,66	1,41
	Médiane	2,03	1,07	0,86	1,64	1,33
	Q3	3,38	1,70	1,93	2,46	2,17
	Max	7,88	4,97	5,50	5,06	7,88



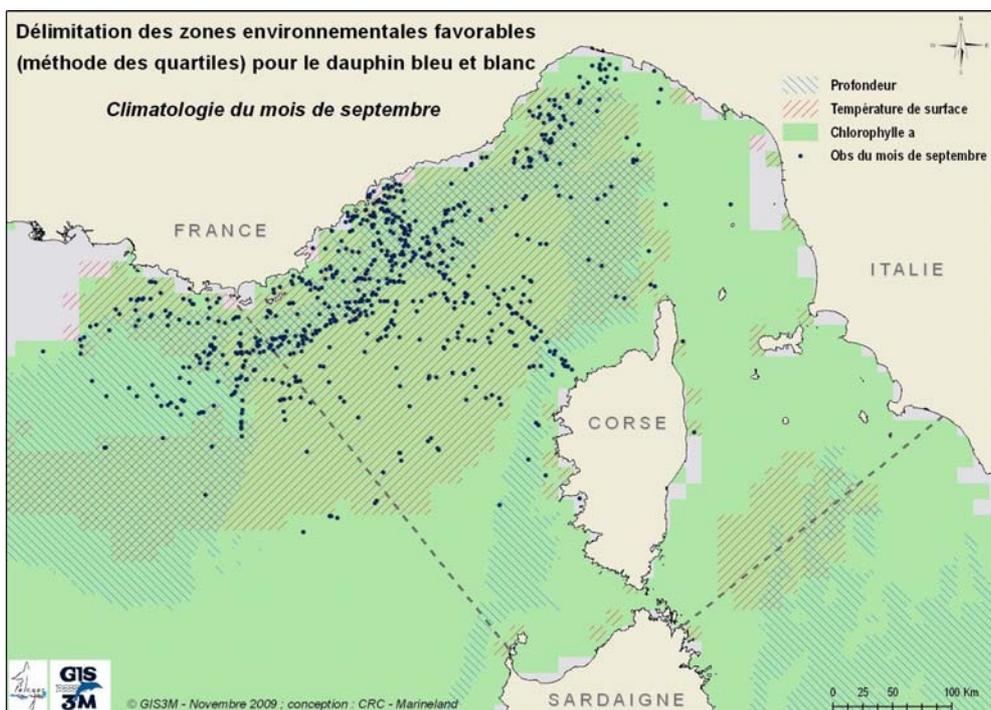
Carte 63. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois de juin pour le dauphin bleu et blanc, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1^{er} et 3^{ème} quartiles.



Carte 64. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois de juillet pour le dauphin bleu et blanc, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1^{er} et 3^{ème} quartiles.



Carte 65. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois d'août pour le dauphin bleu et blanc, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1^{er} et 3^{ème} quartiles.



Carte 66. Représentation mensuelle des conditions environnementales favorables du mois de septembre pour le dauphin bleu et blanc, déterminées sur la profondeur et les climatologies de température de surface et de chlorophylle a à l'aide des 1^{er} et 3^{ème} quartiles.

III.C Modélisation de l'habitat préférentiel du rorqual et du cachalot

Les deux types d'analyses, ENFA et régression logistique ont été réalisés sur les données récoltées entre 1998 et 2008. Concernant la modélisation par régression logistique, seules les données en effort ont été utilisées. Concernant l'ENFA, une première analyse s'est basée sur l'ensemble des données opportunistes et en effort (données de présence) et une seconde a intégré uniquement les données en effort (taux d'observation). Les résultats de cette seconde analyse sont plus à même d'être comparés à ceux obtenus par la régression logistique. Les résultats des deux traitements sont présentés ici séparément, tant au niveau global toutes années confondues qu'au niveau mensuel, et les résultats seront ensuite examinés et comparés dans une discussion commune.

1- Analyse factorielle de la niche écologique (ENFA)

a) Le rorqual commun

Observations opportunistes et en transect non pondérées par l'effort (1998-2008).

Le rorqual commun présente une marginalité de 0,48 et une valeur de spécialisation (inverse de la tolérance) de 1,785. Le rorqual commun est donc une espèce relativement généraliste. Le plus souvent, il est observé au-dessus de grandes profondeurs, dans des zones de forte concentration de chlorophylle a et forte production primaire (Tableau 21). Le facteur de marginalité explique également 19% de la spécialisation de l'espèce. L'algorithme utilisé pour la construction des cartes de modèle est celui de la médiane. La carte (Figure 30) indique un habitat préférentiel étendu, pélagique, localisé au-dessus de grands fonds avec une préférence entre la côte provençale et le nord-ouest de la Corse (en rouge sur la carte). Une zone favorable apparaît également au large de la côte provençale. A l'inverse, toute la partie Nord et Est du Sanctuaire n'apparaît pas comme favorable à l'espèce (en blanc sur la carte a). De même, deux zones nettement moins favorables à l'espèce se dessinent au milieu de l'aire de prédilection générale du rorqual : l'une au Sud de Toulon et l'autre au Sud de Monaco et Imperia. Le Tableau 22 indique que la profondeur est celle qui est la plus importante pour l'explication du modèle. Le modèle présente un indice de Boyce relativement élevé et une petite variance (Tableau 23). Le pouvoir de prédiction de la carte est de ce fait assez bon.

Tableau 21. Table des scores de l'ENFA pour le rorqual commun, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008.

EGV	Facteur 1 : (19%)	Facteur 2 : (44%)	Facteur 3 : (20%)	Facteur 4 : (17%)
Profondeur	+++++++	***	*	0
Chlorophylle	++++	0	0	0
D _{cot}	--	***	*****	**
D ₂₀₀	-	*****	*****	*****
D ₁₀₀₀	0	*****	0	*****
D ₂₀₀₀	+	**	0	0
NPP	+++++	**	*	0
SST	--	0	**	**

Tableau 22. Coefficients des EGV pour le premier facteur de l'analyse ENFA pour le rorqual commun, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008.

EGV	Coefficients
Profondeur	0,73
Chlorophylle	0,36
D _{cot}	-0,21
D ₂₀₀	-0,07
D ₁₀₀₀	0,03
D ₂₀₀₀	0,11
NPP	0,47
SST	-0,23

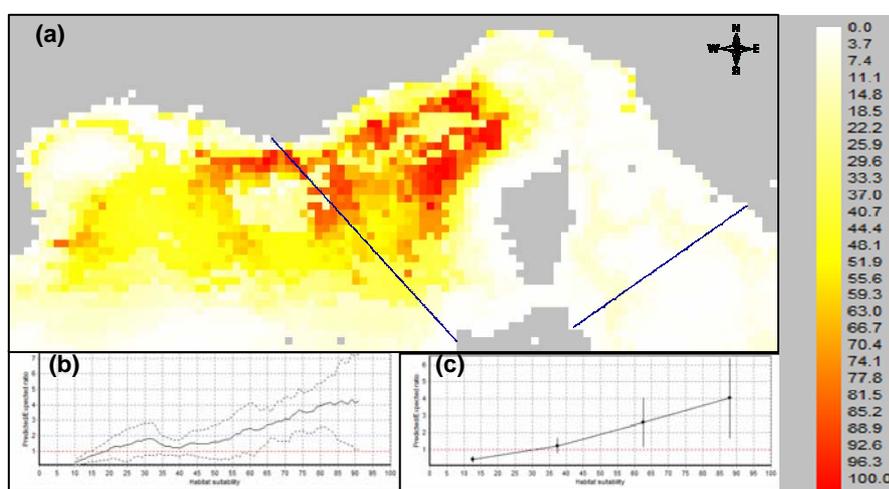


Figure 30. (a) Carte d'habitat favorable du rorqual commun, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008. La zone rouge correspond à la zone la plus favorable et la blanche à la zone la moins favorable. (b) Courbe du ratio prédit sur attendu (moyenne +/- SD, continu) (c) Courbe du ratio prédit sur attendu (moyenne +/- SD, boîtes).

Tableau 23. Rorqual commun, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008. Index de Boyce continu, marginalité et spécialisation.

	Boyce (mean+SD)	Marginalité	Spécialisation
Rorqual commun	0,63 +/- 0,18	0,48	1,78

De 1998 à 2008, observations pondérées par l'effort.

Cette partie de l'analyse prend en compte l'effort de prospection, la carte de cet effort importée dans Biomapper est utilisée comme « poids » dans les analyses et non simplement en tant que carte booléenne. Les fortes valeurs de profondeur sont toujours importantes pour expliquer la distribution des observations (Tableau 24), et les résultats sont similaires aux précédents (Tableau 24 ; Tableau 25). En incluant l'effort, la zone la plus favorable (en rouge) reste toujours au nord-ouest de la Corse mais au niveau de la côte Ouest de la Corse elle s'étend maintenant plus vers le Sud (Figure 31). On retrouve les deux "trous" précédemment décrit mais moins marqués. La qualité de ce modèle est équivalente à celle du précédent (indice de Boyce = 0,6). Avec une marginalité de 0,5, le rorqual commun reste une espèce généraliste (Tableau 26).

Tableau 24. Table des scores de l'ENFA pour le rorqual commun, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008.

EGV	Facteur 1 : (9%)	Facteur 2 : (32%)	Facteur 3 : (23%)	Facteur 4 : (11%)
Profondeur	++++++	*	***	**
Chlorophylle	+++	0	**	**
D _{cot}	--	*****	**	*****
D ₂₀₀	-	*****	*****	*
D ₁₀₀₀	0	0	*****	*****
D ₂₀₀₀	+	*	0	0
NPP	+++++	**	*	0
SST	---	*****	**	0
Pente	---	*	*	*

Tableau 25. Coefficients des EGV pour le premier facteur de l'analyse ENFA pour le rorqual commun, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008.

EGV	Coefficients
Bathymétrie	0,621
Chlorophylle	0,323
D _{cot}	-0,166
D ₂₀₀	-0,073
D ₁₀₀₀	0,005
D ₂₀₀₀	0,087
NPP	0,521
SST	-0,289

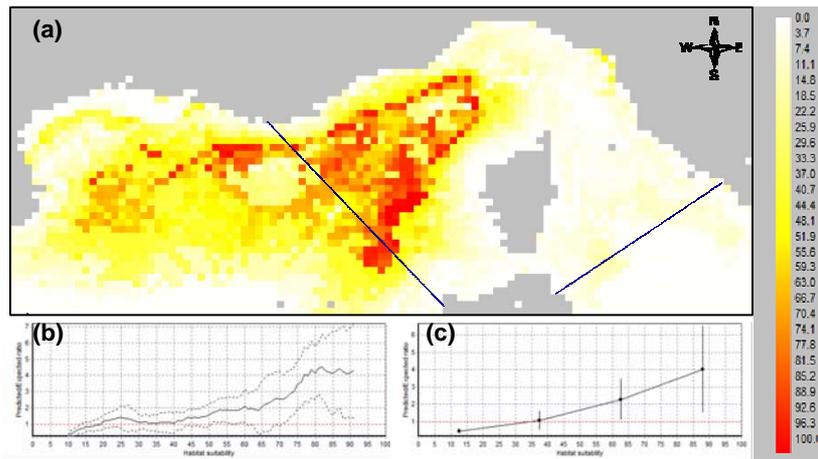


Figure 31. (a) Carte d'habitat favorable (en rouge) du rorqual commun, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008. (b) Courbe du ratio prédit sur attendu (moyenne +/- SD, continu) (c) Courbe du ratio prédit sur attendu (moyenne +/- SD, boîtes).

Tableau 26. Rorqual commun, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008. Index de Boyce continu, marginalité et spécialisation.

	Boyce (mean+SD)	Marginalité	Spécialisation
Rorqual commun	0,6 +/- 0,2	0,5	2,073

Analyses mensuelles

Les analyses ENFA ont été réalisées pour le rorqual commun sur quatre mois : juin, juillet, août et septembre. Pour chacun de ces mois, le modèle est construit sur (1) les observations opportunistes et en effort non pondéré par l'effort et (2) les observations en effort pondérées par l'effort. Certains modèles n'ont toutefois pas pu être construits, faute d'échantillon assez grand.

Les résultats montrent que la zone favorable du large, précédemment décrite, entre la côte continentale française et le nord-ouest de la Corse se retrouve chaque mois. Les cartes construites à partir des données collectées en effort et pondérées par cet effort montrent de plus grandes variations de la zone favorable. Ainsi, dès le mois de juin le Sanctuaire PELAGOS présente des conditions environnementales propices à la présence du rorqual. C'est au mois de juillet que la zone est la plus favorable, et la plus étendue. On note ensuite une légère évolution, avec un habitat préférentiel situé plus sur les bordures de la zone favorable pélagique. Enfin en septembre, la zone favorable semble se rétrécir pour se concentrer non loin de la côte continentale française, dans la partie nord-ouest du Sanctuaire.

Les variables intervenant dans ces distributions restent en premier lieu la profondeur avec des fortes profondeurs, suivies de fortes valeurs de production primaire et pour certains mois, la distance à la côte. La marginalité mensuelle montre un habitat légèrement plus spécialisé qu'avec toutes les années confondues.

Juin : observations opportunistes et en transect

Tableau 27. Table des scores de l'ENFA pour le rorqual commun, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois de juin.

EGV	Facteur 1 : (35%)	Facteur 2 : (33%)
Profondeur	+++++++	****
Chlorophylle	+	**
D _{cot}	--	*****
D ₂₀₀	-	*****
D ₁₀₀₀	0	0
D ₂₀₀₀	+	0
NPP	+++	*****
SST	-	0
Pente	---	*

Tableau 28. Coefficients des EGV pour le premier facteur de l'analyse ENFA pour le rorqual commun, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois de juin.

EGV	Coefficients
Profondeur	0,87
Chlorophylle	0,07
D _{cot}	0,20
D ₂₀₀₀	0,07
NPP	0,27
SST	0,06

Marginalité :	0,452
Spécialisation :	2,727
Tolérance (1/S) :	0,367

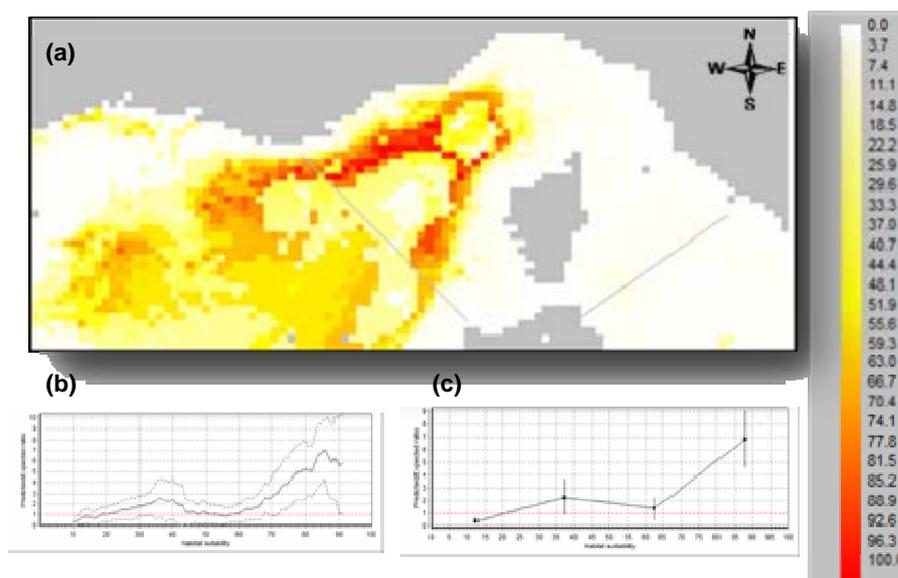


Figure 32. (a) Carte d'habitat favorable du rorqual commun, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois de juin. La zone rouge correspond à la zone la plus favorable et la blanche à la zone la moins favorable. (b) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.494 ± 0.23 , continu) (c) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.723 ± 0.18 , boîtes).

Juillet : observations opportunistes et en transect

Tableau 29. Table des scores de l'ENFA pour le rorqual commun, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois de juillet.

EGV	Facteur 1 : (35%)	Facteur 2 : (33%)
Profondeur	+++++++	*
Pente	---	0
Chlorophylle	0	*****
D ₂₀₀₀	+	*
D _{cot}	0	0
NPP	+	0
SST	+++	*****

Tableau 30. Coefficients des EGV pour le premier facteur de l'analyse ENFA pour le rorqual commun, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois de juillet

EGV	Coefficients
Profondeur	0,867
Pente	0,049
D _{cot}	0,235
D ₂₀₀₀	0,031
NPP	0,430
SST	0,120

Marginalité :	0,439
Spécialisation :	4,548
Tolérance (1/S) :	0,220

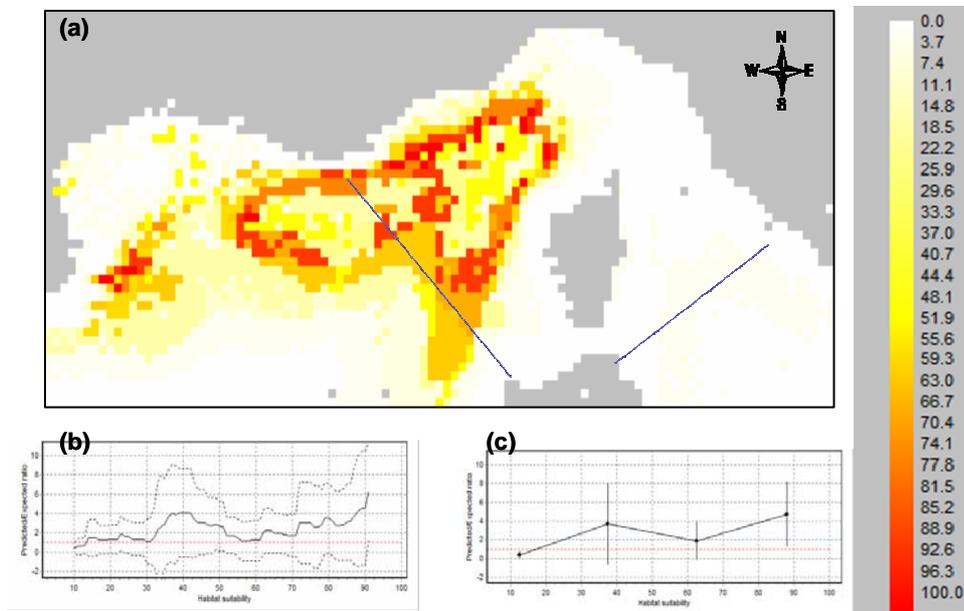


Figure 33. (a) Carte d'habitat favorable du rorqual commun, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois de juillet. La zone rouge correspond à la zone la plus favorable et la blanche à la zone la moins favorable. (b) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.041 ± 0.52 , continu) (c) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.186 ± 0.5 , boîtes).

Juillet : observations en transect et pondérées par l'effort : 206 observations

Tableau 31. Table des scores de l'ENFA pour le rorqual commun, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, mois de juillet.

EGV	Facteur 1 : (35%)	Facteur 2 : (33%)
Profondeur	+++++++	0
Chlorophylle	0	*****
D _{cot}	---	**
D ₂₀₀	--	**
D ₁₀₀₀	-	0
D ₂₀₀₀	0	
NPP	++++	***
SST	---	*
Pente	---	0

Tableau 32. Coefficients des EGV pour le premier facteur de l'analyse ENFA pour le rorqual commun, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, mois de juillet.

EGV	Coefficients
Profondeur	0,685
Pente	0,348
Chlorophylle	0,006
D ₁₀₀₀	0,089
D ₂₀₀	0,176
D ₂₀₀₀	0,020
D _{cot}	0,309
NPP	0,397
SST	0,339

Marginalité :	0.464
Spécialisation :	4.592
Tolérance (1/S) :	0.218

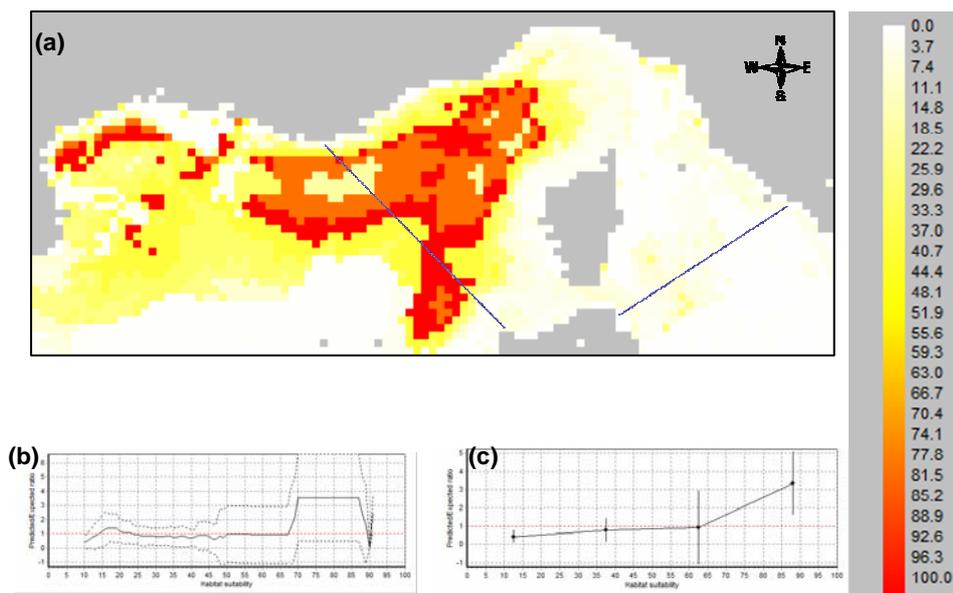


Figure 34. (a) Carte d'habitat favorable (en rouge) du rorqual commun, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois de juillet (b) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.0941 +/- 0.392, continu) (c) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.331 +/- 0.2605, boîtes).

Août : observations opportunistes et en transect

Tableau 33. Table des scores de l'ENFA pour le rorqual commun, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois d'août.

EGV	Facteur 1 : (40%)	Facteur 2 : (20%)
Profondeur	+++++++	*
Pente	+	*
Chlorophylle	++	0
D ₁₀₀₀	-	*****
D ₂₀₀	--	*****
D ₂₀₀₀	0	**
D _{cot}	----	*
NPP	++++	**
SST	--	***

Tableau 34. Coefficients des EGV pour le premier facteur de l'analyse ENFA pour le rorqual commun, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois d'août.

EGV	Coefficients
Profondeur	0,700
Pente	0,076
Chlorophylle	0,183
D ₁₀₀₀	0,102
D ₂₀₀	0,225
D _{cot}	0,418
D ₂₀₀₀	0,351
NPP	0,438
SST	0,198

Marginalité :	0,610
Spécialisation :	3,042
Tolérance (1/S) :	0,329

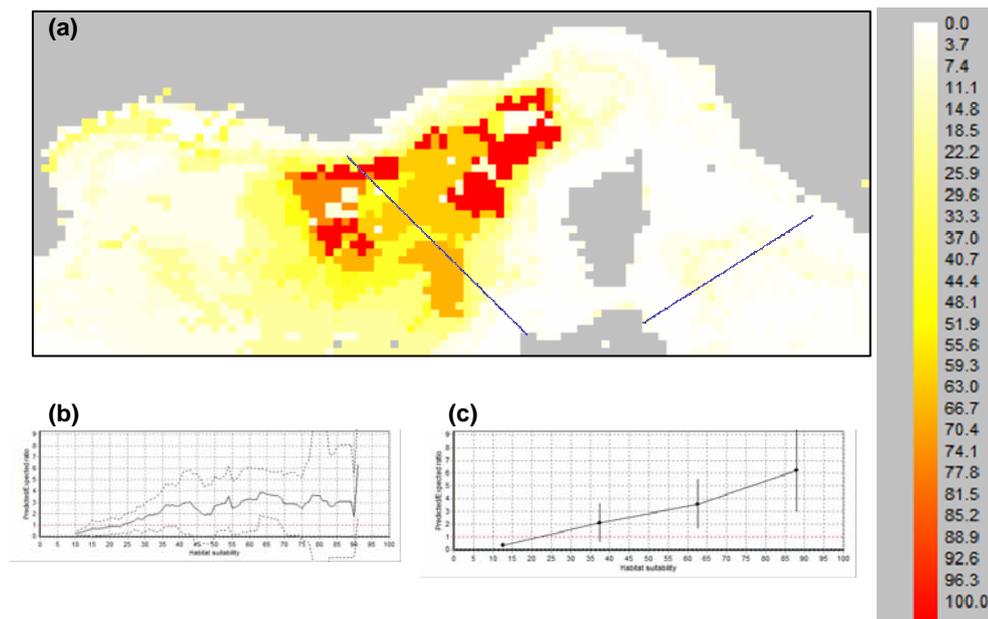


Figure 35. (a) Carte d'habitat favorable du rorqual commun, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois d'août. (b) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.0731 +/- 0.3666, continu) (c) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.76 +/- 0.3072, boîtes).

Août : observations en transect et pondérées par l'effort : 244 observations

Tableau 35. Table des scores de l'ENFA pour le rorqual commun, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois d'août.

EGV	Facteur 1 : (14%)	Facteur 2 : (32%)
Profondeur	+++++++	**
Pente	---	*
Chlorophylle	+	*
D ₁₀₀₀	****	*
D ₂₀₀	-	**
D ₂₀₀₀	+	***
D _{cot}	--	*****
NPP	+++++	***
SST	----	****

Tableau 36. Coefficients des EGV pour le premier facteur de l'analyse ENFA pour le rorqual commun, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois d'août.

EGV	Coefficients
Profondeur	0,699
Pente	0,267
Chlorophylle	0,092
D ₁₀₀₀	0,016
D ₂₀₀	0,088
D ₂₀₀₀	0,126
D _{cot}	0,202
NPP	0,468

Marginalité :	0,508
Spécialisation :	2,486
Tolérance (1/S) :	0,402

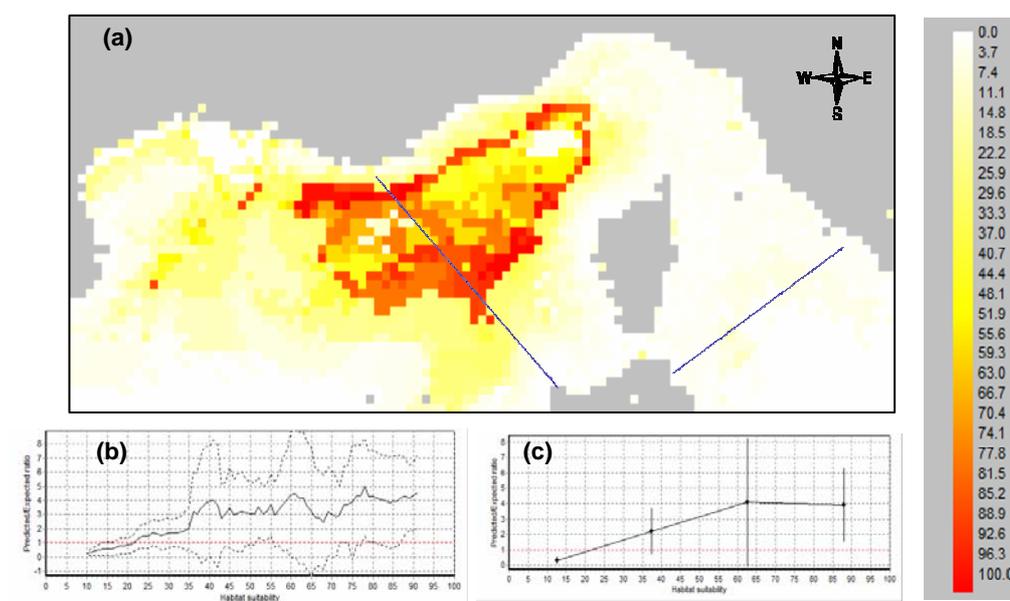


Figure 36. (a) Carte d'habitat favorable (en rouge) du rorqual commun, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois d'août (b) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.371 +/- 0.2371, continu) (c) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.54 +/- 0.2835, boîtes).

Septembre : observations opportunistes et en transect

Tableau 37. Table des scores de l'ENFA pour le rorqual commun, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois de septembre.

EGV	Facteur 1 : (24%)	Facteur 2 : (48%)
Profondeur	+++++++	***
Pente	----	*
Chlorophylle	+	0
D ₁₀₀₀	+	*****
D ₂₀₀	0	***
D ₂₀₀₀	++	**
D _{cot}	-	*****
NPP	+++	*
SST	----	*

Tableau 38. Coefficients des EGV pour le premier facteur de l'analyse ENFA pour le rorqual commun, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois de septembre.

EGV	Coefficients
Pente	0,415
Chlorophylle	0,086
D ₁₀₀₀	0,079
D ₂₀₀	0,027
D ₂₀₀₀	0,211
D _{cot}	0,149
NPP	0,322
SST	0,418

Marginalité :	0,704
Spécialisation :	9,328
Tolérance (1/S) :	0,10

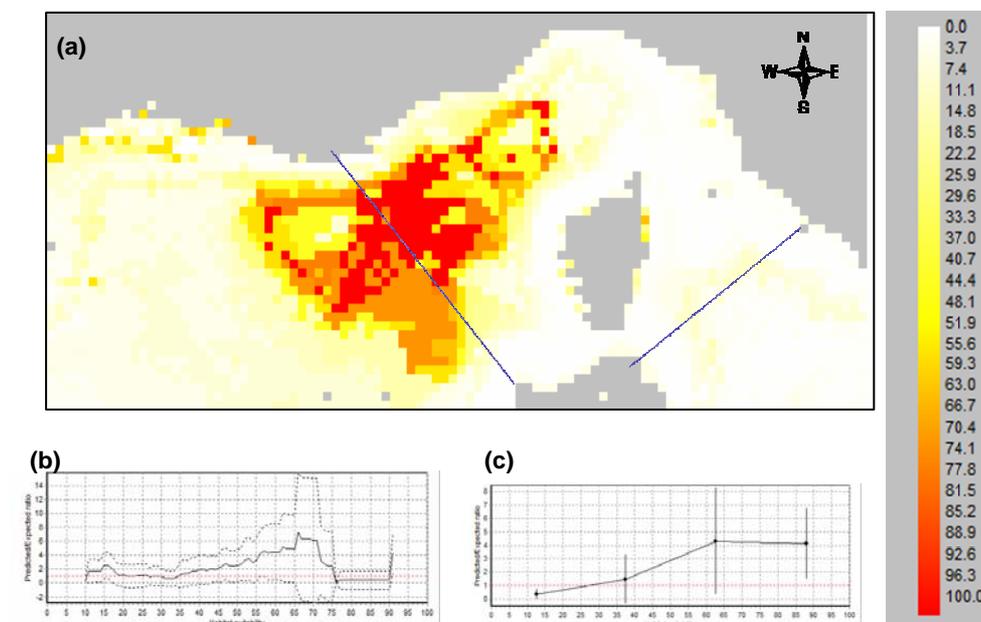


Figure 37. (a) Carte d'habitat favorable du rorqual commun, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois de septembre. (b) Courbe du ratio prédit sur attendu (-0.121 +/- 0.4438, continu) (c) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.417 +/- 0.5863, boîte).

Septembre : observations en transect et pondérées par l'effort : 90 observations

Tableau 39. Table des scores de l'ENFA pour le rorqual commun, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois de septembre.

EGV	Facteur 1 : (23%)	Facteur 2 : (368%)
Profondeur	+++++++	***
Pente	+	0
Chlorophylle	+	**
D ₁₀₀₀	-	0
D ₂₀₀	--	*
D ₂₀₀₀	+	***
D _{cot}	---	*****
NPP	++++	***
SST	----	*****

Tableau 40. Coefficients des EGVs pour le premier facteur de l'analyse ENFA pour le rorqual commun, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois de septembre

EGV	Coefficients
Profondeur	0,718
Pente	0,082
Chlorophylle	0,078
D ₁₀₀₀	0,066
D ₂₀₀	0,156
D ₂₀₀₀	0,080
D _{cot}	0,257
NPP	0,415
SST	0,443

Marginalité :	0,704
Spécialisation :	9,328
Tolérance (1/S) :	0,107

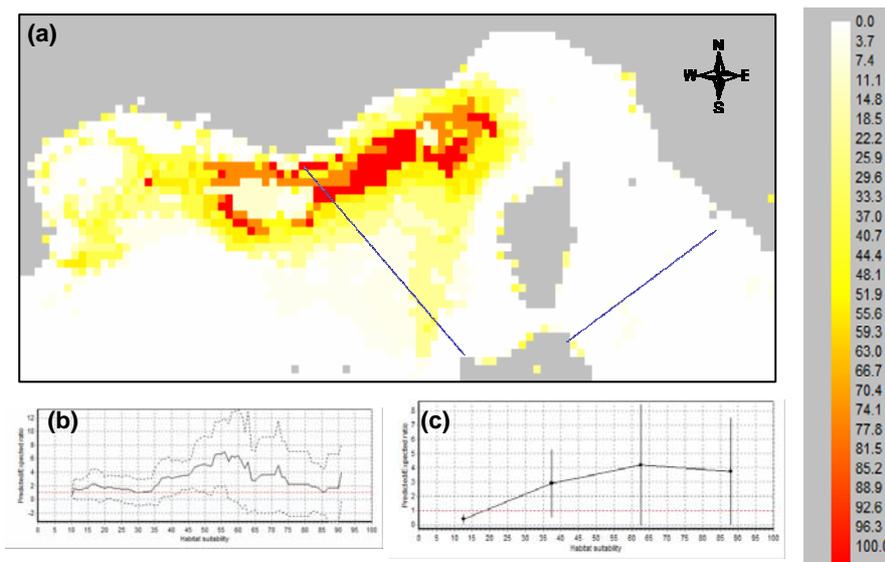


Figure 38. (a) Carte d'habitat favorable (en rouge) du rorqual commun, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois de septembre. (b) Courbe du ratio prédit sur attendu (-0.195 ± 0.4669 , continu) (c) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.312 ± 0.6567 , boîtes).

b) Le cachalot

Observations opportunistes et en transect non pondérées par l'effort (1998-2008)

Le cachalot présente une marginalité de 0,43, indiquant une espèce généraliste, et une spécialisation de 1,7. Plusieurs variables contribuent à expliquer la répartition du cachalot. D'après les Tableau 41 et Tableau 42, cette espèce reste relativement près des côtes, sur des profondeurs moyennes pour la zone, des pentes plutôt raides et des valeurs de production primaire élevées. Sur la Figure 41, on voit que le modèle prédit une présence du cachalot sur le pourtour des côtes de la marge provençale remontant sur la Côte d'Azur ainsi que sur l'Ouest de la Corse. Néanmoins, avec un indice de Boyce de 0,56 et une variance de 0,42, le modèle est peu différent du hasard. (Figure 39).

Tableau 41. Table des scores de l'ENFA pour le cachalot, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008.

EGV	Facteur 1 (15%)	Facteur 2 (29%)	Facteur 3 (15%)	Facteur 4 (13%)	Facteur 5 (10%)
Profondeur	++++	**	*	0	0
Chlorophylle	+++	0	*	0	0
D _{cot}	----	0	*****	**	*****
D ₂₀₀	----	*****	***	*****	*****
D ₁₀₀₀	---	**	*****	*****	***
D ₂₀₀₀	--	****	*	**	****
NPP	++	0	*	*	*
Pente	+++	**	0	0	*
SST	--	*	*	0	***

Tableau 42. Coefficients des EGV pour le premier facteur, de l'analyse ENFA pour le cachalot, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008.

EGV	Coefficients
Profondeur	0,505
D _{cot}	-0,498
Pente	0,348
D ₂₀₀	-0,359
Npp	0,487
Chlorophylle	0,282
D ₁₀₀₀	-0,267
D ₂₀₀₀	-0,163
SST	-0,156

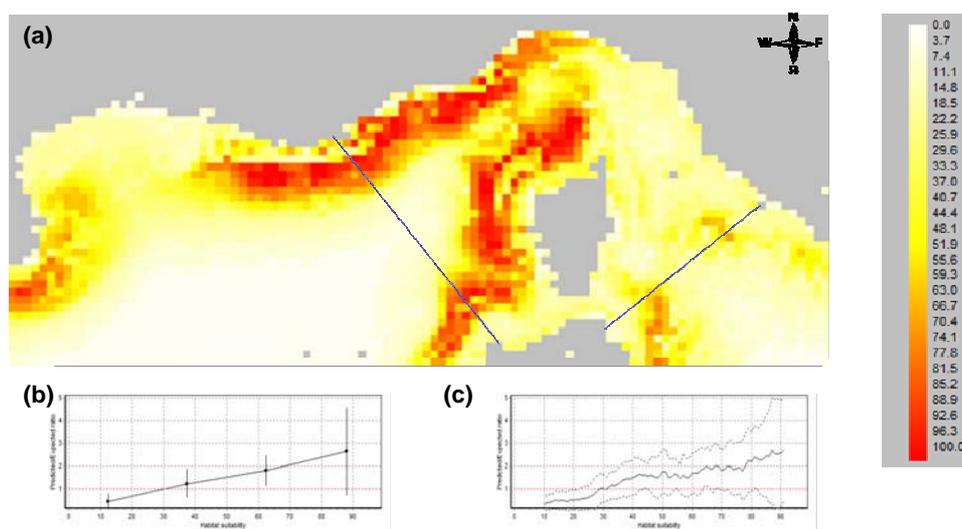


Figure 39. (a) Carte d'habitat favorable du cachalot, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008. La zone rouge correspond à la zone la plus favorable et la blanche à la zone la moins favorable (b) Courbe du ratio prédit sur attendu (moyenne +/- SD, continu) (c) Courbe du ratio prédit sur attendu (moyenne +/- SD, boîtes).

Tableau 43. Cachalot, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008. Index de Boyce continu (variant entre -1 et 1), marginalité (variant entre 0 et 1) et spécialisation (indiquant le degré de spécialisation lorsque dépassant 1)

	Boyce (mean+-SD)	Marginalité	Spécialisation
Cachalot	0,56 +/- 0,42	0,43	1,7

Observations pondérées par l'effort (1998-2008).

En pondérant les observations par l'effort, on obtient une marginalité de 0,5 et une spécialisation de 2,7. Le cachalot reste donc une espèce généraliste (Tableau 44). La table de scores et la contribution de chaque variable est résumée dans le Tableau 44 et le Tableau 45. La distance à l'isobathe des 200 m semble contribuer le plus au modèle. La faible valeur de l'indice de Boyce associée à la forte valeur de la variance ne permet pas de valider le modèle. Là encore le modèle diffère peu du hasard. (Tableau 46 ; Figure 40). L'étendu de l'habitat favorable est plus restreint que précédemment, suivant le bas du talus de Marseille au Golfe de Gênes et sur la côte ouest de la Corse.

Tableau 44. Table des scores de l'ENFA pour le cachalot ; données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008.

EGV	Facteur 1 (32%)	Facteur 2 (25%)	Facteur 3 (13%)	Facteur 4 (11%)	Facteur 5 (8%)
Profondeur	++	*	**	0	0
Chlorophylle	++	***	***	*	*
D _{cot}	----	***	***	***	*
D ₂₀₀	----	**	****	*****	*****
D ₁₀₀₀		*****	*****	****	*****
D ₂₀₀₀	--	***	0	***	****
NPP	++++	***	***	*	*
Pente	++	*	*	*	0
SST	--	**	*	*	*

Tableau 45. Coefficients des EGV pour le premier facteur, pour l'analyse ENFA pour le cachalot ; données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008.

EGV	Coefficients
D _{cot}	-0,48
D ₂₀₀	0,81
Npp	0,41
D ₁₀₀₀	-0,38
SST	-0,25
Chlorophylle	0,23
D ₂₀₀₀	-0,22
NPP	0,213
Pente	0,21
Profondeur	0,21

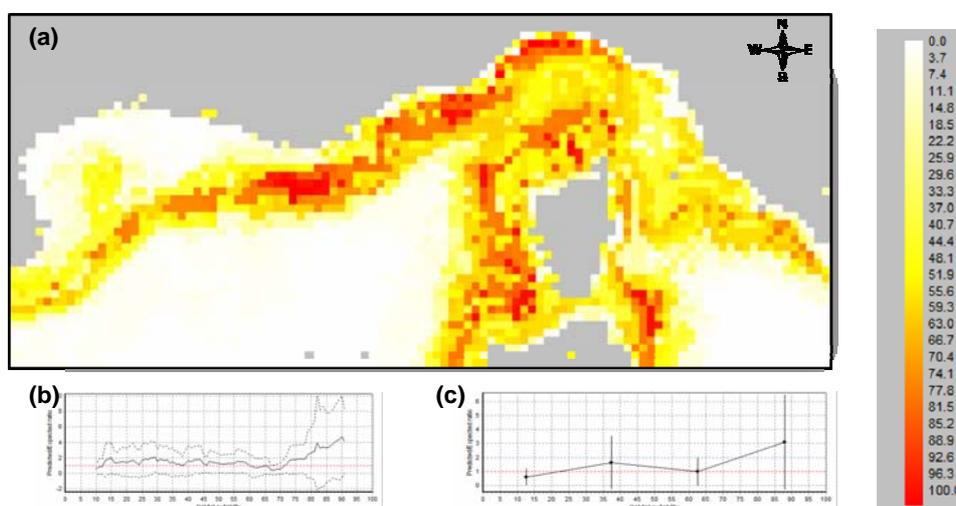


Figure 40. (a) Carte d'habitat favorable (en rouge) du cachalot, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008. (b) Courbe du ratio prédit sur attendu (moyenne +/- SD, continu) (c) Courbe du ratio prédit sur attendu (moyenne +/- SD, boîtes).

Tableau 46. Cachalot, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008. Index de Boyce continu, marginalité et spécialisation.

	Boyce (mean+/-SD)	Marginalité	Spécialisation
Cachalot	0,2+/-0,6	0,5	2,7

Analyses mensuelles

Les analyses ENFA ont été réalisées pour le cachalot sur quatre mois : juin, juillet, août et septembre. Pour chacun de ces mois, le modèle est construit sur (1) les observations opportunistes et en effort non pondéré par l'effort et (2) les observations en effort pondérées par l'effort. Certains modèles n'ont toutefois pas pu être construits, faute d'échantillon assez grand.

Les résultats montrent que la zone favorable du talus et de la Mer Ligure, précédemment décrite, entre la côte provençale et le Nord ouest de la Corse se retrouve chaque mois. Les cartes prédisent un habitat favorable relativement étroit au mois de juin, plus développé sur la marge corse. Cet habitat s'étend en juillet jusqu'au centre de la mer Ligure, puis il se restreint et se concentre dans la partie continentale, sur la marge provençale au fur et à mesure de l'avancée dans la période estivale.

Les cartes utilisant les données collectées en effort présentent un résultat différant légèrement du précédent. L'habitat prédit y est en général plus vaste mais moins favorable (couleur orange et non rouge). Les habitats proposés pour juin et juillet sont similaires entre eux, sur la marge provençale, du Golfe de Gênes et également de la mer Tyrrhénienne. Tandis qu'en août, l'habitat favorable se localise plus à l'Ouest, il se concentre sur la marge continentale française et le centre de la Mer Ligure en septembre.

Juin : observations opportunistes et en effort (1998-2008).

Les deux variables distance aux isobathes 200 m et 1 000 m ont été retirées de l'analyse car elles se sont avérées trop corrélées entre elles.

Tableau 47. Table des scores de l'ENFA pour le cachalot, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois de juin.

	Facteur 1 (55%)	Facteur 2 (25%)	Facteur 3 (13%)	Facteur 4 (3%)
Profondeur	+	**	*	*
Pente	+++++++	***	0	**
Chlorophylle	-	****	****	0
D ₂₀₀₀	---	*****	*****	*****
D _{cot}	-----	*	****	***
NPP	0	****	****	****
SST	+	*	**	*

Tableau 48. Coefficients des EGV pour le premier facteur de l'analyse ENFA pour le cachalot, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois de juin

EGV	Coefficients
Profondeur	0,139
Pente	0,687
Chlorophylle	0,084
D ₂₀₀₀	0,314
D _{cot}	0,626
NPP	0,038
SST	0,084

Marginalité :	0,589
Spécialisation :	4,740
Tolérance (1/S) :	0,211

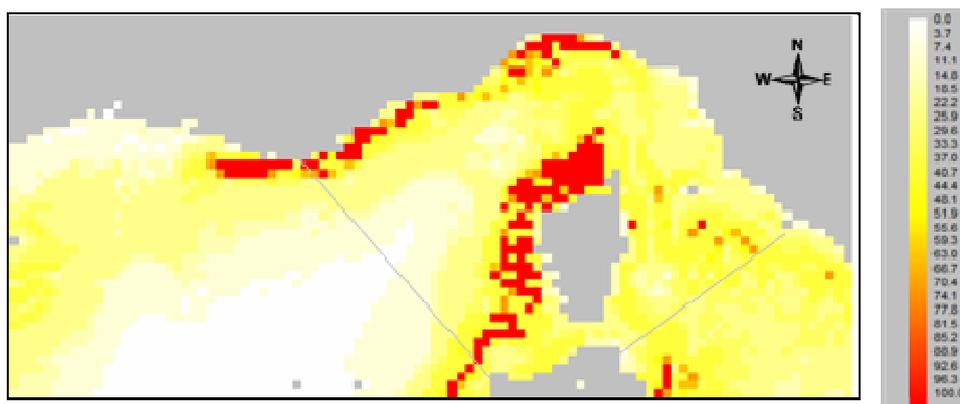


Figure 41: Carte d'habitat favorable du cachalot, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois de juin. La zone rouge correspond à la zone la plus favorable et la blanche à la zone la moins favorable.

Juin : observations en transect et pondérées par l'effort.

Tableau 49. Table des scores de l'ENFA pour le cachalot ; données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois de juin.

EGV	Facteur 1 (44%)	Facteur 2 (48%)
Profondeur	0	***
Pente	+++++++	*
Chlorophylle	++	0
D ₂₀₀₀	----	*****
D _{cot}	---	*****
SST	-	***

Tableau 50. Coefficients des EGV pour le premier facteur de l'analyse ENFA pour le cachalot, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois de juin.

EGV	Coefficients
Profondeur	0,029
Pente	0,819
Chlorophylle	0,239
D ₂₀₀₀	0,382
D _{cot}	0,329
SST	0,126

Marginalité :	0,523
Spécialisation :	6,166
Tolérance (1/S) :	0,162

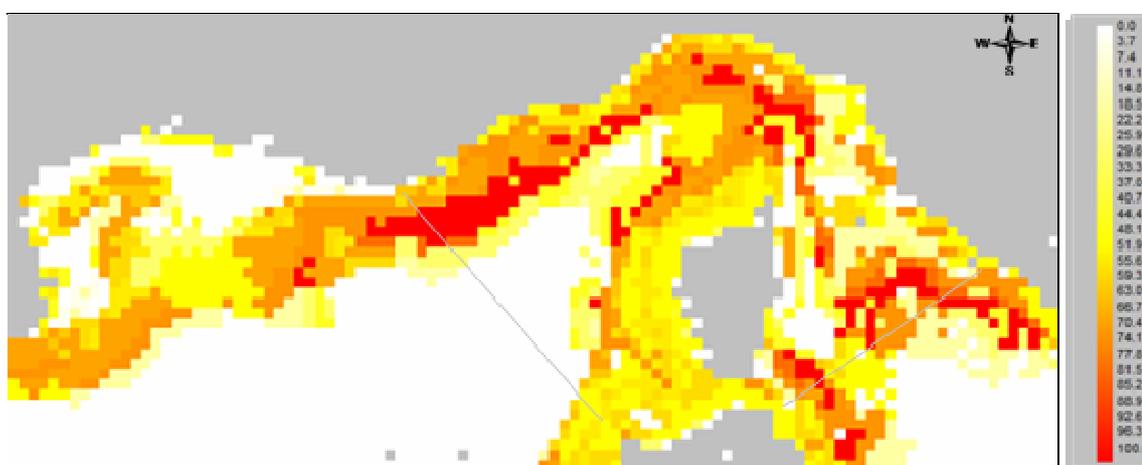


Figure 42. Carte d'habitat favorable (en rouge) cachalot, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois de juin.

Juillet : observations opportunistes et en effort (1998-2008).

Tableau 51. Table des scores de l'ENFA pour le cachalot, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois de juillet.

EGV	Facteur 1 (42%)	Facteur 2 (33%)
Profondeur	+++++	**
Pente	+++++	**
Chlorophylle	0	***
D ₂₀₀₀	----	*****
D _{cot}	-----	**
NPP	+	**
SST	-	****

Tableau 52. Coefficients des EGV pour le premier facteur de l'analyse ENFA pour le cachalot, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois de juillet.

EGV	Coefficients
Profondeur	0,469
Pente	0,485
Chlorophylle	0,015
D ₂₀₀₀	0,380
D _{cot}	0,618
NPP	0,105
SST	0,074

Marginalité :	0,447
Spécialisation :	3,107
Tolérance (1/S) :	0,322

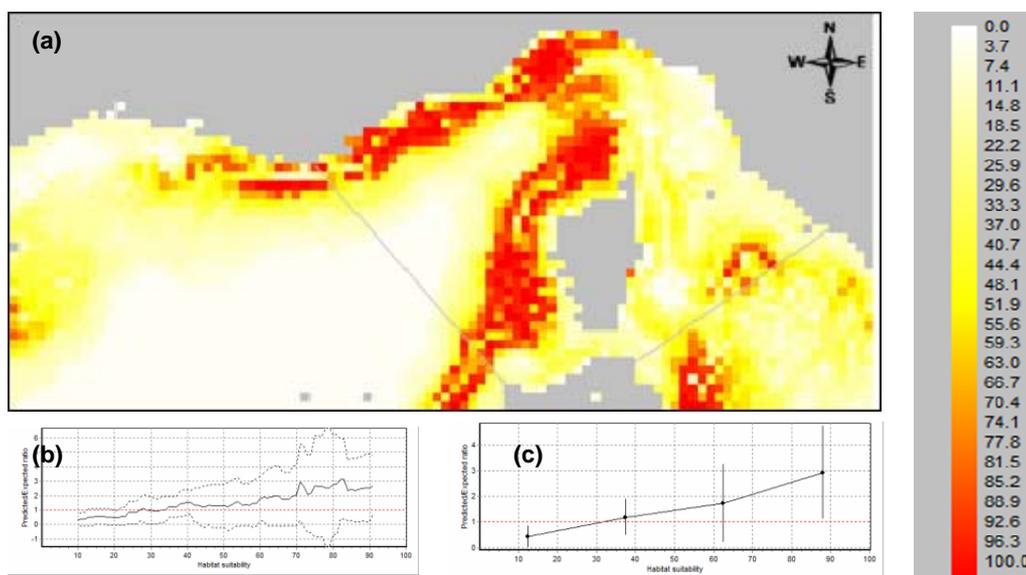


Figure 43 (a) Carte d'habitat favorable (en rouge) du cachalot, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois de juillet. (b) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.166 +/- 0.5325, continu) (c) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.431 +/- 0.6144).

Juillet : observations en transect et pondérées par l'effort.

Plusieurs variables ont été retirées pour cette analyse car trop corrélées entre elles. Malgré ce ceci, le modèle n'est que très peu différent du hasard, il n'est pas solide.

Tableau 53. Table des scores de l'ENFA pour le cachalot ; données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, mois de juillet.

EGV	Facteur 1 (51%)	Facteur 2 (35%)
Profondeur	0	0
Pente	++++	0
D ₂₀₀₀	----	****
D _{cot}	----	*****
NPP	++++	*****
SST	----	***

Tableau 54. Coefficients des EGV pour le premier facteur de l'analyse du cachalot ; données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, mois de juillet.

EGV	Coefficients
Profondeur	0,004
Pente	0,396
D ₂₀₀₀	0,358
D _{cot}	0,509
NPP	0,419
SST	0,527

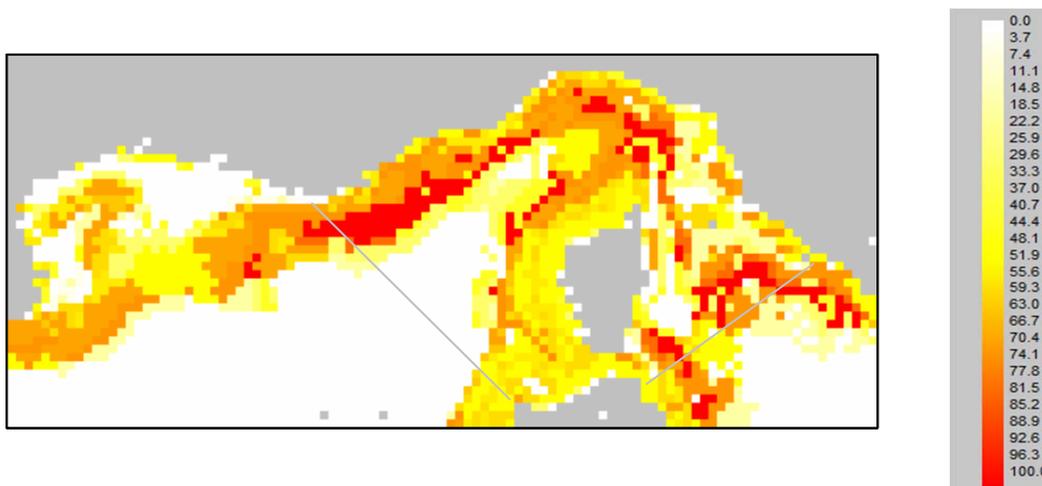


Figure 44. Carte d'habitat favorable (en rouge) du cachalot ; données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois de juillet.

Août : observations opportunistes et en effort

Tableau 55. Table des scores de l'ENFA pour le cachalot, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois d'août.

EGV	Facteur 1 (17%)	Facteur 2 (28%)
Profondeur	+++++	**
Pente	++++	**
Chlorophylle	+	*
D ₂₀₀₀	--	*****
D _{cot}	-----	*****
NPP	++++	***
SST	---	*

Tableau 56. Coefficients des EGV pour le premier facteur, pour l'analyse du cachalot, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois d'août.

EGV	Coefficients
Profondeur	0.499
Pente	0.411
Chlorophylle	0.104
D ₂₀₀₀	0.156
D _{cot}	0.524
NPP	0.406
SST	0.325

Marginalité :	0,427
Spécialisation :	2,067
Tolérance (1/S) :	0,484

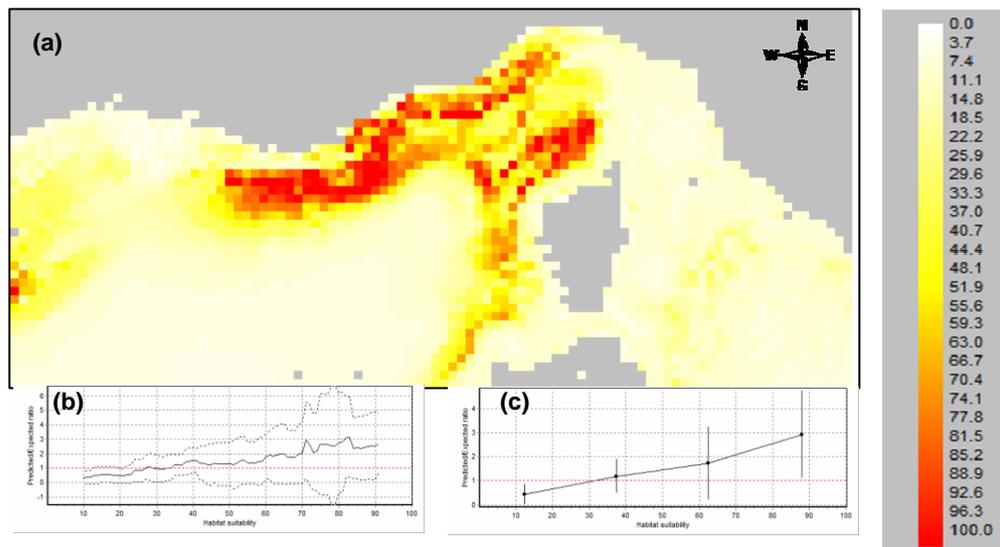


Figure 45. (a) Carte d'habitat favorable du cachalot, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois d'août. (b) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.409 ± 0.4614 , continu) (c) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.574 ± 0.5078).

Août : observations en transect et pondérées par l'effort.

Tableau 57. Table des scores de l'ENFA pour le cachalot ; données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois d'août.

EGV	Facteur 1 (38%)	Facteur 2 (22%)
Profondeur	---	*
Pente	+++++++	*
Chlorophylle	++	0
D ₁₀₀₀	--	*****
D ₂₀₀	---	***
D ₂₀₀₀	***	
D _{cot}	----	***
NPP	+++++	**
SST	---	***

Tableau 58. Coefficients des EGV pour le premier facteur, pour l'analyse ENFA pour le cachalot, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois d'août.

EGV	Coefficients
Profondeur	0,259
Pente	0,568
Chlorophylle	0,224
D ₁₀₀₀	0,222
D ₂₀₀	0,327
D ₂₀₀₀	0,136
D _{cot}	0,402
NPP	0,368
SST	0,291

Marginalité :	0,609
Spécialisation :	2,449
Tolérance (1/S) :	0,408

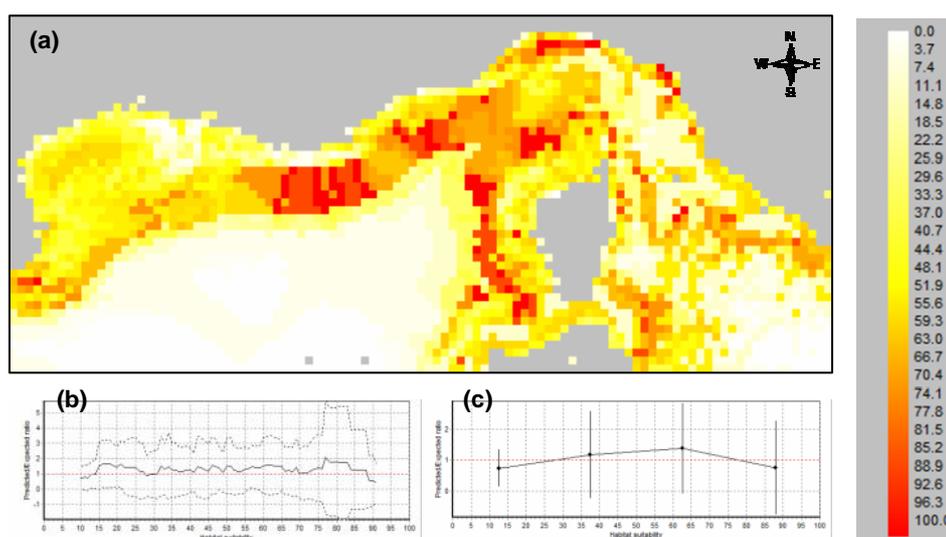


Figure 46. (a) Carte d'habitat favorable (en rouge) du cachalot, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois d'août. (b) Courbe du ratio prédit sur attendu (-0.124 +/- 0.4542, continu) (c) Courbe du ratio prédit sur attendu (-0.236 +/- 0.482).

Septembre : observations opportunistes et en effort

Tableau 59. Table des scores de l'ENFA pour le cachalot, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois de septembre.

EGV	Facteur 1 (36%)	Facteur 2 (41%)
Profondeur	+++++	**
Pente	+++	0
Chlorophylle	++	***
D ₂₀₀₀	-	0
D _{cot}	----	**
NPP	++	****
SST	----	*****

Tableau 60. Coefficients des EGV pour le premier facteur, pour l'analyse ENFA pour le cachalot, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois d'août.

EGV	Coefficients
Profondeur	0,639
Pente	0,283
Chlorophylle	0,189
D ₂₀₀₀	0,078
D _{cot}	0,499
NPP	0,208
SST	0,419

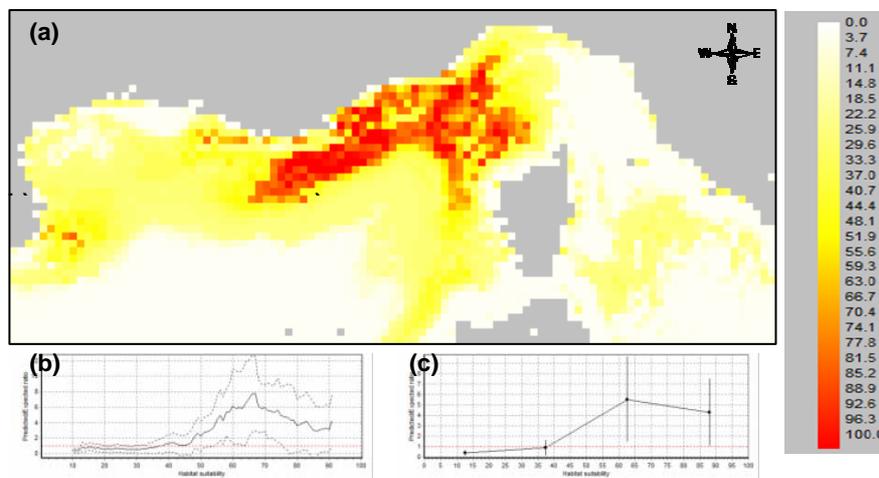


Figure 47. (a) Carte d'habitat favorable du cachalot, tous types de données non pondérées par l'effort, 1998-2008, mois de septembre. (b) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.348 +/- 0.4587, continu) (c) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.4 +/- 0.586).

Septembre : observations en transect et pondérées par l'effort.

Tableau 61. Table des scores de l'ENFA pour le cachalot ; données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois de septembre.

EGV	Facteur 1 (25%)	Facteur 2 (35%)
Profondeur	+++++	***
Pente	++++++	0
Chlorophylle	+	**
D ₁₀₀₀	-	0
D ₂₀₀	-	*
D ₂₀₀₀	+	****
D _{cot}	--	*****
NPP	+++	***
SST	----	****

Tableau 62. Coefficients des EGV pour le premier facteur, pour l'analyse ENFA pour le cachalot, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois de septembre.

EGV	Coefficients
Profondeur	0,586
Pente	0,581
Chlorophylle	0,063
D ₁₀₀₀	0,054
D ₂₀₀	0,128
D ₂₀₀₀	0,065
D _{cot}	0,209
NPP	0,339
SST	0,361

Marginalité :	0,667
Spécialisation :	4,094
Tolérance (1/S) :	0,24

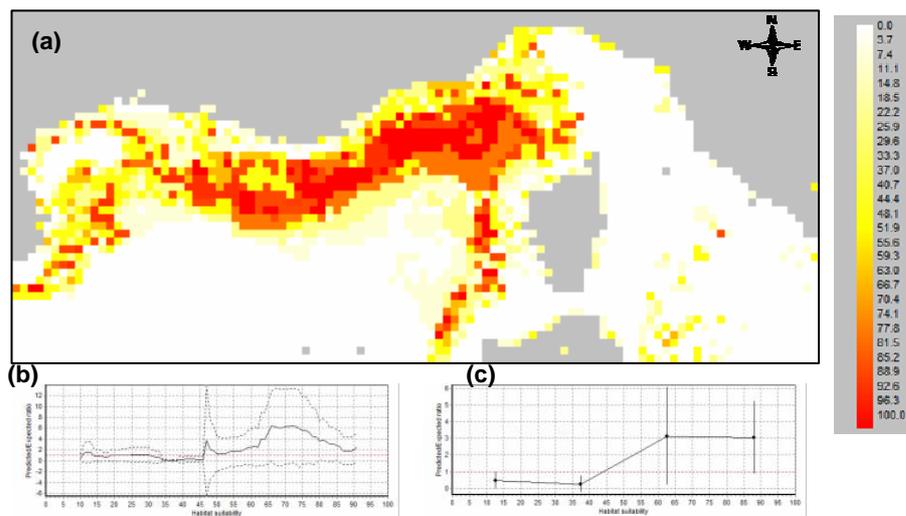


Figure 48. (a) Carte d'habitat favorable (en rouge) du cachalot, données d'observations collectées en effort et pondérées par l'effort de prospection (km), 1998 à 2008, pour le mois de septembre. (b) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.342 +/- 0.4265, continu) (c) Courbe du ratio prédit sur attendu (0.498 +/- 0.4122).

2- Modélisation par régression logistique

a) Le rorqual commun

Sur 2 210 segments conservés pour l'analyse représentant 30 332 km d'effort de prospection, 293 segments étaient caractérisés par la présence du rorqual commun, soit 348 observations (et 504 individus).

La répartition géographique des segments analysés (Figure 49), montre une forte représentation de l'échantillonnage dans les zones relativement côtières qui se situent entre Toulon et Monaco. La présence de rorqual est, elle, localisée plutôt au centre de la zone, entre 6° et 9° de longitude Est.

Les différences de répartition des segments avec et sans rorqual en fonction de la profondeur ou de la distance à la côte sont assez significatives (Figure 50). La préférence du rorqual pour les profondeurs supérieures à 2 000 m et les distances à la côte de plus de 40 km est bien marquée.

La concentration en chlorophylle mensuelle ne semble pas réellement déterminante sur la distribution des deux types de segments (présence et absence) puisqu'ils se répartissent de façon relativement homogène par rapport à cette variable (Figure 51). Cependant les segments avec présence de rorquals sont essentiellement associés à des températures de surface de l'eau entre 20 et 25°C, alors que la majorité des segments échantillonnés se trouve plutôt au-delà de 25°C.

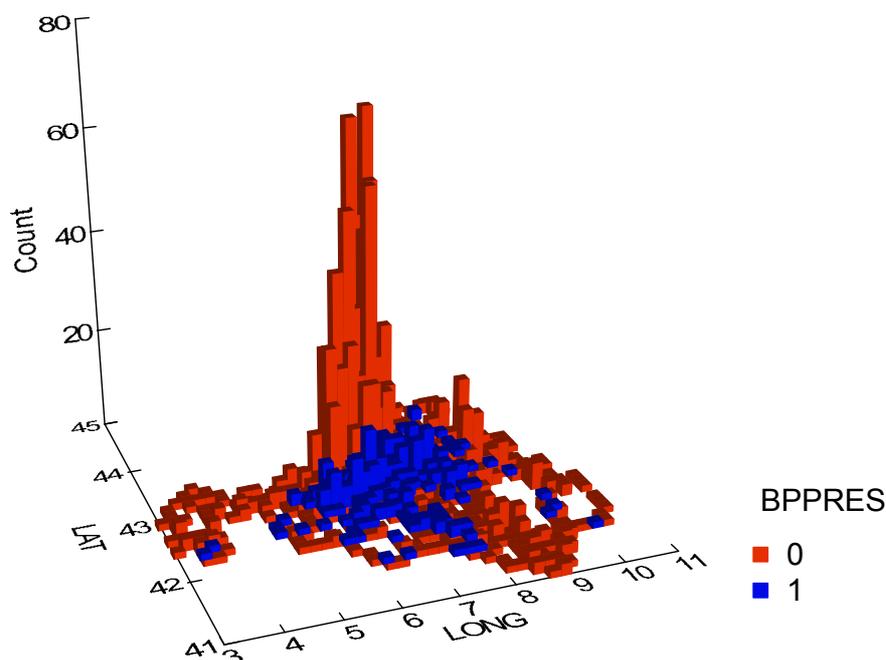


Figure 49. Répartition des segments utilisés pour l'analyse en fonction de la latitude et de la longitude. En rouge les segments avec absence, en bleu avec présence de rorquals communs.

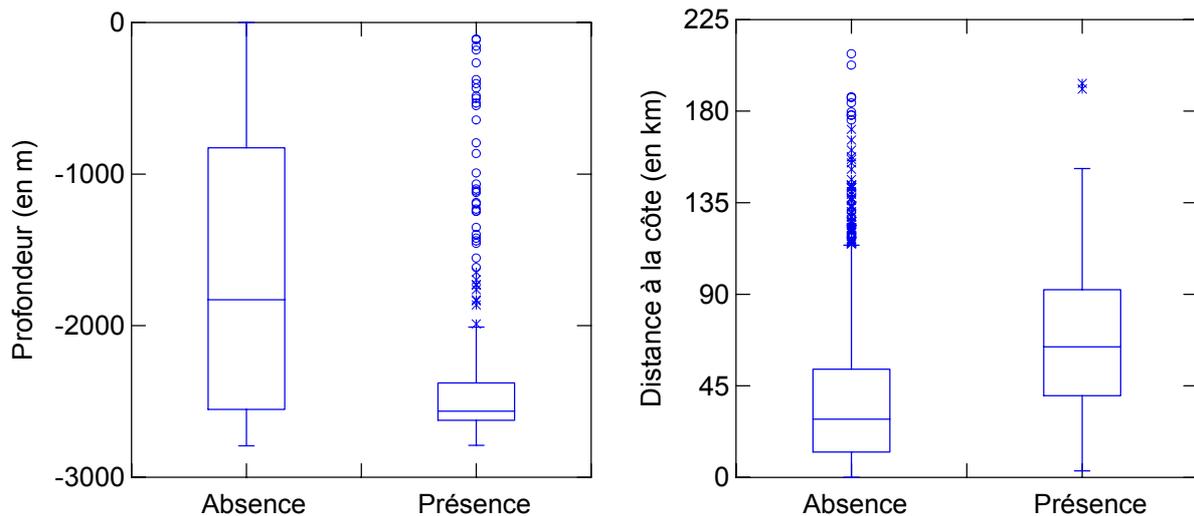


Figure 50. Diagrammes en boîte représentant la distribution des segments par rapport à la variable profondeur et distance à la côte, pour les segments avec absence et présence de rorquals communs. Le rectangle représentant la limite du 1^{er} et du 3^{ème} quartile, et le trait central la médiane.

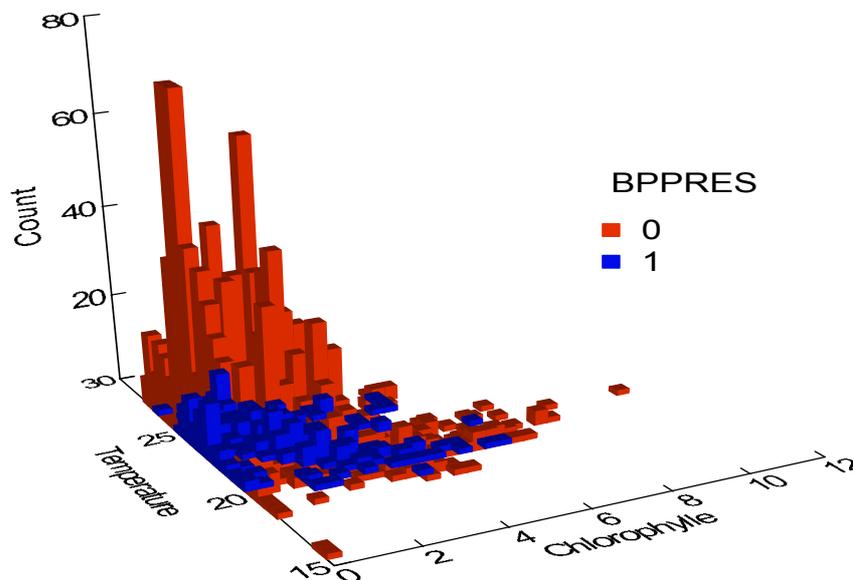


Figure 51. Répartition des segments utilisés pour l'analyse en fonction de la température et de la concentration en chlorophylle a, mensuelles. En rouge les segments avec absence, en bleu avec présence de rorquals communs.

Le meilleur modèle d'estimation de la présence du rorqual commun par régression logistique a été sélectionné par la méthode backward-forward avec une probabilité d'entrée et de sortie fixée à 0,10. Au total six variables ont été sélectionnées (Tableau 63), pour obtenir un coefficient ρ^2 de MacFaden de 0,144 :

- la profondeur,
- la distance à la côte,
- la concentration globale du bassin en chlorophylle,
- la production primaire en février,
- l'écart de la température mensuelle par rapport à la médiane sur l'ensemble du bassin,
- et la chlorophylle mensuelle.

La colinéarité n'a pas été considérée comme un problème car les coefficients de détermination (R^2) entre les différentes variables sélectionnées sont inférieurs à 0,47.

La courbe ROC a été réalisée avec le jeu de données et les résultats de ce modèle (Figure 52), ce qui a permis d'obtenir une AUC (*Area Under the Curve*) de 0,76 (SE = 0,014), significativement différente d'un modèle aléatoire (Z-test = 18,63 ; $p < 0,0001$). Ainsi le seuil entre la présence et l'absence a été déterminé à 0,116.

Les résultats suivants sont obtenus :

▪ Sensitivité	69,1%
▪ Spécificité	68,9%
▪ Taux de classification correcte	68,9%
▪ Taux de fausse présence	31,1%
▪ Taux de fausse absence	30,9%
▪ Puissance de prédiction positive	24,0%
▪ Puissance de prédiction négative	94,0%

Le résultat obtenu de classification correcte (68,9%) est tout à fait satisfaisant, avec des taux très similaires de fausse présence (présence prédite mais pas confirmée) et de fausse absence (absence prédite mais observation réalisée sur le segment). La faible représentation des segments avec présence du rorqual (13%) entraîne une puissance de prédiction positive de 24%, soit plus faible que la puissance de prédiction de l'absence : 94%.

Tableau 63. Résultat du modèle obtenu par régression logistique pour le rorqual commun.

Paramètre	Coefficient	S.E	t-ratio	p-value	Odds Ratio	IC 95%
1- Constante	-4,13	0,31	-13,38	0,00		
2- Profondeur	-0,08	0,02	-5,14	0,00	0,93	0,90-0,95
3- Distance à la côte	0,01	0,00	5,03	0,00	1,01	1,01-1,02
4- Chlorophylle globale	-0,93	0,22	-4,24	0,00	0,39	0,26-0,61
5- Production primaire - Février	0,02	0,00	4,56	0,00	1,022	1,01-1,03
6- Ecart de température	0,19	0,08	2,37	0,02	1,21	1,03-1,42
7- Chlorophylle mensuelle	0,17	0,10	1,73	0,08	1,19	0,98-1,44

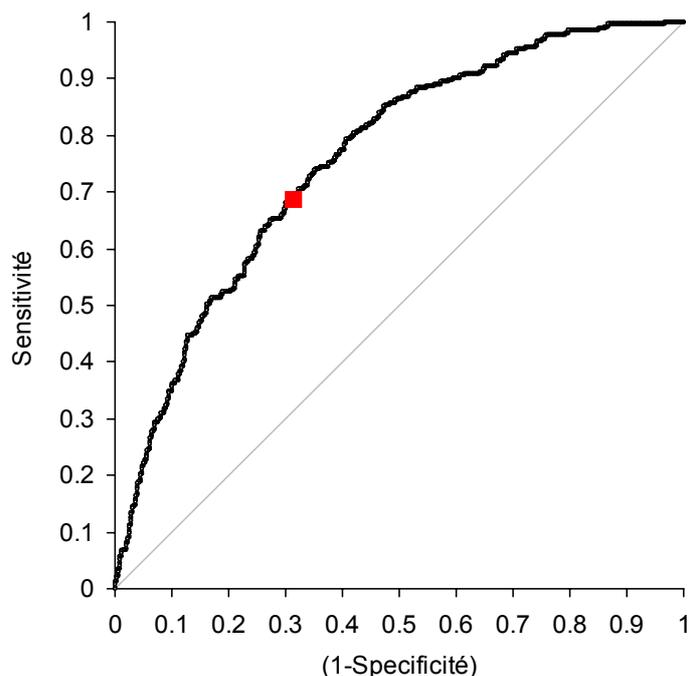
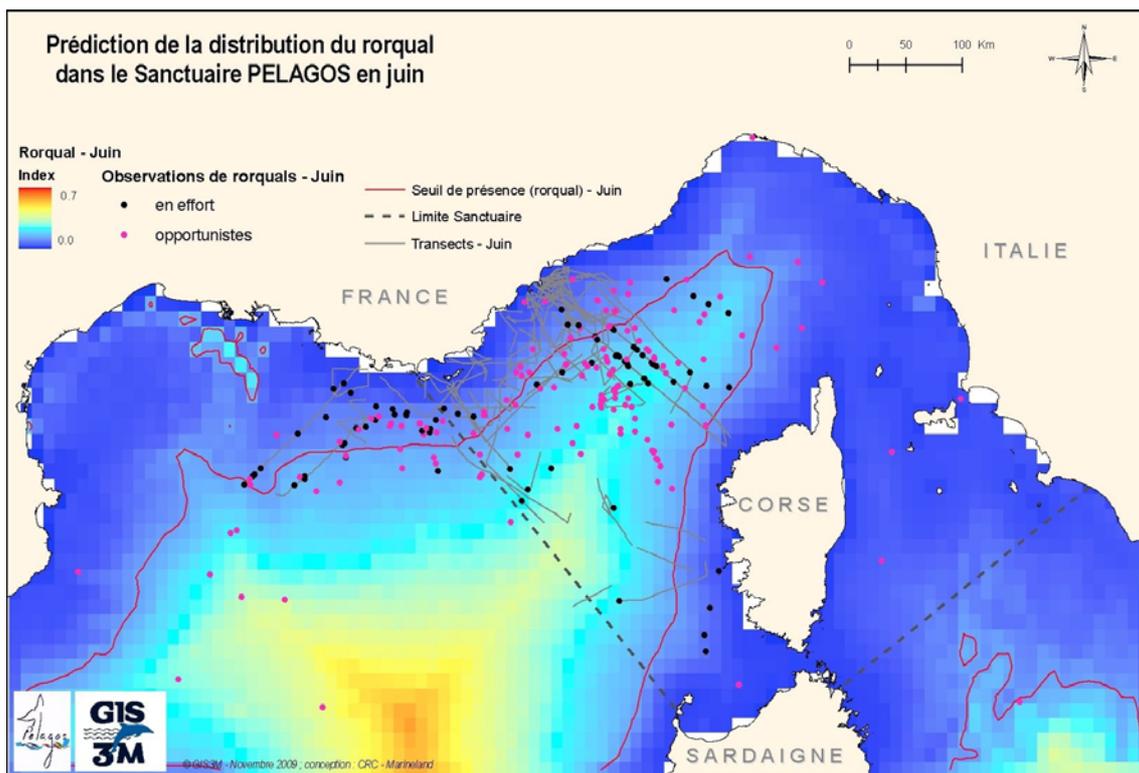


Figure 52. Courbe ROC réalisée pour le modèle obtenu par régression logistique pour le rorqual commun.

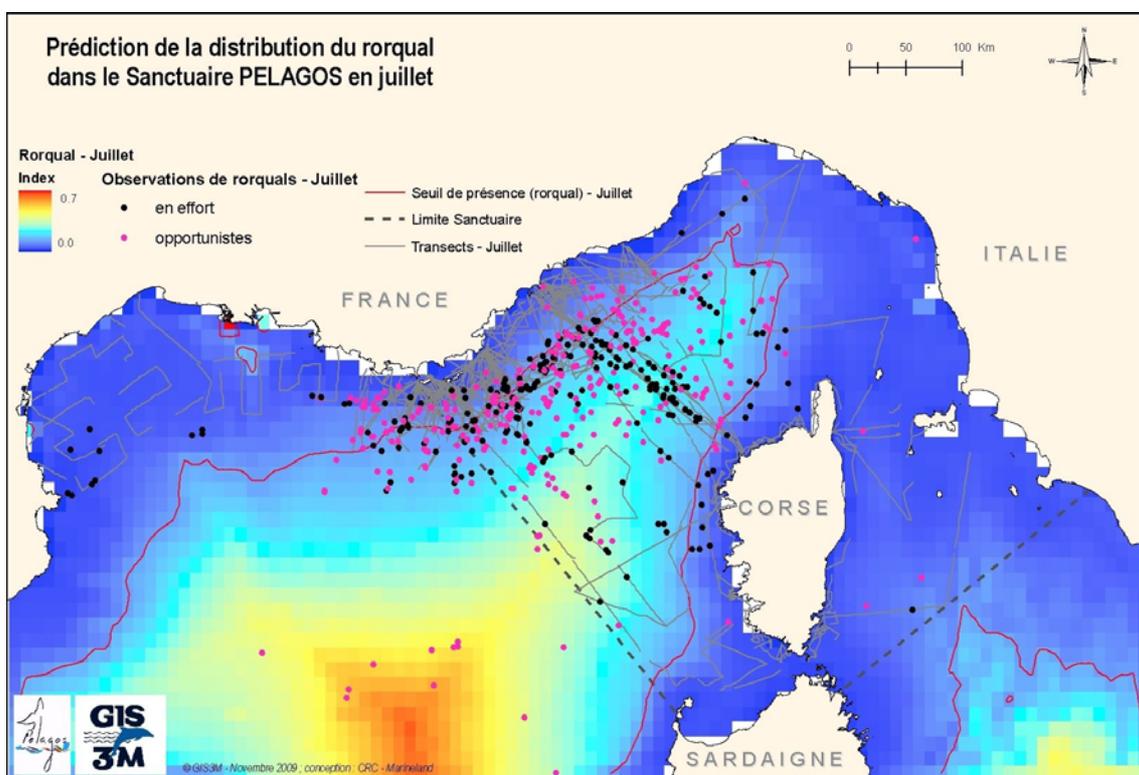
Les cartes de prédiction mensuelle obtenues sur les données climatologiques, c'est à dire les conditions moyennes de température et de chlorophylle *a*, obtenues entre 1998 et 2008, sont représentées de la Carte 67 à la Carte 70. Le seuil entre la présence et l'absence est matérialisé par le contour rouge, l'absence étant proche de 0 (bleu), la présence tendant vers le rouge. Sur ces cartes apparaissent les observations et les trajets effectués en effort, c'est à dire les données ayant servi à construire le modèle, mais également les données opportunistes (en rose), c'est à dire un jeu de données complètement indépendant.

Nous observons sur ces cartes, relativement homogènes d'un mois sur l'autre, une extension de la zone de présence en juillet et en août. Dans l'ensemble les observations se localisent dans l'enveloppe de présence, avec cependant une défaillance importante dans la prédiction pour une bande littorale d'environ 50 km de large entre Toulon et Monaco.

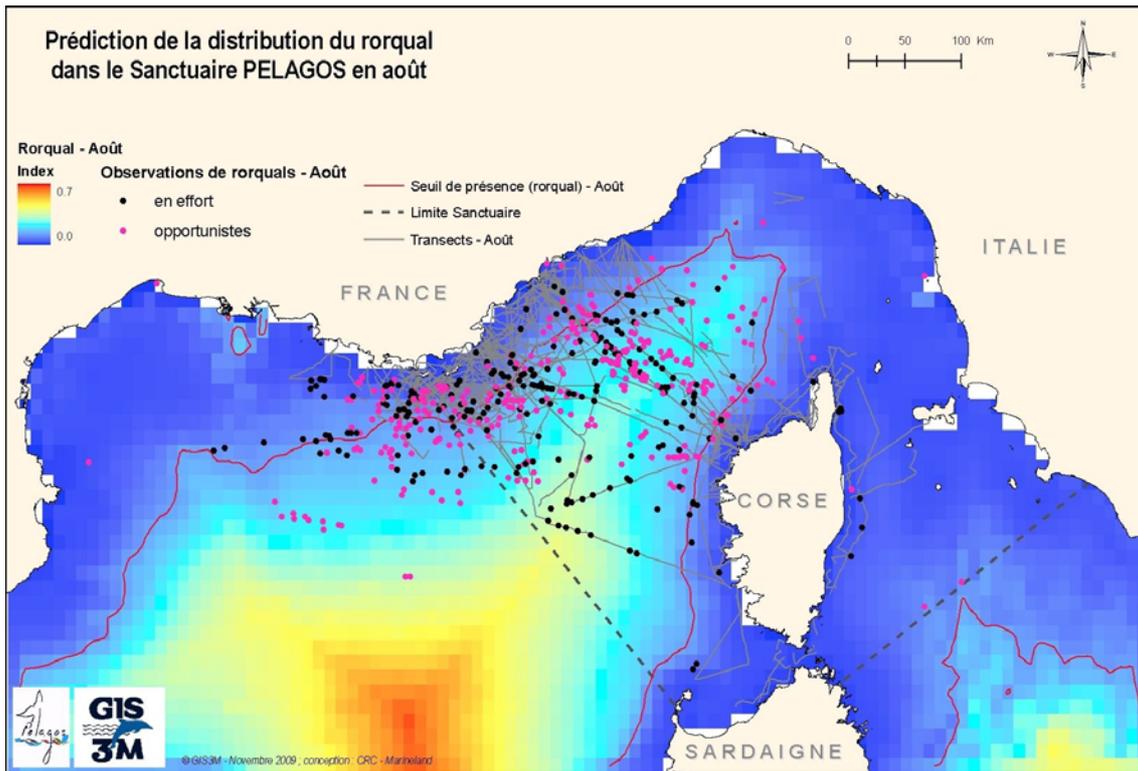
En août 2000 et juillet 2001 on observe une bonne prédiction de la distribution (Carte 71), avec la majorité des observations opportunistes localisées à l'intérieur de l'enveloppe de présence. En août 2007, les observations indépendantes (opportunistes) sont peu nombreuses mais le modèle prédit correctement la distribution des données utilisées pour la construction du modèle.



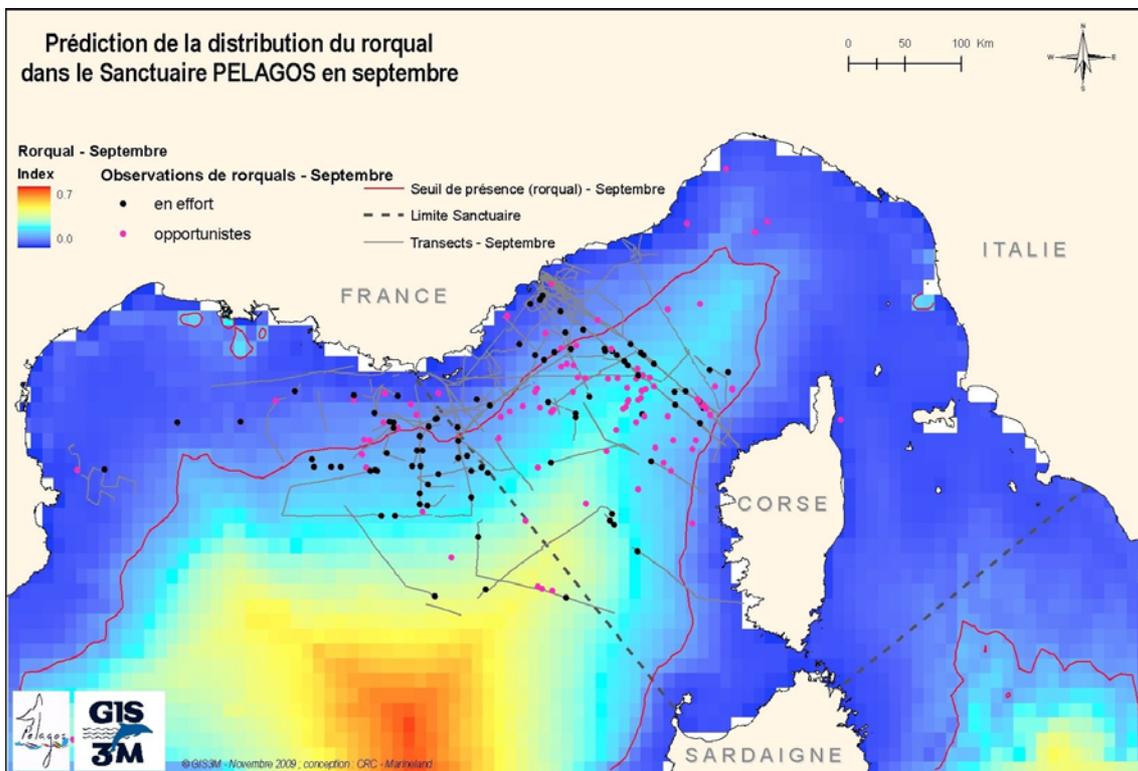
Carte 67. Prédiction de présence du rorqual commun en juin obtenue par modélisation (régression logistique) et estimée à partir des conditions environnementales moyennes (climatologie 1998-2008).



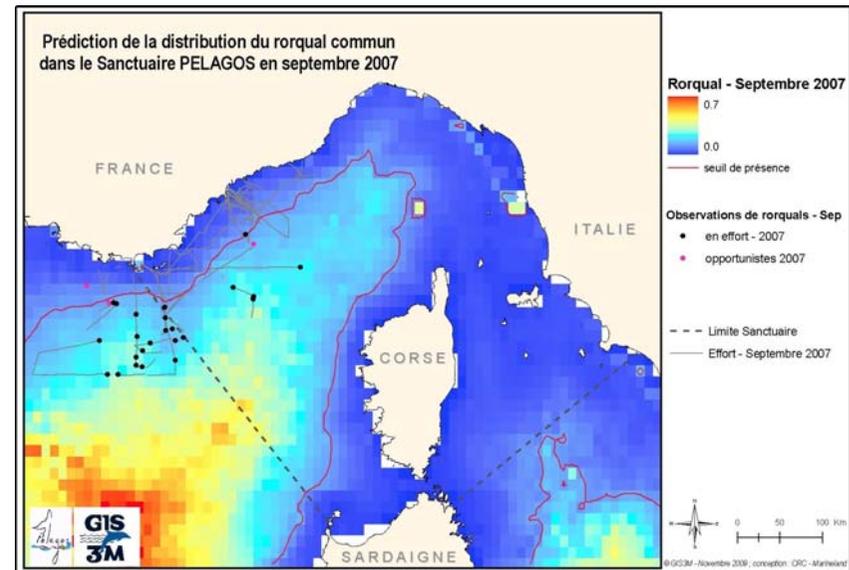
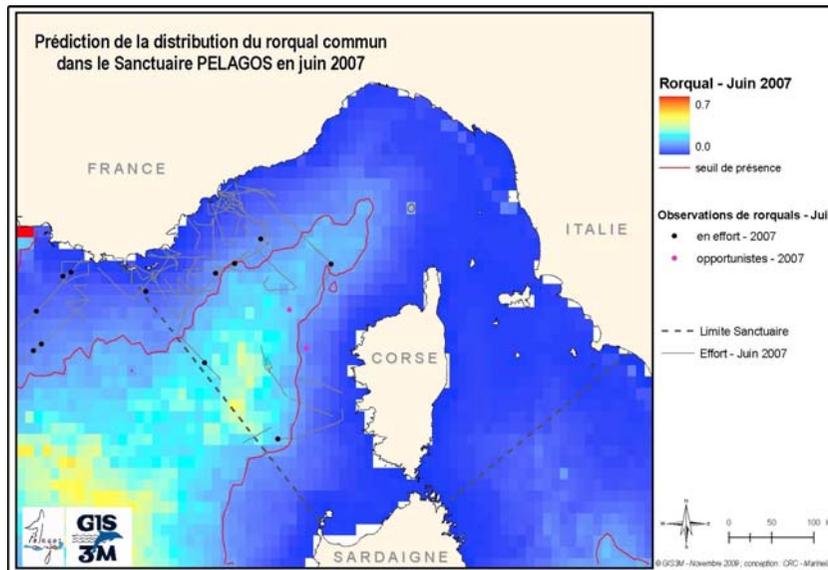
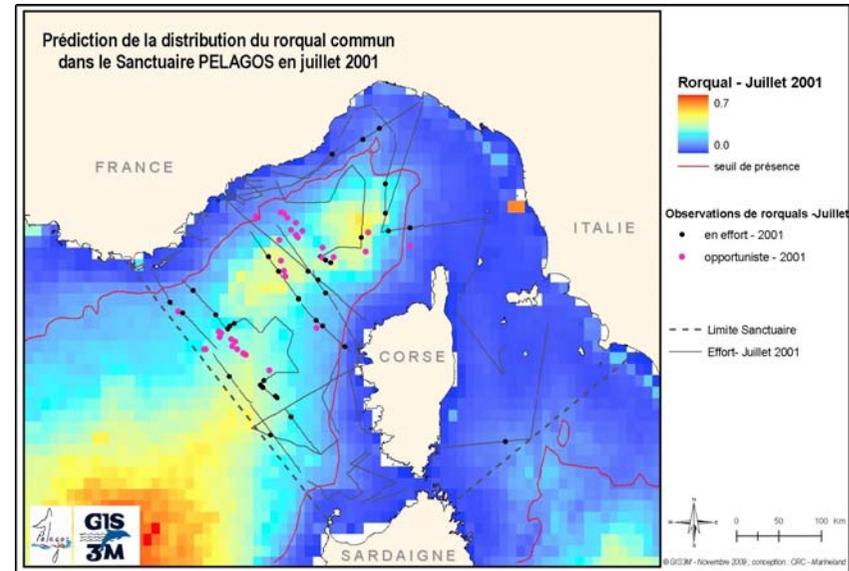
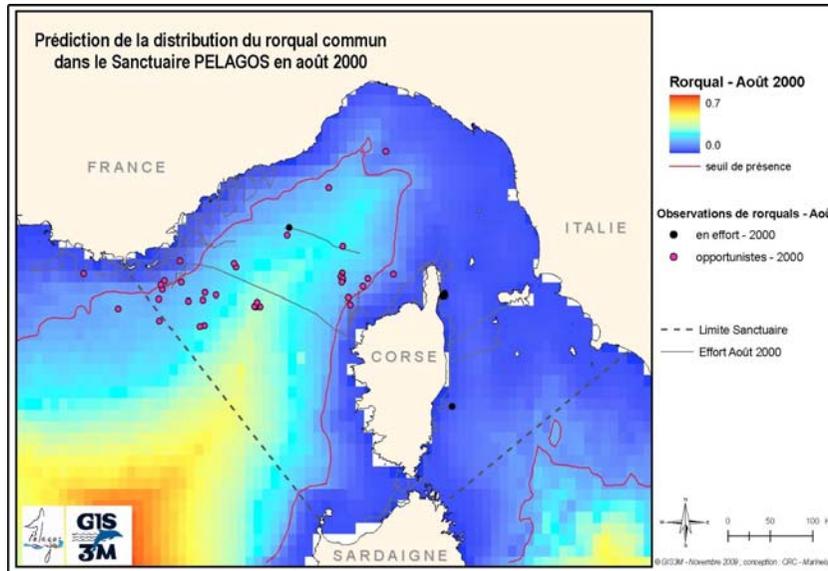
Carte 68. Prédiction de présence du rorqual commun en juillet obtenue par modélisation (régression logistique) et estimée à partir des conditions environnementales moyennes (climatologie 1998-2008).



Carte 69. Prédiction de présence du rorqual commun en août obtenue par modélisation (régression logistique) et estimée à partir des conditions environnementales moyennes (climatologie 1998-2008).



Carte 70. Prédiction de présence du rorqual commun en septembre obtenue par modélisation (régression logistique) et estimée à partir des conditions environnementales moyennes (climatologie 1998-2008).



Carte 71. Prédiction de présence du rorqual commun obtenue par modélisation (régression logistique) à différentes périodes.

b) Le cachalot

Sur 2 260 segments analysés représentant 29 872 km d'effort de prospection, 60 segments étaient caractérisés par la présence du cachalot, soit 65 observations (et 88 individus).

Nous retrouvons là aussi une répartition géographique hétérogène des segments analysés (Figure 53) ; la répartition des segments avec présence de cachalots en revanche est elle très localisée sur quasiment quatre zones distinctes.

La différence de répartition des segments avec et sans cachalot, vis-à-vis de la profondeur et de la distance à la côte est assez significative (Figure 54). Une préférence marquée du cachalot apparaît pour les profondeurs autour de 2 500 m et les distances à la côte entre 50 et 100 km.

A nouveau les segments avec présence de cachalots sont essentiellement associés à des températures de surface de l'eau entre 20 et 25°C, alors que la majorité des segments échantillonnés se trouve plutôt au-delà de 25°C. La concentration en chlorophylle mensuelle ne semble pas réellement déterminante pour différencier les segments de présence et d'absence (Figure 55).

Le meilleur modèle d'estimation de la présence du cachalot par régression logistique a été sélectionné par la méthode de backward avec une probabilité de sortie fixée à 0,10, et a permis de sélectionner 3 variables (Tableau 64) et d'obtenir un coefficient ρ^2 de MacFaden de 0,028 :

- le mois,
- la profondeur,
- la distance à l'isobathe 200 m.

La colinéarité n'a pas été considérée comme un problème car les coefficients de détermination (R^2) entre les différentes variables sélectionnées étaient inférieurs à 0,45.

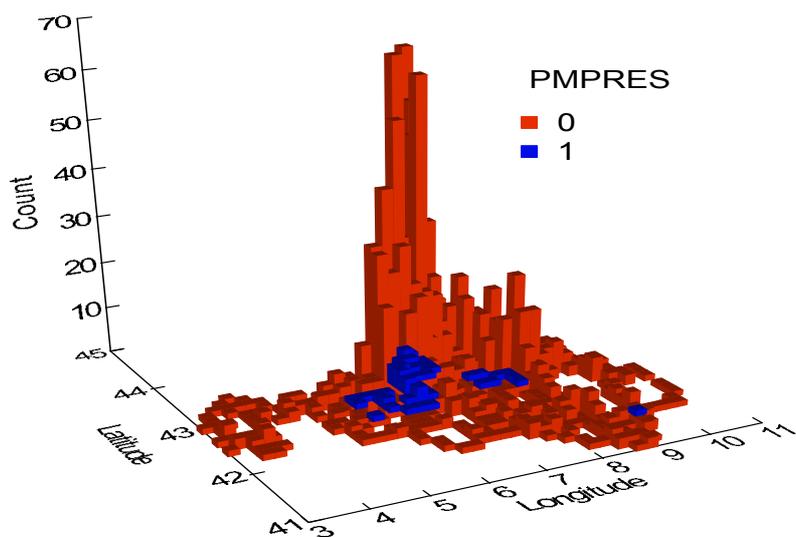


Figure 53. Répartition des segments utilisés pour l'analyse en fonction de la latitude et de la longitude. En rouge les segments avec absence, en bleu avec présence de cachalots.

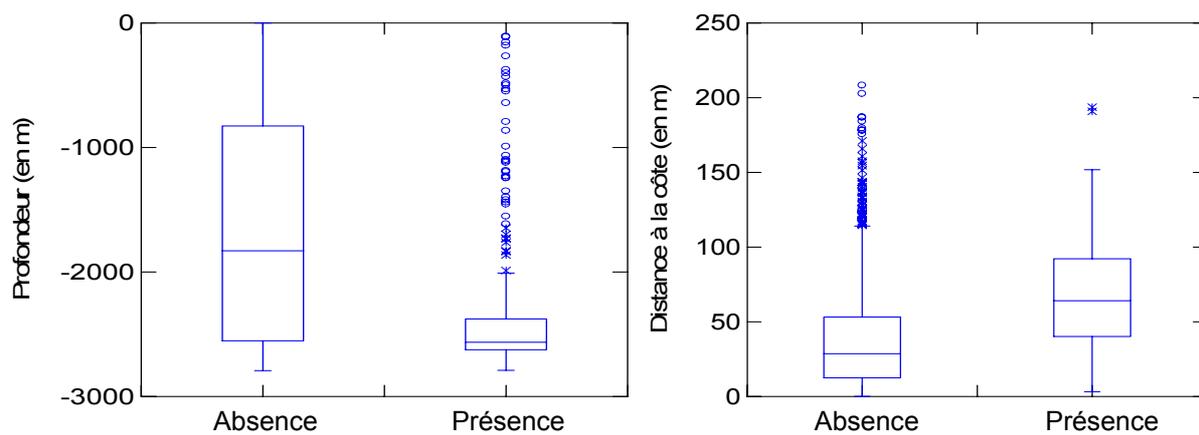


Figure 54. Diagrammes en boîte représentant la distribution des segments par rapport à la variable profondeur et distance à la côte, pour les segments avec absence et présence de cachalots. Le rectangle représentant la limite du 1^{er} et du 3^{ème} quartile, et le trait central la médiane.

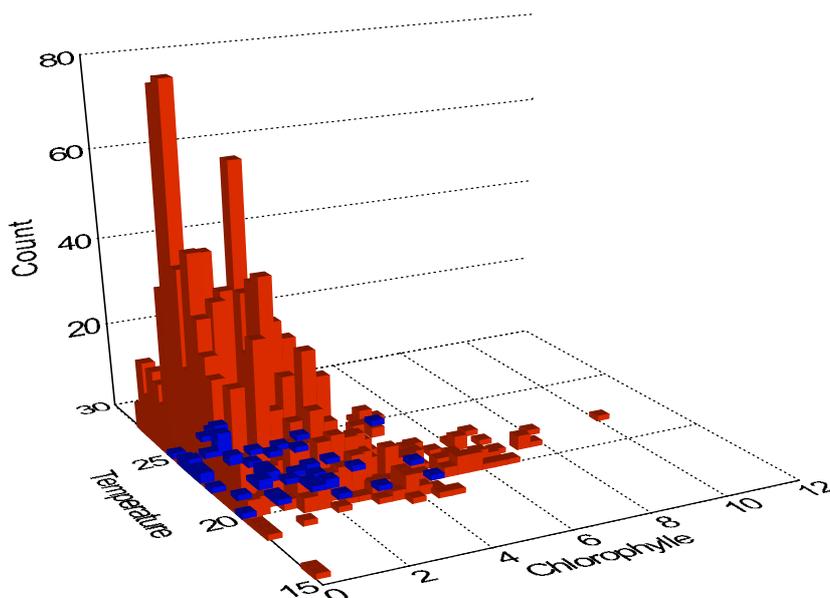


Figure 55. Répartition des segments utilisés pour l'analyse en fonction de la température et de la concentration en chlorophylle a, mensuelles. En rouge les segments avec absence, en bleu avec présence de cachalots.

La courbe ROC a été tracée (Figure 56) ce qui a permis de d'obtenir une AUC (Area Under the Curve) de 0,69 (SE = 0,033), significativement différente d'un modèle aléatoire (Z-test = 5,80 ; $p < 0,0001$). La limite entre la présence et l'absence a été déterminée à 0,029.

Les résultats suivants sont obtenus :

▪ Sensitivité	66,7%
▪ Spécificité	64,9%
▪ Taux de classification correcte	64,9%
▪ Taux de fausse présence	35,1%
▪ Taux de fausse absence	33,3%
▪ Puissance de prédiction positive	4,9%
▪ Puissance de prédiction négative	98,6%

Tableau 64. Résultat du modèle obtenu par régression logistique pour le cachalot.

Paramètre	Coefficient	S.E	t-ratio	p-value	Odds Ratio	IC 95%
1- Constante	-8,33	1,24	-6,71	0,00		
2- Mois	0,54	0,15	3,51	0,00	1,64	1,16-2,32
3- Profondeur	-0,07	0,02	-3,31	0,00	0,93	0,89-0,98
4- Distance à l'isobathe 200 m	-0,02	0,01	-3,08	0,00	0,98	0,97-1,0

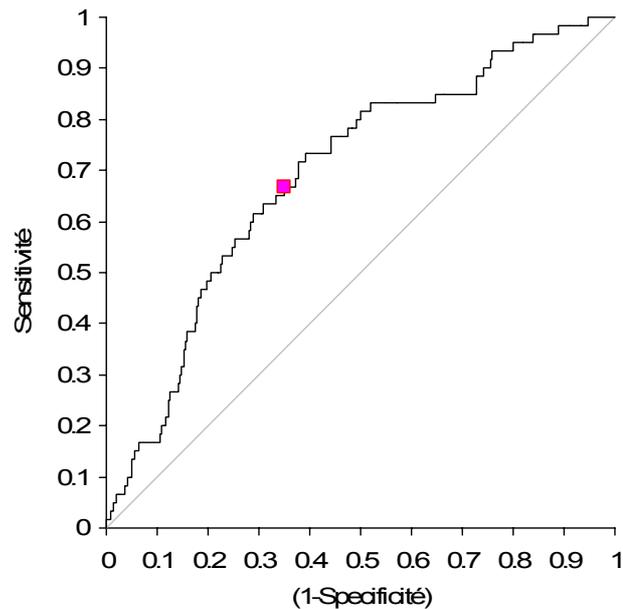
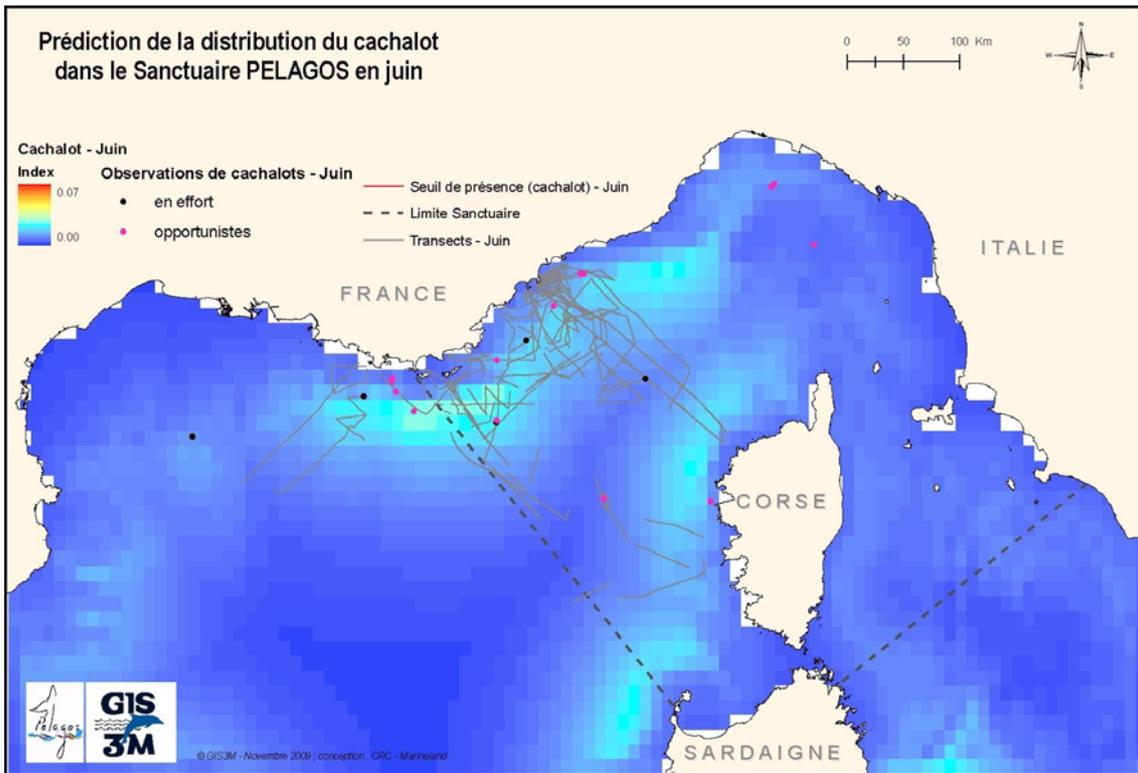


Figure 56. Courbe ROC réalisée pour le modèle obtenu par régression logistique pour le cachalot.

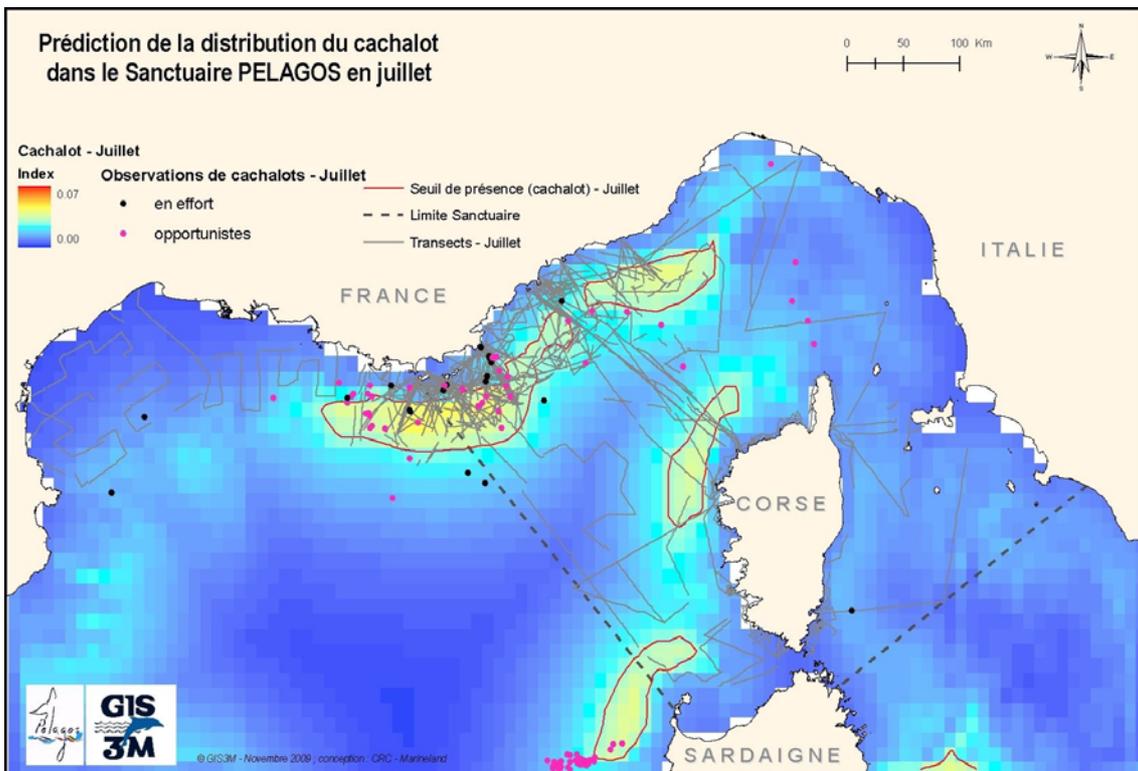
Le résultat obtenu de classification correcte (64,9%) est tout à fait satisfaisant, avec des taux très similaires de fausse présence (présence prédite mais pas confirmée) et de fausse absence (absence prédite mais observation réalisée sur le segment). Le petit nombre de segments avec présence de cachalot (2,6%) entraîne une puissance de prédiction positive de 4,9%, très inférieure à la puissance de prédiction de l'absence : 98,6%.

Les cartes de prédictions obtenues pour le modèle sélectionné par régression logistique sont représentées de la Carte 72 à la Carte 75. Le seuil entre la présence et l'absence est matérialisé par le contour rouge, l'absence étant proche de 0 (bleu), la présence tendant vers le rouge. Sur ces cartes apparaissent, comme précédemment, les observations et les trajets effectués en effort, c'est à dire les données ayant servi à construire le modèle, mais également les données opportunistes (en rose), c'est à dire un jeu de données complètement indépendant.

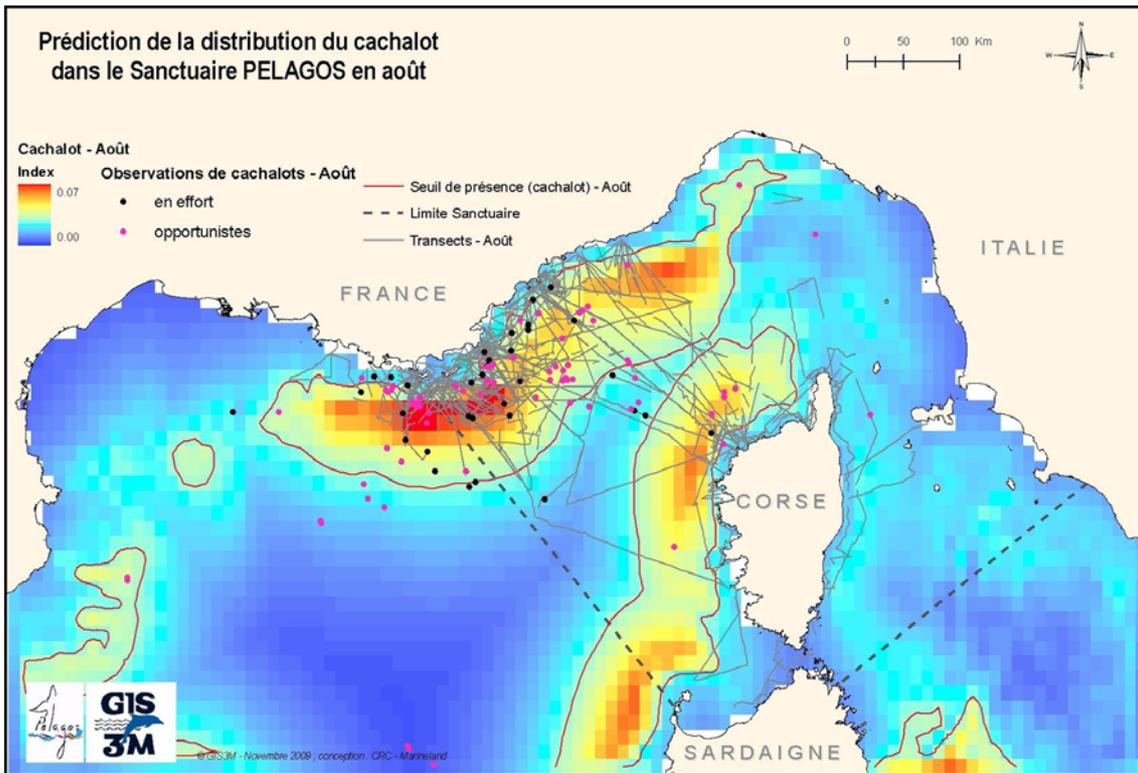
Ces cartes sont valables pour toutes les années car aucune variable environnementale n'est incluse dans le modèle. La seule variable qui évolue entre ces différentes cartes est la variable mois qui, du mois de juin (valeur 6) à celui de septembre (valeur 9) fait considérablement augmenter l'indice. Sur la carte du mois de juin (Carte 72), le seuil de présence n'apparaît pas car l'indice est trop faible et n'atteint pas la valeur de 0,029. Nous observons cependant plusieurs zones préférentielles, qui se distinguent d'autant mieux sur les cartes suivantes, combinant une forte profondeur et une faible distance à l'isobathe 200 m.



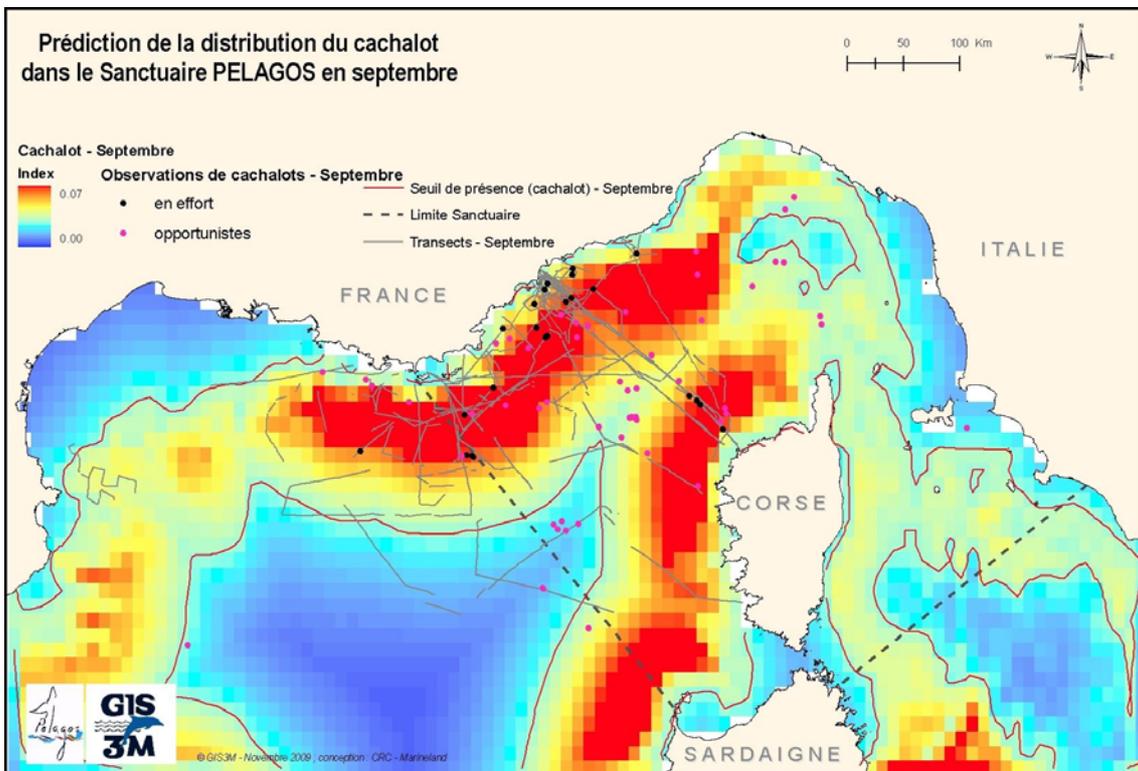
Carte 72. Prédiction de présence du cachalot en juin obtenue par modélisation (régression logistique).



Carte 73. Prédiction de présence du cachalot en juillet obtenue par modélisation (régression logistique).



Carte 74. Prédiction de présence du cachalot en août obtenue par modélisation (régression logistique).



Carte 75. Prédiction de présence du cachalot en septembre obtenue par modélisation (régression logistique).

Chapitre III - Discussion

Pour la première fois un jeu de données très important et collecté par diverses structures a été réuni dans le but d'une analyse poussée de la distribution des principales espèces de cétacés dans le Sanctuaire PELAGOS et ses zones adjacentes. Malgré les origines différentes, les données collectées en effort d'observation, ont été recueillies avec des protocoles généralement semblables (Tableau 4). Ce travail nous a permis de localiser les zones de distribution des principales espèces fréquentant le Sanctuaire PELAGOS, de caractériser leur distribution vis-à-vis des paramètres environnementaux tels que la bathymétrie, la température ou encore la chlorophylle. Enfin, à partir de ces analyses nous avons tenté d'interpréter des zones favorables pour chaque espèce, soit par synthèse et interpolation des résultats, soit par représentation spatiale à l'aide de facteurs environnementaux. Enfin, ce travail nous permet également d'identifier des lacunes du point de vu de l'échantillonnage dans certaines zones du Sanctuaire.

Le Sanctuaire PELAGOS, situé au nord-est du bassin méditerranéen occidental, est considéré comme favorable à la présence de nombreux cétacés en période estivale. Notre étude a été réalisée afin de mieux comprendre leur répartition dans la zone et les conditions environnementales qui influencent leur répartition estivale.

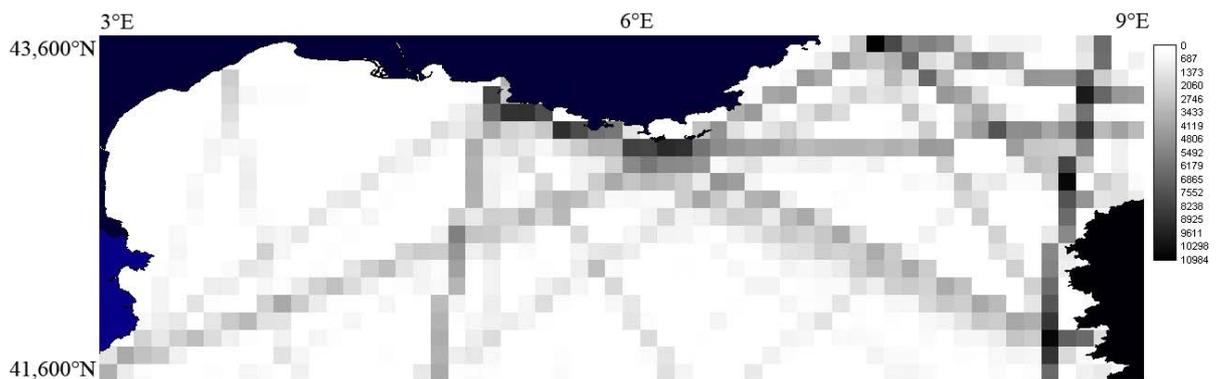
Cette zone est caractérisée par la présence d'un système de front permanent, qui entraîne au niveau spatial la distinction de trois zones hydrologiques dans le bassin Ligure (côtière-périphérique, frontale et centrale). Le mouvement horizontal, à l'origine de ce déplacement vertical des masses d'eau, est un courant de surface d'origine Atlantique : le courant Ligure (ou Courant Nord Méditerranéen, CNM). Le déplacement d'eau profonde chargée en sels nutritifs vers une zone plus éclairée permet le développement phytoplanctonique dès l'apparition d'une période de stabilité (arrêt des périodes de vent violent). Cette forte production primaire est suivie, avec un certain décalage, d'une augmentation des populations zooplanctoniques qui alimentent à leur tour la suite du réseau trophique. Cette période de bloom qui, comme nous avons pu le voir sur la période d'étude est plus ou moins intense selon les années, est cruciale pour l'ensemble de l'écosystème marin de la zone.

Cette zone est aussi le lieu d'une intense fréquentation anthropique, représentant parfois un danger pour les cétacés. Les principales menaces qui en découlent pour ces animaux et leur milieu sont liées à :

- L'industrialisation et l'urbanisation de la zone côtière qui entraîne une forte pollution à proximité des grandes villes côtières (voir Carte 76) ;
- Les perturbations acoustiques et sismiques liées aux travaux d'exploration ou militaire, ainsi qu'au transport maritime important de fret et de passagers ; avec notamment les navires à grande vitesse (NGV) entre le continent, la Corse ou la Sardaigne. Ce trafic important (Carte 77) multiplie les risques de collisions (Capoulade, 2002 ; David, 2005 ; Laist et al., 2001) de pollutions acoustiques et de dérangement des cétacés auquel il faut ajouter les navires de plaisance et d'observation touristique des cétacés ("whale watching") ;
- La compétition pour les ressources trophiques avec la pêche commerciale ;
- Et les captures accidentelles dans les engins de pêche.



Carte 76. Principaux sites de pollutions terrestres situés autour du Sanctuaire PELAGOS (<http://prtr.ec.europa.eu/MapSearch.aspx> - décembre 2009)



Carte 77. Intensité de trafic des grands navires (ferry + NGV+navires marchands) en période estivale (en km par cellule) (David, 2005).

Plusieurs programmes du GIS3M sont d'ailleurs en cours de réalisation et ont pour objectifs notamment d'estimer les impacts des activités humaines sur les cétacés :

- Action B1 : Evaluation du niveau de contamination d'espèces odontocètes et mysticètes du Sanctuaire PELAGOS
- Action E1 : Synthèse des connaissances sur l'impact du trafic maritime
- Action E2 : Prévention des collisions entre navires et grands cétacés (rorquals et cachalots).

Ces trois actions s'appuieront sur les résultats obtenus dans l'étude présente, en particulier l'action E2 qui utilisera les cartographies géostatistiques et prédictives obtenues pour les rorquals et les cachalots.

I - Nature et exploitation des données

I.A Les données cétacés

Par rapport aux études antérieures qui regroupaient un effort conséquent dans cette zone, cette étude représente l'une des seules rassemblant autant de kilomètres d'effort et d'observations. C'est également une des premières études rassemblant ce type de données provenant de différentes équipes françaises et également italiennes.

1- Source de données

Certaines équipes ou personne travaillant sur les cétacés dans la zone considérée n'ont pas souhaité participer ou collaborer à cette étude (voir Tableau 1 des structures contactées) pour diverses raisons. Leurs données et leurs résultats ayant été publiés par ailleurs, nous pourrions comparer les cartographies que nous avons obtenues avec celles de la littérature et les intégrer dans la discussion.

Composition peuplement

La comparaison de la composition estivale du peuplement s'est effectuée sur le nombre d'observations de chaque espèce, plutôt que le nombre d'individus, ce qui permet de s'affranchir du biais potentiel de variations d'estimations de tailles de groupes, en fonction des équipes.

Globalement, les variations observées dans le peuplement dans le Tableau 65 sont souvent dues à la taille et à la répartition bathymétrique de la zone prospectée. Ainsi, on note que le peuplement obtenu dans une zone assez côtière par Fabbri et Lauriano (1992) contient des valeurs faibles pour les espèces pélagiques comme le dauphin bleu et blanc et le rorqual commun et fortes pour une espèce côtière comme le dauphin de Risso. Les autres études présentent un échantillonnage mieux réparti sur les différentes strates bathymétriques, ce qui est plus en accord avec ce que nous avons dans cette étude.

Quelle que soit l'étude ou le secteur de Méditerranée nord occidentale, l'espèce la plus représentée est le dauphin bleu et blanc qui représente à lui seul entre 49,3 et 64,5% des observations.

La seconde espèce la plus observée est le rorqual commun avec une proportion dans le peuplement comprise entre 25 et 40,9% des observations.

La comparaison des deux peuplements de Méditerranée nord occidentale montre une tendance inverse entre notre étude et celle de Di-Méglio (1999). En effet, entre 1994 et 1996 le peuplement était constitué d'une proportion de dauphins bleu et blanc moins importante, alors que la proportion de rorquals était plus importante que dans notre étude. Cela peut s'expliquer en partie par un effort d'échantillonnage important dans le Nord du Golfe de Gênes : eaux peu propices aux rorquals communs et où le dauphin bleu et blanc est régulièrement rencontré.

Enfin, en nombre bien inférieur, viennent les cachalots (entre 0,6 et 4,3% des observations), les globicéphales noirs (entre 0,6 et 4,0%), les dauphins de Risso (le plus souvent entre 0,5 et 5,3%) et les grands dauphins (entre 0,5 et 3,2%).

Tableau 65. Distribution estivale des espèces par observations (en %).

% nombre d'observations	Rorqual	Cachalot	Globicéphale	D. de Risso	Grand dauphin	D. bleu & blanc	Baleine à bec de Cuvier	D. commun	Autres sp ou non id.
Présente étude Méditerranée nord-occidentale n = 6 084	25,0	3,1	3,3	2,3	1,7	64,5	NC	NC	NC
Mer Ligure (1) n = 195	37,4	1,5	1,5	0,5	0,5	58,6	-	-	
Mer Ligure (2) n, = 865	27,7	1,0	2,2	2,1	0,5	66,5	-	-	
Mer Ligure (3) n = 63	9,6	-	-	17,3	3,2	49,3	-	3,1	17,5
Secteur Corso-Ligure (4) n = 133	39,8	-	0,8	5,3	-	52,6	-	1,5	-
Sanctuaire PELAGOS (5) n = 92	26,1	4,3	1,1	3,3	1,1	59,8	2,2	2,2	
Liguro-provence (6) n = 321	38,9	0,6	4,0	4,0	-	52,3	-	-	-
Liguro-corse (6) n = 158	40,5	0,6	0,6	1,9	0,6	55,1	-	-	0,6
Golfe du Lion (6) n = 159	35,4	1,9	0,6	3,7	-	56,5	1,9	-	-
Méditerranée nord-occidentale (6) n = 640	38,4	0,9	2,3	3,4	0,2	54,1	0,5	-	0,2

Présente étude : juin à septembre 1994-2008 (71 657 km)

(1) Juin à août 2001-2003 (2 560 km) (Laran, 2005)*

(2) Juin à août 1988-1998 (Gannier, 1999)

(3) Campagne Greenpeace 1990-91, distribution et photo-id (5 237 km) (Fabbri & Lauriano, 1992)

(4) Août 1992 (Forcada et al., 1995)

(5) 2001, (Gannier, 2006)*.

(6) Mai à septembre 1994-1996 (13 354 km) (Di-Méglio, 1999)*,

* : jeu de données intégré à cette étude.

* : jeu de données intégré à cette étude.

2- Collecte des données

Les données en effort qui ont été regroupées dans cette étude provenaient d'équipes et de campagnes en mer diverses, dont les objectifs de recherche et les espèces ciblées étaient différents. En effet, certaines étaient orientées sur des estimations d'abondances avec un itinéraire relativement aléatoire, d'autres orientées sur la collecte de biopsies, et favorisaient l'échantillonnage des zones préférentielles des espèces ciblées. Leurs répartitions, spatiale ainsi que temporelle sur la période 1994-2008, sont donc très variables. De plus, seules les conditions d'observation satisfaisantes ont été conservées (vent Beaufort \leq 3). Par ailleurs les différences de capacité de détection pour chacune des espèces, ainsi que la variabilité des capacités de détection des différents observateurs n'ont pas été prises en compte dans cette étude. Ce type de traitement, par stratification, est réalisable

lorsque l'on travaille avec un petit nombre de plates-formes et d'observateurs et est donc impossible à une échelle plus grande et avec des sources multiples, comme c'était le cas dans cette étude.

Malgré cette relative hétérogénéité, cette étude permet d'obtenir de nouveaux résultats, tout à fait pertinents et de qualité permettant une meilleure connaissance de la distribution estivale des cétacés dans le Sanctuaire PELAGOS. Ces éléments seront utiles pour la gestion de cette aire marine protégée.

Dans le but d'améliorer l'homogénéité des données collectées dans le futur, la réflexion de plusieurs structures au sein du GIS3M a permis la mise en place d'une fiche d'observation commune testée en 2009, au cours des missions réalisées dans le cadre de l'action B1 du GIS3M, à bord du Columbus WWF. Cette fiche (Annexe 5) très complète résulte de la mise en commun de plusieurs années de travail au sein de différentes structures du GIS3M (EcoOcéan Institut, GECM, WWF, CRC). Nous pourrions ainsi réfléchir dans le futur à l'harmonisation d'une nouvelle base de données.

I.B Les données environnementales

La présence d'une variable environnementale significative pour la caractérisation de la distribution d'une espèce ou dans un modèle ne signifie pas qu'elle a directement un effet biologique sur cette espèce. Elle permet simplement de traduire un effet écologique, qui semble coïncider le plus souvent avec la présence de l'espèce, tel que la concentration de proies par exemple.

Les données topographiques

Les données sur lesquelles nous avons travaillé sont issues du catalogue GEBCO et sont relativement précises. Nous avons cherché par ailleurs à utiliser la bathymétrie MEDIMAP (CIESM/IFREMER 2008), plus précise que la précédente (1 km au lieu de 1 min) mais celle-ci n'a pu être utilisée comme le fichier GEBCO homogène spatialement car certains secteurs côtiers n'étaient pas définis. Nous avons donc travaillé avec GEBCO pour l'ensemble des analyses par souci d'homogénéité.

La pente n'a pu être intégrée dans toutes les analyses et cette variable serait sans doute à intégrer dans le futur pour une meilleure caractérisation de l'habitat. Cette variable a en effet montré à plusieurs reprises son intérêt pour la caractérisation de l'habitat des cétacés notamment en Méditerranée (Cañadas et al., 2002).

Les données biologiques

L'abondance de proies est considérée comme le facteur principal influençant la distribution des cétacés (Gregn & Trites, 2001). Il est cependant très difficile de disposer de telles données biologiques, les espèces proies des cétacés n'étant pas forcément étudiées. C'est encore moins aisé de disposer de telles données sur de vastes surfaces. Enfin les données existantes ne sont pas toujours représentatives des zones fréquentées par les cétacés. Cette lacune peut être pondérée par l'usage d'images satellites de couleur de l'océan qui seront indicatrices de la richesse

biologiques de la zone et qui ont l'avantage de couvrir une large zone de manière synchronisée.

Vinogradov (1955 in Jaquet, 1996) fait le postulat que le développement de la faune des couches profondes est relié à la productivité et à la quantité de biomasse en surface, en raison de leur migration verticale. Cependant il peut exister un décalage spatial important entre la structure de surface (convergence par exemple) et cette même structure à 500 m de profondeur à cause de l'inclinaison des isopycnes⁶ à partir de la surface (Jaquet, 1996).

Nous n'entrerons pas ici dans les détails relatifs aux différences entre les capteurs satellites. Pour la chlorophylle *a*, le capteur SeaWiFS a été privilégié pour sa large couverture temporelle (depuis septembre 1997), ainsi seules les données cétacés collectées entre 1998 et 2008 ont été conservées pour l'analyse sur la caractérisation environnementale. Comme le capteur Pathfinder, pour la température, ces données sont accessibles gratuitement dans le cadre d'un programme scientifique.

Sur le capteur SeaWiFS, une surestimation (d'un facteur 4 ou 5) des faibles concentrations en chlorophylle *a* ($< 0,1 \text{ mg.m}^{-3}$) a été montrée dans notre région d'étude (Bricaud et al., 2002). Cependant, d'après des comparaisons sur les concentrations en chlorophylle *a* obtenues sur le site DYFAMED (<http://www.obs-vlfr.fr/sodyf/>), au large de Nice, la donnée satellite semble être un indicateur correct d'une concentration moyenne dans la colonne d'eau sur 50 ou 200 m de profondeur (Laran, 2005). Nous pouvons donc considérer que malgré l'absence de correction régionale conseillée par Bricaud et al. (2002), le paramètre chlorophylle *a* mesuré par télédétection est un indicateur satisfaisant des variations environnementales du milieu occupé par les cétacés. Enfin pour des raisons de moyennes de pixels en bordure avec la terre et de réflectance bruitée venant de la terre, les données sont souvent moins précises sur une bande côtière (M. Petit, IRD, *comm.pers.*) qu'au large. Cela dit, ce biais est identique quels que soit les capteurs fournissant une information sur la période d'étude qui nous intéresse.

De même, plusieurs types d'algorithmes ont été développés pour l'obtention de la production primaire (Campbell et al., 2002). Parmi les choix possibles avec le logiciel utilisé (WIMSOFT), les options qui paraissaient les plus adaptées à la zone étudiée ont été choisies.

En conclusion, l'outil satellitaire doit être utilisé avec précaution, quant aux mesures qu'il fournit. Il nous a cependant permis la réalisation d'analyses qui n'auraient pas été possibles avec la seule utilisation des mesures *in-situ*. Ce travail nous a permis de déterminer les facteurs environnementaux qui permettaient de mieux caractériser la distribution de six espèces de cétacés présentes dans le Sanctuaire PELAGOS.

La présence du zooplancton reste cependant difficile à interpréter en utilisant simplement la chlorophylle *a*, dont les mesures de concentrations peuvent être biaisées sous l'effet du broutage. En Mer Ligure, McGehee et al. (2004) ont montré que la chlorophylle *a* (par mesure *in-situ*) était négativement corrélée à l'abondance du zooplancton de petite taille ($< 5 \text{ mm}$) en période estivale et qu'aucune corrélation de ces deux paramètres n'existait avec le zooplancton de plus grande taille ($> 5 \text{ mm}$), tels les euphausiacés. L'utilisation de la chlorophylle *a* n'est donc qu'un indicateur approximatif par rapport à la source de nourriture des cétacés.

⁶ Isopycnes : lignes fictives qui rejoignent les eaux d'égale densité.

L'échelle temporelle

La recherche des échelles spatio-temporelles les plus adaptées constitue un des problèmes majeurs dans la caractérisation de la distribution des cétacés. Etant donné que le jeu de données se répartissait sur onze années consécutives, l'échelle mensuelle a été préférée. En effet, en se limitant pour le traitement des variables environnementales aux mois de février à septembre, cela représentait déjà 88 périodes différentes à traiter.

Sur un jeu de données bien inférieur, une comparaison a été réalisée entre deux échelles de temps sur la période estivale et c'est l'échelle hebdomadaire (huit jours) qui permettait d'obtenir la meilleure modélisation (en régression logistique) pour le rorqual et de manière moins évidente pour le cachalot (Laran, 2005).

En Mer Ligure, par exemple, sur les trois zones hydrologiques distinguées dans la littérature (Béthoux et al., 1988), les zones frontale et centrale font l'objet de peu de mouvements horizontaux, ce qui nous permet une approche à court terme (< 4 mois) comme nous l'avons fait ; en revanche la zone périphérique est sujette à un déplacement important causé par le courant Ligure. Or les données que nous avons utilisées sont moyennées sur 30 ou 31 jours consécutifs, ce qui peut atténuer certains événements. Pour la zone du Sanctuaire PELAGOS, le décalage spatial auquel nous pouvons nous attendre entre l'apparition du bloom phytoplanctonique dans la zone frontale et la source potentielle de nourriture des espèces (Jaquet & Gendron, 2002), semble être relativement minime dès que l'on s'éloigne de la zone périphérique. En effet la zone centrale (à une trentaine de kilomètres des côtes dans la région de Nice) est relativement stable et peu atteinte par le courant Ligure qui longe les côtes continentales de l'Italie vers le large du Golfe de Lion. Dans la zone où circulent les courants Ligure et Corse, le temps de résidence de l'eau de surface est estimé à un mois (au mois d'août ; McGehee et al., 2004). Cependant le transport des masses d'eau semble concerner principalement le plancton de petite taille qui n'effectue quasiment pas de migration verticale (McGehee et al., 2004). Les organismes macroplanctoniques tels que les euphausiacés, qui sont consommés entre autres par les rorquals sont peu concernés, car ils effectuent une migration verticale qui les placent en-dessous de 200 à 300 m le jour (Andersen et al., 2001), voire sous 1 000 m de mai à juillet (Casanova, 1974; Sardou et al., 1996). De même, les poissons et les céphalopodes peuvent se déplacer pour se maintenir dans des zones qui leur sont plus favorables.

L'échelle spatiale

Les échelles spatiales que nous avons utilisées, sont dictées par l'origine des données satellites, à savoir 9x9 km environ. Pour l'analyse de l'abondance relative, le traitement géostatistique et l'ENFA, le dixième de degré a été préféré, ce qui correspond à des cellules d'environ 11 km en latitude et 8,0 à 8,4 km en longitude.

L'influence de ces échelles a été testée sur un large jeu de données (collecté dans le Nord-Est de l'Océan Atlantique) et cette étude montre qu'autant pour le rorqual commun que pour le cachalot les résultats des analyses faites avec de larges cellules (96x96 km) permettent d'obtenir des taux de prédiction supérieurs (Hamazaki, 2002). Cependant si l'utilisation future de ces cartes est liée aux risques de collisions, une relative précision est également nécessaire.

II - Distribution, abondance relative et habitat préférentiel des espèces

II.A Le rorqual commun

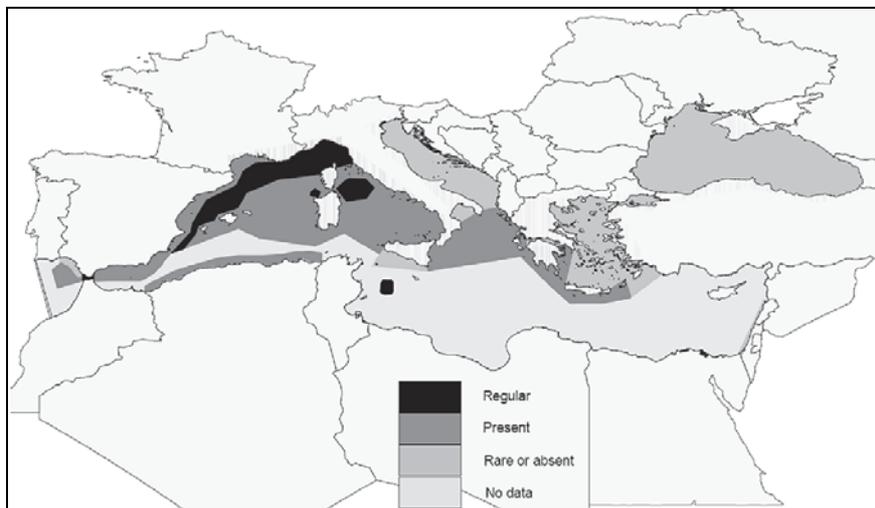
Le rorqual commun est le mysticète le plus régulièrement observé en Méditerranée. Sa population est estimée dans le bassin occidental à 3 500 individus en été (Forcada et al., 1996) et à environ 715 individus dans le Sanctuaire PELAGOS (Gannier, 2006). Dans cette étude, il a représenté 28% des observations (et 5% des individus) faites durant la période estivale entre 1994 et 2008 en Méditerranée nord-occidentale ce qui le place au deuxième rang des espèces les plus présentes dans le peuplement estival de cétacés de cette région. Ces résultats sont en accord avec ceux qui sont cités dans la littérature en mer Ligure. En effet, selon les auteurs, les valeurs sont le plus souvent comprises entre 3,6 et 5,9% des individus (Pulcini et al., 1993 ; Barberis et al., 1996 ; Di-Méglio, 1999 ; Gannier, 2005b ; Laran, 2005). Une exception toutefois, dans le nord du Golfe de Gênes, où le rorqual commun représente 16,8% des individus rencontrés durant les périodes estivales entre 2004 et 2006 (Moulin et al., 2008).

Entre 1994 et 2008, les groupes de rorquals communs rencontrés comprennent en moyenne 1,5 individus, ce qui est proche des valeurs trouvées dans différents secteurs de Méditerranée nord-occidentale. Dans cette zone, Di-Méglio (1999) obtient une taille très semblable : 1,7 individus par groupe. De même, Panigada et al. (2005) et Zanardelli et al. (1992) trouvent des tailles moyennes respectivement de 1,7 et 1,5 rorquals par groupe dans l'Ouest de la mer Ligure, tandis que Gannier (2005) et Laran & Drouot-Dulau (2007) obtiennent des valeurs de 1,6 et 1,5 individus par groupe respectivement en mer Liguro-provençale et centre ligure. De même, une moyenne de 1,4 individus par groupe a été observée en mer Thyrrhénienne (Marini et al., 1996) et au Nord Ouest de la Sardaigne (Lauriano, 1997).

Enfin, des études génétiques (Bérubé et al., 1998) ont montré que la population de rorqual commun de Méditerranée était différenciée de celle de l'Atlantique, pouvant être considérée comme une population à part entière.

Distribution

Le rorqual commun se distribue en Méditerranée occidentale de façon irrégulière tant au niveau spatial que temporel. Ainsi, une synthèse réalisée en 2006 (Reeves & Notarbartolo di Sciara, 2006) montre que cette espèce est présente dans quasiment toute la Méditerranée occidentale (Carte 78), mais qu'elle est régulièrement observée surtout dans le Nord et à l'Ouest de ce bassin. La fréquentation de ces divers secteurs de Méditerranée semble cependant varier tout au long de l'année. Elle est surtout très abondante en été dans le Nord du bassin occidental, du Golfe du Lion à la mer Tyrrhénienne avec des concentrations importantes au large des côtes liguro-provençales (Arcangelli et al., 2009 ; Cotté, 2009 ; David et al., 2001 ; Di-Méglio, 1999 ; Dubroca et al., 2004 ; Forcada et al., 1995 ; Gannier, 1997b ; Notarbartolo di Sciara et al. ; 1993). En dehors de cette période, le rorqual reste présent dans cette zone, mais se disperse dans des secteurs situés plus au Sud comme le montre certaines études récentes (Canese et al., 2006 ; Cotté, 2009 ; Guinet et al., 2005).



Carte 78. Synthèse des connaissances concernant la distribution du rorqual commun en Méditerranée. (Reeves & Notarbartolo di Sciara, 2006)

Abondance relative

Quelle que soit la méthode d'analyse utilisée ici, on note que cette espèce fréquente aussi bien le Sanctuaire PELAGOS que les eaux adjacentes situées plus à l'Ouest (mer provençale et sud du Golfe du Lion) comme le confirment les diverses études (Beaubrun et al, 1997 ; David, 2000 ; Di-Méglio, 1999 ; Forcada et al., 1996 ; Gannier, 2006 ; Notarbartolo et al., 2003). Le Golfe du Lion présente ainsi en été des abondances relatives comprises entre 0,013 et 0,043 individus par kilomètre (Di-Méglio, 1999 ; Gannier & Bourreau, 1999), tandis que la zone liguro-provençale avoisine des valeurs comprises entre 0,022 et 0,029 individus par kilomètre (Di-Méglio, 1999 ; Gannier, 2005b). Ces valeurs sont très proches de celles que nous obtenons pour la Méditerranée nord occidentale (0,017 ind.km⁻¹) et dans le Sanctuaire PELAGOS (0,012 ind.km⁻¹).

Dans le Sanctuaire, le rorqual commun semble surtout présent dans la partie Ouest, où les abondances relatives, toutes années confondues, sont essentiellement

comprises entre 0,03 et 0,3 ind.km⁻¹ par maille. Ces résultats sont en adéquation avec les résultats trouvés dans la littérature (Di-Méglio, 1999 ; Gannier et al., 2004 ; Laran & Drouot-Dulau, 2007 ; Panigada et al., 2005), soit des abondances relatives comprises entre 0,013 et 0,056 ind.km⁻¹. A l'Est du Sanctuaire, zone globalement moins profonde, les rorquals sont principalement vus au sud-est de la Corse, dans les eaux présentant les fonds les plus importants (au maximum 0,15 ind.km⁻¹ par maille). Cette zone apparaît d'ailleurs dans la carte produite par l'analyse par GLM, mais pas dans le résultat de l'ENFA. Ceci n'a rien de surprenant car la zone tyrrhénienne est surtout connue comme étant une zone de passage pour les rorquals en migration au printemps et à l'automne (Marini *et al.*, 1996 ; Arcangelli et al., 2009). Peu d'étude ont été réalisées en été dans ce secteur, mais toutes montrent de très faibles abondances de rorquals communs (Forcada et al. 1996 ; Gannier, 2006 ; Gannier et al., 2004). Le Nord du Sanctuaire semble, quant à lui, peu favorable à l'espèce en été, comme le montre les abondances relatives le plus souvent proches de zéro individu par kilomètre et par maille (présente étude). De même, une étude réalisée dans le Nord du Golfe de Gênes entre 2004 et 2006 (Moulin *et al.* 2008) montre une valeur de 0,008 individu par kilomètre, ce qui est bien inférieur aux abondances relatives obtenues habituellement en mer Ligure.

Enfin, il apparaît clairement dans cette étude comme dans d'autres (Laran & Gannier, 2006a ; Panigada et al., 2005) que les abondances relatives de rorqual commun peuvent varier d'une année sur l'autre (Figure 57). Certains auteurs (Panigada et al., 2005) montrent par ailleurs que ces variations pourraient être le reflet de tendances dans la population de rorqual de Méditerranée nord occidentale. D'après eux, la population de rorqual de leur zone d'étude (centre ligure) serait en décroissance de 1995 à 1999, après une phase de croissance régulière dans le début des années 90 (Figure 57). Cette diminution observée à la fin des années 90 est aussi observée dans d'autres secteurs plus vastes et sur notre jeu de données (présente étude ; Laran & Gannier, 2006a ; Figure 57). Cependant, il semble que cette tendance à la diminution ne soit plus de mise ces dernières années, si l'on se réfère à notre étude, que l'on prenne la totalité de notre jeu de données en effort (franco-italien) ou que l'on ne tienne compte que des efforts faits dans les zones propices au rorqual commun (données françaises, sans les données italiennes du Nord du Golfe de Gênes). En effet, depuis 2005 les abondances relatives annuelles observées montrent une légère augmentation.

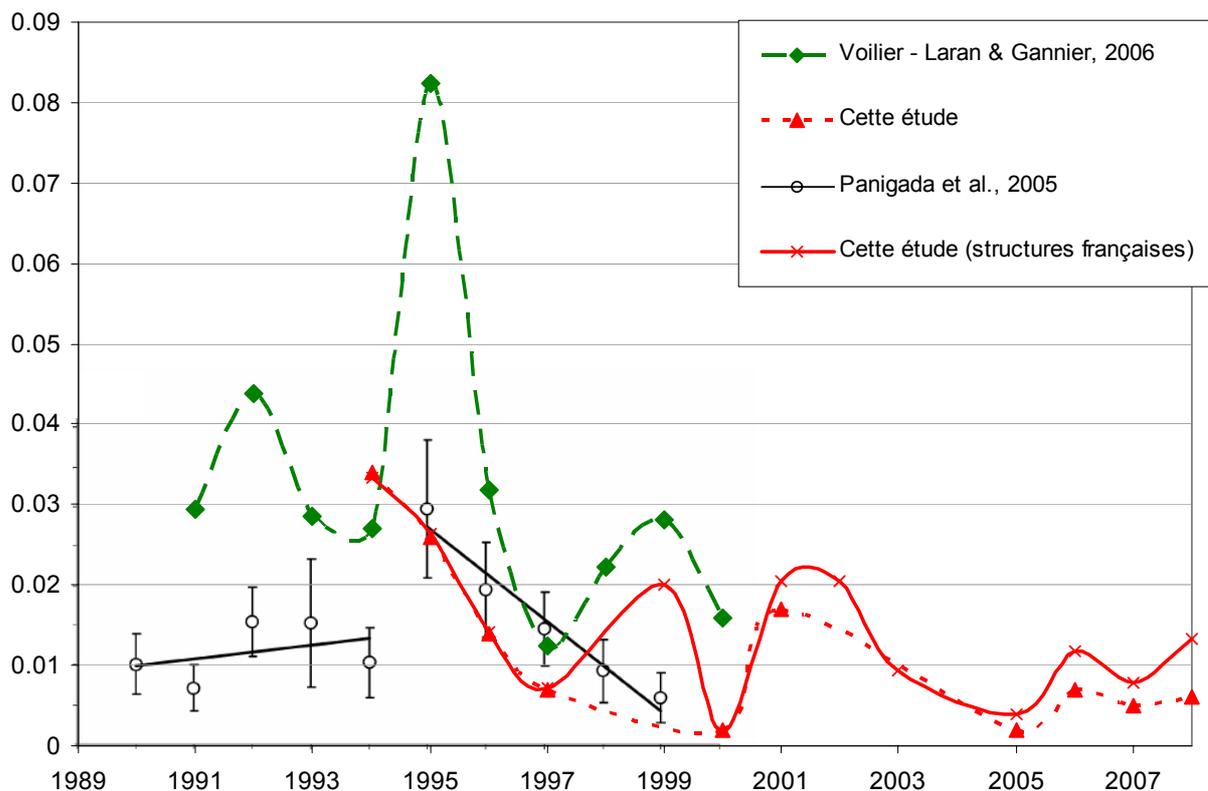


Figure 57. Comparaison de l'évolution du taux d'abondance relative des rorquals communs (ind.km^{-1}) de différentes études. Notre étude en rouge (trait plein données françaises en effort ; trait pointillé : données française et italiennes en effort) et les résultats obtenus sur des jeux de données indépendants de Tethys (Panigada et al., 2005) et du GREC (Laran & Gannier, 2006a).

Ces tendances sont toutefois à prendre avec précaution car les valeurs peuvent être biaisées par certains paramètres. Ainsi, une étude récente (Monestiez et al., 2009) a analysé un jeu de données sur le rorqual commun recueilli dans les mêmes conditions que les études citées précédemment (Laran et Gannier 2006a, Panigada et al. 2005 : transect de ligne et petite plateforme), dans un secteur situé au centre de la Méditerranée nord occidentale, entre 1994 et 2007. Les auteurs ont calculé des abondances absolues annuelles à partir de la technique du transect linéaire (logiciel Distance ; Buckland et al., 2001) et de la méthode de krigeage par bloc selon un modèle poissonnien (Monestiez et al., 2006). Leurs résultats (Figure 58) montrent que les valeurs obtenues par le logiciel Distance ont une tendance identique à celle que nous obtenons dans notre étude à l'aide des abondances relatives, à savoir une diminution entre 1994 et 1996 et une augmentation au cours des deux dernières années. Par contre, les valeurs obtenues par la méthode de krigeage, qui tient compte de l'aspect spatial des données, révèle une taille de population relativement constante dans ce secteur au cours des années. Ces différences constatées seraient dues en partie au fait que les échantillonnages, comme dans toutes les études citées, sont très hétérogènes d'une année sur l'autre en termes d'effort et de couverture spatiale de la zone d'étude car issues de missions non dévolues à l'estimation des populations. Pour sa part la méthode de krigeage permet en partie d'atténuer ce biais en comblant ce manque d'information dans les secteurs non

prospectés, entre autres (Monestiez et al. 2006). Il apparaît donc important dans l'avenir de prendre en compte cet aspect spatial dans les analyses pour estimer les évolutions des populations.

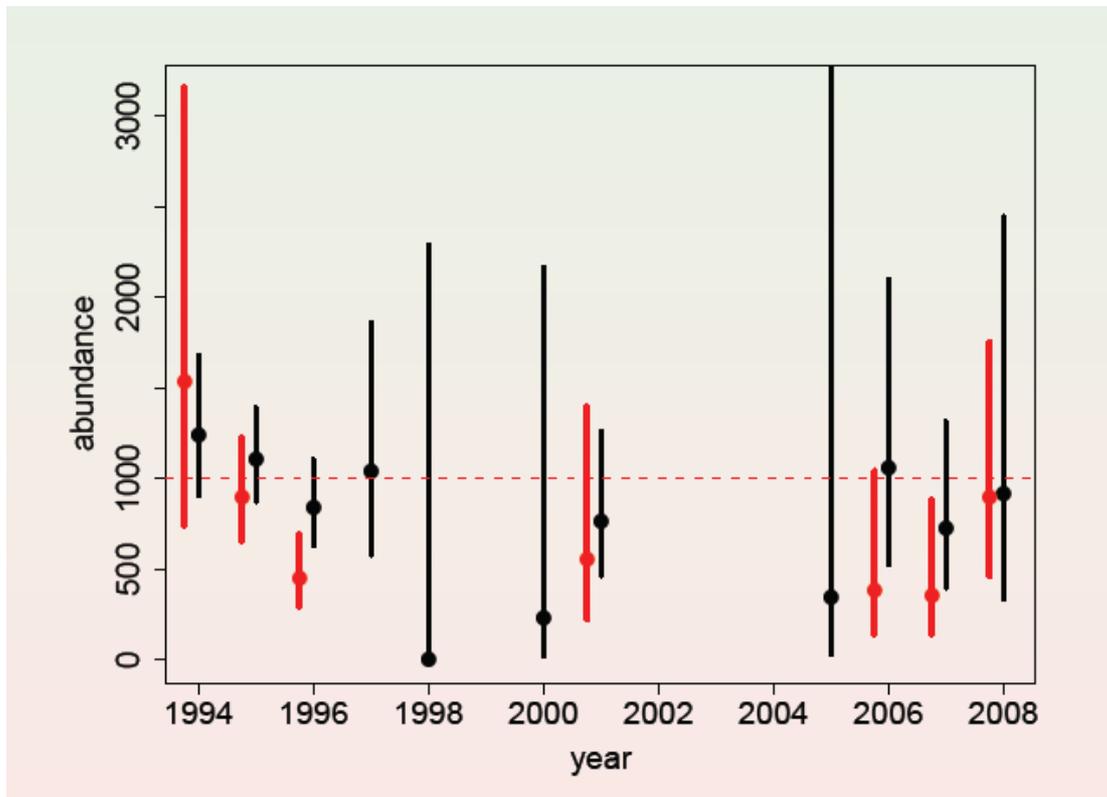


Figure 58. Comparaison des abondances absolues calculées à partir de la technique du transect linéaire (logiciel DISTANCE) (en rouge) et la technique de krigeage par bloc selon un modèle poissonnien (en noir). Les intervalles de confiance à 95 % sont représentés par les barres d'erreur verticales. (d'après Monestiez et al., 2009).

Caractérisation de l'habitat

Le rorqual commun s'aventure peu sur le plateau continental ou sur le talus puisque seulement 12% des observations de cette espèce ont été faites dans ce secteur, où 50% de l'effort a été réalisé.

De manière générale, cette espèce semble affectionner plus particulièrement le domaine pélagique puisque toutes nos observations ont été faites entre 2 200 et 2 600 mètres de profondeur. Cette affinité pour les fonds supérieurs à 2 000 m s'observe dans tous les secteurs de Méditerranée nord occidentale, du Golfe du Lion à la mer Tyrrhénienne, où l'on note globalement des profondeurs moyennes allant de 2 041 à 2 436 mètres (Marini et al., 1996 ; Di-Méglio, 1999 ; Gannier, 2005b ; Notarbartolo et al., 2003). Cette affinité peut toutefois varier d'une année sur l'autre en fonction de la disponibilité des proies. Ainsi Azzelino et al. (2008) et Airoldi et al. (1999) ont montré qu'en 1997 les rorquals communs de mer Ligure ont préféré, durant l'été, des eaux moins profondes (en moyenne 1 301 m en 1997) que les autres années (entre 1996 et 2000). Le même phénomène a été observé en 1997 dans l'Ouest du bassin nord-occidental, où les rorquals ont été vus principalement sur des fonds inférieurs à 55 mètres dans le Golfe du Lion (Beaubrun et al., 1999).

La distribution estivale des rorquals communs dans le Sanctuaire PELAGOS, comme en Méditerranée nord occidentale, est liée à différents paramètres

environnementaux (bathymétrie, température de surface, chlorophylle *a*, hydrologie, etc.) et plus particulièrement à la distribution des proies de ces animaux : l'euphausiacée *Meganyctiphanes norvegica* (Relini et al. 1992 ; Astruc, 2005). Plusieurs études ont montré que la distribution de ces proies était sous l'influence de différents paramètres environnementaux qui peuvent varier d'une année sur l'autre ou tout au long d'une saison estivale. En particulier, la distribution et la concentration de ces proies, en été, semblent liées au cycle de développement des premiers niveaux trophiques qui a lieu au printemps (McGehee et al., 2004 ; Relini et al. 1994 ; Casanova, 1974 ; Labat et Cuzinroudy, 1996). Ce qui est en adéquation avec les résultats que nous avons trouvés dans cette étude, puisque quel que soit le modèle utilisé, l'habitat préférentiel estival de ces cétaqués a été expliqué en partie par la distribution printanière de la chlorophylle *a* ou par la production primaire dérivée (cf. § II.C.). Globalement, ces proies se situent dans des secteurs productifs comme les zones d'upwelling et de front qui se caractérisent par une forte production primaire (Labat & Cuzin-roudy, 1996 ; Simard & Lavoie, 1999 ; Simard & Cotté, 2005 ; Cotté, 2009 ; Doniol-Valcroze *et al.* 2007). En Méditerranée nord occidentale ces secteurs productifs se localisent principalement au niveau de la zone frontale du Courant Nord Méditerranéen (CNM) et du dôme de divergence au centre du bassin, qui se caractérise par une quantité importante de nutriments et d'upwellings (Gostan & Nival, 1967 ; Molinero et al., 2007 ; Pinca & Dallot 1995). De même, on remarque que des structures à méso-échelle instables et temporaires peuvent être très productives. Elles sont engendrées par les méandres du courant et peuvent parfois aboutir à la formation de tourbillons (Jacques, 1990; Le Vourch et al., 1992 ; Warren et al., 2004 ; Tintoré et al. 1991). Ces structures sont considérées dans la zone Ligure comme des zones de concentration d'euphausiacées juvéniles (Jacques, 1994). Elles deviennent attractives au cours de l'été pour les prédateurs supérieurs comme le rorqual commun, lorsque les euphausiacées grandissent, alors qu'elles ne l'étaient pas au printemps. Cela explique en partie pourquoi, dans cette étude comme dans d'autres, la distribution du rorqual commun en Méditerranée nord occidentale peut varier tout au long de l'été. Ainsi, la distribution du rorqual commun au printemps semble surtout liée aux structures frontales permanentes, tandis que de juin à septembre, elle est également liée aux structures frontales temporaires (Littaye et al., 2004 ; Relini et al. 1992 ; McGehee et al., 2004 ; Azzelino et al., 2008). En fin d'été, la répartition des rorquals serait plutôt liée aux zones frontales permanentes situées plus proches des côtes dans la zone liguro-provençale où certaines zones d'upwelling comme celle à l'Est de Bonifaccio (Littaye et al., 2004). Ces fluctuations de la distribution mensuelle des rorquals ont été observées dans cette étude grâce à différentes analyses (cf. § II.C.1.a et II.B.1). Ainsi, la distribution en début d'été (juin, juillet) est plus vaste que celle rencontrée en fin d'été où la répartition est plus restreinte et plus proche des côtes liguro-provençales. Ceci s'explique en partie par le fait que le rorqual commun en début d'été se distribue en priorité sur des secteurs ayant connu une forte production primaire au printemps (Littaye et al., 2004) et donc dans une grande partie du bassin nord occidental.

Enfin, d'après nos différentes analyses, il semble que l'habitat préférentiel du rorqual commun en Méditerranée nord occidentale se caractérise par des températures de surface comprises entre 19 et 25°C. Ces valeurs, proches de celles habituellement trouvées dans la littérature entre 22,3 et 26,7°C (Forcada et al., 1996 ; Laran et Gannier, 2008), se différencient tout de même par la valeur basse de cette fourchette. Cela est peut-être dû au fait que les données analysées dans ces études sont beaucoup plus restreintes soit au niveau spatial, soit au niveau temporel.

Forcada et al. (1996) ne calculent ainsi ces valeurs de température qu'à partir d'une seule année (1991) de prospection en Méditerranée nord occidentale, tandis que Laran et Gannier (2008), calculent ces valeurs de température à partir de quatre années (2001 à 2004) mais uniquement en mer Ligure : il devient alors difficile de comparer ces résultats avec les nôtres.

II.B Le cachalot

Le cachalot se rencontre dans tous les océans du monde. En Méditerranée nord-occidentale, les observations récentes signalent le plus souvent des individus inférieurs à 15 m (Drouot et al., 2004a). En période estivale, des groupes en moyenne de 1,3 (identiques à notre estimation) à 2,6 individus sont observés, au Nord du bassin méditerranéen occidental (Di-Méglio & David, 2008 ; Drouot et al., 2004a ; Laran & Gannier, 2006b). Cette configuration, pourrait indiquer une dispersion pour utiliser au mieux les ressources trophiques disponibles (Jaquet & Gendron, 2002). Une autre explication aux petits effectifs de groupes, pourrait être l'impact des activités humaines, puisque les captures mortelles de cachalots dans les filets dérivants ont été très nombreuses (Aguilar & Silvani, 1995 ; Notarbartolo di Sciara, 1990) et restent encore d'actualité en 2004 (Pace et al., 2008).

La population méditerranéenne de cachalot semble, au moins en partie, résidente. Les études génétiques sur l'ADN mitochondrial d'individus méditerranéens et atlantiques ont montré un niveau significatif de divergence entre les deux régions (Drouot et al., 2004b). Les connaissances sur le comportement des femelles, ainsi que l'observation de nouveaux-nés dans le Sanctuaire PELAGOS (Di-Méglio & David, 2008 ; Laran & Gannier, 2006b ; Moulins & Würtz, 2005) confirme que les femelles restent dans le bassin pour mettre bas. Aujourd'hui encore, le déplacement des mâles et la fréquence des passages vers l'Atlantique sont très mal connus. Aucune estimation fiable de la population de cachalots n'est encore disponible pour le bassin méditerranéen, alors que cette espèce est considérée comme « en danger par l'IUCN et qu'elle a fait l'objet de nombreuses captures dans des filets dérivants, au cours des années 80 (Aguilar & Silvani, 1995; Notarbartolo di Sciara, 1990).

Distribution

Sur le jeu de données analysé, c'est au sein même du Sanctuaire PELAGOS qu'apparaissent la plus grande partie des cellules révélant un taux d'abondance relative du cachalot différent de 0. Cependant quelques-unes des valeurs maximales sont enregistrées en limite extérieure ouest du Sanctuaire.

La rareté des rencontres en mer Tyrrhénienne est confirmée par plusieurs études. Entre 1989 et 1992, seule une observation a été enregistrée en période estivale sur plus de 80 traversées en ferry entre l'Italie et le nord de la Sardaigne (Marini et al., 1996). De même, sur 1 400 km prospectés à l'Est de la Corse, seule une observation de cachalot a été enregistrée par Gannier (1999). Et plus récemment sur plus de 56 traversées effectuées entre juin et septembre sur des ferries entre Savone et Bastia ou Livourne et Bastia (Arcangeli et al., 2009), aucune observation de cachalot n'a été réalisée. Cependant, si Gannier et al. (2002) confirment le plus faible indice visuel en mer Tyrrhénienne pour le cachalot, les résultats de l'échantillonnage acoustique donnent une estimation deux fois plus

élevée. Le cachalot passe en moyenne 15% du temps de son cycle de sonde en surface, alors qu'il devient audible avec un hydrophone sur 64% du cycle (Drouot et al., 2004b). Cette observation montre bien l'intérêt de l'échantillonnage acoustique pour une telle espèce. Malheureusement la logistique et surtout la collecte et le traitement des données acoustiques ne sont pas faciles à mettre en place pour tous les types de structures.

Abondance relative

De manière générale dans le bassin occidental, la zone du Golfe du Lion est considérée comme la plus fréquentée par les cachalots, avec $2,2 \times 10^{-2}$ ind.km⁻¹ (Gannier et al., 2002). Ce résultat est estimé lors d'une étude pluriannuelle (1997 à 2000), réalisée au Nord de la Méditerranée Occidentale par échantillonnage acoustique (Gannier et al., 2002). En Mer Ligure et en Mer Tyrrhénienne, par méthode visuelle uniquement, l'estimation est de $0,41 \times 10^{-2}$ ind.km⁻¹ (Gannier et al., 2002). Cependant par échantillonnage visuel également, Gannier (1999) obtient $0,13 \times 10^{-2}$ ind.km⁻¹ pour les secteurs Ligure, Ouest et Est-Corse (qui représentent plus ou moins la zone du Sanctuaire) entre juin et août, pour une étude pluriannuelle, ce qui est très proche de nos résultats : une moyenne de $0,22 \times 10^{-2}$ ind.km⁻¹ sur toute la période et toute la zone d'étude et $0,15 \times 10^{-2}$ ind.km⁻¹ dans le Sanctuaire. Les zones tyrrhénienne et ligure sont considérées comme équivalentes en considérant les résultats acoustiques uniquement, mais des valeurs plus fortes sont estimées, avec $0,74 - 0,78 \times 10^{-2}$ ind.km⁻¹ respectivement (Gannier et al., 2002).

En combinant les informations visuelles et celles d'un échantillonnage acoustique régulier dans le Sanctuaire, on déduit sur les données collectées fin juillet 2001 (Gannier, 2006) une moyenne (en pondérant par l'effort) de $0,37 \times 10^{-2}$ ind.km⁻¹. Entre avril et septembre, $1,02 \times 10^{-2}$ ind.km⁻¹ est obtenu en Mer Ligure (Laran et al., *in press*).

Dans d'autres zones de Méditerranée, comme au sud de l'Espagne, le taux d'abondance relative moyen est du même ordre de grandeur que celui obtenu dans le Sanctuaire : il est estimé à $0,86 \times 10^{-2}$ ind.km⁻¹ (Cañadas et al., 2005).

Caractérisation de l'habitat

Dans le même secteur géographique, Azzelino et al. (2001a ; 2001b) ont montré l'influence des variables topographiques par analyse en composante principale et par régression multiple pour le cachalot, mais les paramètres biologiques n'ont pas été testés.

La répartition bathymétrique du cachalot montre une préférence plus ou moins marquée pour le talus, bien visibles sur les résultats de l'ENFA et du GLM. Mais ces préférences sont aussi influencées par la répartition de l'effort de prospection. En effet, par exemple dans l'étude de Drouot (2003), dont l'échantillonnage favorisait la zone du talus pour le suivi des cachalots, 54% des détections se localisaient entre les isobathes 500 et 1 500 m, alors que pour Laran (2005), sur des traversées entre la Corse et le continent (priviliégiant donc la zone du large) cette strate ne représente que 31% des détections. Au cours de cette dernière étude, les fonds entre 1 400 et 2 200 m ont été identifiés comme zones favorables pour la présence de cachalots (50% des détections). Cette fréquentation de la zone du large correspond également aux observations de Gordon et al. (2000), qui dans la zone du Sanctuaire n'avaient

pas pu mettre en évidence de différence significative des taux de détections acoustiques, sur quatre classes de profondeurs.

De manière générale, le cachalot occupe préférentiellement les zones du talus et du large ; sa distribution étalée en Mer Ligure (Gordon et al., 2000) pourrait être liée à son alimentation (Gannier et al., 2002). Si l'on se réfère aux observations de Gannier et al. (2002) portant sur l'ensemble du bassin méditerranéen, les individus se répartissent dans des zones où les fonds sont compris entre 100 et 2 800 m, avec une moyenne de 1 400 m. Nos résultats varient de 64 à 2 850 m avec une moyenne sur l'été de 2 112 m.

Dans le Golfe de Californie (Jaquet & Gendron, 2002) ou au large de la Nouvelle-Ecosse (Griffin, 1999) aucune différence significative n'apparaît sur la répartition des observations de cachalots en fonction de la profondeur de la colonne d'eau. D'ailleurs dans l'Océan Pacifique, Jaquet & Whitehead (1996) montrent qu'aucune influence de la topographie n'apparaît à une échelle inférieure à 550 km.

En Méditerranée, Drouot (2003) a montré, avec une résolution spatiale de 18,5 km, que la distribution des cachalots est influencée par la longitude, celle-ci pouvant traduire les différences biologiques ou hydrologiques, le gradient de profondeur et la présence de canyons. Il ressort également de son analyse que les zones de forte productivité et la température (in situ) ne semblent pas influencer significativement la distribution de l'espèce pour l'ouest du bassin nord occidental. De même, sur un jeu de données en partie similaire, Praca (2004) montre qu'au niveau du secteur Provence le facteur de différence de température n'est pas significatif à la différence du Golfe du Lion. Griffin (1999) fait le même constat avec une résolution de 10 km dans la zone de Georges Bank. Enfin, les observations de Jaquet & Whitehead (1996) dans le Pacifique Sud montrent une corrélation positive entre la quantité de biomasse présente en subsurface et la présence de l'espèce à une échelle de plus de 200 km.

Les études précédentes concernant l'effet de l'échelle spatiale sur les relations entre la distribution des cachalots et l'environnement ont montré un accroissement des relations avec une augmentation de l'échelle (Jaquet & Whitehead, 1996 ; Hamazaki, 2002). En revanche Drouot (2003) a testé deux résolutions : 18,5 et 37 km et obtient de meilleurs résultats avec la résolution la plus faible.

Dans le Golfe du Mexique Baumgartner et al. (2001) observent une répartition sur le talus et la zone profonde et une relation est montrée avec la profondeur de l'isotherme 15°C, suggérant que l'espèce évite le centre des anticyclones. De même Waring et al. (1993) décrivent une distribution des cachalots à l'intérieur ou autour des périphéries de tourbillon chaud dans l'Atlantique. En raison de son régime alimentaire, essentiellement composé de céphalopodes (Roberts, 2003), et de la profondeur à laquelle il capture ses proies, estimée à 500-800 m (Drouot et al., 2004a) en Méditerranée, le cachalot présente peu d'espèces concurrentes, comme la baleine à bec de Cuvier (*Ziphius cavirostris*, Whitehead, 2003).

L'ajout de variables supplémentaires telle que l'altimétrie semble donc une voie intéressante pour caractériser l'habitat de cette espèce dans le futur. D'autre part il serait intéressant d'envisager de traiter indépendamment les mâles et les femelles, dont les comportements migratoires sont différents. Cette option, réalisée sur des données de captures, a permis en Colombie-Britannique d'obtenir des résultats plus significatifs (Gregs & Trites, 2001). Sur le terrain, la distinction des sexes n'est cependant pas si évidente. Seule la distinction groupe sociaux avec jeunes / petit groupe d'adultes ou individus isolés pourrait être envisagée, mais les observations de groupes sociaux, bien que signalées sont relativement rares dans le Sanctuaire.

II.C Le globicéphale noir

Le globicéphale noir appartient aux huit espèces communes des eaux du Sanctuaire, mais sa présence est cependant considérée comme faible (Gannier, 2005). En Méditerranée, il fréquente surtout le bassin occidental, et particulièrement la zone du Sanctuaire en période estivale (Gannier, 2006 ; Laran, 2005 ; Praca et al 2008).

Dans le bassin nord occidental, la taille des groupes varie en moyenne de 21,7 à 28,4 individus (Gannier, 1999 ; Gannier, 2005 ; Laran et al., *in press*). Ces estimations sont peu différentes de notre moyenne de 21,4 sur les données collectées en effort. Peu d'études concernent cette espèce dans la zone du Sanctuaire.

Dans le secteur Ligure, l'espèce n'a été observée qu'en été et automne (Gannier, 1999 ; Laran, 2005 ; Laran et al., *in press*), ce qui semble indiquer une tendance migratoire très prononcée, mais assez peu d'informations sont connues pour cette espèce. En Mer Tyrrhénienne, des observations ont été rapportées en mars et mai (Marini et al., 1996), et grâce à la photo identification la fidélité d'un groupe relativement stable au cours de cinq années successives a été démontrée. (Mussi et al. 2000).

Distribution

L'espèce est signalée dans le Golfe du Lion en début d'été (Di-Méglio, 1999 ; Mangion & Gannier, 2002). L'absence constatée sur notre jeu de données en Mer Tyrrhénienne confirme les résultats de Marini et al. (1996), puisque entre 1989 et 1992, seules deux observations de globicéphales noirs ont été faites sur plus de 80 traversées en ferry entre l'Italie et le nord de la Sardaigne. De même, sur 660 km et 1 400 km prospectés à l'Est de la Corse, aucune observation de globicéphale noir n'a été enregistrée (Gannier, 1999; Gannier, 2005). Ces résultats montrent une affinité de l'espèce beaucoup plus forte pour la zone Provence. Les globicéphales noirs n'ont cependant pas été rencontrés dans le Golfe du Lion, l'Est et l'Ouest de la Corse par Gannier (1999a).

Abondance relative

En Mer Ligure en période estivale, Laran et al (*in press*) obtient $4,3 \times 10^{-2}$ ind.km⁻¹ une valeur similaire à Gannier (1995) pour la Méditerranée Nord-Occidentale ($5,2 \times 10^{-2}$ ind.km⁻¹) en moyenne sur la période de juillet à septembre. Notre estimation pour le Sanctuaire de $1,4 \times 10^{-2}$ ind.km⁻¹ est plus faible et se rapproche de l'estimation de Gannier (1999), $2,4 \times 10^{-2}$ ind.km⁻¹ pour la zone Ligure. Cependant ce même auteur atteint $9,7 \times 10^{-2}$ ind.km⁻¹ dans le secteur Provence, qui semble être le secteur le plus propice pour les globicéphales noirs. Sur l'ensemble de la zone d'étude nous obtenons $2,3 \times 10^{-2}$ ind.km⁻¹, ce qui montre que le Sanctuaire ne semble pas être la zone la plus propice pour cette espèce.

La Mer d'Alboran est connue pour accueillir une quantité importante de globicéphales noirs. Le taux moyen d'abondance relative pour les globicéphales dans le Sud de l'Espagne est de $0,53$ ind.km⁻¹ (Cañadas et al., 2005). Sachant que la taille des groupes est beaucoup plus importante, avec 41 individus en moyenne (Cañadas & Sagarmínaga, 2000).

L'hypothèse d'un déplacement des individus de la Mer d'Alboran vers la Mer Ligure semble peu probable, puisque les abondances maximales sont enregistrées en juillet dans les deux zones (Gannier, 1995a ; Cañadas & Sagarminaga, 2000). Une étude en cours montre d'ailleurs une relative différenciation des populations de globicéphales noirs au sein du bassin Méditerranéen (*Com. pers.* : P. Verborgh).

Caractérisation de son habitat

Une exigence de l'espèce au niveau des conditions hydro-biologiques pourrait être à l'origine de leur présence en zone Liguro-Provençale (Gannier, 1999a) ou en Mer d'Alboran (Cañadas & Sagarminaga, 2000). Cependant l'espèce reste peu observée dans le Sanctuaire et uniquement en été et début d'automne ; il est donc difficile de bien comprendre les facteurs qui peuvent influencer sa distribution.

Dans le bassin Liguro-provençal, une affinité bathymétrique forte pour les profondeurs supérieures à 2 000 m a été montrée en été (Di-Méglio, 1999 ; Gannier, 1998b). En Mer d'Alboran, l'espèce semble utiliser une strate bathymétrique différente puisqu'un grand nombre d'observations a été réalisé entre les isobathes 500 et 1 200 m (Cañadas & Sagarminaga, 2000).

Pour le globicéphale noir, la distribution générale des observations par rapport à la côte coïncide avec les observations antérieures avec une moyenne comprise entre 41 et 47 km (Gannier, 2005; Laran, 2005; Mangion & Gannier, 2002). Du point de vue bathymétrique, les profondeurs moyennes des observations oscillent en Méditerranée nord-occidentale entre 1 068 et 2 535 m, selon le secteur considéré (Di-Méglio, 1999, Gannier, 2005; Laran, 2005). Nos résultats sont en adéquation avec ces résultats puisque nous obtenons une profondeur moyenne de 2 246 m avec un minimum de 422 m et une profondeur maximale de 2 763 m. L'espèce semble adopter une distribution différente en Mer d'Alboran, puisque le globicéphale est observé uniquement entre 380 et 1 550 m de profondeur (Cañadas et al., 2002). Sur ces échantillonnages, réalisés à diverses périodes de l'année, Cañadas et al. (2002) observent une profondeur moyenne de 894 m, alors que nous sommes sur toute la période estivale à 2 246 m.

La préférence du globicéphale noir pour les eaux tempérées et tropicales (Bernard & Reilly, 1999) pourrait expliquer sa présence principalement estivale (Gannier, 1995, Laran, 2005). Cependant des observations hivernales ont été réalisées en Mer Ligure (Podesta & Magnaghi, 1988 ; Moulins & Würtz, 2005), ce qui montre que la température ne semble pas être un facteur limitant.

En Méditerranée le globicéphale noir est un teutophage préférentiel (Orsi-Relini & Garibaldi, 1992 ; Desportes, 1985 ; Astruc, 2005), ce qui diffère des individus de l'Atlantique, qui consomment également du poissons (Clarke 1985). En Mer Ligure, d'après deux études réalisées à l'aide de capteurs placés quelques heures sur des individus (Baird et al., 2002 ; Airoldi et al., 2003), le comportement de chasse en profondeur apparaît après le coucher du soleil. L'animal peut alors atteindre 650 m lors d'une plongée d'une quinzaine de minutes. En journée, les plongées restent courtes et superficielles. Pour Baird et al. (2002), bien qu'un seul individu ait pu être suivi sur une période suffisante, ce phénomène pourrait correspondre au début de la remontée de *Todarodes sagittatus*, céphalopode dont la migration verticale est connue (Quetglas et al., 1999).

Dans ces conditions, les zones de distribution hivernale que l'on peut envisager sont : le nord des Baléares, le sud de la Mer Tyrrhénienne et/ou le Bassin Algérien. Une prospection en saison froide dans les deux premières régions évoquées permettrait éventuellement de valider une de ces hypothèses. Dans d'autres zones du monde, les migrations saisonnières des globicéphales noirs, ainsi que certains déplacements du large vers le talus, semblent corrélées aux périodes de ponte de certains céphalopodes (Bernard & Reilly, 1999), il serait donc intéressant de croiser nos résultats avec des connaissances écologiques plus approfondies de leurs proies principales.

II.D Le dauphin de Risso

Le dauphin de Risso se rencontre dans toutes les mers chaudes et tempérées du globe. En Méditerranée, il semble fréquenter régulièrement les deux bassins tout au long de l'année (Notarbartolo et al., 2003 ; Reeves & Notarbartolo di Sciara, 2006). Espèce exclusivement teutophage (Astruc, 2005), ce dauphin se distribue de façon irrégulière en Méditerranée occidentale. Bien que rencontré dans l'ensemble de la Méditerranée occidentale, le dauphin de Risso est surtout considéré comme régulier en Mer d'Alboran, autour des Baléares et en mer Ligure (Cañadas et al., 2002 ; Reeves & Notarbartolo di Sciara, 2006) et ce, tout au long de l'année. En période estivale, la taille moyenne des groupes peut varier entre 8 et 37 individus, selon le secteur de Méditerranée nord-occidentale considéré (Azzelino et al., 2008 ; Di-Méglio, 1999 ; Notarbartolo et al., 1993 ; présente étude). Dans cette étude nous obtenons ainsi pour cette région un effectif moyen de 9,2 individus par groupe. Globalement, les groupes de dauphin de Risso les plus importants semblent se situer en été au Nord du Sanctuaire PELAGOS (en moyenne 37 individus ; Azzelino et al., 2008), et en Méditerranée centrale et Mer Tyrrhénienne, où l'on a des groupes de dauphins de Risso qui atteignent 16,6 individus en moyenne (Notarbartolo di Sciara et al., 1993). Par contre, l'Ouest du Sanctuaire (bassin corso-liguro provençal) et le Golfe du Lion accueillent en général en été des groupes de moindre importance : 8 individus par groupe dans le Golfe du Lion (Di-Méglio, 1999, (n= 6 obs.)) et entre 8,8 et 13,3 individus dans la mer Ligure (Di-Méglio, 1999 ; Laran, 2005). Ces derniers résultats sont en adéquation avec ce que nous avons trouvé pour la zone du Sanctuaire, soit 8,5 individus par groupe si nous considérons comme ces auteurs uniquement les données en effort.

Enfin, des études récentes ont montré que la population de dauphins de Risso qui se rencontre en Mer Ligure est génétiquement différente de celle de l'Est de l'Atlantique Nord (Gaspari et al., 2007).

Distribution

Cette espèce est signalée en Méditerranée nord-occidentale du Golfe du Lion à la mer Tyrrhénienne (Azzelino et al., 2008 ; Bompar, 1997a ; David, 2000 ; Di-Méglio 1999 ; Gannier, 2006 ; Gannier et al., 1994 ; Marini et al. 1996 ; Praca et Gannier, 2008 ; Reeves et Notarbartolo di Sciara, 2006 ; présente étude). Cependant, la fréquentation de ces secteurs semble varier tout au long de l'année, comme cela a été observé dans d'autres parties du monde (Kruse et al., 1999 ; Baumgartner, 1997). Ainsi, certains auteurs (Bompar, 1997b ; Laran, 2005 ; Marini et al., 1996), montrent que cette espèce fréquente toute l'année le centre de la mer Ligure et les

eaux provençales, mais qu'elle est moins présente durant la période estivale. Azzelino et al. (2008) remarquent quant à eux que cette espèce est statistiquement présente chaque année à la même période (de fin juin et à fin juillet) dans le Nord-Est du Sanctuaire PELAGOS. Di-Méglio (1999) note qu'entre 1994 et 1996 cette espèce est observée en période estivale dans le Golfe du Lion et la zone Liguro provençale, uniquement à partir de fin juin - début juillet alors que les côtes corses ne le sont qu'entre mi juillet et mi août. Ces variations de distribution semblent être le reflet de mouvements. Ceci est confirmé par différentes études sur la photo-identification qui montrent que ces animaux reviennent d'une année sur l'autre dans les mêmes secteurs de Méditerranée nord-occidentale, mais aussi qu'ils ne sont pas résidents tout au long de l'année (Airoldi et al, 2005; Bompar, 1997b ; Cañadas et Sagarminaga, 1996 ; David et Di-Méglio, 1999 ; Polo et al., 2009). Ces cétacés peuvent se déplacer sur de grandes distances durant l'été. Un individu a ainsi effectué, le même été, près de 130 km entre le Golfe du Lion et la Côte d'Azur en 38 jours, tandis qu'un autre a effectué en 7 jours plus de 100 km entre la Corse et le continent (David et Di-Méglio, 1999). Polo et al. (2009) précisent que les dauphins de Risso de Méditerranée nord-occidentale ont un comportement de nomadisme : la population serait formée de 7 à 8 grandes unités sociales qui se déplaceraient régulièrement entre le Nord de la mer Ligure et le Golfe du Lion. Azzelino et al. (2008), quant à eux, notent que ces animaux se distribuent plus à l'Ouest en septembre qu'en juillet.

Globalement, notre étude confirme que cette espèce est bien présente durant la période estivale aussi bien dans qu'en dehors du Sanctuaire, et qu'elle affectionne plus particulièrement les côtes continentales françaises, le Nord du Golfe de Gênes, et le Nord de la Corse, où Viale (1981) rapporte un pic d'observations en été. Par contre, dans la zone Tyrrhénienne, nos observations restent faibles, à l'opposé des résultats de Gannier (2006) qui donne la mer Tyrrhénienne comme le secteur du Sanctuaire PELAGOS présentant le plus de dauphin de Risso en été. Ceci pourrait en partie s'expliquer par le fait que cette zone a été peu prospectée dans cette étude.

Abondance relative

Dans le Sanctuaire PELAGOS, notre étude montre des abondances relatives estivales du dauphin de Risso en moyenne de $0,56 \times 10^{-2}$ ind.km⁻¹ et de $0,07 \times 10^{-2}$ obs.km⁻¹, ce qui représente la limite inférieure des valeurs trouvées dans la littérature dans ce secteur. En effet, de juin à septembre, Laran (2005) et Gannier (1999) trouvent, dans le secteur centre Ligure, des abondances relatives comprises entre $0,55$ et $0,72 \times 10^{-2}$ ind.km⁻¹, tandis que Di-Méglio (1999) trouve, entre 1994 et 1996, des valeurs allant de $1,19$ à $1,73 \times 10^{-2}$ ind.km⁻¹ respectivement dans la zone liguro-corse et liguro-provençale. De même, Gannier (2006) donne, pour 2001, des valeurs comprises entre 0 et $4,76 \times 10^{-2}$ obs.km⁻¹ dans les différents secteurs prospectés dans le Sanctuaire, soit une moyenne de $2,6 \times 10^{-2}$ obs.km⁻¹ dans l'ensemble du Sanctuaire. Enfin, dans le secteur Nord du Golfe de Gênes, des taux d'observation de $0,2 \times 10^{-2}$ obs.km⁻¹ ont été obtenus en moyenne entre 2004 et 2006 (Moulin et al., 2008). Les valeurs faibles obtenues dans le Sanctuaire sont probablement dues à un biais d'échantillonnage. En effet, contrairement aux autres études, cette abondance relative a été calculée à l'aide d'un échantillonnage comprenant un important effort dans la partie Nord du Golfe de Gênes (12 000 km) et où, proportionnellement, peu d'observations ont été faites. En considérant globalement la totalité de nos données

en effort sans tenir compte des données italiennes, il est alors visible que ce biais s'atténue puisque les valeurs obtenues dans cette étude sur l'ensemble de la Méditerranée nord occidentale sont des valeurs proches de celles obtenues dans la littérature, soit une abondance de $0,83 \times 10^{-2}$ ind.km⁻¹ et de $0,13 \times 10^{-2}$ obs.km⁻¹.

Durant l'été, les dauphins de Risso sont aussi présents en dehors du Sanctuaire. Dans le Golfe du lion, des valeurs moyennes comprises entre de 0,79 à $1,67 \times 10^{-2}$ ind.km⁻¹ sont ainsi observées (respectivement Gannier et Gannier, 1994 ; Di-Méglio et al., 1999). Dans ce secteur, l'abondance relative est maximale en juin et juillet, puis diminue en août et septembre, alors qu'elle devient maximale dans la zone Liguro-Provençale, essentiellement grâce à une augmentation de l'effectif des groupes (Di-Méglio et al., 1999). Ce qui confirme l'existence de mouvements et en particulier entre l'Est et l'Ouest du bassin occidental comme plusieurs études sur la photo-identification l'ont montré (David et Di-Méglio, 1999). Polo et al. (2009) (cf. paragraphe précédent). Il serait intéressant de voir si ces échanges existent avec d'autres secteurs de Méditerranée occidentale où ces animaux sont régulièrement rencontrés comme en mer d'Alboran (Cañadas et al., 2005) où l'on note des abondances estivales de $0,32 \times 10^{-2}$ obs.km⁻¹, ou encore en mer Tyrrhénienne où cette espèce est rencontrée toute l'année (Marini et al., 1996 ; Notarbartolo di Sciarra et al., 1993).

Caractérisation de l'habitat

En période estivale, les dauphins de Risso ont une préférence pour la zone pélagique située au-delà du plateau continental. Dans cette étude, 66% des observations de dauphin de Risso ont ainsi été faites entre 200 et 2 000 m tandis que seulement 38% de l'effort d'observation a été réalisé dans cette strate bathymétrique. Selon notre étude, l'habitat préférentiel de cette espèce se caractérise donc par une profondeur moyenne de 1 290 m dans l'ensemble de la Méditerranée nord-occidentale. Ces résultats sont en adéquation avec ceux habituellement notés pour cette espèce dans ce secteur. Praca et Gannier (2008) rapportent, en Méditerranée nord-occidentale, une affinité de cette espèce pour le talus entre 500 et 2 000 m et Di-Méglio (1999) donne, pour ce même secteur, une profondeur moyenne de 1 072 m et une profondeur moyenne pondérée de 1 344 m. En Mer Ligure, les études de Laran (2005) pour la partie centrale, Di-Méglio (1999) pour l'ensemble du bassin corso-liguro-provençal, et Bompar (1997b) pour les îles d'Hyères, montrent une affinité de cette espèce pour des profondeurs comprises entre 400 à 2 000 mètres, soit en moyenne des profondeurs allant de 1 136 m à 1 729 m selon le secteur considéré. Cette affinité pour le talus supérieur se retrouve aussi dans d'autres régions de Méditerranée occidentale. Ce dauphin fréquente donc des profondeurs d'environ 1 170 m dans le Golfe du lion (Di-Méglio, 1999), de 822 m dans le Nord du Golfe de Gênes, de 958 m en Méditerranée centrale (Notarbartolo di Sciarra et al., 1993) et de plus de 987 m en mer d'Alboran (Cañadas et al., 2002).

Au-delà de la bathymétrie, cette espèce semble fréquenter des reliefs sous-marins particuliers. Son affinité pour les zones de canyons a été observée à plusieurs reprises par différents auteurs (Azzelino et al., 2008 ; Cañadas et al., 2002 ; David, 2000). David (1999) a ainsi montré que cette espèce est 2,5 fois plus abondante dans les canyons sous-marins ($2,6 \times 10^{-2}$ ind.km⁻¹) de Méditerranée nord occidentale que dans le reste de la marge continentale ($1,03 \times 10^{-2}$ ind.km⁻¹).

De même, des études ont montré que ces cétacés avaient une préférence pour les talus présentant une pente importante que cela soit dans divers secteurs de

Méditerranée occidentale (Azzelino et al., 2008 ; Bompar, 1997b ; Canadas et al., 2002 ; Praca et Gannier, 2008) ou dans le Golfe du Mexique (Baumgartner et al 2001 ; Davis et al., 1998).

Globalement, toutes les espèces exclusivement teutophages, comme le dauphin de Risso, présentent un lien avec le talus supérieur ou inférieur. Cela peut s'expliquer principalement par l'hypothèse que ces animaux consomment exclusivement des céphalopodes méso ou bathy pélagiques, qui fréquentent la zone du talus (Quetglas et al., 2000). De plus, Quetglas et al., (2000) et O'Der and Coelho (1993) définissent que les facteurs environnementaux qui influencent la distribution des dauphins de Risso sont aussi favorables à leurs proies. Les pics de présence de cette espèce seraient donc liés à la présence des espèces proies dans la zone (Kruse 1999 ; Carlini et al., 1992).

Les études sur les contenus stomacaux de dauphins de Risso (Astruc et Beaubrun, 2005 ; Ozturk et al., 2007 ; Wurtz et al. 1992), ont montré qu'il se nourrissait d'une grande variété de céphalopodes de la famille des Histioteuthidae, des Ommastrephidae, et des Sepiidae. Toutes ces espèces ont une large répartition verticale et la majorité d'entre elles évoluent entre la surface et des profondeurs de 600 et 700 m tout au long de la journée et de la nuit (Bello, 1992 ; Ozturk et al., 2007 ; Wurtz et al., 1992). Il n'est donc pas étonnant que le dauphin de Risso affectionne tout particulièrement le talus supérieur dans nos régions.

II.E Le grand dauphin

Le grand dauphin est l'une des espèces de mammifères marins la mieux connue dans le monde. Cependant en Méditerranée, les connaissances sur l'espèce sont relativement faibles, et les observations sont très localisées sur quelques zones côtières du Nord du bassin (Bearzi et al., 2008). C'est la seule espèce de cétacés à être listée à l'annexe II de la directive Habitat (1992), qui définit les espèces d'intérêt communautaire. Elle est donc considérée comme prioritaire dans la gestion des zones Natura 2000.

Le grand dauphin au niveau méditerranéen est considéré comme Vulnérable par la liste rouge de *l'International Union for Conservation of Nature* (IUCN, www.uicn.fr). Les facteurs suspectés pour la diminution de la population jusqu'au années 1960, sont : la mortalité intentionnelle due à l'homme, les problèmes récents de captures dans les engins de pêches et enfin la diminution des proies en raison de la surpêche (Bearzi et al., 2008).

Sur les côtes continentales, il semble surtout présent le long du littoral provençal et dans le Golfe du Lion (Beaubrun et al., 2000 ; Renaud , 2000), et quasiment absent à l'Est des îles d'Hyères (jusqu'à Gênes : Gannier, 1999), malgré quelques apparitions près du littoral de la Côte d'Azur (Laran *pers. com.*). Il est cependant présent toute l'année à proximité des côtes corses (Dhermain, 2003 ; Viale, 1985). Le long des côtes françaises méditerranéennes l'effectif est estimé à 500 - 600 individus (Baril et al., 2005). Cette espèce est également bien représentée sur le littoral espagnol (Forcada et al., 2004) ainsi qu'autour des grandes îles de Méditerranée Occidentale (Gannier, 1995). Les groupes rencontrés sont généralement de petite taille avec des moyennes de 7,4 à 10,2 individus par groupe (Forcada et al., 2004 ; Gannier, 2005 ; Labach et al., 2009).

Distribution

Le grand dauphin est rencontré dans de nombreuses régions côtières et se localise souvent autour d'îles ou archipels (Bearzi et al., 2008), ce que nos cartes d'abondance relative par maille mettent également en évidence. Les observations que nous avons rassemblées dans cette étude correspondent avec les observations d'autres auteurs (non partenaires), autour de la Corse par exemple et de chaque côté de la Sardaigne (Gannier, 1999 ; Arcangelli et al., 2009).

Des analyses génétiques ont montré que les structures de populations coïncidaient avec les différents types d'habitats, et que les différences d'habitat limitaient les mouvements des grands dauphins (Natoli et al., 2005). Des analyses en isotopes et en polluants suggérant même que la zone profonde entre les îles Baléares et la côte continentale pouvait représenter une barrière pour l'espèce (Borrell et al., 2006). Cependant Bearzi et al. (2008) dans leur revue bibliographique, précisent aussi que des mouvements à travers des domaines pélagiques peuvent être observés, avec des grands dauphins présents au-delà de 2 000 m de profondeur, comme ce qui a été remarqué sur certaines des observations rassemblées dans ce projet. En ce qui concerne la région du Sanctuaire PELAGOS, l'action du GIS3M A3-2 : Suivi des grands dauphins et des dauphins de Risso sur le secteur des îles d'Hyères, ainsi que le projet *Delphni metropolitanani* auquel les partenaires de la présente étude ont également transmis leurs données devraient fournir plus d'informations sur les mouvements et la distribution du grand dauphin dans le Nord du bassin occidental.

Abondance relative

Un taux moyen de $2,08 \times 10^{-2}$ ind.km⁻¹ a été estimé dans le Sanctuaire pour notre étude. Peu de résultats sont disponibles dans la littérature, il est cependant possible de comparer l'abondance relative moyenne obtenue pour le grand dauphin au Sud de l'Espagne, $33,9 \times 10^{-2}$ ind.km⁻¹ (Cañadas et al., 2005). Cependant étant donné la distribution très côtière de l'espèce, ces estimations, pour être comparables, devraient être réalisées sur des strates moins larges (le plateau continental uniquement par exemple).

Caractérisation de son habitat

Les observations que nous avons réunies se distribuent entre 5 et 2 744 m, avec cependant une moyenne de 158 m. Ceci confirme la distribution côtière de l'espèce (Beaubrun et al., 2000 ; Bearzi et al., 2008), avec cependant des passages au large entre les zones habituelles de distribution. Labach et al. (2009) constatent que les groupes observés au large sont parfois de taille plus importante.

En mer d'Alboran, où l'espèce est également très côtière, les groupes se distribuent sur le plateau et le haut du talus entre 12 et 1 300 m. Le taux de rencontre diminue quand la profondeur augmente et l'espèce montre une claire préférence pour les zones de pente forte, entre 200 et 400 m de profondeur (Cañadas et al., 2002). Sur ces échantillonnages réalisés à diverses périodes de l'année, Cañadas et al. (2002) observent une profondeur moyenne de 288 m. Dans d'autres zones comme le Golfe du Mexique, l'espèce est également très côtière

Le grand dauphin semble avoir une préférence ichtyophage. En effet, si l'on se réfère aux contenus stomacaux (Astruc, 2005 ; Blanco et al., 2001 ; Boutiba, 1992 ;

Voliani & Volpi, 1990) étudiés pour les côtes algériennes, son régime alimentaire est mixte, mais surtout composé de poissons, alors que les céphalopodes (Loliginidés) ne représentent que 13% des proies ingérées (Boutiba, 1992). Sur les côtes espagnoles, les proies consommées sont néritiques, mésopélagiques, démersales ou benthiques (Salomon et al., 1997). La plupart des espèces consommées par le grand dauphin sont exploitées par la pêche commerciale (Wurtz et al., 1992) ; il existe donc une compétition importante avec les pêcheurs côtiers. Ainsi en Méditerranée, le grand dauphin cible préférentiellement les proies démersales (e.g. Blanco et al., 2001) avec cependant des régimes alimentaires qui varient considérablement entre les zones occupées. Son régime alimentaire est souvent en concurrence avec la pêche artisanale, et des interactions importantes sont observées, notamment en Corse (LIFE Linda, 2007).

II.F Le dauphin bleu et blanc

Le dauphin bleu et blanc se rencontre dans tous les océans du monde. En Méditerranée nord-occidentale, cette espèce est la plus fréquente, elle constitue 65% des observations et 89% des individus rencontrés dans la présente étude. Ces résultats sont en accord avec les données de la littérature (Di-Méglio, 1999 ; Forcada et al., 1994 ; Gannier, 1995 ; Moulin et al., 2008).

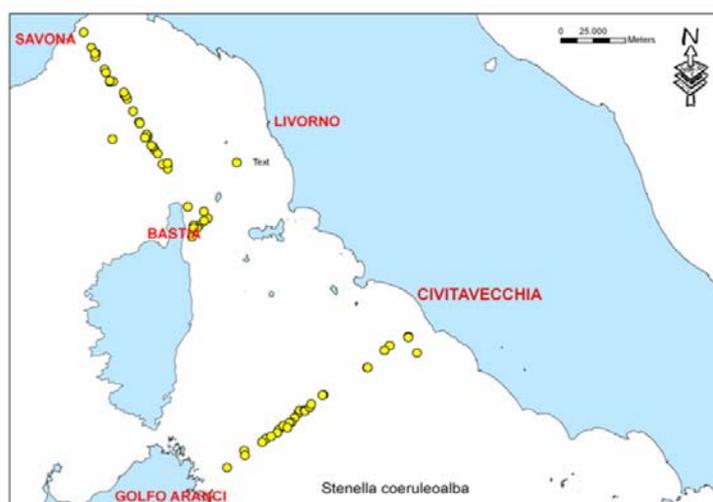
Cette espèce est présente dans le Sanctuaire PELAGOS tout au long de l'année, avec une abondance plus forte de mai à octobre (Laran et Drouot-Dulau, 2007 ; Notarbartolo di Sciara et al., 2003 ; Gannier 1995).

Sa population est estimée dans le bassin occidental à 117 880 individus en été (95%IC=68 379 - 214 800) (Forcada et al., 1994) et à 37 526 (CV=26,2%) individus dans le Sanctuaire PELAGOS (Gannier, 2006). D'après les études génétique et morphologique, les dauphins bleu et blanc de Méditerranée constitueraient une population différenciée de celle de l'Atlantique (Di-Méglio et al. 1996 ; Calzada and Aguilar, 1995 ; García-Martínez et al. 1995).

En Méditerranée l'espèce est exposée à plusieurs types de menaces anthropiques : pollution acoustique et chimique, dégradation de l'habitat et captures accidentelles dans les engins de pêche.

Distribution

La carte de répartition des dauphins bleu et blanc dans la zone d'étude témoigne de leur fréquence dans l'ensemble des secteurs de Méditerranée nord-occidentale, du continent à la Corse, avec un gradient de la côte vers le large, comme déjà démontré par la plupart des auteurs (Gannier, 2005 ; Moulin et al., 2008 ; Reeves et Notarbartolo di Sciara, 2003). Néanmoins on distingue des zones moins fréquentées comme le Golfe du Lion et la partie Est du Sanctuaire, correspondant à des régions de faible profondeur (< 200 m). En revanche nos résultats montrent que cette espèce fréquente le Nord de la mer Tyrrhénienne, malgré un manque d'échantillonnage, ce qui est attesté par les travaux de Marini et al. (1996) et Arcangeli et al. (2009, Carte 79).



Carte 79. Observations de dauphins bleu et blanc lors de suivis à bord de ferry (d'après Arcangelli et al., 2009).

Abondance relative

Entre 1994 et 2008, les groupes de dauphins bleu et blanc rencontrés comprenaient en moyenne 12,9 individus sur l'ensemble des observations (et 15,1 individus par groupe dans le Sanctuaire avec les données franco-italiennes collectées en effort uniquement). Ces valeurs sont inférieures à celles données dans la littérature, notamment les plus anciens qui font état de 16 à 22 individus par groupe (Gannier 1998 ; Di-Méglio 1999 ; Notarbartolo di Sciara et al., 1993 ; Forcada et al., 1995). Gannier (2005) calcule sur un jeu de données allant de 1997 à 2001 des tailles de groupes de 23,9 individus dans le Nord du bassin occidental et 37,4 dans le Nord de la mer Tyrrhénienne.

En reprenant les valeurs du Tableau 11 et en calculant les tailles de groupes par année, il est intéressant de noter que celles-ci s'échelonnent de 13,3 à 15,4 individus par groupe observé entre 1994 et 1997 tandis que ces dernières années (2005 à 2008), les tailles de groupes vont de 8,0 à 13,3 individus par groupe. Azzelino et al. (2008) observent eux aussi des différences inter-annuelles dans la taille des groupes des dauphins bleu et blanc.

Le taux de rencontre obtenu dans cette étude sur l'ensemble des données franco-italienne en effort dans les limites du Sanctuaire est de $0,016 \text{ obs.km}^{-1}$. Panigada et al. (2008) trouvent un taux de rencontre global supérieur à celui obtenu dans cette étude, soit $0,022 \text{ obs.km}^{-1}$ de 1993 à 1999. Cela peut s'expliquer par le fait que leur jeu de données se distribue essentiellement sur une zone restreinte (Antibes - San Rémo - Calvi - Cap Corse), soit un des secteurs de forte fréquentation de ce dauphin. En revanche, dans notre étude, des secteurs moins préférentiels sont également intégrés (partie Nord et Est du Sanctuaire) sur lesquels un effort conséquent a été fourni, ce qui diminue le taux de rencontre.

Cette explication est vérifiée si le taux d'observation est calculé sur le jeu de données français uniquement (exclusion de l'échantillonnage italien au Nord et à l'Est du Sanctuaire) et permet d'obtenir exactement le même taux que Panigada et al. (2008). Par ailleurs Gannier (1995) présente un taux d'observation estival très élevé, de l'ordre de $1,3 \text{ obs.km}^{-1}$ dans le secteur liguro-provençal et $0,8 \text{ obs.km}^{-1}$

dans la mer Tyrrhénienne. Ces résultats sont issus de prospections datant de 1988 à 1994 qui échantillonnent là aussi essentiellement les zones de profondeur supérieures à 500 m. Quant à Azzelino et al. (2008), qui avancent des taux de rencontre de l'ordre de 0,22 à 0,26 obs.km⁻¹, les données ont été collectées en partie par un bateau de whale-watching qui cherche la rencontre avec les cétacés et donc prospecte forcément des zones très favorables, et d'un autre côté par un bateau scientifique lui aussi prospectant essentiellement dans un secteur restreint favorable aux cétacés. Ces différences d'abondance par secteur sont évidentes en 2001 lorsque deux campagnes indépendantes comparent leurs résultats et constatent que le secteur central du Sanctuaire abrite plus de dauphins bleu et blanc que tous les autres (Sud-Ouest, Nord-Est et Tyrrhénien) (David et al. 2002).

En parallèle aux remarques faites sur l'évolution de la taille des groupes ci-dessus, les taux de rencontre annuels, calculés à partir du jeu de données français uniquement (Tableau 14), témoignent de valeurs moyennes à élevées (0,029 à 0,042 obs.km⁻¹) entre 1994 et 1998 et moyennes à faibles (0,015 à 0,030 obs.km⁻¹) entre 2005 et 2008. Le constat est similaire pour les abondances relatives entre ces deux périodes. Dans la littérature, plusieurs auteurs ne trouvent pas de variations inter-annuelles des taux d'observation de dauphin bleu et blanc : entre 1997 et 2000 dans le Nord de la mer Ligure (Azzelino et al. 2008), ou entre 1989 et 1997 en mer Ligure (Gannier 1997a). Mais ces deux études couvrent une zone plus restreinte et homogène que la nôtre et ce sur des années qui d'après nos résultats exposés ci-dessus seraient « similaires ».

Les questions qui se posent sont alors : cette baisse du nombre de dauphins bleu et blanc correspond-elle à une tendance générale (par déplacement ou diminution de la population), ou cela correspond-il à une réponse aux variations environnementales qui souvent se ressemblent sur deux ou trois années puis changent sur les deux-trois années qui suivent (Figures 14 à 18).

Pour ajouter à l'interrogation, Panigada et al. (2009) réalisant en 2008 une campagne estivale de recensement similaire à celle faite en 1991 dans le Sanctuaire, obtiennent eux aussi des chiffres plus faibles qu'il y a 20 ans. Cette information n'est qu'indicative car la campagne n'a duré que quelques semaines et le mauvais temps a limité l'effort prévu.

Ces résultats sont néanmoins à prendre avec précaution car les biais inhérents à l'hétérogénéité spatiale de l'échantillonnage des différentes campagnes sur toutes ces années sont conséquents et il n'est pas évident de les comparer si aisément (voir discussion II-A-Le roqual).

Caractérisation de l'habitat

Les résultats mettent en évidence que les deux paramètres qui déterminent principalement la présence des dauphins bleu et blanc sont la profondeur et dans une moindre mesure la température superficielle de la masse d'eau. Le paramètre chlorophylle *a* entre, quant à lui, peu en compte pour cette espèce.

De façon globale cette espèce est assez généraliste : elle est observée de la côte vers le large, du plateau aux grandes profondeurs (5 m à 2 820 m), avec une préférence marquée pour les eaux sur des fonds au-delà de 1 000 m de profondeur (médiane de 2 251 m et moyenne de 1 948 m). Ces valeurs de profondeur sont très similaires à celles de la littérature dans cette région de Méditerranée (Azzelino et al.

2008 ; Gannier, 2005 ; Laran 2005 ; Di-Méglio 1999). De même, les valeurs de distance à la côte (médiane variant de 0 à 48 km de la côte en fonction des mois) sont semblables à celles calculées par Gannier (2005) ou Laran (2005).

Les dauphins bleu et blanc ne semblent pas inféodés à une masse d'eau aux caractéristiques particulières, puisque les observations se localisent dans des eaux dont la température est comprise entre 18 et 28°C (moyenne 22°C). Panigada et al. (2008) constatent eux aussi que les valeurs de température de surface ne sont que des faibles indicateurs de la présence de ces dauphins, même s'ils préfèrent des eaux entre 21 et 24°C. Si l'étendue des valeurs de température de ces deux études diffère c'est probablement parce qu'elle reflète les variations des zones d'étude et que nous avons prospecté une surface bien plus étendue que Panigada et al. (2008).

De même, la chlorophylle *a* ne semble pas être une variable discriminante a priori, puisque les dauphins évoluent dans des eaux ayant des concentrations en chlorophylle *a* s'étendant entre 0,08 et 7,88 mg Chl*a*.m⁻³ (moyenne : 1,64 mg Chl*a*.m⁻³). Pourtant dans sa zone, Panigada et al. (2008) trouvent des relations entre la présence de dauphins bleu et blanc et ce paramètre environnemental au niveau du mois pour certaines années 1998 et 1999. Si la relation n'est pas explicite en 1998, en revanche, en 1999 le nombre de dauphins atteint un pic lorsque les valeurs de chlorophylle *a* du mois précédent sont entre 0,3 et 0,5 mg.m⁻³.

D'après l'ensemble de ces résultats il apparaît que les dauphins bleu et blanc sont susceptibles d'être rencontrés dans quasiment tous les types d'habitats disponibles de la zone d'étude et définis par les variables de bathymétrie (profondeur, pente, distance à la côte), de température et de chlorophylle *a*. Ils montrent néanmoins une préférence pour les eaux au-delà du plateau continental, du côté du continent et au large, et moins vers la Corse.

Cela dit, cette espèce répond à la variabilité environnementale, dans le sens où on obtient des variations de distribution, d'habitat et de quantité par année, voire par mois (présente étude, Azzelino et al. 2008 ; Panigada et al. 2008 ; Laran 2005). Face au changement des paramètres environnementaux il existe plusieurs stratégies : disparaître, changer d'endroit pour retrouver les conditions favorables ou rester sur zone et s'adapter en évoluant (changer de proies). Le dauphin bleu et blanc est connu pour son alimentation opportuniste (Astruc 2005) c'est pourquoi il réagira peut-être moins fortement que des espèces plus sténophages (rorqual), comme le suggère Panigada et al. (2008). Il opère donc des mouvements de faibles amplitudes, ou des adaptations comportementales face à ces changements. Nous constatons ainsi des changements dans la taille des groupes en fonction des années, tandis que Azzelino et al. (2008) et David (2000) le constate aussi en fonction des secteurs ou de la bathymétrie. Ces changements reflètent certainement des changements dans les caractéristiques des proies (type, quantité, accessibilité, disponibilité).

Gannier et David (1997) expliquent plus finement que la présence des dauphins est influencée par la période de la journée, la profondeur et Meissner et al. (2008) complètent en montrant que la production primaire entre également en jeu.

II.G Les autres espèces

Si l'on considère l'ensemble des données de la base opportuniste, dont l'espèce avait été identifiée (5 428 observations), les 6 espèces traitées dans cette étude représentent 98,2% des observations. Les autres espèces étant la baleine à bec de Cuvier (1,3%), le dauphin commun (0,5%), le rorqual à museau pointu (0,1%) et l'orque (une observation). De manière générale, la littérature pour notre zone d'étude confirme la faible représentation des espèces que nous avons écartées de notre étude, faute de données suffisantes. Par exemple, seulement 4 observations de baleine à bec de Cuvier ont été réalisées sur un effort total de 2 441 km (Gannier & Epinat, 2008).

II.H Diversité spécifique du Sanctuaire PELAGOS

Au total huit espèces de cétacés fréquentent de manière régulière les eaux du Sanctuaire. Cette diversité est relativement importante comparée aux autres régions de Méditerranée, et légèrement moindre par rapport à la Mer d'Alboran (Gannier 2005a ; Notarbartolo di Sciara et al. 1993 ; Notarbartolo di Sciara & Reeves, 2003).

Cependant, cette diversité est faible, si l'on compare à d'autres régions du monde, comme par exemple les eaux de l'Aire Marine Protégée du Canyon de Gully, sur la côte Est du Canada où 11 espèces de cétacés peuvent être rencontrées (Hooker et al., 1999).

Par ailleurs, si l'on considère les aires de répartition de chacune des espèces, on remarque que certaines se superposent, au vu de leur vaste étendue. Ainsi en mer Liguro-provençale l'habitat estival du rorqual commun et du dauphin bleu et blanc se superposent énormément (Azzelino et al., 2001). Soit les individus de ces espèces sont nombreux, soit ils sont généralistes, soit leur habitat correspond à l'habitat le plus disponible dans la zone. Il n'est donc pas rare de voir ensemble des individus de ces deux espèces (Notarbartolo di Sciara et al. 1993 ; *obs. pers.*)

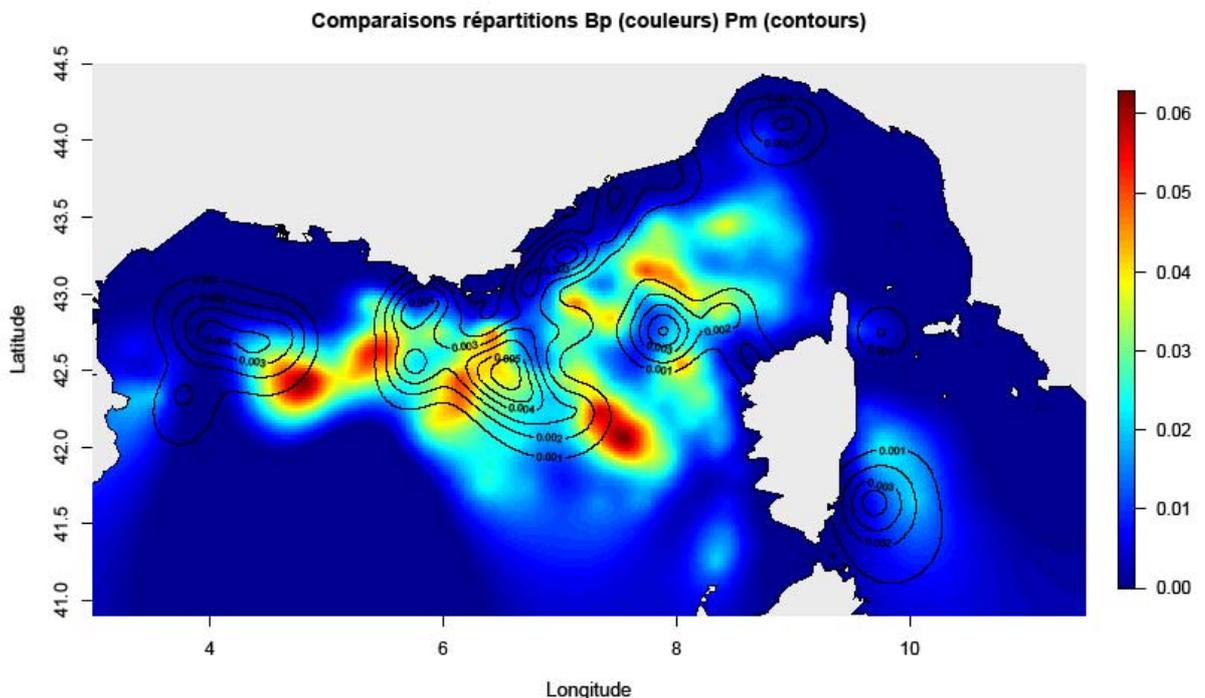
Pareillement, si une espèce fréquente l'ensemble des habitats d'une zone elle pourra se retrouver dans celui d'une espèce à la répartition plus restreinte. C'est ainsi que plusieurs auteurs témoignent d'observation conjointe de dauphin bleu et blanc et de dauphin de Risso (Fabbri & Lauriano, 1992).

En revanche les espèces dont l'habitat est plus restreint, car plus spécifique, présentent pour certaines des niches écologiques très distinctes. Il en est ainsi pour le dauphin de Risso comparé au globicéphale noir. Le premier exploite essentiellement la marge continentale tandis que le second fréquente les eaux pélagiques, en accord avec leur régime et leur stratégie alimentaire (Astruc 2005). Observer ensemble ces deux espèces est un événement rare (*Di-Méglio comm.pers.*).

Enfin, les espèces ayant un régime et une stratégie alimentaire proche (Astruc, 2005), notamment les espèces teutophages (cachalot, dauphin de Risso et globicéphale), exploiteraient potentiellement les mêmes zones, comme le montrent les cartes d'habitat favorable pour ces trois espèces réalisées par Praca et Gannier (2008). Ces trois espèces ainsi que les espadons et les thons peuvent se nourrir des mêmes espèces de céphalopodes (Astruc, 2005), mais soit à des stades de maturité antérieurs, soit dans des habitats différents, puisque nous avons pu montrer qu'à faible échelle spatiale ces espèces n'étaient quasiment pas observées dans les

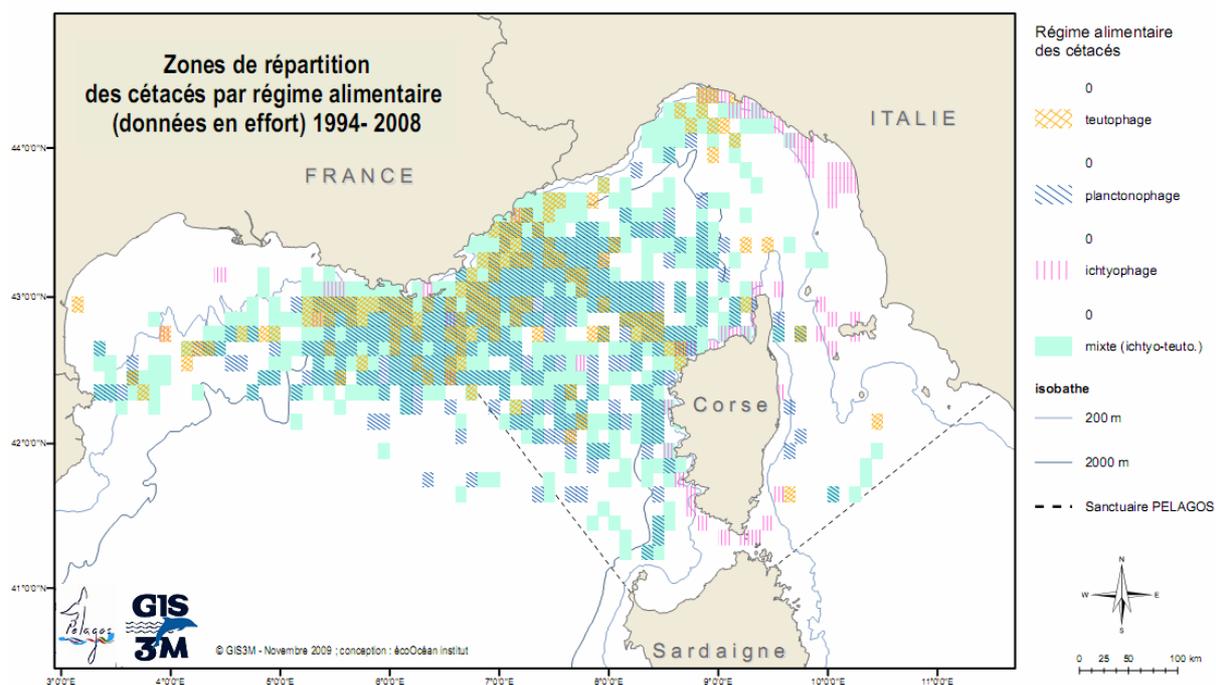
mêmes zones (Carte 41). En effet s'il existe entre ces espèces une compétition pour la ressource, cela peut conduire à une ségrégation de l'habitat, comme le suggère Azzelino et al. (2008) entre le dauphin de Risso et le cachalot.

Un phénomène intéressant a par ailleurs été observé à partir de nos résultats de krigeage (chapitre II.C) : les taux de rencontre maximum de cachalot se localisent dans les zones de faible taux de rencontre des rorquals (Carte 80). Cette ségrégation spatiale dénoterait une niche écologique très distincte entre ces deux espèces, de par leurs régimes alimentaires très différents (planctonophage *versus* teutophage, Astruc 2005) et certainement une répartition des proies très différentes également.



Carte 80. Cartographie des valeurs krigées du rorqual commun (en couleur) et du cachalot (en noir), années 1994 à 2008 cumulées.

Si l'on représente la distribution des cétacés par leur régime alimentaire, on remarque que certaines zones sont exploitées par tous les types de régimes alimentaires. C'est le cas notamment d'une large bande englobant le talus et les eaux profondes au niveau des côtes continentales (Carte 81). D'autres secteurs comme le plateau continental ne semblent être exploités que par une seule espèce.



Carte 81. Zone de répartition des cétacés par régime alimentaire (données en effort) 1994-2008

Ces superpositions d'aires de répartition nous apportent deux informations essentielles :

- les zones fréquentées par plusieurs espèces sont d'importance écologique forte pour l'ensemble des populations de cétacés,
- les zones fréquentées uniquement par une espèce non généraliste sont d'importance écologique forte pour cette espèce,
- Ces zones doivent faire l'objet d'une attention particulière d'un point de vue de la conservation des cétacés dans le Sanctuaire, voire en-dehors.

III - Précision des modèles

III.A Intérêt de ces types d'analyses

Ce type d'analyse apporte une meilleure compréhension de la distribution des espèces, de leurs liens avec les variables environnementales et l'effet possible de la variabilité interannuelle des conditions du milieu sur leur répartition. Un autre intérêt concerne l'utilisation des résultats de prédiction pour définir des zones de stratification lors des estimations d'abondance (Reilly & Fiedler, 1994). Ceci permet d'estimer plus finement les résultats, puisque les méthodes se basent sur l'hypothèse d'une distribution homogène des individus (Buckland et al., 2001).

Cependant, à la différence de relevés floristiques, l'observation des cétacés implique quelques limitations dans l'interprétation des données. En effet, l'observateur ne peut pas toujours distinguer un animal se nourrissant dans son habitat préférentiel d'un individu en transit vers une autre zone. D'autre part, l'absence d'observation ne signifie pas nécessairement que la zone n'est pas une zone favorable à la présence de l'espèce, l'effort peut être insuffisant et les animaux

non comptabilisés, car sous la surface. Pour l'analyse, nous avons considéré toutes les détections en effort, mais il serait intéressant de retirer les observations pour lesquelles l'activité enregistrée lors de l'observation (déplacement et vitesse) signale une phase de transit. Ainsi, les risques d'incorporation de détections aux caractéristiques non représentatives de la distribution préférentielle liée à l'habitat de l'espèce seraient minimisés. Malheureusement « l'activité » n'était pas parmi les paramètres qui ont été conservés lors de l'homogénéisation et de la jointure des différentes bases.

Le principal avantage des modèles de prédiction de l'habitat préférentiel d'une espèce est leur capacité à localiser les habitats potentiels d'une espèce dans des zones non prospectées. Ils peuvent également permettre de suivre d'éventuels déplacements en fonction de changements des conditions océanographiques (Reilly, 1990 ; Reilly & Fiedler, 1994). Une bonne connaissance de la distribution des espèces représente une information capitale, d'autant plus nécessaire dans une zone protégée, telle que le Sanctuaire PELAGOS. Elle permet la mise en place en cas de nécessité, de mesures de protection plus efficaces (ex : limitation des interactions dans des zones mieux définies). Dans l'océan Atlantique Nord-Ouest, le déplacement d'une zone de protection est d'ailleurs à l'étude, suite aux prévisions de distribution obtenues par modélisation (Hamazaki, 2002).

Pour approfondir notre analyse nous avons décidé de comparer les résultats de différents types d'analyses, afin de déterminer le traitement le plus adapté en fonction de l'espèce, ou éventuellement de considérer ces résultats comme complémentaires, vis-à-vis de l'information qu'ils nous apportent.

III.B Les analyses géostatistiques

La tentation de vouloir extrapoler les données afin d'obtenir des informations sur des zones peu ou pas échantillonnées est forte. Cependant avec les données collectées sur les cétacés en mer, les difficultés sont nombreuses : fréquence de rencontre très faible, absence importante, distribution éparses et hétérogénéité importante des observations pondérées par l'effort. Ces caractéristiques sont plus proches d'une distribution selon la loi de Poisson. La méthode de krigeage poissonien développée par Monestiez et al. 2006 convient bien aux données que nous possédons. En particulier le gain en terme de variance de l'erreur de prédiction est important et permet d'obtenir non seulement un résultat robuste mais également plus précis comparé à un krigeage ordinaire.

Néanmoins la variance krigée est largement influencée par l'effort d'observation, et pas uniquement par la configuration géométrique des données : la variance est élevée là où l'effort est faible voire inexistant, ce qui reste logique.

Les cartes obtenues sont très utiles pour interpréter la structuration spatiale de la distribution de cette espèce, et peuvent également servir pour la planification de grandes missions de recensement des individus.

1- L'analyse géostatistique pour le rorqual commun

La carte krigée des observations de rorquals par kilomètre présente une répartition géographique cohérente avec ce qui est connu de l'espèce : une distribution centrée sur les fortes profondeurs et une fréquence quasi nulle sur les vastes plateaux continentaux (Notarbartolo et al., 2003 ; Reeves & Notarbartolo di Sciara, 2006). Au milieu d'une vaste distribution potentielle, des secteurs de forte prédiction ressortent, comparables à ceux obtenus par Monestiez et al. 2006 sur un jeu de données moindre (en quantité et étendue spatiale). Notre nouvelle carte affine nettement les secteurs préférentiels, structures à méso-échelle de l'ordre de 50 à 80 km de diamètre séparées par des zones où les taux de rencontre seraient bien plus faibles. Ces structures semblent encercler une zone centrale délaissée, qui apparaît également dans d'autres travaux (Gannier, 2005 ; Panigada et al. 2008). Les distributions des observations de rorquals présentées dans plusieurs études et que nous n'avons pas intégrées à notre jeu de données, correspondent localement à cette carte krigée : dans le Golfe du Lion (Cotté et al., 2009), dans la partie nord du Sanctuaire (Moulins et al. 2008), ou encore dans la partie centrale (Panigada et al., 2005). Si on situe bien les limites nord, est et ouest de cette grande aire de répartition potentielle de l'espèce, on connaît probablement mal la limite sud. L'effort y est insuffisant. A priori du large du Golfe du Lion et jusqu'à une latitude de 41,5°N, la zone serait favorable aux rorquals communs (Cotté et al., 2009, Forcada, 1996).

En revanche les taux de rencontre diffèrent. Nous calculons 0,03 à 0,06 groupe par kilomètre dans les secteurs préférentiels, contre 0,1 à 1,6 groupe.km⁻¹ pour Panigada et al., 2005. Mais ces chiffres sont calculés sur des cellules plus petites que les nôtres, 5'x5', ce qui peut entraîner un effort bien moindre par cellule et donc une surestimation.

La structuration spatiale de l'ordre de la méso-échelle (entre 10 et 100 km) décrite précédemment pourrait témoigner de l'attrait de cette espèce pour des structures hydrobiologiques de la même échelle, notamment les tourbillons (Millot & Taupier-letage, 2004).

2- L'analyse géostatistique pour le cachalot

D'après l'analyse géostatistique, le cachalot affectionne particulièrement le talus continental mais peut également être rencontré fréquemment sur certains secteurs restreints au large. Les observations relevées par Drouot et al. (2004) correspondent pour la plupart aux secteurs préférentiels que nous avons définis. La difficulté d'obtenir un résultat robuste avec une faible variance vient du fait de la rareté des observations visuelles associées à cette espèce passant les trois quart de son temps sous l'eau. Malgré cela, la cartographie extrapolée des observations visuelles donne une bonne idée de la distribution préférentielle de l'espèce. En y ajoutant des données acoustiques (Gannier et al., 2002) la structuration spatiale serait peut-être plus continue que celle que nous avons définie, liant des structures ponctuelles qui apparaissent éparses.

En terme de taux de rencontre, les valeurs que nous obtenons dans les secteurs préférentiels correspondent à celles calculées sur l'ensemble de la mer Ligure par Gannier et al. (2002) ($0,41 \times 10^{-2}$ individu.km⁻¹). En revanche cet auteur obtient jusqu'à $0,54 \times 10^{-2}$ individu.km⁻¹ uniquement sur le talus et seulement $0,21 \times 10^{-2}$

² individu.km⁻¹ au large, témoignant effectivement de l'importance de la marge continentale pour cette espèce.

III.C L'ENFA

L'ENFA est une analyse factorielle très intéressante à mettre en œuvre. Utilisant avant tout uniquement des données de présence, les céologues l'ont faite évoluer afin qu'elle prenne en compte des données pondérées par l'effort. Cette évolution de l'analyse diminue ainsi les effets engendrés par l'hétérogénéité des observations (plus nombreuses à proximité des côtes et rares au large). En revanche les données en effort sont souvent moins nombreuses que les données opportunistes et comme tout modèle, plus il y a de données, plus il est fiable. L'utilisation d'un jeu de données uniquement collectées en effort peut donc limiter la robustesse des résultats. Globalement la comparaison des résultats des analyses sur les deux jeux de données montre qu'avec les données pondérées par l'effort l'étendue de la zone favorable est plus vaste mais qu'elle est moins fortement favorable (moins de rouge).

L'échelle spatiale utilisée permet un rendu assez fin et précis des résultats dont le pouvoir prédictif est bien évalué.

Dans les analyses ENFA les variables ont été intégrées en tant que valeurs absolues. Peu de variables dérivées de la température ou de la chlorophylle *a* ont été calculées et incluses, telles que les gradients ou les anomalies (différences par rapport à la moyenne de la zone). Cela permettrait certainement d'affiner et de préciser encore plus précisément les habitats préférentiels au fil de l'été.

Puisqu'il a été possible de pondérer les observations par l'effort dans une analyse ENFA, il serait intéressant de développer ce type de modélisation afin d'y intégrer le comportement des animaux. En effet, les individus observés en phase de nourrissage se verraient attribuer un poids plus important dans la modélisation

1- L'ENFA pour le rorqual commun

Les résultats des analyses réalisées avec les deux jeux de données (pondéré et non pondéré par l'effort), pour l'ensemble de la période d'étude, s'avèrent très similaires.

D'après les analyses ENFA, la profondeur est le paramètre qui influence le plus la répartition du rorqual, puis la teneur des eaux en chlorophylle *a* et enfin la production primaire. Les zones favorables qui en ressortent correspondent donc à des eaux profondes et riches en biomasse phytoplanctonique. Globalement l'habitat favorable prédit correspond relativement bien à la distribution observée (Carte 30) et extrapolée (Carte 41) : une bande côtière allant jusqu'à 2 000 mètres de profondeur peu utilisée par les animaux, et une bande qui serait plus fréquentée par les rorquals qui s'étend au-delà des fonds de 2 000 mètres vers le large et en particulier au large des côtes provençales. L'ENFA n'indique pas de nouvelles zones potentiellement favorables pour le rorqual qui ne soit déjà connues. En revanche sur la Figure 28 apparaît au large des côtes provençales, au Sud de Toulon, une zone moins favorable alors que les abondances relatives y sont élevées (Carte 30). Cette zone apparaît peut-être comme moins favorable car elle est le siège de fortes variations environnementales liées aux tourbillons qui s'y développent et y transitent (Millot &

Taupier-Letage, 2004). Du moins, pouvons-nous affirmer, que les caractéristiques environnementales y sont très variables ce qui engendre peut-être ce résultat.

Par ailleurs en terme de prédiction mensuelle, on note que la profondeur ainsi que la production primaire entrent principalement en jeu, avec une part croissante du second facteur du mois de juin au mois d'août (0,27 en juin, 0,40 en juillet et 0,47 en août puis 0,41 en septembre). Concernant l'habitat favorable mensuel, on remarque avec intérêt que chaque mois la zone de prédilection correspond aux grandes profondeurs avec une préférence pour une bande en bordure et une prédiction moindre pour le centre même. Cela pourrait montrer que les rorquals sont plus attirés par les structures frontales (front Ligure, bord extérieur du dôme central) que le cœur des tourbillons, comme suggéré par Cotte et al. 2009. Par ailleurs, l'habitat le plus favorable au cours de l'été présente une sorte de progression de l'Ouest vers le nord-est, est maximal en juillet puis se restreint en août et septembre tout en se localisant plus précisément du côté de la Provence et dans l'ouest du Sanctuaire, voire dans le Golfe du Lion. Cette évolution est similaire à celle déjà décrite par Duguay et Vallon (1976) et David et al. (2001). Ces mouvements seraient le reflet de la disponibilité des ressources.

2- L'ENFA pour le cachalot

Le cachalot reste relativement près des côtes, sur des profondeurs moyennes pour la zone, des pentes plutôt raides et des valeurs de production primaire élevées. La modélisation prédit une présence du cachalot sur le pourtour des côtes de la marge provençale remontant sur la Côte d'Azur, ainsi que sur l'Ouest de la Corse.

Ces résultats correspondent à ceux obtenus par Praca et Gannier (2008) et Praca et al. (2009) sur la même zone mais avec un jeu de données indépendant du nôtre. Les facteurs qui influencent l'habitat favorable sont quasiment identiques, mis à part la température qui ne joue pas de rôle dans notre étude. En revanche, Praca et Gannier trouvent une marginalité plus élevée (0,77) que celle de notre étude (0,50) et une spécialisation moindre (1,4 contre 2,5 - Tableau 46).

Au niveau de la cartographie, les cartes d'habitat favorable générées par Praca et Gannier (2008) mettent également en exergue l'attrait du talus continental de Gênes à l'Espagne, mais nous faisons ressortir avec une plus forte prédiction l'ensemble de la bande côtière à l'ouest de la Corse (Figure 59) Nos résultats avec le jeu de données pondéré par l'effort (Figure 60) est plus proche de la carte émise par Praca et Gannier 2008, avec la bande corse plus atténuée. Ce résultat est peut-être dû au fait que leur jeu de données est également pondéré par l'effort. Donc, même si l'indice de Boyce ne permet pas de définir une modélisation différente du hasard (Tableau 46), le fait que notre modélisation se rapproche de celle obtenue par Praca et Gannier (2008), en utilisant un jeu de données complètement indépendant, mais de type similaire (pondéré avec effort), donne de la valeur et de la robustesse à nos résultats.

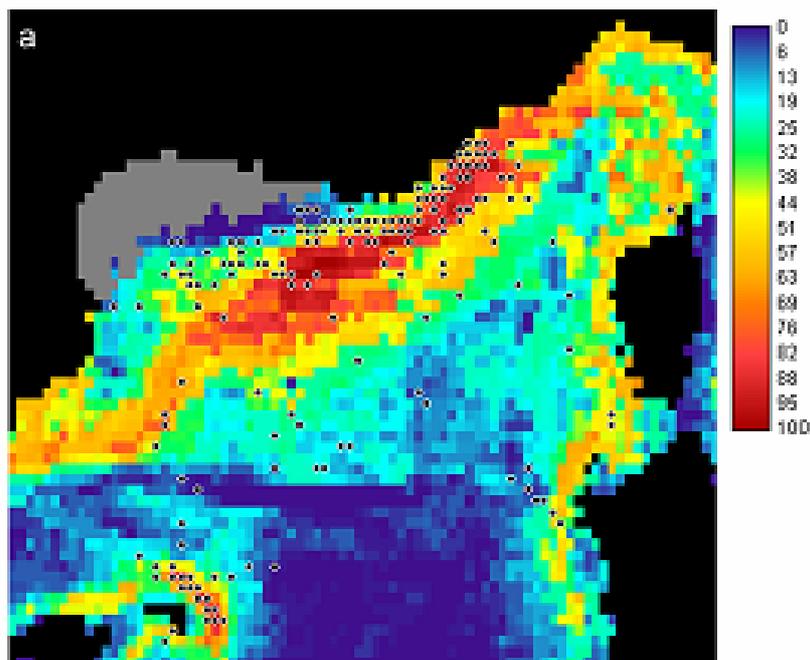


Figure 59. Carte de l'habitat favorable du cachalot (la zone grisée a été supprimée des analyses). Les points noirs représentent la localisation des cellules de présence utilisées pour l'analyse (d'après Praca & Gannier 2008).

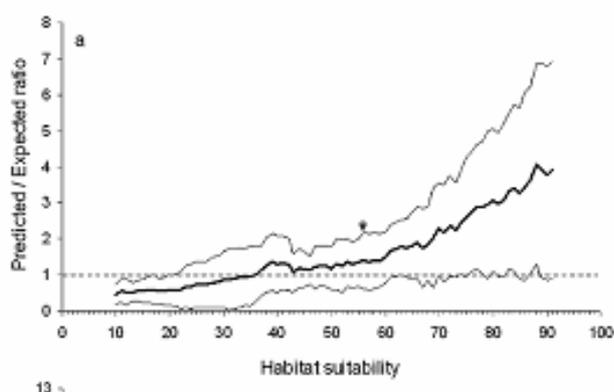


Figure 60. Courbe du ratio prédit-sur-attendu (moy.±SD) et seuil entre zones favorables et non favorables (flèche) pour le cachalot (la limite du modèle de hasard, ratio prédit-sur-attendu $F_i=1$, est indiquée par la ligne en pointillée).

En comparant les résultats du modèle géostatistique et ceux de l'ENFA (données pondérées par l'effort), les cartes obtenues montrent que les taux de rencontre les plus élevés se localisent dans les habitats les plus favorables.

Le talus provençal ressort nettement chaque mois sur toutes les cartes, quel que soit le jeu de données, comme étant l'habitat le plus favorable, avec une extension spatiale maximale en août. Pour les mois d'août et de septembre le centre de la Mer Ligure est également identifié comme habitat favorable. Ces évolutions pourraient être le reflet de la disponibilité des proies du cachalot.

III.D La régression logistique

L'utilisation des méthodes qui prennent en compte la corrélation des données, tel que le modèle logistique est conseillée lorsque nous sommes en présence de mesures répétées pour chaque individu ou de données présentant une "structure hiérarchique" (Taffé, 2004).

Cependant, un jeu de données réparti sur 11 années consécutives, dans des conditions environnementales fluctuantes, permet de développer un modèle à la fois robuste et souple. Un travail similaire a été réalisé sur les côtes Sud de l'Espagne, afin de proposer des zones marines de protection (Cañadas et al., 2005). Cette étude a été réalisée sur un échantillonnage de 36 352 km avec des données collectées entre 1992 et 2002. Notre analyse, réalisée entre 1998 et 2008 sur plus de 30 000 km, est très semblable à ce jeu de données. Par contre le travail de Cañadas et al. (2005) était orienté sur sept espèces d'odontocètes, où seul le cachalot est commun à notre analyse.

Les résultats obtenus semblent satisfaisants du point de vue de la prédiction du jeu de données dépendant. Une autre étape consistera à tester ce modèle sur les données 2009, qui n'ont pas été utilisées pour cette analyse et à produire des cartes de prédiction pour l'été prochain. Ces deux étapes se feront pour le rorqual commun comme pour le cachalot dans le programme E2-Prévention des collisions entre navires et grands cétacés.

1- La régression logistique pour le rorqual commun

Les variables qui sont apparues comme significatives pour la régression logistique du rorqual sont en premier lieu : la profondeur et la distance à la côte puis la concentration en chlorophylle *a* (mensuelle), ainsi que la concentration globale du bassin, qui apporte la composante saisonnière mais également la production primaire en février qui concerne l'intensité du bloom cette année là et enfin l'écart de la température mensuelle par rapport à la médiane sur l'ensemble du bassin pour exprimer une température relative vis-à-vis du reste du bassin.

Sur un jeu de données plus restreint (71 segments de présence sur 251), Laran et Gannier (2008) obtiennent un modèle comprenant également la profondeur, la concentration en chlorophylle *a*, ainsi que la concentration globale, mais également la température, qui dans notre cas n'est pas apparue comme significative. Leur modèle obtient un taux de classification correcte équivalent également au notre avec 70% (au lieu de 69%) et une AUC de 0,77 (SE=0,03, au lieu de 0,76, SE = 0,01).

Dans les eaux de Colombie Britannique, les analyses en régression logistique permettent de sélectionner pour le rorqual la pente, la profondeur et la salinité (Gregg & Trites, 2001).

En revanche comparée aux cartes des observations en mer, la carte de prédiction du rorqual par GLM ne délimite pas la zone périphérique à la côte (entre 50 et 70 km des côtes) entre Toulon et Monaco comme zone favorable, alors qu'on y observe nombre de rorquals. Le modèle défaille dans cette zone pour des raisons difficiles à cerner : il semble que comme le paramètre le plus influent est la profondeur, avec une forte corrélation, cette zone de l'isobathe 2 000 m n'est pas encore suffisamment profonde pour être dans la limite de l'enveloppe « présence ».

2- La régression logistique pour le cachalot

Curieusement aucune variable biologique n'a été sélectionnée par la régression logistique pour prédire la présence du cachalot sur notre jeu de données. En mer Ligure une analyse montre que la température moyenne ainsi que ses indices de variations (CV, écart type) sont significatifs (Azzelino et al., 2005). Dans cette étude, la période estivale ne correspond pas au maximum d'abondance pour les cachalots (Laran & Gannier, 2006b). Ainsi une augmentation apparaît entre l'été et la fin de l'automne, du moins en mer Ligure (Laran & Gannier, 2006b ; Laran & Drouot-Dulau, 2007). Cette augmentation est matérialisée dans notre modèle par la variable mois calendaire, dont la valeur augmente de 6 à 9 dans notre étude. Au Sud de l'Espagne, la longitude, la profondeur, la pente et la variabilité temporelle de la température sont sélectionnées pour caractériser la distribution du cachalot (Cañadas et al., 2005).

Toujours sur un jeu de données plus restreint (30 segments de présence sur 97), un modèle comprenant également des variables biologiques est obtenu (Laran, 2005). Avec la production primaire trois mois auparavant et la production primaire relative, c'est à dire l'écart par rapport à la valeur moyenne sur le bassin, le modèle obtient un taux de classification correcte équivalent à nos résultats avec 66% (au lieu de 65%).

En Colombie britannique, le modèle obtenu par régression logistique sélectionne la pente, la profondeur et pour les mâles plus particulièrement la salinité et la pente (Gregr & Trites, 2001). Dans le Nord-Ouest de l'océan Atlantique, un taux de prédiction correcte de 54% est obtenu pour les cachalots, avec la température et la profondeur uniquement (Hamazaki, 2002).

III.E Comparaison des différents types de modélisations

La modélisation de l'habitat des cétacés se révèle être une technique potentiellement puissante et utile pour prédire la distribution potentielle des cétacés et mettre en évidence les mécanismes et les relations avec les variables environnementales déterminant cette distribution. Par conséquent la modélisation s'avère devenir un outil important en vue d'estimer les zones impactées par les activités anthropogéniques de deux façons. Il est tout d'abord possible de constater sur le terrain des abondances et une distribution moindre de ce qui est potentiellement prévu par le modèle, et peut ainsi témoigner d'une zone impactée et délaissée par les cétacés ; il est également possible de superposer les cartes de distribution potentielle des espèces avec des cartes représentant la distribution des activités humaines, ce qui permet de faire ressortir les zones où le risque d'impact sur les animaux par telle ou telle activité est le plus important. Fort de cette connaissance des zones déjà impactées ou des zones les plus à risque, il est alors possible de proposer les zones à protéger prioritairement, voire identifier des solutions spatiales (fermeture de zone, contrainte particulière dans cette zone) qui aide à diminuer les impacts.

La modélisation se base sur des calculs statistiques, et la qualité de ces résultats dépend avant tout de la qualité du jeu de données. En effet, afin de décrire l'habitat d'une espèce, il faut déjà être certain de posséder un grand nombre

d'observations qui couvrent un vaste panel spatial et temporel des valeurs des variables environnementales. Pour décrire des relations écologiques pour une espèce il ne faut pas être limité spatialement ni temporellement par le jeu de données que ce soit au niveau des observations ou des variables environnementales. Dans cette étude, les bases de données sur les cétacés portent sur quinze années, les variables environnementales sur onze années, et l'effort de prospection couvre quasiment l'ensemble du bassin nord-occidental. Afin de réduire les biais relatifs aux techniques de prospections ou à l'efficacité de détections, les données utilisées ont été collectées en effort de façon très similaires et toutes dans des conditions favorables de détection (mer < 3 Beaufort). Bien sûr l'hétérogénéité des campagnes, plates-formes et observateurs apporte certains biais, mais ils jouent certainement plus sur la valeur de la variance que sur les résultats eux-mêmes. Enfin le fait d'utiliser un indice d'observation de cétacés pondéré par l'effort (GLM, ENFA, krigeage) permet également de limiter les biais dus à l'hétérogénéité de l'effort par rapport aux variables environnementales. De ce fait on relativise l'exceptionnel et on pondère la surestimation.

La plupart des modélisations actuellement utilisées sont basées sur la corrélation (Redfern et al., 2006). Si l'analyse est paramétrique, elle implique ou sous-entend que toutes les variables ont une distribution donnée dépendant du modèle choisi (GLM). Par ailleurs, l'analyse de corrélation se base sur l'hypothèse d'une relation linéaire entre la variable prédite (ou la transformée de la variable prédite par une fonction de lien pour le GLM) et les variables explicatives. Mais la relation linéaire est plutôt rare dans le milieu naturel. Dans cette étude, la relation avec la profondeur s'en rapproche néanmoins et c'est peut-être la raison pour laquelle elle prédomine dans nos résultats. Les observations semblent en effet se distribuer le long d'un gradient marqué, des faibles profondeurs vers les grandes profondeurs.

Le jeu de données d'observations de cétacés en effort de prospection est très loin d'une loi normale : les événements sont rares au vu de l'effort fourni. La loi de Poisson semble être plus adaptée pour ce type de données, c'est pourquoi notamment Monestiez et al. (2006) ont développé leur méthode de krigeage en se basant sur cette loi. Les variances associées à leurs résultats semblent effectivement meilleures que celles obtenues par un krigeage ordinaire.

Par ailleurs en mer la plupart des données souffrent d'auto-corrélation spatiale vis-à-vis d'elles-mêmes si ce n'est par rapport aux autres variables. L'indépendance des différentes variables intégrées dans les modèles a été testée en préambule aux modélisations GLM et ENFA. En revanche, l'auto-corrélation spatiale d'une donnée vis-à-vis d'elle-même n'a pas été testée, sauf pour le krigeage. Le développement d'analyses géostatistiques préliminaires aux modélisations des distributions de cétacés pourrait améliorer la quantification de la variance.

Selon Praca et al. (2009), les modèles en présence-absence donneraient des résultats plus robustes statistiquement que les modèles en présence uniquement.

A côté de ces considérations purement mathématiques, il y a la mise en œuvre de nos analyses. Certaines différences ont été constatées, ce qui a pu entraîner des résultats distincts. Ainsi dans les analyses ENFA ce sont les valeurs absolues des variables environnementales qui ont été incluses, tandis que dans le GLM (régression logistique) ce sont également des variables relatives (écart par rapport à la médiane sur toute la zone d'étude). L'ENFA nécessite des données

environnementales moyennées (Praca et al. 2009), ce qui peut limiter les précisions. L'analyse en GLM a également pris en compte plus de variables que l'ENFA. En revanche l'analyse ENFA a intégré la variable pente, l'analyse en GLM non.

D'un point de vue écologique l'interprétation des résultats des modélisations n'est pas toujours aisée. En effet, l'ENFA a développé deux notions (marginalité et spécialisation) très intéressantes. Malheureusement dans notre cas, les deux espèces étudiées s'avèrent plutôt être généralistes. Il se peut également que l'on manque de variables ou de précision pour obtenir une spécificité (variables environnementales plus fines, altimétrie, etc.).

Etant donné que les relations entre les variables environnementales et la présence des cétacés sont complexes (relation directe ou indirecte, variable indicatrice de richesse décalée dans le temps, différente probablement en fonction du comportement, de l'animal : migration, alimentation, etc.) un manque de corrélation n'implique pas forcément qu'il n'y a aucune influence de la variable sur la distribution du cétacé. De plus, les tests actuels permettant de choisir l'algorithme le plus pertinent pour établir le modèle et de tester le pouvoir prédictif de la modélisation pourraient également être améliorés (e.g. Redfern et al. 2006).

Enfin il va sans dire que les modèles seront réellement robustes le jour où l'on sera en mesure d'intégrer des variables intéressant directement les espèces étudiées, prédatrices, c'est-à-dire des variables décrivant la distribution, la quantification, la disponibilité et l'accessibilité des proies.

Chapitre IV - Conclusion-Perspectives

Cette étude à large échelle spatiale couvrant l'ensemble du Sanctuaire PELAGOS et les zones adjacentes apporte une vision globale et complète de la fréquentation de cette région de Méditerranée par l'ensemble des cétacés depuis quinze ans en période estivale. Ce travail représente un état des lieux de ce qui est connu aujourd'hui.

Focalisées sur les six espèces de cétacés considérées comme communes dans ces eaux, les diverses analyses réalisées permettent d'établir des cartes de référence concernant leur distribution et les caractéristiques environnementales de leur habitat préférentiel.

Les données françaises et italiennes collectées en effort ont servi pour calculer des abondances relatives d'animaux à différentes échelles de temps et d'espace. Enfin au-delà de la simple description, deux analyses poussées de modélisation de la prédiction de zones favorables pour le rorqual et le cachalot ont été réalisées (GLM et ENFA).

Il en ressort une image intéressante et globale de la fréquentation de la zone du Sanctuaire par les animaux. Le Sanctuaire PELAGOS présente des conditions environnementales variées et donc des habitats préférentiels potentiels pour les espèces. Le cachalot et le grand dauphin en particulier peuvent y trouver de grandes étendues qui leur sont favorables. Une zone tout aussi intéressante apparaît en-dehors du Sanctuaire pour plusieurs espèces, notamment pour le rorqual commun ; celle-ci est située au large de Toulon et du Golfe du Lion et se prolonge parfois jusqu'à 200 km des côtes continentales.

Parmi les facteurs qui semblent le plus influencer la répartition des cétacés, ont été identifiées la bathymétrie, la température de surface de la mer dans une moindre mesure et parfois les concentrations des eaux en chlorophylle *a* ou la production primaire. L'image obtenue est un partage de l'espace par les différentes espèces :

- Une espèce généraliste occupant des niches peu spécifiques : le dauphin bleu et blanc.
- Deux espèces strictement pélagiques : le rorqual commun et le globicéphale noir.
- Deux espèces du talus continental et des secteurs adjacents : le dauphin de Risso et le cachalot.
- Une espèce typiquement côtière (le grand dauphin).

A côté de cela, de multiples observations témoignent d'animaux présents en-dehors des zones identifiées comme leurs aires de prédilection. Certains secteurs du Sanctuaire sont fréquentés par plusieurs espèces à la fois (cachalot, globicéphale, rorqual par exemple), d'autres spécifiquement par une seule espèce à la distribution restreinte (grand dauphin), ce qui en fait dans un cas comme dans l'autre des zones de conservation importantes. Si l'on se réfère à Cañadas et al. (2005) et SPA Protocol (1995), cela justifie pleinement le statut d'ASPIM⁷ au Sanctuaire.

⁷ Aire Spécialement Protégée d'Importance Méditerranéenne

Dans le Sanctuaire une certaine variabilité annuelle et mensuelle dans la distribution et dans l'abondance relative des cétacés est mise en évidence. Ces variations témoignent peut-être d'une réponse des cétacés aux changements du milieu entre les années et entre les mois (température de surface et chlorophylle *a*), affectant très certainement la quantité, la disponibilité et l'accès aux proies. Cette réponse peut être locale et ponctuelle (annuelle), mais aussi globale et il est tentant d'estimer une tendance d'évolution des abondances relatives sur les quinze années. Mais malgré notre grand jeu de données, ce type de résultat relatif est très influencé par l'effort et la zone parcourue, et les échantillonnages analysés ici sont spatialement très hétérogènes (en terme de surface couverte et de secteurs prospectés et donc d'espèces ciblées). Il apparaît donc nécessaire, afin d'obtenir des évolutions sur les quantités, de ne comparer que les données d'observation faites lors d'échantillonnages similaires, adéquats à l'obtention d'un résultat quantitatif représentatif du Sanctuaire qui couvre uniformément et suffisamment les différents secteurs physiographiques du Sanctuaire et qui est réalisé de manière aléatoire. En d'autres termes, pour obtenir des chiffres sur les tendances des populations il faut organiser régulièrement des campagnes d'estimation selon un protocole établi et répété à l'identique chaque fois, comprenant un échantillonnage prédéfini couvrant les différentes zones (centrale, Nord-Est, Sud-Ouest et Est par exemple) de manière optimale.

La modélisation des habitats favorables du rorqual commun et du cachalot par deux méthodes apporte des éléments pertinents à la fois en terme de résultats et en terme de méthodologie. Les cartes de modèles obtenues par les différentes méthodes d'analyses sont globalement cohérentes entre elles, mises à part quelques petites zones. Pour le rorqual commun, les deux méthodes montrent une enveloppe favorable relativement identique et les modèles sont fiables et robustes. L'analyse par GLM prédit une enveloppe de présence plus grande que celle de l'ENFA. Les résultats des modélisations sur le cachalot montrent une zone de prédilection qui est en accord entre les deux modèles et également avec celui de Praca et Gannier (2008) sur un jeu de données indépendant. Alors qu'avec l'ENFA le modèle est plutôt faible, le GLM conforte la prédiction avec des résultats quant à eux, plus solides. Comparer différentes méthodes de la modélisation s'avère satisfaisant dans notre cas, l'une pouvant conforter les résultats plus faibles de l'autre et les deux pouvant être complémentaires à différents niveaux. Un gradient de prédiction Sud-Ouest / Nord-Est (GLM) apparaît pour la distribution du rorqual commun superposé à la préférence pour les grandes profondeurs. Une zone très favorable est également identifiée au bas du talus (ENFA). Pour le cachalot, la prédiction de présence est forte sur l'ensemble du talus continental, notamment sa partie profonde, et même au-delà (GLM), y compris dans le Nord-Est du Sanctuaire (ENFA).

L'obtention des cartes de prédiction des animaux à partir de données environnementales est un résultat en soit important, et c'est aussi une étape pour des analyses ultérieures. En effet, ces cartes permettront de prédire la distribution de ces deux espèces de façon dynamique, en fonction des variables environnementales de l'année ou de la saison, et ce y compris dans des zones non prospectées.

Elles serviront essentiellement à estimer les zones potentiellement exposées à diverses menaces anthropogéniques, comme les collisions, par superposition d'informations sur les animaux et sur le trafic maritime. Ces cartes de zones à risque

peuvent là aussi être obtenues globalement comme annuellement de façon dynamique.

Au final cette étude montre que l'approche de la modélisation spatiale est appropriée pour les cétacés et apporte des informations précises sur une vaste zone. Il serait intéressant de creuser l'idée d'intégrer des données acoustiques pour le cachalot et des données comportementales, en particulier sur l'activité d'alimentation dans les modèles. Au même titre, ces modélisations restent évolutives et pourront intégrer de nouveaux paramètres environnementaux dès qu'ils seront disponibles sur la zone considérée.

Au même titre, il serait intéressant, maintenant que les paramètres environnementaux et les données en effort sont au format pour ce type d'analyse, de faire le même exercice pour les quatre espèces restantes : le dauphin de Risso, le globicéphale, le grand dauphin et le dauphin bleu et blanc. Là aussi, nous gagnerions une meilleure connaissance des habitats favorables de ces espèces ainsi qu'une base pour prédire leur présence et les zones potentiellement exposées.

Enfin cette étude apporte ou confirme de nombreux éléments sur la connaissance des cétacés dans le Sanctuaire en période estivale. Les analyses effectuées pourraient également être menées hors période estivale, notamment en automne où plusieurs espèces, dont le cachalot, sont présentes et actives. L'étude de la période hivernale nous permettrait de connaître les populations restant dans la zone et sur quels habitats. Enfin l'analyse de la période printanière sur la zone nous aiderait à définir les éléments potentiellement déclencheurs de l'arrivée de certaines espèces comme le rorqual en grand nombre dans le Sanctuaire.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aguilar, A. & Silvani, L., 1995. Mortality of cetaceans in driftnets in the Mediterranean continues. *Report of the International Whaling Commission*, **45**, 457-458.
- Airoldi, S., Azzelino, A., Nani, B., Ballardini, M., Bastoni, C., Notarbartolo di Sciara, G. & Stiurlese, A., 1999. Whale watching in Italy: results of the first three years of activity. *13th Annual Conference of the European Cetacean Society, Valencia, Spain, 5-8 April 1999*, 153-156.
- Airoldi S., Bendinoni F., Azzellino A., Fadda V., Profice A., 2005. Abundance estimates of Risso's dolphins (*Grampus griseus*) in the western Ligurian Sea through photographic mark-recapture. *European Research on Cetaceans* 19.
- Andersen, V., Nival, P., Caparroy, P. & Gubanova, A., 2001. Zooplankton community during the transition from spring bloom to oligotrophy in the open NW Mediterranean and effect of wind events. 1. Abundance and specific composition. *Journal of Plankton Research*, **23**(3), 227-242.
- Arcangeli, A., Muzi, E., Tepsich, P., Carcassi, S., Castelli, A., Crosti, R., Di Vincenzo, M., Maggliozi, C., Marini, L., Poggi, A., Airoldi, A., Pulcini, M., Ricci, S., Safontas, C., Sdringola, S. & Ukmar, E., 2009. Networking cetacean monitoring, using passenger ferries as a platform of opportunity, in Italy. In *23rd Annual Conference of the European Cetacean*, Istanbul, Turkey.
- Astruc, G., 2005. *Exploitation des chaînes trophiques marines de Méditerranée par les populations de cétacés*. Ph-D, Montpellier, France.
- Astruc, G. & Beaubrun, P., 2001. Fin whale summer feeding in the north-western Mediterranean Sea. *15th Annual Conference of the European Cetacean Society, Rome, Italy, 6-10 May 2001*, **15**, 289-291.
- Augu, H., 2006. Analyse et modélisation de la distribution en mer Ligure, du rorqual commun (*Balaenoptera physalus*) et du dauphin bleu et blanc (*Stenella coeruleoalba*), à l'aide des Systèmes d'Information Géographique. *Travail de Diplôme de l'Ecole Polytechnique Fédérale, Lausanne*, 74 p.
- Azzellino, A., D'Amico, A., McGehee, D. E. & Portunato, N., 2001. A preliminary investigation on cetacean habitat in the Ligurian Sanctuary (Sirena'99). *15th Annual Conference of the European Cetacean Society, Rome, Italy, 6-10 May 2001*, 244-248.
- Azzellino, A., Fasano, D., Airoldi, S. & Patti, P., 2005. Sperm whale (*Physeter macrocephalus*) distribution in the western Ligurian Sea: does a correlation exist with sea surface temperature? *19th Annual Conference of the European Cetacean Society, La Rochelle, France, 2-7 April 2005*.
- Azzellino, A., Gaspari, S., Airoldi, S. & Nani, B., 2008. Habitat use and preferences of cetaceans along the continental slope and the adjacent pelagic waters in the western Ligurian Sea. *Deep-Sea Research I*, **55**, 296-323.
- Barberis S., Chiarlone F., Davico A., Davico L., Chiesa M., Massajoli M., Modena M., Trucchi R and Varaldo S., 1996. – Monitoring of cetaceans in the Ligurian sea : summer 1995. *European Research on Cetaceans*, **10** : 122-124.
- Baril D., Beaubrun P., Bonsignori B., David L., Dhermain F., Ripoll Th., Roussel E. et Trucchi R., 2000. Evaluation des populations estivales de Grands Dauphins (*Tursiops truncatus*) le long des côtes françaises et italiennes, *Rapport Final de la Campagne Cap Ligures, EPHE-GECM-WWF Italie-WWF France*, 50p.
- Baril D., Beaubrun P., Bonsignori B., David L., Dhermain F., Ripoll T., Roussel E., Trucchi R., 2001. Evaluation des populations estivales de Grands Dauphins (*Tursiops truncatus*) le long des côtes françaises et italiennes. *Rapport WWF-France Cap Ligures, campagne Tursiops 2000*.
- Baumgartner, M., 1997. The distribution of Risso's dolphin (*Grampus griseus*) with respect to the physiography of the Northern Gulf of Mexico. *Marine Mammal Science*, **13**(4), 614-638.

- Baumgartner, M. F., Mullin, K. D., May, L. N. & Leming, T. D., 2001. Cetacean habitats in the northern Gulf of Mexico. *Fishery Bulletin*, **99**, 219-239.
- Bearzi, G., Fortuna, C. M. & Reeves, R. R., 2008. Ecology and conservation of common bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* in the Mediterranean Sea. *Mammal Review*, **39**(2), 92-123.
- Beaubrun, P.-C., David, L., Fabre, J.L. & Muller, M. (1999) Exceptional appearance of fin whales during the summer 1997, in the Gulf of Lion (French Mediterranean coast). *European Research on Cetaceans*, **13**, 162–164.
- Bello, G., 1992. Stomach contents of a Risso's dolphin, *Grampus griseus*. Do dolphins compete with fishermen and swordfish, *Xiphias gladius* ? *6th Annual Conference of the European Cetacean Society, San Remo, Italy, 20-22 February 1992*, 199-202.
- Bérubé, M., Aguilar, A., Dendanto, D., Larsen, F., Notarbartolo di Sciara, G., Sears, R., Sigurjonsson, J., Urban R., J. & Palsboll, P. J., 1998. Population genetic structure of North Atlantic, Mediterranean Sea and Sea of Cortez fin whales, *Balaenoptera physalus* (Linnaeus 1758): analysis of mitochondrial and nuclear loci. *Molecular Ecology*, **7**, 585-599.
- Béthoux, J. P., Prieur, L. & Bong, J. H., 1988. Le courant Ligure au large de Nice. *Oceanologica Acta*, Special Issue, **9**, 59-67.
- Blanco, C., Salomon, O. & Raga, J. A., 2001. Diet of the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) in the western Mediterranean Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **81**, 1053-1058.
- Bompar, J. M., 1997a. Winter presence of Risso's dolphins, *Grampus griseus*, in the western part of the Ligurian Sanctuary. *11th Annual Conference of the European Cetacean Society, Stralsund, Germany, 10-12 March 1997*, 164-166.
- Bompar, J. M., 1997b. Etude de la population de dauphins de Risso (*Grampus griseus*) fréquentant la corne nord ouest du futur sanctuaire de mer Ligure. Rapport GECEM / Parc National de Port-Cros.
- Borrell, A., Aguilar, A., Tornero, V., Sequeira, M., Fernandez, G. & Alis, S., 2006. Organochlorine compounds and stable isotopes indicate bottlenose dolphin subpopulation structure around the Iberian peninsula. *Environment International*, **32**, 516-523.
- Boutiba, Z., 1992. *Les mammifères marins des côtes de l'Algérie: statut, répartition, écologie, biologie*. Ph-D thesis, Université d'Oran, Oran.
- Bricaud, A., Bosc, E. & Antoine, D., 2002. Algal biomass and sea surface temperature in the Mediterranean Basin. Intercomparison of data from various satellite sensors, and implications for primary production estimates. *Remote Sensing of Environment*, **81**, 163-178.
- Brown, M. W. & Winn, H. E., 1989. Relationship between the distribution pattern of right whales, *Eubalaena glacialis*, and satellite-derived sea surface thermal structure in the Great South Channel. *Continental Shelf Research*, **9**, 247-260.
- Buckland, S.T., Anderson, D.R., Burnham, K.P., Laake, J.L., Borchers, D.L. & Thomas, L., 2001. *Introduction to Distance Sampling: Estimating Abundance of Biological Populations*, Oxford University Press, New York, USA.
- Calzada, N. & Aguilar, A., 1995. Geographical variation of body size in western Mediterranean striped dolphins (*Stenella coeruleoalba*). *Zeitschrift für Säugetierkunde*, **60**, 257-264.
- Campbell, J., Antoine, D., Armstrong, R., Arrigo, K., Balch, W., Barber, R., Behrenfeld, M., Bidigare, R., Bishop, J., Carr, M. E., Esaias, W., Falkowski, P., Hoepffner, N., Iverson, R., Kiefer, D., Lohrenz, S., Marra, J., Morel, A., Ryan, J., Vedernikov, V., Waters, K., Yentsh, C. & Yoder, J. M., 2002. Comparison of algorithms for estimating ocean primary production from surface chlorophyll, temperature and irradiance. *Global Biogeochemical cycles*, **16**(3), 1-15.
- Cañadas, A. & Sagarminaga, R., 1996. Preliminary results of photo-identification studies on Risso's dolphins (*Grampus griseus*) undertaken during surveys of cetacean distribution and dynamics

- along the south-east coast of Spain: 1992-1995. *10th Annual Conference of the European Cetacean Society, Lisbon, Portugal, 11-13 March 1996*, 221-224.
- Cañadas, A., Sagarminaga, R. & Garcia-Tiscar, S., 2002. Cetacean distribution related with depth and slope in the Mediterranean waters off southern Spain. *Deep-Sea Research I*, **49**, 2053-2073.
- Cañadas, A., Sagarminaga, R., De Stephanis, R., Urquiola, E. & Hammond, P. S., 2005. Habitat preference modelling as a conservation tool: proposals for marine protected areas for cetaceans in southern Spanish waters. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, **15**, 485-521.
- Canese, S., Cardinali, A., Fortuna, C. M., Giusti, M., Lauriano, G., Salvati, E. & Greco, S., 2006. The first identified winter feeding ground of fin whales (*Balaenoptera physalus*) in the Mediterranean Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **86**, 903-907.
- Capoulade, F., 2002. Whales and ferries in Ligurian sanctuary: captain's experience and owner's actions. *European Cetacean Society Newsletter*, **40**, 18-25.
- Carlini, R., Pulcini, M. & Würtz, M., 1992. Cephalopods from the stomachs of Risso's dolphin, *Grampus griseus*, (Cuvier, 1812), stranded along the Central Tyrrhenian coast. *6th Annual Conference of the European Cetacean Society, San Remo, Italy, 20-22 February 1992*, **6**, 196-198.
- Casanova, B., 1974. Les Euphausiacés de Méditerranée (Systématique et développement larvaire. Biogéographie et Biologie). *Ph-D thesis, Université d'Aix-Marseille I, Marseille*.
- CIESM/Ifremer Medimap Group, Loubrieu, B., Mascle, J. & al., 2008, Morpho-bathymetry of the Mediterranean Sea, *CIESM edition*.
- Cotté C. (2009). Influence des processus mésoéchelle sur la distribution et les mouvements des prédateurs marins supérieurs : le cas des cétacés en Méditerranée occidentale et des manchots royaux de Crozet. Thèse de doctorat, Université Aix-Marseille, 269p.
- Cotté C. & Simard Y. 2005. The formation of rich krill patches under tidal forcing at whale feeding ground hot spots in the St. Lawrence Estuary. *Marine Ecology Progress Series* 288, 199-210.
- Cotté, C., Guinet, C., Taupier-Letage, I., Mate, B. & Petiau, E., 2009. Scale-dependant habitat use by a large free-ranging predator, the Mediterranean fin whale. *Deep-Sea Research I*, **56**, 801-811.
- David, L., 2000. *Rôle et importance des canyons sous-marins sur la marge continentale dans la distribution estivale des cétacés de Méditerranée Nord-Occidentale*. Ph-D thesis, Ecole Pratique des Hautes Etudes.
- David, L., 2005a. Suivi de la pêche à la thonaille : Quel impact sur les dauphins bleu et blanc? *N04.025.83400 PC*.
- David, L., 2005b. Rorqual commun et transport maritime. Quel enjeu ? Quelles solutions ? Evaluation des zones à risque de collisions entre le rorqual commun et le trafic maritime commercial en Méditerranée nord-occidentale. CEBC-CNRS, écoOcéan.
- David, L. & Di-Méglio, N., 1999. First results of summer movements of *Grampus griseus* (Cuvier, 1812) in the North-Western Mediterranean Sea. *13th Annual Conference of the European Cetacean Society, Valencia, Spain, 5-8 April 1999*, 189-194.
- David, L., Di-Méglio, N. & Beaubrun, P., 2001. Mouvements des cétacés, en période estivale, dans la Méditerranée nord-occidentale. *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, **36** : 257.
- David, L., Gannier, A., Di-Méglio, N. & Laran, S., 2002. Comparing two monitoring techniques for the summer populations of cetaceans in the Mediterranean Sanctuary, *Eur. Research on Cetacean* **16**, Liège (Belgique), 7-11 avril 2002 : 75.
- Davis, R. W., Fargion, G. S., May, N., Leming, T. D., Baumgartner, M., Evans, W. E., Hansen, L. J. & Mullin, K., 1998. Physical habitat of cetaceans along the continental slope in the north-central and western Gulf of Mexico. *Marine Mammal Science*, **14**, 490-507.

- Dhermain, F., 2003. Suivi hivernal et recensement estival 2003 du Grand dauphin (*Tursiops truncatus*) en Corse. In *Actes de la 12e conférence internationale RIMMO*, Antibes, 90-95.
- Dhermain F., 2009. Suivi des échouages sur les côtes méditerranéennes françaises. Années 2005-2009. *Rapport GECEM / GIS3M, contrat 08_037_83400 pour le Parc National de Port-Cros*, 131 p.
- Di-Méglio, N., 1999. *Distribution comparée des cétacés et des oiseaux marins de Méditerranée Nord-occidentale en période estivale*. Ph-D thesis, Ecole Pratique des Hautes Etudes, Montpellier.
- Di-Méglio, N., Collet, A. & Romero-Alvarez, R., 1996. Growth comparison in striped dolphin, *Stenella coeruleoalba*, from the Atlantic and the Mediterranean coasts of France. *Aquatic Mammals*, **22**(1): 11-21.
- Di-Méglio, N., David, L. & Beaubrun, P., 1999. Spatio-temporal distribution of Risso's Dolphin *Grampus griseus* (Cuvier, 1812) in summer in the North-Western Mediterranean Sea. *13th Annual Conference of the European Cetacean Society, Valencia, Spain, 5-8 April 1999*, 195-200.
- Di-Méglio, N., David, L. & Beaubrun, P., 2005. Importance of frontal structures on the distribution of cetaceans and sea birds in the north-western Mediterranean Sea. *European Research on Cetacean 19, La Rochelle (France), 2-7 avril 2005* : 74.
- Di-Méglio, N. & David, L., 2008. 2007: a particular year or the symptom of a global change in the distribution of large cetaceans in the northwestern Mediterranean Sea. *22nd Annual Conference of the European Cetacean, Egmond aan Zee, Netherlands, 10-12 March 2008*.
- Doniol-Valcroze, T., Berteaux, D., Larouche, P. & Sears, R., 2007. Influence of thermal fronts on habitat selection by four orca whale species in the Gulf of St. Lawrence. *Marine Ecology Progress Series*, **335**, 205-216.
- Drouot, V., 2003. *Ecology of sperm whale (Physeter macrocephalus) in the Mediterranean Sea*. Ph-D thesis, University of Wales, Bangor, UK.
- Drouot, V., Gannier, A. & Goold, J. C., 2004a. Diving and feeding behavior of sperm whales (*Physeter macrocephalus*) in the northwestern Mediterranean Sea. *Aquatic Mammals*, **30**(3), 419-426.
- Drouot, V., Bérubé, M., Gannier, A., Goold, J. C., Reid, R. J. & Palsboll, P. J., 2004b. A note on genetic isolation of Mediterranean sperm whales (*Physeter macrocephalus*) suggested by mitochondrial DNA. *Journal of Cetacean Research and Management*, **6**(1), 29-32.
- Dubroca, L., André, J-M., Beaubrun, P., Bonin, E., David, L., P-C., Durbec J-P., Monestiez, P. & Guinet, C., 2004. Summer fin whale (*Balaenoptera physalus*) distribution in relation to oceanographic conditions : implication for the conservation. In : CIESM, 2004, *Investigation the roles of cetaceans in marine ecosystems*. CIESM Workshop Monograph n°25 : 77-84.
- Duguy, R. & Vallon D., 1976. Le rorqual commun (*Balaenoptera physalus*) en Méditerranée nord-occidentale : état actuel des observations. *XXV^{ème} congrès assemblée plénière de la C.I.E.S.M., Split, 22-30 octobre 1976*, 4p.
- Fabbri, F. & Lauriano, G., 1992. Greenpeace report on two year research in the Ligurian Sea. *6th Annual Conference of the European Cetacean Society, San Remo, Italy, 20-22 February 1992*, 69-74.
- Fielding, A. H. & Bell, J. F., 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation*, **24**(1), 38-49.
- Forcada, J., Aguilar, A., Hammond, P. S., Pastor, X. & Aguilar, R., 1994. Distribution and numbers of striped dolphins in the Western Mediterranean Sea After the 1999 Epizootic Outbreak. *Marine Mammal Science*, **10**(2), 137-150.
- Forcada, J., Notarbartolo di Sciara, G. & Fabbri, F., 1995. Abundance of fin whales and striped dolphins summering in the Corso-Ligurian Basin. *Mammalia*, **59**(1), 127-140.

- Forcada, J., Gazo, M., Aguilar, A., Gonzalvo, J. & Fernandez-Contretas, M., 2004. Bottlenose dolphin abundance in the NW mediterranean : addressing heterogeneity in distribution. *Marine Ecology Progress Series*, **275**, 275-287.
- Gannier, A., 1995. *Les cétacés de Méditerranée nord-occidentale : estimation de leur abondance et mise en relation de la variation saisonnière de leur distribution avec l'écologie du milieu*. Ph-D thesis, Ecole Pratique de Hautes Etudes, Montpellier.
- Gannier, A., 1997a. Une tentative de suivi à moyen terme (1989-1996) du peuplement de cétacés en mer Ligure. *Actes de la Conférence Internationale RIMMO 6 (Antibes, 22-24 novembre 1997)*: 7-13.
- Gannier, A., 1997b. Estimation de l'abondance estivale du Rorqual commun *Balaenoptera physalus* (Linné, 1758) dans le bassin Liguro-provençal (Méditerranée Nord-Occidentale). *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, **52**, 69-86.
- Gannier, A., 1998. Une estimation de l'abondance estivale du dauphin bleu et blanc *Stenella coeruleoalba* (Meyen, 1833) dans le futur Sanctuaire Marin International de Méditerranée nord-occidentale. *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, **53**, 255-272.
- Gannier, A., 1999. Les cétacés de Méditerranée : nouveaux résultats sur leur distribution, la structure de leur peuplement et l'abondance relative des différentes espèces. *Mésogée*, **56**, 3-19.
- Gannier, A., 2005a. Summer distribution and relative abundance of delphinids in the Mediterranean Sea. *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, **60**, 223-238.
- Gannier, A., 2005b. - Summer activity pattern of fin whales (*Balaenoptera physalus*) in the northwestern mediterranean pelagos sanctuary. *Mésogée* Volume 61 : 35-41p.
- Gannier, A., 2006. Le peuplement estival de cétacés dans le Sanctuaire Marin Pelagos (Méditerranée nord-occidentale) : distribution et abondance. *Mammalia*, **70**(1), 17-27.
- Gannier A., Beaubrun P-C., Di-Méglio N., 1994. Cetacean occurrence in the Gulf of Lion and surrounding. *European Research on Cetaceans*, **8** : 87-91.
- Gannier, A. & Gannier, O., 1994. Abundance of *Grampus griseus* in the northwestern Mediterranean. *8th Annual Conference of the European Cetacean Society, 1994*, 99-102.
- Gannier, A. & David, L., 1997. Day and night distribution of the striped dolphin (*Stenella coeruleoalba*) in the area off Antibes (Ligurian Sea). *11th Annual Conference of the European Cetacean Society, Stralsund, Germany, 10-12 March 1997*, 160-163.
- Gannier, A. & Bourreau, S., 1999. Compraraison of cetacean populations from simultaneous surveys in the Gulf of Lion and Ligurian areas. *13th Annual Conference of the European Cetacean Society, Valencia, Spain, 5-8 April 1999*, 222-226.
- Gannier, A., Drouot, V. & Goold, J. C., 2002. Distribution and relative abundance of sperm whales in Mediterranean Sea. *Marine Ecology Progress Series*, **243**, 281-293.
- Gannier, A., Bourreau, S., Drouot, V., Gannier, O. & Laran, S., 2004. Summer distribution of fin whale (*Balaenoptera physalus*) in the Mediterranean Sea. *Mésogée*, **60**, 17-25.
- Gannier, A. & Praca, E., 2007. SST fronts and the summer sperm whale distribution in the north-west Mediterranean Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **8**(1), 187-193.
- Garcia-Martinez, J., Barrio, E., Raga, J. A. & Latorre, A., 1995. Mitochondrial DNA variability of striped dolphins (*Stenella coeruleoalba*) in the spanish Mediterranean waters. *Marine Mammal Science*, **11**(2), 183-199.
- Gaspari, S., Airoidi, S. & Hoelzel, A. R., 2007. Risso's dolphins (*Grampus griseus*) in UK waters are differentiated from a population in the Mediterranean Sea and genetically less diverse. *Conservation Genetics*, **8**(277-732).

- Gordon, J. C. D., Matthews, J. N., Panigada, S., Gannier, A., Borsani, F. J. & Notarbartolo di Sciarra, G., 2000. Distribution and relative abundance of striped dolphins, and distribution of sperm whales in the Ligurian Sea cetacean sanctuary. *Journal of Cetacean Research and Management*, **2**(1), 27-36.
- Gostan, J. and Nival, P. 1967. Relations entre la distribution des phosphates minéraux dissous et la répartition des pigments dans les eaux superficielles du Golfe de Gênes. *Cah. Oceanogr.* 19:41-52.
- Gregr, E. J., 2000. An analysis of historic (1908-1967) whaling records from British Columbia, Canada. *Ph-D thesis, University of British Columbia*.
- Gregr, E. J. & Trites, A. W., 2001. Predictions of critical habitat for five whale species in the waters of coastal British Columbia. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **58**, 1265-1285.
- Griffin, R. B., 1999. Sperm Whale distributions and community ecology associated with a warm-core ring off Georges Bank. *Marine Mammal Science*, **15**, 33-51.
- Guinet, C., Mate, B., Bentaleb, I., André, J.-M., Mayzaud, P., de Stephanis, R., 2005. Where are the Mediterranean fin whales when the Summer is over? Abstracts, 19th Annual Conference of the *European Cetacean Society*, La Rochelle, France, 2-7 April 2005:24.
- Hamazaki, T., 2002. Spatiotemporal prediction models of cetacean habitats in the mid-western North Atlantic Ocean (from Cape Hatteras, North Carolina, USA, to Nova Scotia, Canada). *Marine Mammal Science*, **18**(4), 920-939.
- Hirzel, A., Arlettaz, R., 2003. Modeling Habitat Suitability for complex Species Distributions by Environmental-Distance Geometric. *Environnemental Management*, **32**(5), 614-623.
- Hirzel, A. Hausser, J., Chessel, D., Perrin, N., 2002. Ecological Niche Factor Analysis: How to compute Habitat Suitability Maps without absence data?. *Ecology*, **83**(7).
- Hirzel, A., Hausser, J., Perrin, N., 2006. Biomapper 3.2. *Laboratory for Conservation Biology UoL* (ed.) Laboratory for Conservation Biology, university of Lausanne URL: <http://www.unil.ch/biomapper>
- Hooker, S. K., Whitehead, H. & Gowans, S., 1999. Marine protected area design and the spatial and temporal distribution of cetaceans in a submarine canyon. *Conservation Biology*, **13**(3), 592-602.
- Jacques, G., 1990. L'oligotrophie du milieu pélagique en Méditerranée occidentale: un paradigme qui s'éstompe? *Bulletin de la Société Zoologique de France*, **114**, 17-30.
- Jacques, G., 1994. Nouvelles vues sur le système pélagique de mer Ligure. *Biologia Marina Mediterranea*, **1**(1), 65- 82.
- Jaquet, N., 1996. How spatial and temporal scales influence understanding of Sperm Whale distribution : a review. *Mammal Review*, **26**, 51-65.
- Jaquet, N. & Whitehead, H., 1996. Scale-dependent correlation of sperm whale distribution with environmental features and productivity in the South Pacific. *Marine Ecology Progress Series*, **135**, 1-9.
- 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.
- Kahru, M., 2003. Windows Image Manager. Image display and Analysis program for Microsoft^(r) Windowstm with special features for satellite images. *User's Manual, version 6., San Diego, USA: Wateridge Circle*.
- Kenney, R. D., Scott, G. P., Thompson, T. J. & Winn, H. E., 1997. Estimates of prey consumption and trophic impacts of cetaceans in the USA northeast continental shelf ecosystem. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, **22**, 155-171.

- Kruse, S., Caldwell, D. K. & Caldwell, M. C., 1999. Risso's Dolphin *Grampus griseus* (G. Cuvier, 1812). In *Handbook of Marine Mammals* (ed. S. H. Ridway & R. J. Harrison, eds), pp. 183-212. London: Academic Press.
- Labach, H., Dhermain, F., Dupraz, F. & Colombey, M., 2009. Suivi des grands dauphins et dauphins de Risso sur le secteur des îles d'Hyères. GISM, Hyères.
- Labat J.P. & Cuzin-Roudy, J., 1996. Population dynamics of the krill *Meganyctiphanes norvegica* (M. Sars, 1857) (Crustacea: Euphausiacea) in the Ligurian Sea (NW Mediterranean Sea). Size structure, growth and mortality modeling. *Journal of Plankton Research* 18, 2295–2312.
- Laist D.W., Knowlton A.R., Mead J.G., Collet A.S., Podestà M. 2001. Collisions between ships and whales. *Marine Mammal Science* 17(1):35-75.
- Laran, S., 2005. *Variations spatio-temporelles du peuplement de cétacés en Mer Ligure (Méditerranée Nord-Occidentale) et relations avec les conditions environnementales*. Ph-D thesis, Free University of Brussels, Brussels.
- Laran, S. & Gannier, A., 2006a. Long term trend in the fin whale sighting rate, sea surface temperature and primary production in the Ligurian Sea. In *Workshop on Climatic changes, European Cetacean Society*, Gdynia, Poland.
- Laran, S. & Gannier, A., 2006b. Variation saisonnière de la présence du cachalot (*Physeter macrocephalus*) dans le Sanctuaire Pelagos (Mer Ligure). *Mésogée*, 61, 71-77.
- Laran, S. & Drouot-Dulau, V., 2007. Seasonal variation of striped dolphins, fin- and sperm whales' abundance in the Ligurian Sea (Mediterranean Sea). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 87, 345-352.
- Laran, S. & Gannier, A., 2008. Spatial and temporal prediction of fin whale distribution in the northwestern Mediterranean Sea. *ICES Journal of Marine Science*, 65(7), 1260-1269.
- Laran, S., Joiris, C., Gannier, A. & Kenney, R. D., 2008 in press. Seasonal estimates of densities and predation rates of cetaceans in the Ligurian Sea, northwestern Mediterranean Sea: an initial examination. *Journal Cetacean Res. Manage.*
- Lauriano, G., 1997 Preliminary observations of fin whales (*Balaenoptera physalus*) off north-western Sardinia. *European Research on Cetaceans*, 11, 122–124.
- Legendre, P. & Legendre, L., 1998. *Numerical Ecology*, 2nd. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Compagny.
- Le Vourch, J., Millot, C., Castagne, N., Le Borgne, P. & Olry, J.-P., 1992. Atlas des fronts thermiques en Méditerranée d'après l'imagerie satellitaire. *Mémoires de l'Institut Océanographique Monaco*, 16, 1– 160.
- LIFE LINDA, 2007. Limitation des Interactions Négatives entre Dauphins et Activités humaines. Rapport technique final LIFE03 NAT/F/000104, p 125.
- Littaye, A., Gannier, A., Laran, S. & Wilson, J.P.F., 2004. The relationship between summer aggregation of fin whales and satellite-derived environmental conditions in the northwestern Mediterranean Sea. *Remote Sensing of Environment*, 90, 44-52.
- Mangion, P. & Gannier, A., 2002. Improving the comparative distribution picture for Risso's dophin and Long-finned pilot whale in the Mediterranean Sea. *16th Annual Conference of the European Cetacean Society, Liège, Belgium, 2002*, 68.
- Marini, L., Consiglio, C., Angradi, A. M., Catalano, B., Sanna, A., Valentini, T., Finoia, M. G. & Villetti, G., 1996. Distribution, abundance and seasonality of cetaceans sighted during scheduled ferry crossing in the Central Tyrrhenian Sea: 1989-1992. *Italian Journal of Zoology*, 63, 381-388.
- McGehee, D. E., Demer, D. A. & Warren, J. D., 2004. Zooplankton in the Ligurian Sea: Part I. Characterization of their dispersion, relative abundance and environment during summer 1999. *Journal of Plankton Research*, 26(12), 1409-1418.

- Meissner, A.M., Macleod, C.D., Pierce G.J., Gannier A. & Ridoux V., 2008. Habitat use and activity budget of striped dolphin in NW Mediterranean coastal waters. *Eur. Research on Cetacean* 22, Amsterdam (Netherlands), 10-12 mars 2008.
- Millot, C. & Taupier-Letage, I., 2004. The cetacean world as seen by physical and biological oceanographers. in : *Investigating the roles of cetaceans in marine ecosystems. CIESM Workshop Monographs n°25, CIESM, 2004 : 107-116p.*
- Molinero, J.C., Ibanez, F., Souissi, S., Bosc, E. & Nival, P., 2007. Surface patterns of zooplankton spatial variability detected by high frequency sampling in the NW Mediterranean. Role of density fronts. *Journal of Marine Systems* 69, 271-282.
- Monestiez, P., Dubroca, L., Bonnin, E., Durbec, J.-P. & Guinet, C., 2006. Geostatistical modelling of spatial distribution of *Balaenoptera physalus* in the northwestern Mediterranean Sea from sparse count data and heterogeneous observation efforts. *Ecological Modelling*, **193**, 615-628.
- Monestiez, P., Paklepa, B., Di-Méglio, N. & David, L., 2009. Long term monitoring of Mediterranean fin whale population : Why focusing on spatial distribution is important ? *10th International Congress of Ecology, INTECOL 2009* Brisbane, Australia, 16-21 August 2009.
- Moulins, A. & Würtz, M., 2005. Occurrence of a herd of female sperm whales and their calves (*Physeter macrocephalus*), off Monaco, in the Ligurian Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **85**, 213-214.
- Moulins A., Rosso M., Ballardini M. and Wurtz M., 2008. Partitioning of the Pelagos Sanctuary (north-western Mediterranean Sea) into hotspots and coldspots of cetacean distributions. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* : 1-9.
- Mussi, B., Miragliuolo, A. & Diaz Lopez, B., 2000. Social structure and male parental care in a Long-finned Pilot Whale (*Globicephala melas*) pod off Ventotene Island (southern Tyrrhenian Sea, Italy). *14th Annual Conference of the European Cetacean Society, Cork, Ireland, 2-5 April 2000*, 141-145.
- Notarbartolo di Sciara, G., 1990. A note on the cetacean incidental catch in the Italian driftnet Swordfish Fishery, 1986-1988. *Report of the International Whaling Commission*, **40**, 459-460.
- Notarbartolo di Sciara, G., Venturino, M. C., Zanardelli, M., Bearzi, G., Borsani, F. J. & Cavalloni, B., 1993. Cetaceans in the central Mediterranean Sea : Distribution and sightings frequencies. *Bollettino di Zoologia*, **60**, 131-138.
- Notarbartolo di Sciara, G., Zanardelli-Panigada, M., Jahoda, M., Panigada, S & Airoidi, S., 2003. The fin whale *Balaenoptera physalus* (L. 1758) in the Mediterranean Sea. *Mammal Rev.* 2003, Volume 33, No. 2, 105–150.
- Notarbartolo di Sciara, G., Agardy, T., Hyrenbach, D., Scovazzi, T. & P., V. K., 2008. The Pelagos Sanctuary for Mediterranean marine mammals. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, **18**(4), 367-391.
- Natoli, A., Birkun, A., Aguilar, A., Lopez, A. & Hoelzel, A. R., 2005. Habitat structure and the dispersal of male and female bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Proceedings of the Royal Society of London, B*, **272**(1569), 1217-1226.
- O'Dor, R. K. and Coelho, M. L., 1993. Big squid, big currents and big fisheries. Recent advances in cephalopod fisheries biology. *Okutani, T., O'Dor, R. K., and Kubodera, T., Tokai University Press, Tokyo, Japan*, 385-396.
- Öztürk B., Salman A., Öztürk A. A., Tonay A., 2007. Cephalopod remains in the diet of striped dolphins (*Stenella coeruleoalba*) and Risso's dolphins (*Grampus griseus*) in the East Mediterranean sea. *Vie et Milieu – Life and environment*, **57 (1/2)** : 53-59.
- Pace, D. S., Miragliuolo, A. & Mussi, B., 2008. Behaviour of a social unit of sperm whales (*Physeter macrocephalus*) entangled in a driftnet off Capo Palinuro (Southern Tyrrhenian Sea, Italy). *Journal of Cetacean Research and Management*, **10**(2), 131 - 135.

- Panigada, S., Notarbotolo Di Sciara, G., Zanardelli-Panigada, M., Airoidi, S., Borsani, F., Jahoda, M. 2005. Fin whales (*Balaenoptera physalus*) summering in the Ligurian Sea : distribution, encounter rate, mean group size and relation to physiographic variables. *Cetaceans res. Manage*, **7**(2), 137-145.
- Panigada, S., Zanardelli, M., MacKenzie, M., Donovan, C., Mélin, F. & Hammond, P., 2008. Modelling habitat preferences for fin whales and striped dolphins in the Pelagos Sanctuary (Western Mediterranean Sea) with physiographic and remote sensing variables. *Remote Sensing of Environment*, **112**, 3400-3412.
- Panigada, S., Giani, A., Notarbartolo di Sciara, G. & Lauriano, G., 2009. Abundance of striped dolphins in the PELAGOS Sanctuary : insights through line transect surveys. *Abstracts of the 23rd Conference of the European Cetacean Society, 2-4 March 2009, Istanbul, Turkey*.
- Pinca, S. & Dallot, S., 1995. Mesozooplankton and macrozooplankton composition patterns related to hydrodynamic structures in the Ligurian Sea (TROPHOS-2 experiment, April-June-1986). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 126:49-65.
- Polo, L., Di-Méglio, N., David, L. & Rosso, M., 2009. First analysis of long term association of Risso's dolphin (*Grampus griseus*) population in the Liguro – Provençal Basin and Gulf of Lion. 23th Conference of European Cetacean Society March 1st – 4th 2009 Istanbul - TURKEY
- Praca, E., 2004. *Influence de facteurs environnementaux sur la distribution du Cachalot (Physeter macrocephalus) en Méditerranée Nord Occidentale*. Ph-D thesis, Université de Liège, Belgique.
- Praca, E. & Gannier, A., 2008. Ecological niches of three teuthophageous odontocetes in the northwestern Mediterranean Sea. *Ocean Science*, **4**(1), 49-59.
- Praca, E., Gannier, A., Das, K. & Laran, S., 2009. Modelling the habitat suitability of cetaceans: Example of the sperm whale in the northwestern Mediterranean Sea. *Deep-Sea Research I*, **56**, 648-657.
- Quetglas, A., Carbonell, A. & Sanchez, P., 2000. Demersal continental shelf and upper slope cephalopod assemblages from Balearic Sea (north-western Mediterranean). Biological aspects of some deep-sea species. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **50**, 739-749.
- Redfern, J. V., Ferguson, M. C., Becker, E. A., Hyrenbach, K. D., Good, G., Barlow, J., Kaschner, K., Baumgartner, M., Forney, K. A., Ballance, L. T., Fauchald, P., Halpin, P., Hamazaki, T., Pershing, A. J., Qian, S. S., Read, A. J., Reilly, S. B., Torres, L. & Werner, F., 2006. Techniques for cetacean-habitat modeling. *Marine Ecology Progress Series*, **310**, 271-295.
- Reeves, R. R. & Notarbartolo di Sciara, G., 2006. The status and distribution of cetaceans in the Black Sea and Mediterranean Sea. The World Conservation Union (IUCN) Center for Mediterranean Cooperation, Malaga, Spain, Malaga, Spain.
- Reilly, S. B., 1990. Seasonal changes in distribution and habitat differences among dolphins in the eastern tropical Pacific. *Marine Ecology Progress Series*, **66**, 1-11.
- Reilly, S. B. & Fiedler, P. C., 1994. Interannual variability of dolphin habitats in the Eastern tropical Pacific I : Research vessel surveys, 1986-1990. *Fishery Bulletin*, **92**, 434-450.
- Relini, G., Orsi Relini, L., Cima, C., Fasciana, C., Fioentino, F., Palandri, G., Relini, M., Tartaglia, M. P., Torchia, G. & A., Z., 1992. Macroplankton, *Meganyctiphanes norvegica*, and Fin Whales, *Balaenoptera physalus*, along some transects in the Ligurian Sea. *6th Annual Conference of the European Cetacean Society, San Remo, Italy, 20-22 February 1992*, 134-137.
- Relini, G., Orsi Relini, L., Siccardi, A., Fiorentino, F., Palandri, G., Torchia, G., Relini, M., Cima, C. & Cappello, M., 1994. Distribuzione di *Meganyctiphanes norvegica* e *Balaenoptera physalus* in Mar Ligure all'inizio della primavera. *Biologia Marina Mediterranea*, **1**, 89-94.
- Renaud A., 2001 . Le Grand Dauphin (*Tursiops truncatus*), une espèce de la Directive Habitats dans le Golfe du Lion : évolution des populations, perception par les différents publics, réflexion critique sur les stratégies de conservation. *Ecole Pratique des Hautes Etudes* - Montpellier.

- Roberts, S. M., 2003. Examination of the stomach contents from a Mediterranean sperm whale found south of Crete, Greece. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **83**, 667-670.
- Salomon, O., Blanco, C. & Raga, J. A., 1997. Stomach contents of bottlenose dolphin *Tursiops truncatus* in the gulf of Valencia (western Mediterranean). *11th Annual Conference of the European Cetacean Society, Straslund, Germany, 10-12 March 1997*, 156.
- Sardou, J., Etienne, M. & Andersen, V., 1996. Seasonal abundance and vertical distributions of macroplankton and micronekton in the Northwestern Mediterranean Sea. *Oceanologica Acta*, **19**(4), 1-12.
- Simard, Y. & Lavoie, D., 1999. The rich krill aggregation of the Saguenay St. Lawrence Marine Park: hydroacoustic and geostatistical biomass estimates, structure, variability and significance for whales. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **56**, 1182-1197.
- SPA Protocol, 1995. *Protocol concerning Specially Protected Areas and Biological Diversity in the Mediterranean*. UNEP. Barcelona, Spain, 9-10 June 1995.
- Steinberg D. & Colla P., 2004. Logistic regression. Systat 11, *Statistic II*, 207-278.
- Taffé, P., 2004. Cours de Régression Logistique Appliquée. Institut Universitaire de Médecine Sociale et Préventive (IUMSP) et Centre d'épidémiologie Clinique (CepiC). www.chuv.ch, ed., Lausanne,.
- Taupier-Letage, I. & Millot, C., 1986. General hydrodynamical features in the Ligurian Sea inferred from the DYOME experiment. *Oceanologica Acta*, **9**(2), 119-131.
- Tintore, J., Gomis, D., Alonso, S. & Parrilla, G., 1991. Mesoscale Dynamics and Vertical Motion in the Alborán Sea. *Journal of Physical Oceanography* **21**, 811-823
- Viale D., 1981. Ecologie des cétacés de Méditerranée occidentale. *Mammals in the seas, FAO Fisheries series n°5*, **3** : 287-300.
- Viale, D., 1985. Cetaceans in the northwestern Mediterranean : their place in the ecosystem. *Oceanography and Marine Biology Annual review*, **23**, 491-571.
- Voliani, A. & Volpi, C., 1990. Stomach content analysis of a stranded specimen of *Tursiops truncatus*. *Rapport de la Commission Internationale de la Mer Méditerranée*, **32**(1), 238.
- Waring, G. T., Hamazaki, T., Sheehan, D., Wood, G. & Baker, S., 2001. Characterization of beaked whale (Ziphiidae) and sperm whale (*Physeter macrocephalus*) summer habitat in shelf-edge and deeper waters off the northeast U.S. *Marine Mammal Science*, **17**(4), 703-717.
- Warren, J. D., Demer, D. A., McGehee, D. E., Di Mento, R. & Borsani, F. J., 2004. Zooplankton in the Ligurian Sea: Part II. Exploration of their physical and biological forcing functions during summer 2000. *Journal of Plankton Research*, **46**(12), 1419-1427.
- Whitehead, H., 2003. *Sperm whales : Social evolution in the Ocean*, The University of Chicago Press. Chicago, USA: The University of Chicago Press.
- Würtz M., Poggi R., Clarke R. C. 1992a. Cephalopods from the stomachs of a Risso's dolphin (*Grampus griseus*) from the Mediterranean. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **72** : 861-867.
- Wurtz, M., Pulcini, M. & Marrale, D., 1992b. Mediterranean cetaceans and fisheries do they exploit the same resources? *European Cetacean Society Newsletter*, **6**, 37-40.
- Zanardelli, M., Notarbartolo di Sciara, G. & Jahoda, M., 1992. Photo-identification and behavioural observations of fin whales summering in the Ligurian Sea. *European Research on Cetaceans*, **6**, 86-89.

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 II
ANNEXE 2 V
ANNEXE 3 XIII
ANNEXE 4 XXIII
ANNEXE 5 XXV

ANNEXE 1

Courrier de présentation du projet envoyé aux partenaires potentiels

Bonjour à tous

Tout d'abord quelques mots sur qui nous sommes, le GIS3M a été créé il y a bientôt 1 an. Cette association a pour objectif de soutenir directement ou indirectement la recherche et de développer l'expertise sur les mammifères marins en Méditerranée et leur environnement. Nous espérons ainsi fédérer ses membres, mais également d'autres partenaires extérieurs, appartenant à différentes structures (associations, laboratoires, universités, ...) dans leurs travaux de recherche.

Notre premier programme fut de proposer au Parc National de Port Cros un projet de partenariat scientifique pour le Sanctuaire Pelagos.

Dans ce cadre nous nous proposons de coordonner un programme de collaboration qui consisterait à un regroupement des bases de données (observations de cétacés dont l'espèce a été assurée avec certitude et lorsque cela est possible effort de prospection par des observateurs expérimentés).

Bien sûr ces transferts de données se feraient dans le cadre d'une convention précise, limitant l'usage dans le temps. Leur utilisation dans le cadre de publications mentionnerait les participants en co-auteurs et/ou remerciements (en fonction de la quantité/qualité des données apportées au projet) et du type d'analyses réalisées.

Nous souhaiterions collecter le maximum de données, mais celles-ci doivent être de "bonne qualité". Dans un premier temps nous allons travailler dans la zone du Sanctuaire ou à proximité (il est cependant intéressant de commencer à connaître les sources disponibles pour une zone plus large). N'hésitez donc pas à nous faire part de vos propositions.

En parallèle nous souhaitons utiliser des images satellites et des informations topographiques (profondeur, pente, ...) afin de mettre en relation la distribution des différentes espèces avec leur milieu.

Nous serions heureux de savoir si ce projet vous intéresse et si vous pensez pouvoir apporter votre contribution à ce projet.

En vous remerciant de votre attention.

Bien cordialement

Sophie Laran (CRC-Marineland) & Léa David (EcoOcéan Institut)

**du GIS 3M - Groupement d'Intérêt Scientifique pour les Mammifères
Marins de Méditerranée**



Groupement d'Intérêt Scientifique
pour les Mammifères Marins de Méditerranée
Parc National de Port-Cros
Castel Sainte-Claire
83418 Hyères Cedex, France

gis3m@yahoo.fr

February, 23rd 2009

Dear colleagues

The Group of Scientific Interest for the Marine Mammals in Mediterranean Sea and their Environment (GIS3M) has been selected by the French part of the PELAGOS Sanctuary, for the MEDAT (French Ministry of Ecology) to conduct several research programs. Wherein a collaborative project was proposed : to synthesized the knowledge gathered about the distribution of the 6 main cetaceans species of the Pelagos Sanctuary: striped dolphin, fin whale, sperm whale, pilot whale, Risso's dolphin, common dolphin in the Pelagos area (mainly the French part) and also to characterise their preferential habitat.

For this purpose we are compiling on effort and opportunistic data, in order to characterise their distribution with bathymetry, sea surface temperature and chlorophyll. In addition we would like to extend analyses in order to build model analyses to predict distribution using environmental parameters for sperm and fin whales.

Your participation to this project will be written in an agreement, specifying that you just lend us the data for the purpose of this work. After the report for the Pelagos France, some of these analyses could be presented for scientific publications and of course participants will be acknowledged or even listed as co-author in function of the amount of data supplied to this project.

We would like to offer different levels of collaboration, if you are interested by this project:

- 1) Your organisation could supply only maps of distribution (in jpg), for a better comparison, sighting (and effort) could be represented with ArcMap with the same limits, for that we could provide you a graphic charts, in order to homogenise visual aspect of all contributors.
- 2) A second level could be to supply only your sightings to this project, but it will be interesting to associate a map of the place searched
- 3) A third level, could be call "true collaboration" including your effort (with 3 observers in duty) and sightings.

We hope that most of you will be enjoy to participate to this project, if you have more questions or if you need more information about our project, our partners, do not hesitate to contact us
Main coordinators are Sophie Laran (at the CRC Marineland) and Léa David (EcoOcéan Institut) for the GIS3M.

Thanks in advance for your answer and we hope for your interest in this project.

Sophie Laran & Léa David
GIS3M

PS: we will attend the ECS conference in Istanbul and will be please to talk with you of this project.



Groupement d'Intérêt Scientifique pour les Mammifères Marins de Méditerranée

Group of Scientific Interest for the Marine Mammals in Mediterranean Sea and their Environment (GIS3M)

In August 2007, with the help of the French team of the Pelagos Sanctuary, NGO and scientists implicated on research about cetaceans in the northwestern Mediterranean Sea founded the "Group of Scientific Interest for the Marine Mammals in Mediterranean Sea and their Environment" (in French GIS3M)

Objectives

The main GIS3M objective is to support research directly or indirectly and to develop expertise on the marine mammals and their environment in the Mediterranean Sea. It will promote the synergy of competences by improving researchers and specialists cooperation and by pooling equipments and funding for research projects.

The GIS3M will also facilitate the raising of international financial sources and will increase the credibility and visibility of the researches on cetacean of its members.

GIS3M will support the activities of PELAGOS by delivering scientific rationales for the management of human activities in the Pelagos Sanctuary.

Contacts

GIS3M, gis3m@yahoo.fr

Parc National de Port-Cros

Castel Sainte-Claire

83418 Hyères Cedex

Tél. +33(0)4 94 12 82 30 / Fax. +33(0)4 94 12 82 31

Actual members

Denis ODY (WWF-France): President

Sophie LARAN (CRC-Marineland): Vice-president

Franck DUPRAZ (GECEM): Secretary

Nathalie DI MEGLIO(EcoOcéan Institut): Treasurer

Frédéric CAPOULADE, independent expert representing Armateurs de France during PELAGOS Sanctuary meeting

Frédéric CAUDAL, University of Toulon-LSIS

Léa DAVID, EcoOcéaninstitut

Amandine EYNAUDI, WWF-France

Philippe MAURT, C.A.M.E.R.A

Pascal MAYOL & Delphine GAMBALIANI, Souffleurs d'Ecume

Frank DHERMAIN, GECEM

Manuel CATELLOTE, L'Océanografic, Valencia



Groupement d'Intérêt Scientifique pour les Mammifères Marins de Méditerranée

ANNEXE 2

Convention de mise à disposition des données pour le projet

Ref : CONVGIS3M2009-01

Convention de mise à disposition de données concernant la distribution des espèces suivantes :

- Rorqual commun (*Balaenoptera physalus*)
- Cachalot (*Physeter macrocephalus*)
- Globicéphale noir (*Globicephala melas*)
- Dauphin de Risso (*Grampus griseus*)
- Grand dauphin (*Tursiops truncatus*)
- Dauphin bleu et blanc (*Stenella coeruleoalba*)

Entre :

Le Groupement d'Intérêt Scientifique pour les Mammifères marins en Méditerranée et leur environnement (nommé par la suite le GIS3M)

Adresse : Parc national de Port-Cros, Castel Sainte Claire
83418 HYERES CEDEX
Représenté par : son président D. Ody

et

..... (nommé par la suite 'le participant')

Adresse :

Représenté par :



Considérant que l'association GIS3M a pour but de

(1) Développer un savoir-faire dans le domaine de l'étude, de la protection, de la gestion environnementale, de la formation et de la sensibilisation sur les mammifères marins en Méditerranée et leur environnement ;

(2) De favoriser la collaboration entre les différents acteurs de la recherche sur les mammifères marins en Méditerranée ;

(3) D'élaborer et coordonner des programmes de recherche en commun et des partenariats internationaux ;

Considérant que la modélisation des habitats préférentiels des espèces sus-citées représente un outil considérable pour la gestion des espèces et de leur environnement

Considérant la demande du sanctuaire international PELAGOS pour connaître la distribution et les habitats préférentiels des cétacés présents dans le sanctuaire

Cette initiative de regroupement des données à des fins de modélisation devrait être un effort en collaboration avec tous les partenaires potentiels possédant des données d'observation de qualité scientifique (i.e. rigoureuse et validée) dans la région.

RECONNAISSANT les avantages de cette collaboration tant pour le GIS3M que pour le participant, dans le cadre de leurs objectifs réciproques visant la conservation des cétacés.

C'est pourquoi le GIS3M et le participant acceptent cette convention d'utilisation des données

1. OBJECTIF

La présente convention établit la collaboration formelle entre le GIS3M et le participant. L'objectif est de garantir l'échange de renseignements et de données, entraînant la diffusion et la publication de renseignements scientifiques pertinents.

2. OBLIGATIONS

(1) Cette initiative sera coordonnée par Sophie Laran (CRC-Marineland) et Léa David (écoOcéan Institut). Le GIS3M accepte de garantir que les analyses (distribution et habitats préférentiels) seront réalisées.

(2) Le participant accepte de contribuer à ce travail par la transmission de données concernant l'effort d'observation et les observations de cétacés réalisées lors de différentes missions en mer (détail données voir § 3). Ces données restent la propriété du participant.

(3) Ces données sont mises à la disposition exclusive du GIS 3M pour ce travail et ne seront en aucun cas divulguées à un tiers ou utilisées à d'autres fins sans l'accord préalable des auteurs.

(4) Communications :

- Toute communication (rapport, publication, conférence, poster...etc) utilisant les données du Participant devra mentionner celui-ci.

- En ce qui concerne le grand dauphin, un membre (au minimum) du GECEM sera premier auteur, sauf accord préalable du GECEM et du GIS3M.

- Le GIS 3M devra être cité comme coordinateur du projet

- Dans toutes publications scientifiques, les sources de données seront précisées dans les méthodes et les remerciements.

- De même, dans une publication pourront être considérés comme auteurs :

- (a) Les personnes ayant réalisé un travail conséquent comme les analyses, la compilation des différentes sources de données ...

(b) Le participant ayant fourni un jeu de données conséquent (plus de 20% des observations analysées).

Cependant, les participants pouvant et désirant être co-auteurs devront le mentionner à la signature de la convention. Si plusieurs participants souhaitent être co-auteurs, l'ordre sera déterminé en fonction de la qualité des données fournies (effort et observations) et validé par le bureau du GIS3M

Le GIS3M, les participants et les analyseurs pourront communiquer chacun de leur côté sur cette collaboration, mais devront impérativement citer les autres selon les termes définis précédemment.

(5) Ce jeu de données est mis à disposition du GIS 3M pour une durée de 2 ans à compter de la signature, mais pourra être prolongée par accords des signataires.

(6) Les termes de cette convention restent valables après la fin de ce travail.

3. DESCRIPTION DU JEU DE DONNEES

La présente convention porte sur des données de Type 1, 2, 3 et 4 (cf. Annexe 1).

Zone d'étude : Les données mises à disposition devront avoir été recueillies dans la zone du sanctuaire international PELAGOS (cf Annexe 2) ou à proximité.

La description du jeu de données (ou métadonnées) fournie par le participant est :

Données d'observations estivales (juin à septembre) et réalisées en :

(ex : 1999 (10 observations), ...)

.....
.....
.....

3. CORRESPONDANCE

Toute correspondance en rapport avec cette convention devra se faire

Pour le GIS3M
Parc National de Port-Cros
Castel Ste Claire
83418 Hyères

ou gis3m@yahoo.fr

Pour le participant à

.....
.....
.....

4. APROBATION ET SIGNATURE

à le: / / 2009

Pour le GIS 3M (Président)

.....

à le: / / 2009

Le participant:

.....

à le: / / 2009

Sophie Laran (coordinateur GIS 3M du projet)

.....

GIS3M Convention Ref : CONVGIS3M2009-01

3

Annexe 1

Condition préalable sur la qualité des données

Les données qui pourront être utilisées dans ce projet sont de plusieurs types

Type 1: Données d'observation seule **sans effort** d'observation (avec des observateurs qualifiés pour la reconnaissance des espèces)

Type 2: Données d'observation **et d'effort** d'observation sur des plates-formes **opportunistes** (ex. ferry)

Type 3: Données d'observation **et d'effort** d'observation sur des plates-formes **dédiées** à l'observations des cétacés, mais collectées lors de mission d'autre nature que le transect linéaire.

Type 4: Données d'observation **et d'effort** d'observation sur des plates-formes dédiées à l'observation des cétacés, collectées lors de **transect linéaire**.

Il est important de noter que pour cette étude, la totalité de l'effort d'observation effectué par des observateurs expérimentés (2 minimum, 3 de préférence) est nécessaire et ce même si aucune observation visuelle n'a été faite durant cet effort.

Les données seront transmises de préférence sous forme de classeur Excel en précisant différentes informations :

- type de campagne
- type de navire utilisé (taille, hauteur des yeux des observateurs par rapport à la surface de la mer)
- vitesse de déplacement
- nombre d'observateurs
- rotation des observateurs (durée des quarts d'observation)
- expérience des observateurs

Données concernant (1) l'effort d'observation :

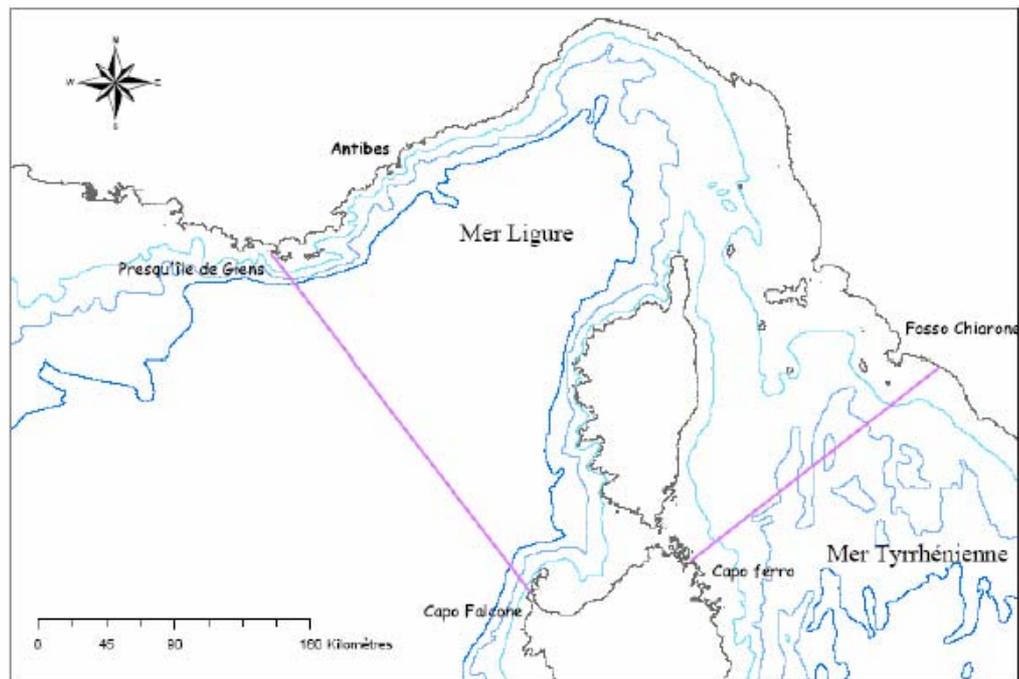
Date
Heure (début et fin)
Latitude (début et fin)
Longitude (début et fin)
Vent (et unité)
Conditions d'observations enregistrées (mer, ciel, ...)
Auteur Organisme & financement

(2) les observations:

Date
Heure
Latitude
Longitude
Espèce*
Nombre estimé
Distance au bateau et azimut ou relèvement (si mesuré)
Auteur Organisme & financement
<i>Facultatif</i>
Composition et structure du groupe
Direction de déplacement de l'animal
Activité (si déterminée)

* si non déterminé, utiliser catégorie : petit dauphin ; delphinidé moyen ; grand cétacés

Annexe 2



Limites de la zone du Sanctuaire Pelagos : à l'Ouest, une ligne allant de la presqu'île de Giens : (43° 01' N, 06° 05' E) à Capo Falcone en Sardaigne (40° 58' N, 008° 12' E) ; et à l'Est, une ligne allant de Capo Ferro, en Sardaigne (41° 09' N, 09° 31' E) à Fosso Chiarone, sur la côte occidentale de l'Italie (42° 21' N, 011° 31' E).

Agreement between

**Le Groupement d'Intérêt Scientifique pour les Mammifères marins
en Méditerranée et leur environnement (named GIS3M)**

Address : Parc national de Port-Cros, Castel Sainte Claire
83418 HYERES CEDEX, France

And

XXXX (named 'the participant')

Address :

Represented by :

on the sharing of data on the distribution of

- Fin whale** (*Balaenoptera physalus*)
- Sperm whale** (*Physeter macrocephalus*)
- Pilot whale** (*Globicephala melas*)
- Risso's dolphin** (*Grampus griseus*)
- Bottlenosed dolphin** (*Tursiop truncatus*)
- Striped dolphin** (*Stenella coeruleoalba*)

**within the PELAGOS Sanctuary area, and the subsequent analysis
of those data**



TAKING into account that:

1- The main GIS3M objectives are to support research directly or indirectly and to develop expertise on the marine mammals and their environment in the Mediterranean Sea. It will promote the synergy of competences by improving researchers and specialist's cooperation and by pooling equipments and funding for research projects and international cooperation

2- This initiative of collaborative effort will play a significant role for characterisation of preferential habitats of main cetaceans species in the PELAGOS Sanctuary.

This collaborative project of analysis of sightings data and associated effort, when available, required a participation of a maximum of participants with sighting of good quality recorded in the area.

RECOGNISING the benefits of collaboration to both GIS3M and the participant in the context of their mutual desire to further cetacean conservation,

THEREFORE GIS3M and the participant agree to this Memorandum of Understanding.

1. OBJECTIVE

The present agreement establishes formal collaboration between GIS3M and the participant with the objective to write out a report on the distribution of the Cetaceans within the Pelagos Sanctuary area, within the framework of a scientific partnership with the French Pelagos Sanctuary.

2. OBLIGATIONS

- (1) This project will be coordinated by Sophie Laran (CRC-Marineland). The GIS3M agrees to ensure that the analyst carries out the proposed initiative.
- (2) The participant agrees to contribute the effort and sighting data to the analyst. The participant will remain the only owner of the data shared for this purpose.
- (3) Data of the participant are available for the GIS3M exclusively for the purpose project (redaction of the mentioned Report) and can't be disclosed to someone else or used for another purpose without previous agreement with the owner.
- (4) Publication
 - a. Any other use of the data belonging to the participant (report, scientific paper, conference, poster, etc.) , will have to be agreed with the participant in advance.
 - b. For the bottlenose dolphin, priority will be given to a paper by Gnone *et al.* in preparation before considering any other scientific peer reviewed publication including data from the participant.
 - c. GIS3M will be cited as the coordinating body for the project.
 - d. In all scientific publications, data sources will have to be mentioned in Method section. In addition, at least one person of the "participant team" will be included as co-author of the Report. If more than one participant opts for co-authorship, the order will be determined in function of the data provided taking into account the quantity of data supplied and alphabetical order and will be validated by the board of the GIS3M in agreement with the participant.
- (5) Where appropriate, GIS3M and the participant will publicise their collaboration (e.g. via literature or websites)

3. DESCRIPTION OF THE DATA SET

Data set provided for this project is

- opportunistic sightings
- or sightings and associated effort

Data collected between June and September during years :

.....

.....

.....

3. CORRESPONDENCE

All correspondence in connection with this agreement will be sent:

GIS3M
Parc National de Port-Cros
Castel Ste Claire
83418 Hyères

For the participant to

.....

.....

.....

ou gis3m@yahoo.fr

4. ACCEPTANCE

Place

Date: / / 2009

Place

Date: / / 2009

For the GIS 3M (President)

The participant:

.....

.....

Place

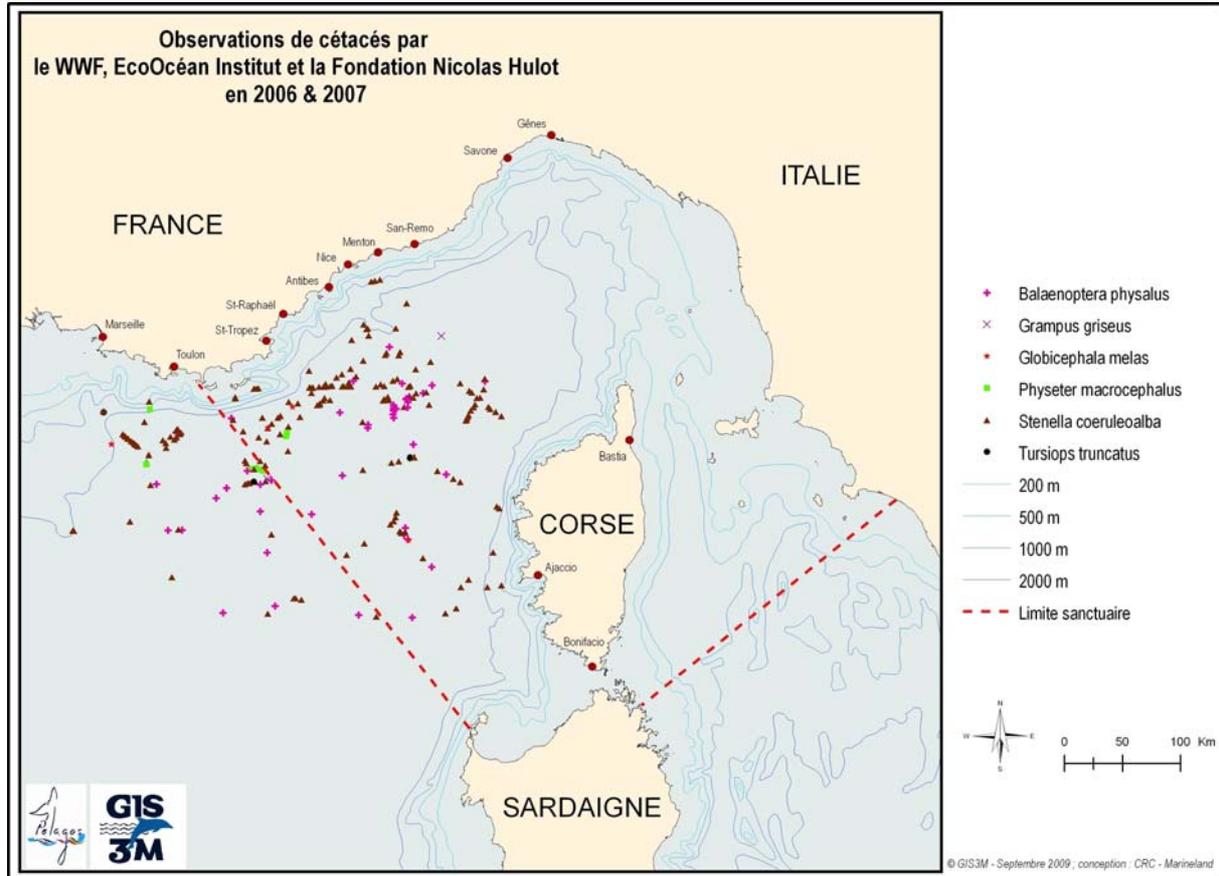
Date: / / 2009

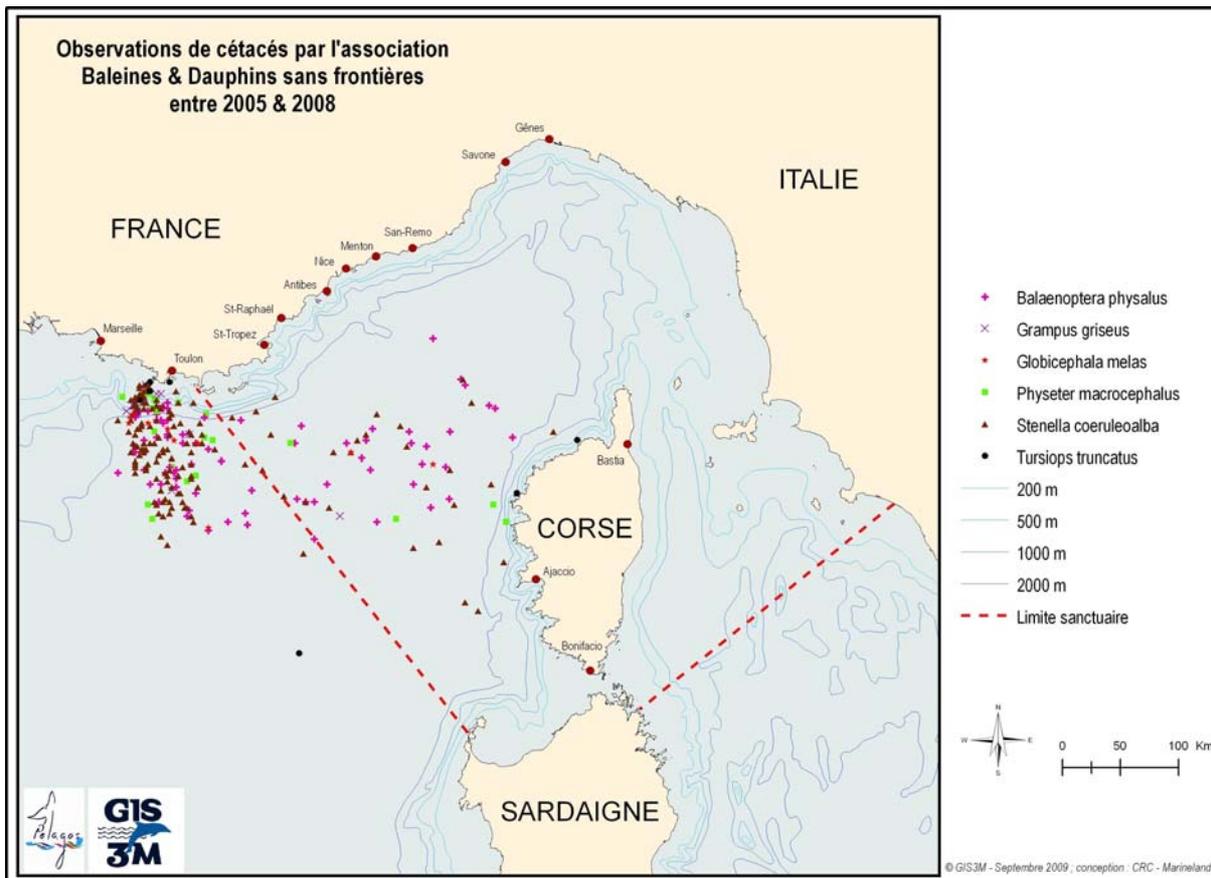
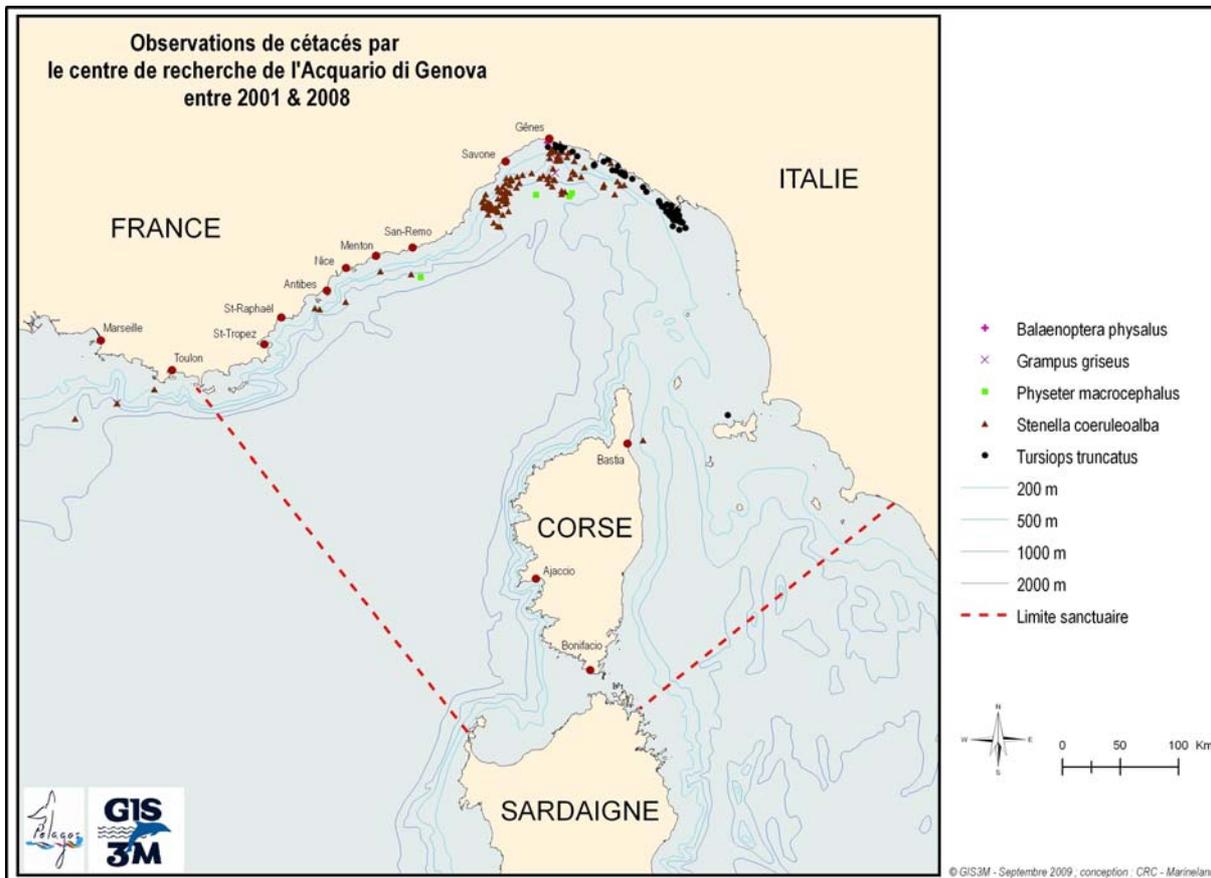
Sophie Laran (project coordinator for the GIS 3M)

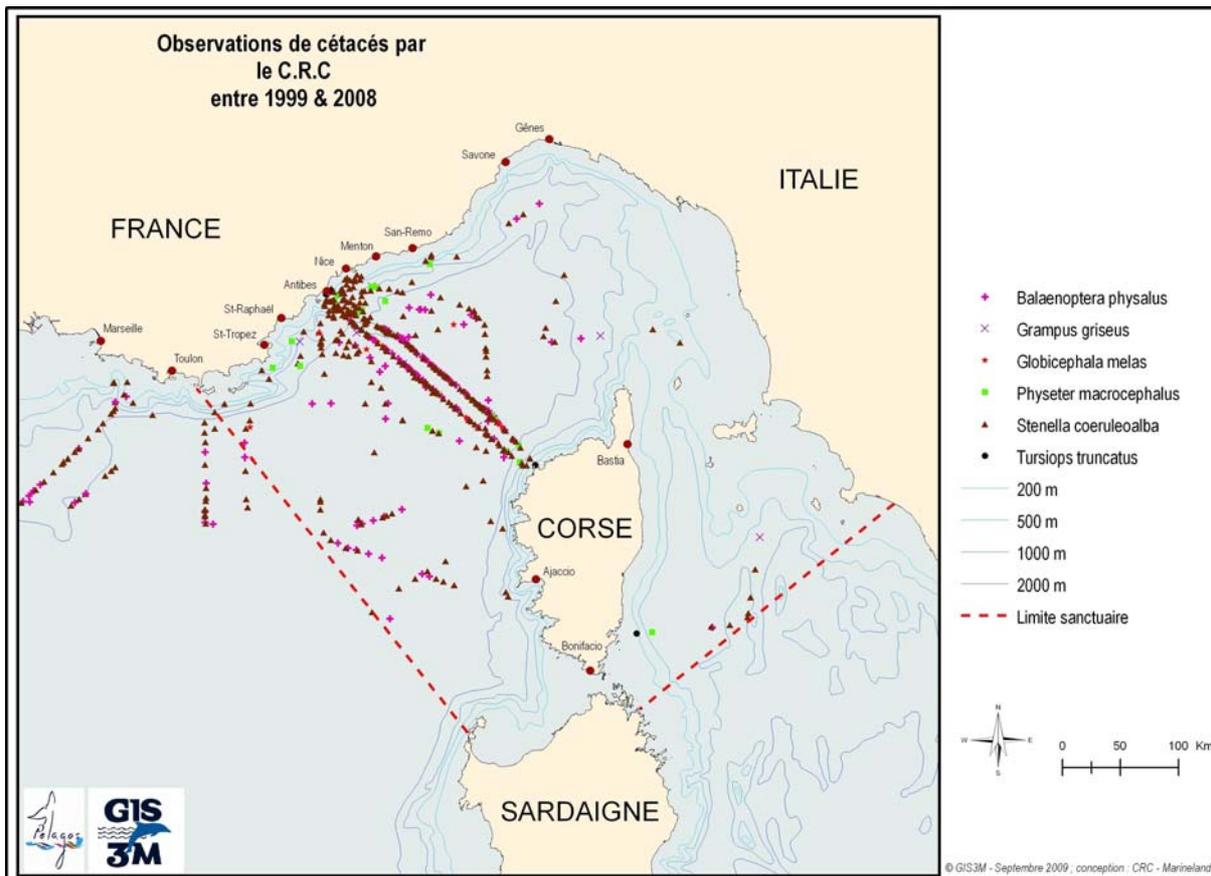
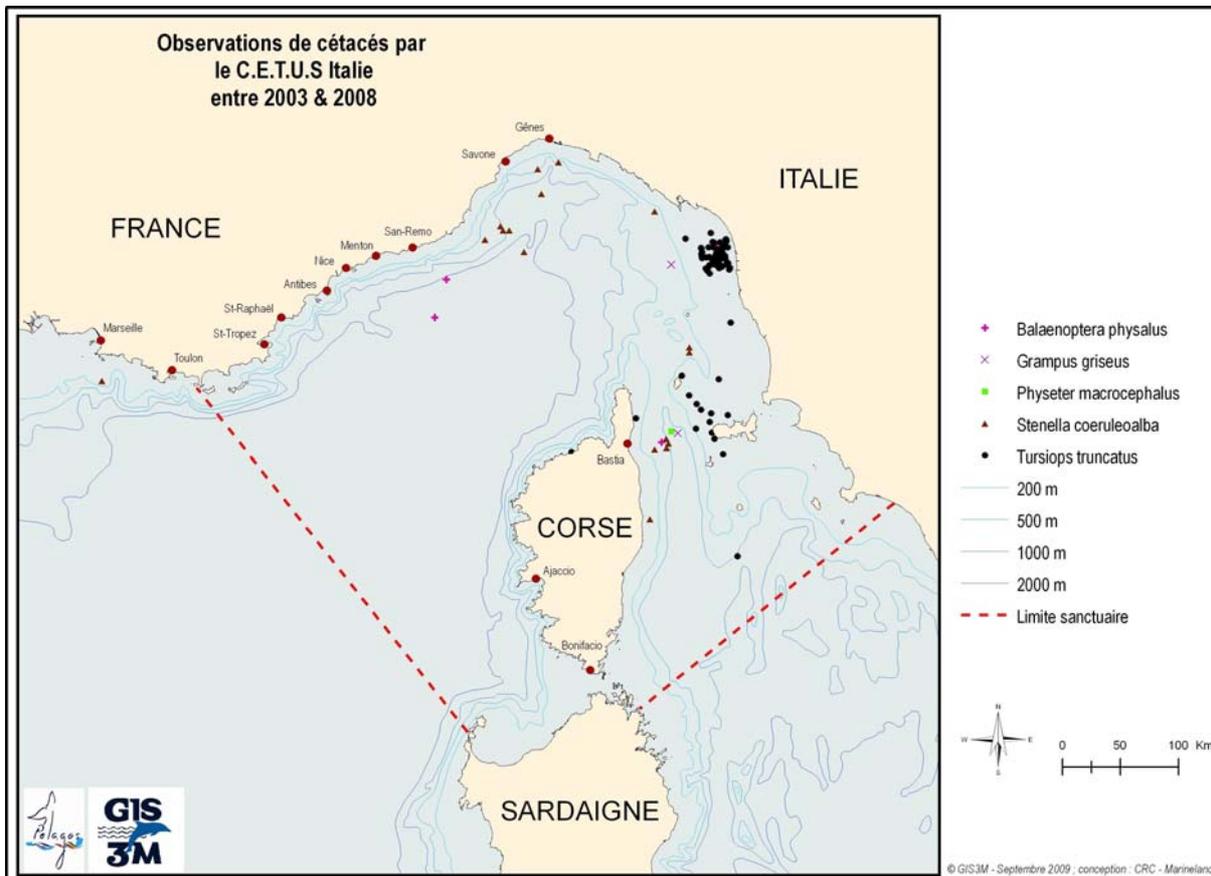
.....

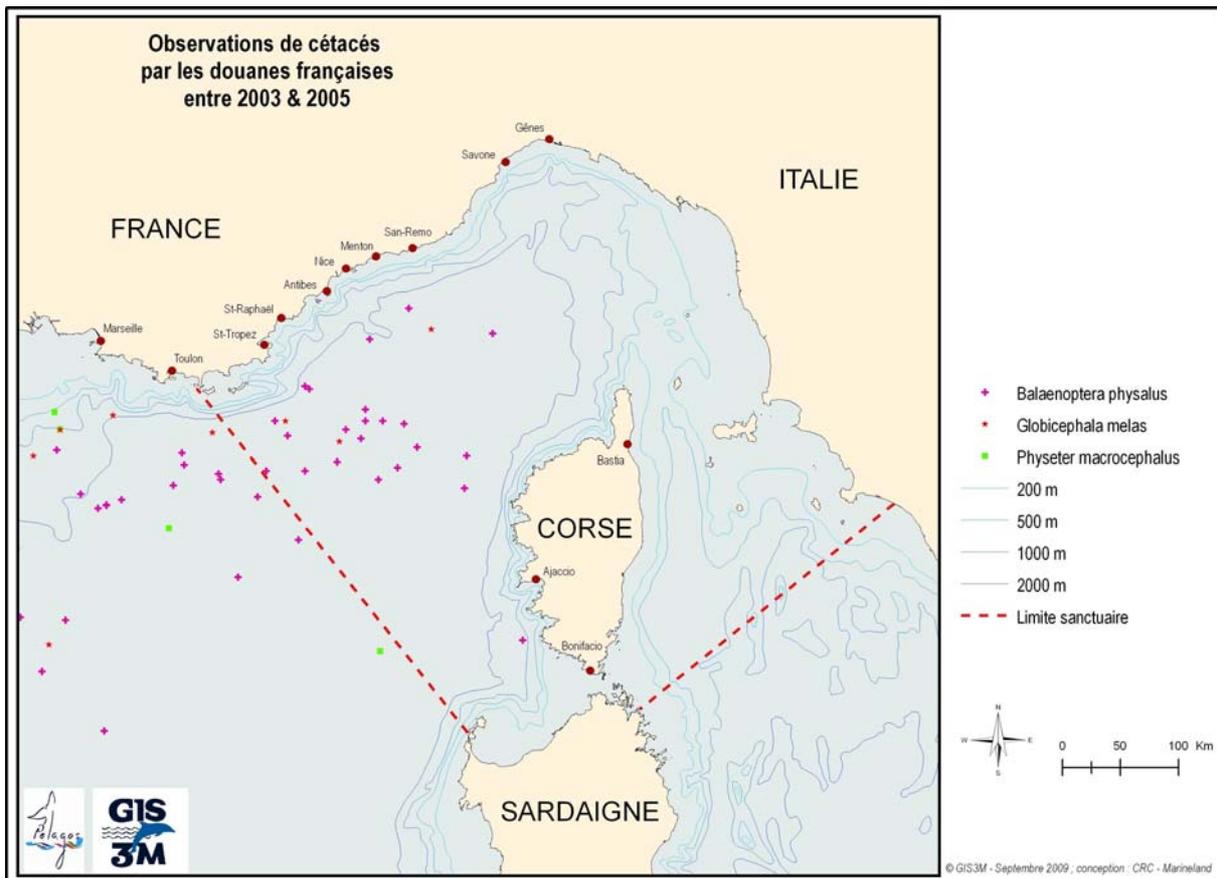
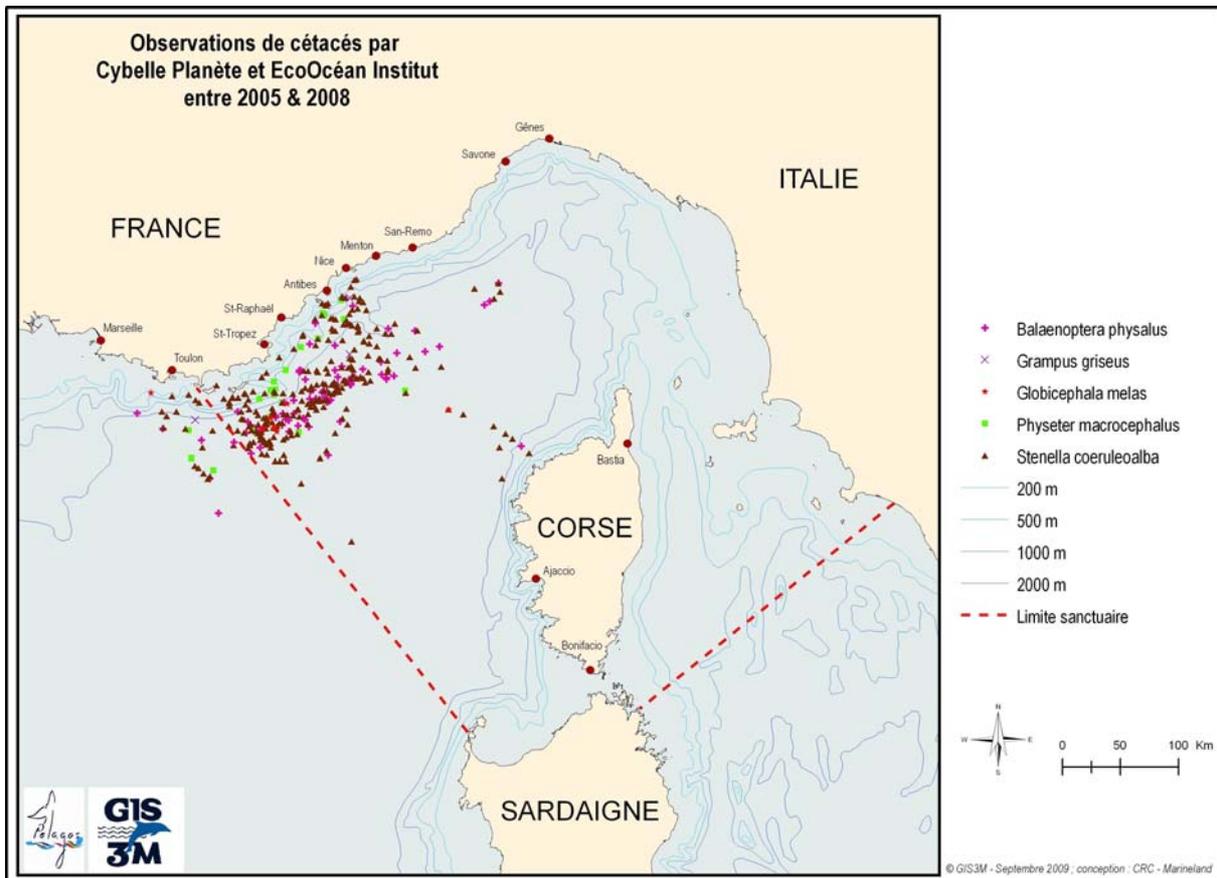
ANNEXE 3

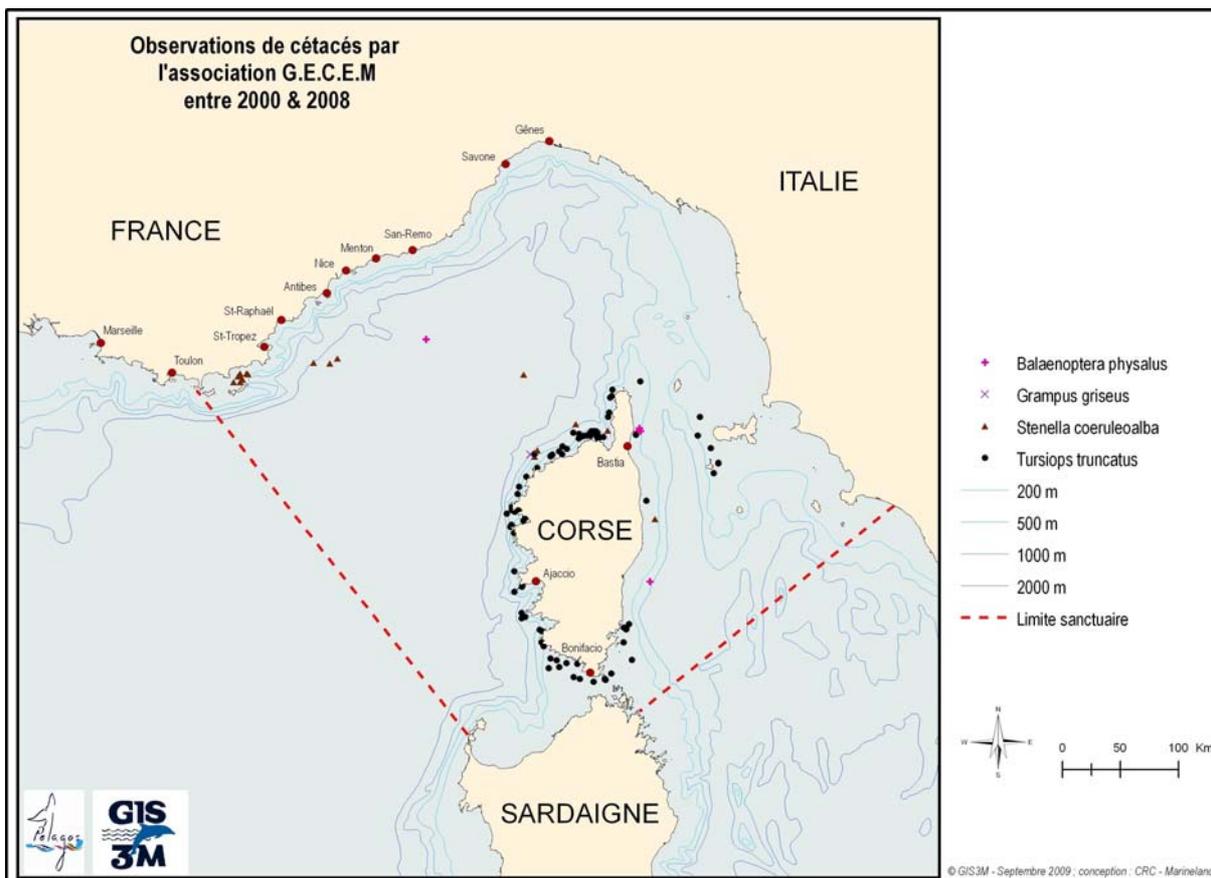
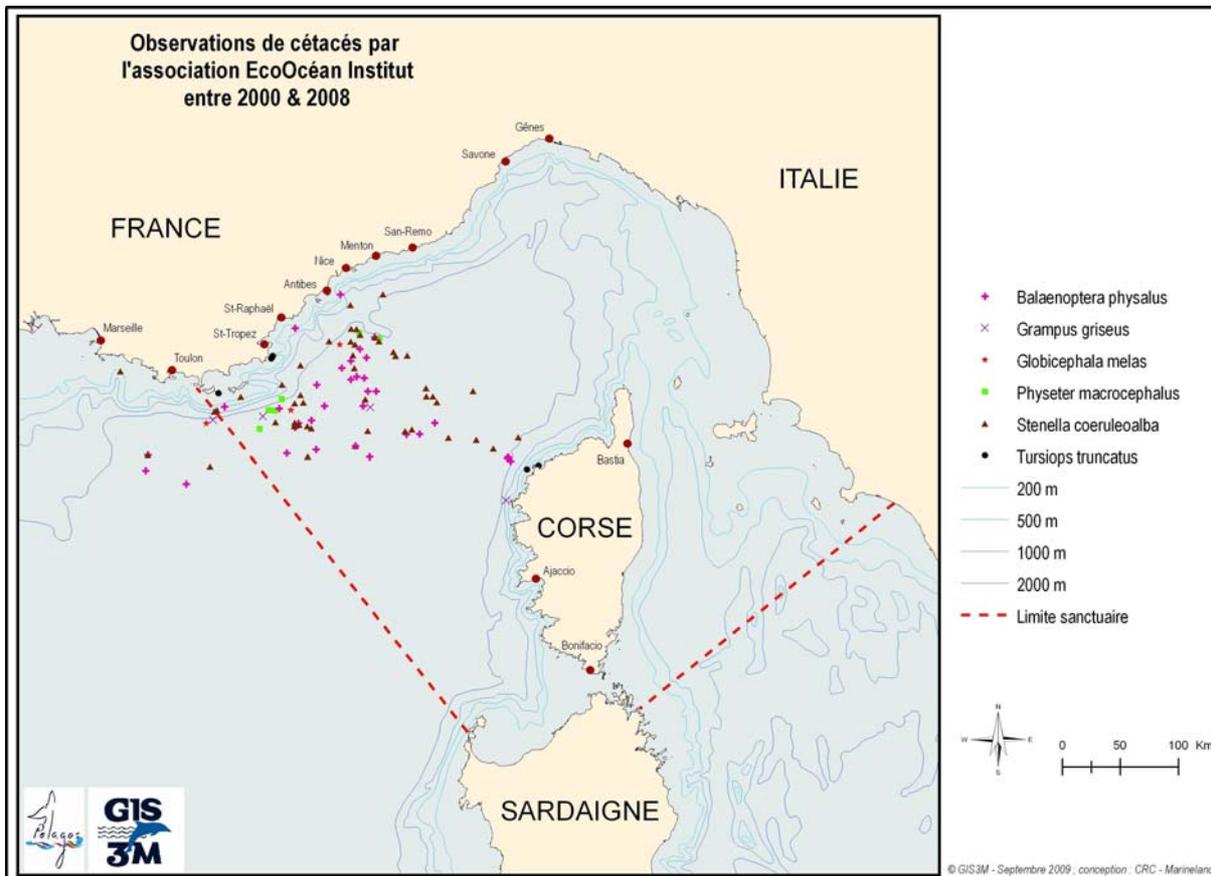
Carte de représentation des données de chaque structure par espèces toutes années confondues

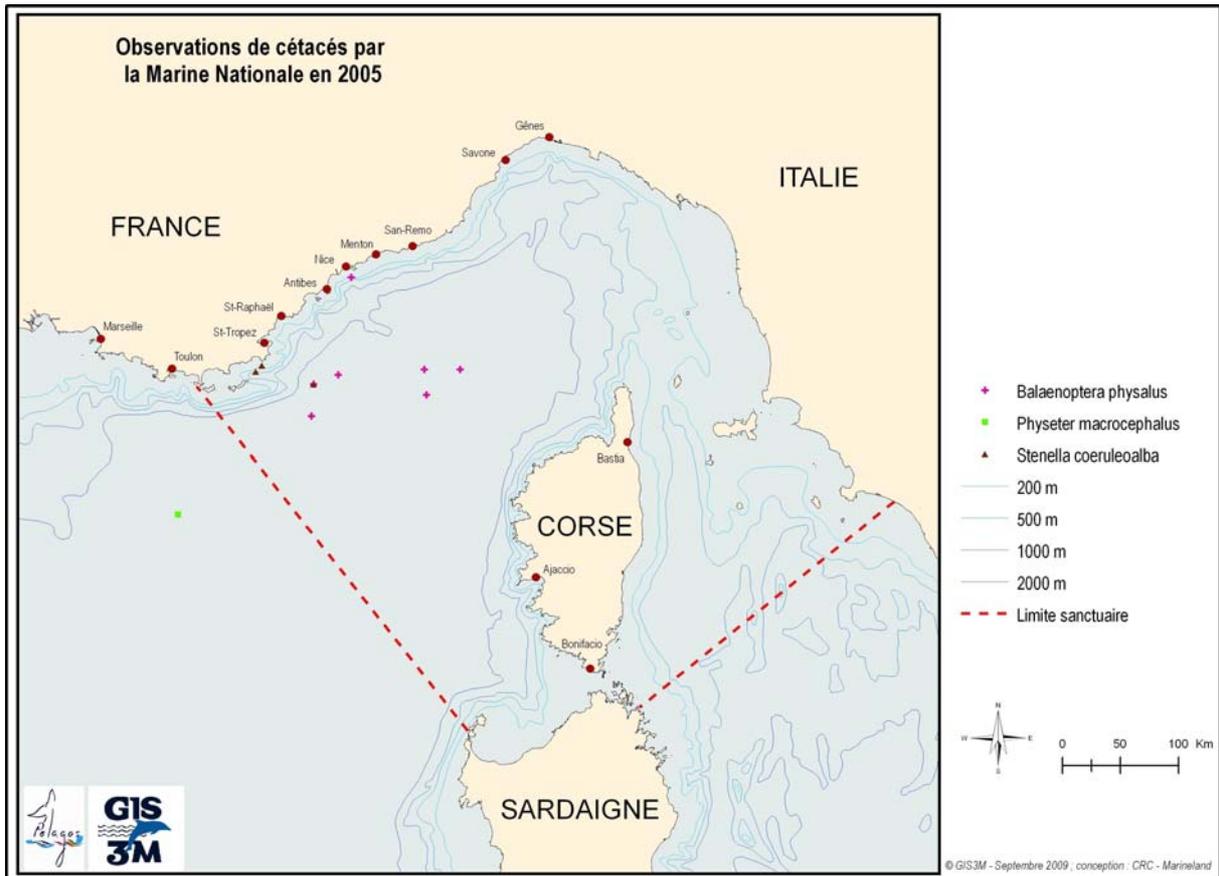
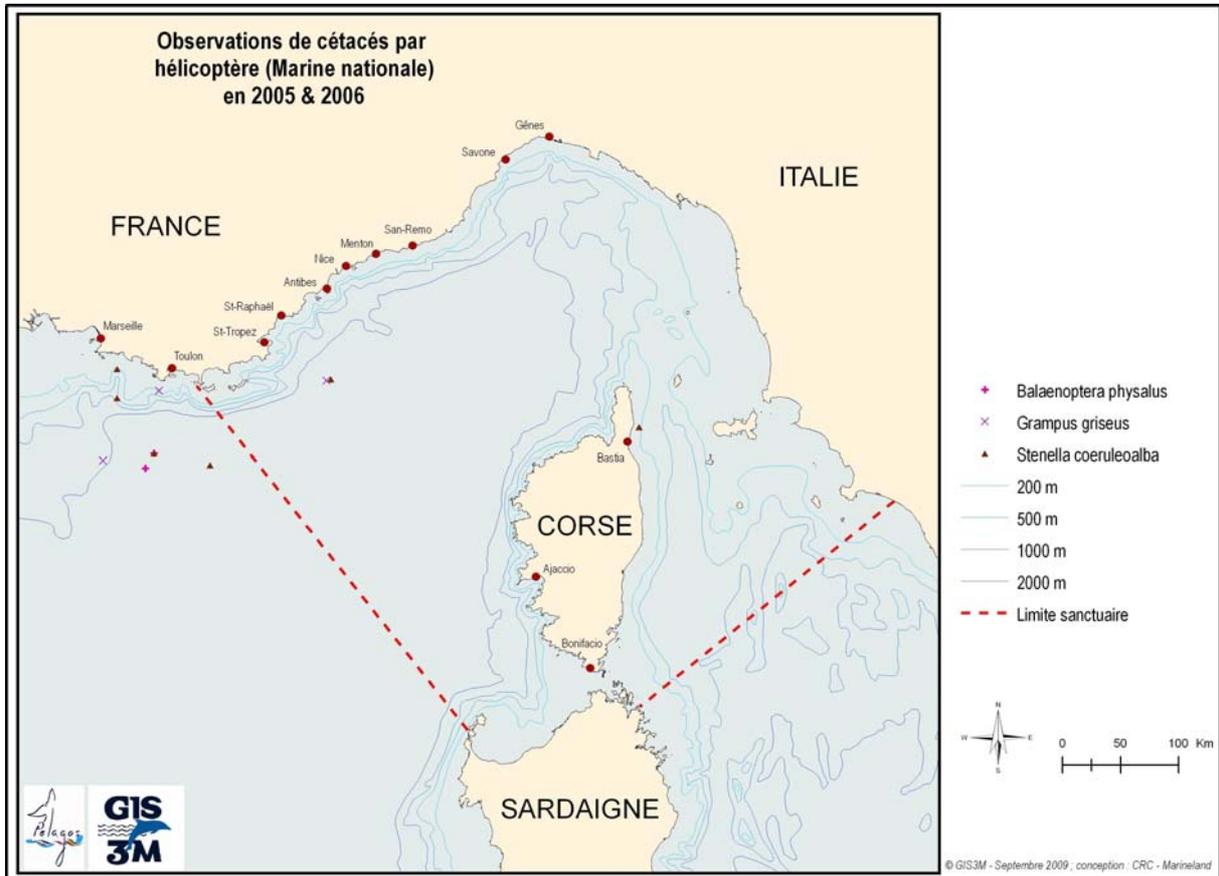


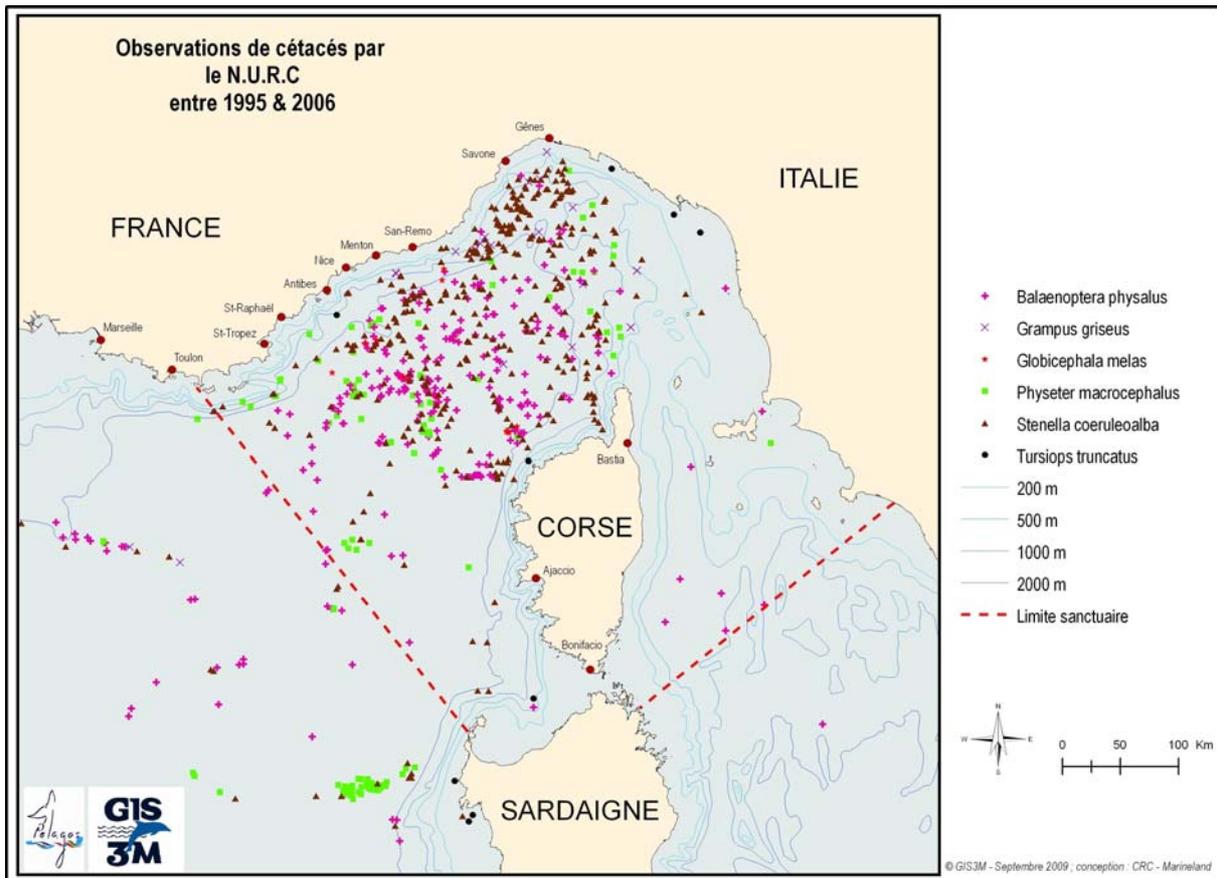
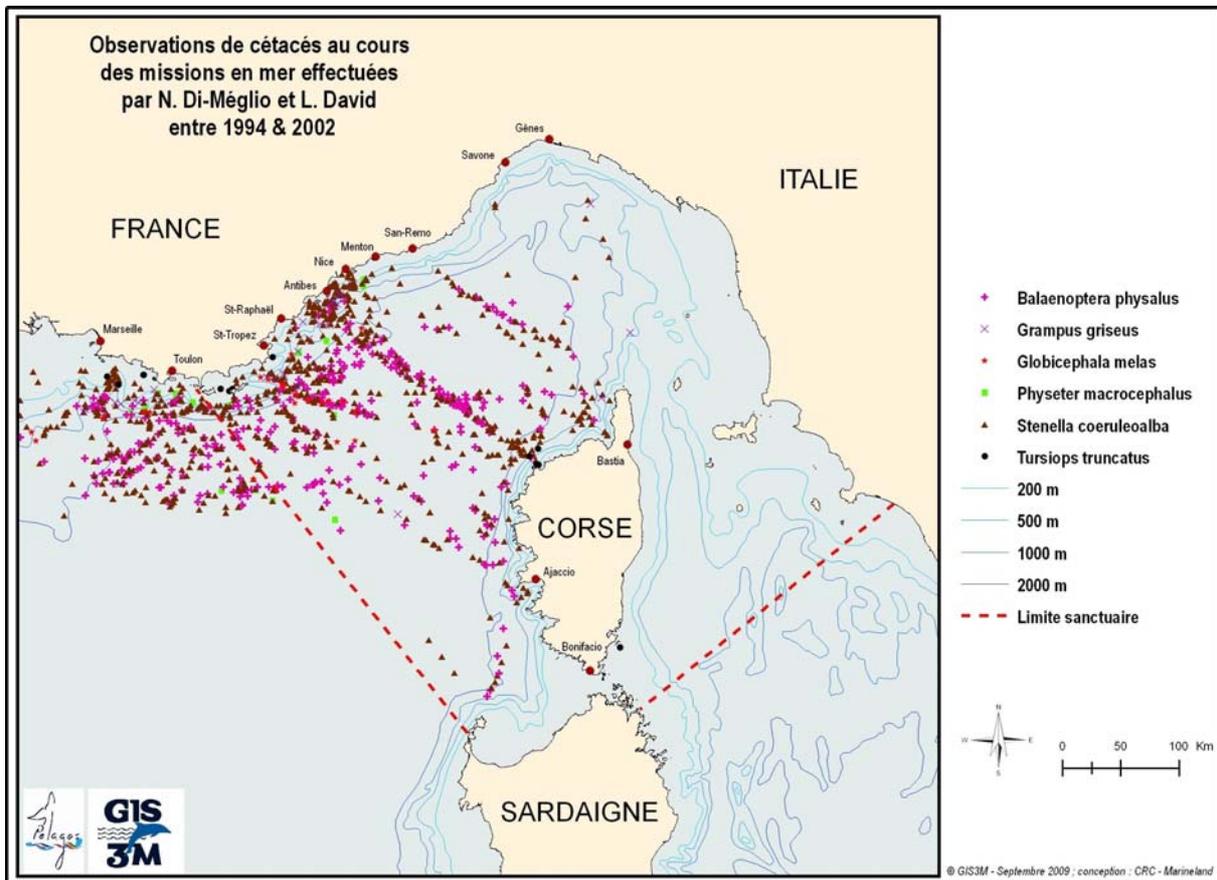


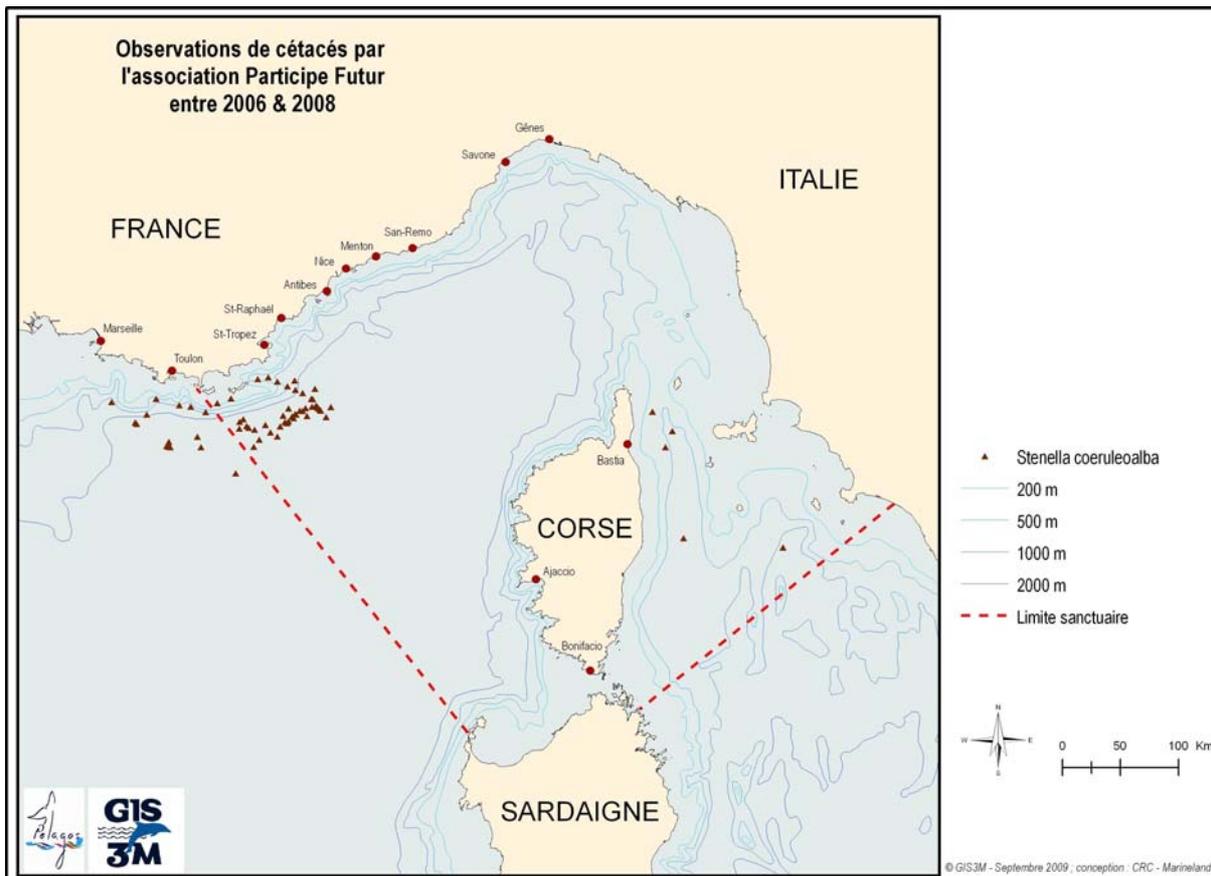
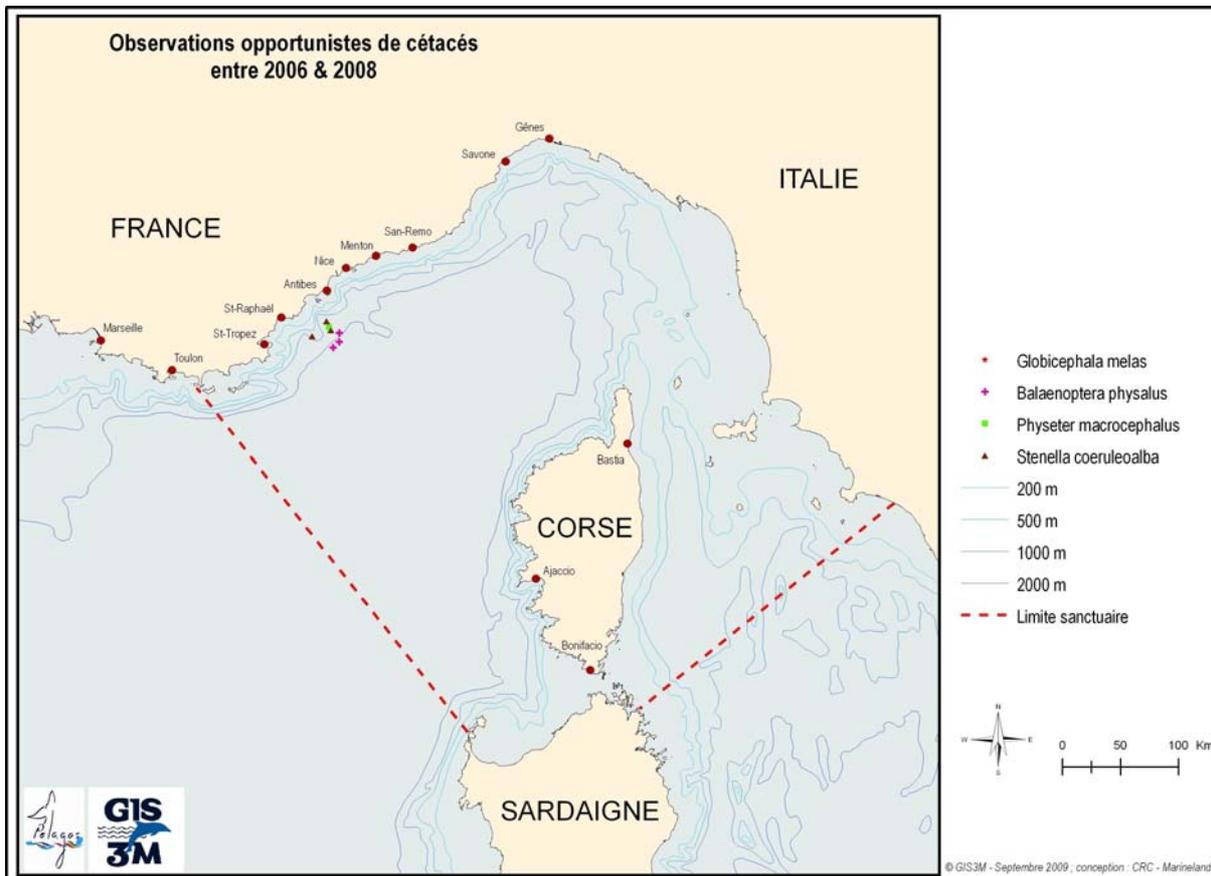


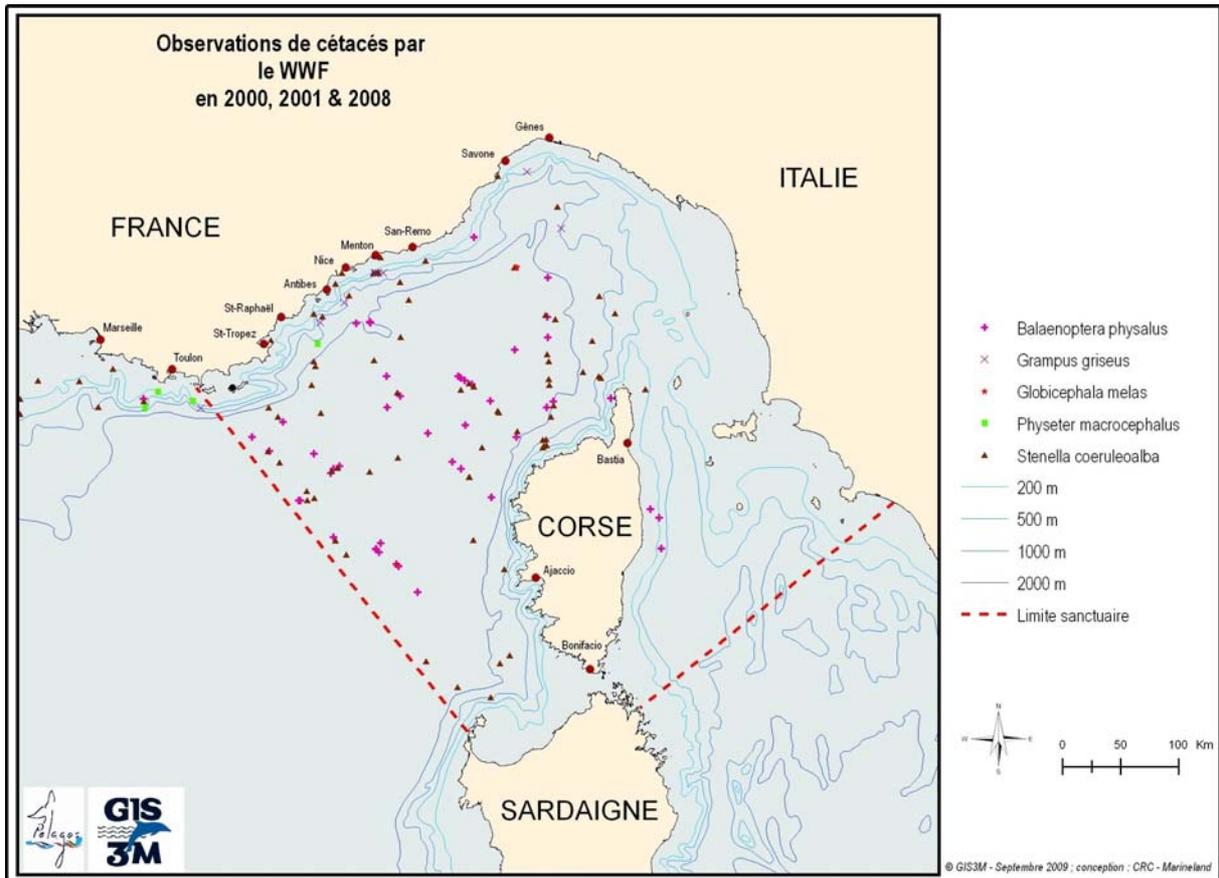
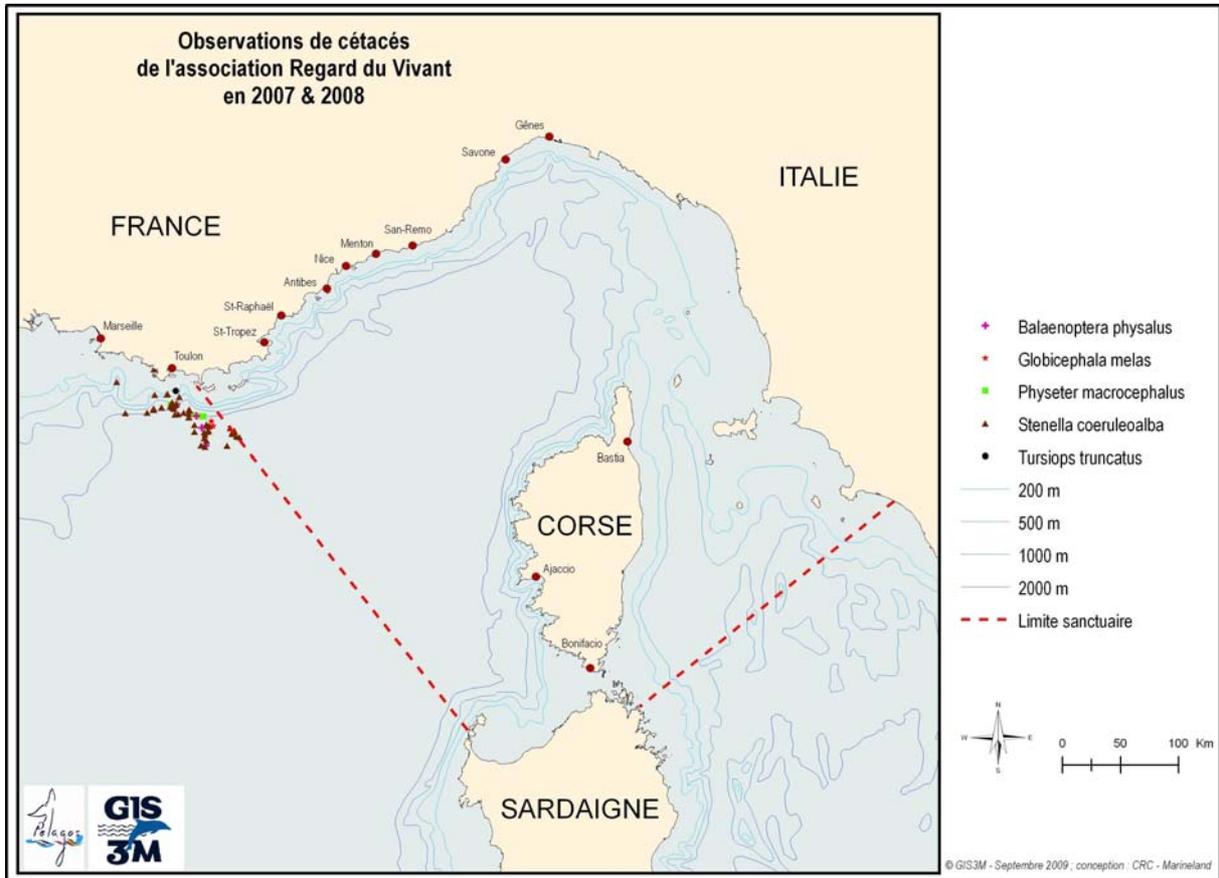


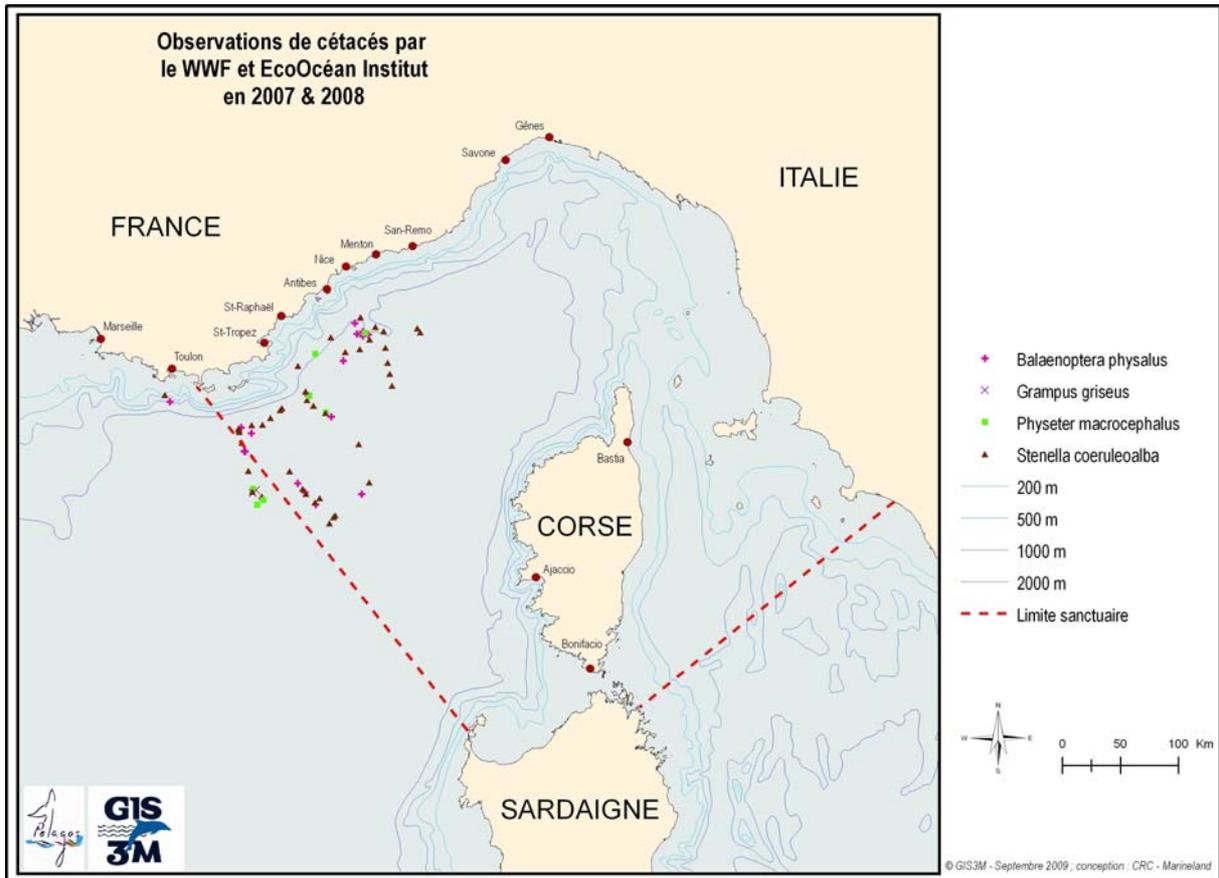
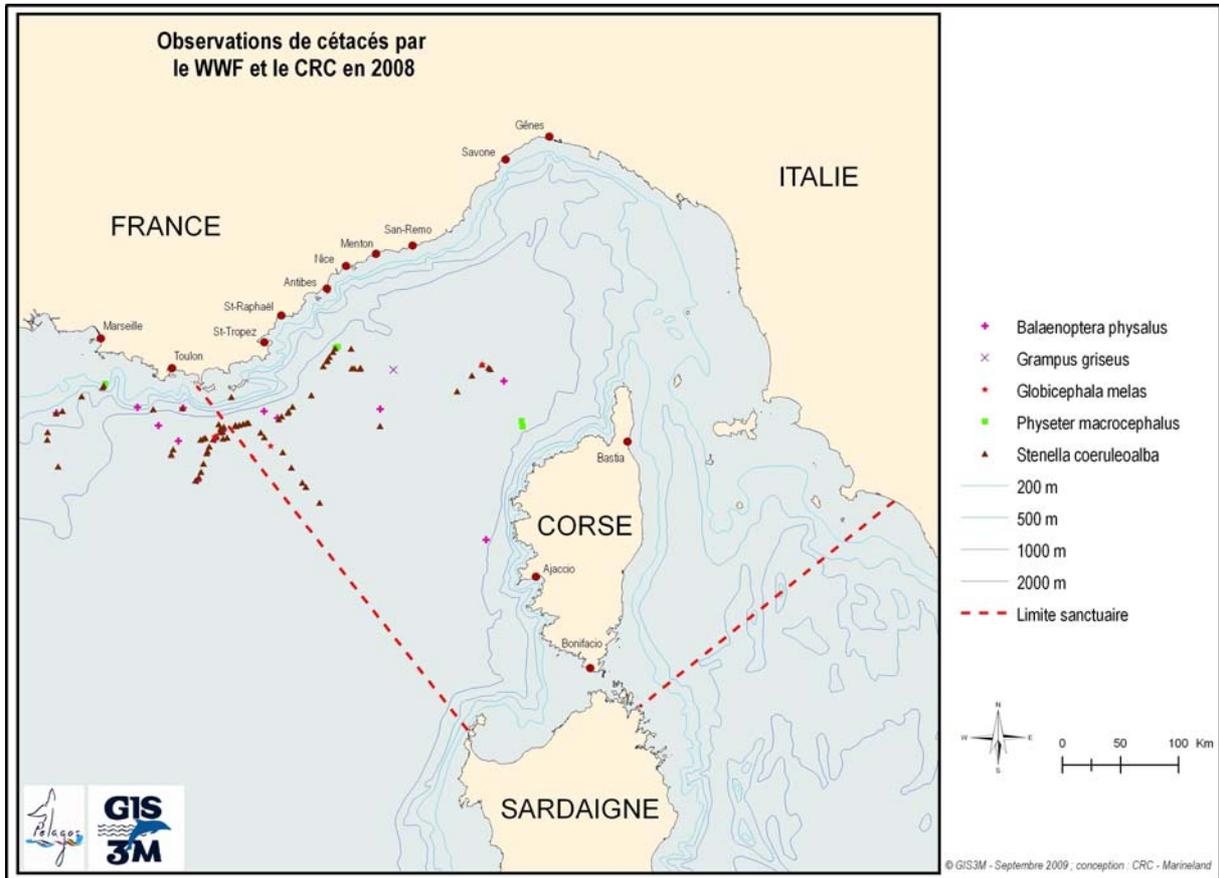












ANNEXE 4

Structure	Campagne	Année	Vit moy	Nb Obs	Type bateau	Nb km	nBp	NBp	nSc	NSc	nPm	NPm	nGg	NGg	nGm	NGm	nTt	NTt
Cybelle Planète-EOI	IMPACT-CET	2005	4 à 6	3	Voilier	582	1	1	19	127	5	5	1	6	0	0	0	0
Cybelle Planète-EOI	IMPACT-CET	2006	4 à 6	3	Voilier	1 830	14	22	60	1016	5	7	0	0	4	210	0	0
Cybelle Planète-EOI	IMPACT-CET	2007	4 à 6	3	Voilier	2 138	9	16	57	451	5	5	0	0	0	0	0	0
Cybelle Planète-EOI	IMPACT-CET	2008	4 à 6	3	Voilier	1 749	19	30	56	425	3	3	1	5	0	0	0	0
SCS-EOI	IMPACT-CET	2005	5 à 6.5	3	Voilier	1 796	8	12	39	503	0	0	0	0	2	29	0	0
SCS-EOI	IMPACT-CET	2006	5 à 6.5	3	Voilier	1 227	17	24	26	288	4	6	0	0	1	10	0	0
SCS-EOI	IMPACT-CET	2007	5 à 6.5	3	Voilier	1 565	8	10	46	257	0	0	0	0	1	9	0	0
SCS-EOI	IMPACT-CET	2008	5 à 6.5	3	Voilier	1 729	21	28	60	681	6	6	3	51	0	0	0	0
CRC	Sanctu99	1999	10	3	Bateau moteur	919	15	25	32	827	2	2	0	0	1	80	0	0
CRC	Sanctu2001	2001	10	3	Bateau moteur	1 752	22	25	51	1 064	3	7	3	41	1	95	1	3
CRC	Radiale corse	2001	11 à 12	3	Bateau moteur	736	26	53	32	623	2	2	0	0	0	0	0	0
CRC	Radiale corse	2002	11 à 12	3	Bateau moteur	1 358	35	42	54	1 044	4	6	2	19	5	50	0	0
CRC	Radiale corse	2003	11 à 12	3	Bateau moteur	1 288	25	31	63	1 391	5	11	0	0	2	40	0	0
CRC	Sc09 et Sc10	2003	7	3	Bateau moteur	126	0	0	3	135	0	0	0	0	0	0	0	0
CRC	Sc20 à Sc23	2004	7	3	Bateau moteur	216	0	0	5	300	1	1	1	1	0	0	0	0
CRC	Sc33 à Sc35	2005	7	3	Bateau moteur	95	0	0	1	75	0	0	0	0	0	0	0	0
CRC	Sc40 à Sc45	2006	6	3	Bateau moteur	290	0	0	5	159	0	0	0	0	0	0	0	0
CRC	Sc54 à Sc64	2007	6	3	Voilier	443	0	0	8	98	0	0	0	0	0	0	0	0
CRC	Biopsie I	2007	6	3	Voilier	1 025	10	14	48	975	0	0	0	0	1	120	0	0
CRC	Biopsie II	2007	6	3	Voilier	1 118	8	12	47	310	6	10	0	0	1	24	1	20
EOI	Données NDM	2000	6	3	Voilier	900	2	2	28	609	0	0	0	0	0	0	0	0
EOI	Données NDM	2002	6	3	Voilier	153	0	0	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0
EOI	EPHE	1994	6	3	Voilier	3 516	77	159	148	2 259	1	1	1	6	4	69	1	1
EOI	EPHE	1995	6	3	Voilier	6 114	133	219	173	2 259	5	5	9	91	7	77	0	0
EOI	EPHE	1996	6	3	Voilier	3 737	58	72	157	2 204	2	2	13	107	3	35	0	0
EOI	EPHE	1997	6	3	Voilier	3 567	31	35	131	2 013	8	9	10	44	7	131	4	57
EOI	EPHE	1998	6	3	Voilier	269	0	0	9	115	0	0	0	0	0	0	0	0
EOI	EPHE	2000	6	3	Voilier	1 923	3	3	16	236	3	3	4	55	0	0	2	36
GECEM	Life LINDA	2000	6	Min 3	Voilier	1 185	5	5	4	14	0	0	0	0	0	0	14	81
GECEM	Life LINDA	2003	6	Min 3	Voilier	991	0	0	2	35	0	0	1	3	0	0	19	144

WWF	Cap Ligures	2001	5	3	Voilier	2 334	36	57	46	1219	1	1	6	38	1	3	0	0
WWF-CRC	Cap Cétacés/GIS3M	2008	5	3	Voilier	728	12	13	53	212	2	2	1	15	2	42	0	0
WWF-EOI	Cap Cétacés	2007	5	3	Voilier	110	2	3	6	40	0	0	2	9	0	0	0	0
WWF-EOI	Cap Cétacés/ GIS3M	2008	5	3	Voilier	814	14	20	33	284	3	4	0	0	0	0	1	10
WWF-FNH-EOI	Objectifs Cétacés	2006	5	3	Voilier	984	12	23	46	362	0	0	0	0	2	62	2	8
WWF-FNH-EOI	Objectifs Cétacés	2007	5	3	Voilier	1 737	23	32	103	680	6	8	1	1	2	16	1	5

Liste détaillée de toutes les structures ayant fournies des données avec effort : pour chaque structure par année est présenté le nom de la campagne, la vitesse moyenne du bateau (Vit moy), le nombre d'observateur (Nb obs), le type de bateau, le nombre de kilomètres parcourus (Nb km), nombre d'observations des six espèces (n) et le nombre d'individus observés pour ces six espèces (N).

ANNEXE 5



Date :

Heure début :

N° fiche :

Espèce :

Observateur :

Informations initiales

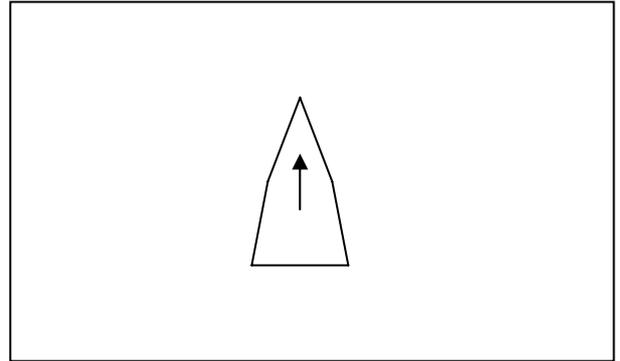
Gisement :

Distance mesurée plate forme / animaux :

Distance estimée plate forme / animaux :

CUE (élément de détection) :

- Splash Saut
 Dos Souff
Remou



Nombre d'individus

Mini :

Estimés :

Comptés sous l'eau :

Nombre de nouveaux nés :

Nombre de jeunes :

Route du bateau

pendant l'observation

- Inchangée
 Changée
 Immobile

Structure de Groupe

- Compacte
 Etalée
 Dispersée
 En sous-groupe

Nombre de sous-groupe :

Réaction au bateau

- Indifférent
 Fuite
 Evitement
 Attraction
 Regroupement des animaux
 Séparation du groupe
 Changement d'activité

Comportement, Activités de surface

- Alimentation
 Alimentation sur engins de pêche
 Voyage
 Socialisation
 Repos
 Saut
 Espionnage
 Etrave
 Caudale battue
 Caudale exposée
 Pectorale exposée

Vitesse de nage

- Lente
 Moyenne
 Rapide
 Stationnaire
 Variable
 Constante

Autres espèces présentes :

Acoustique :

Photo ID :

Biopsie :

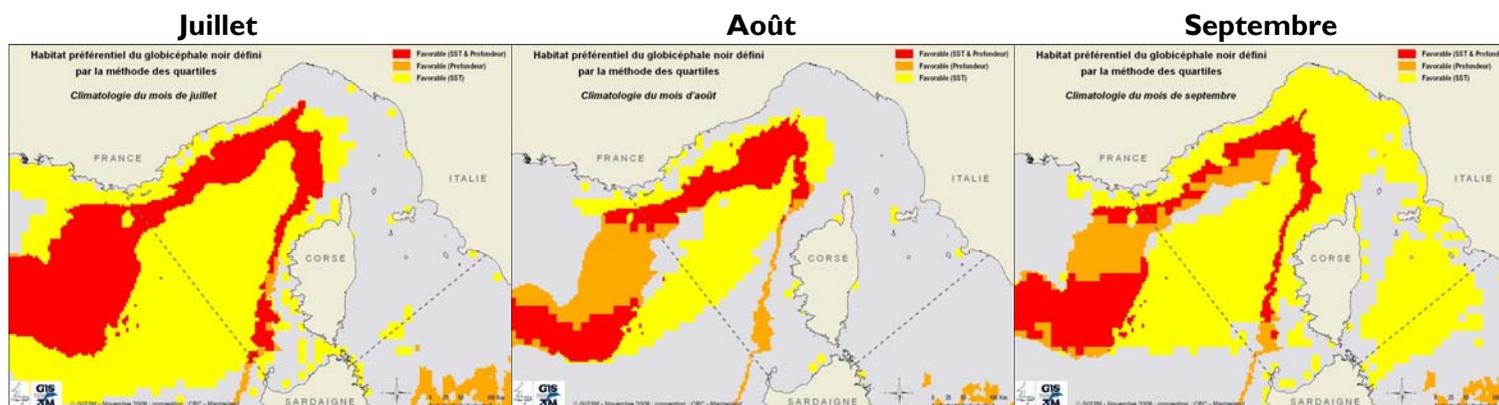
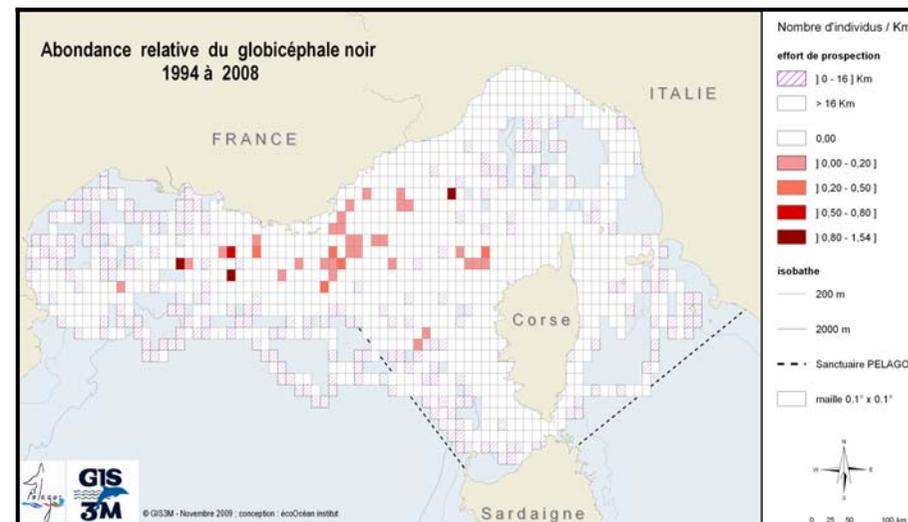
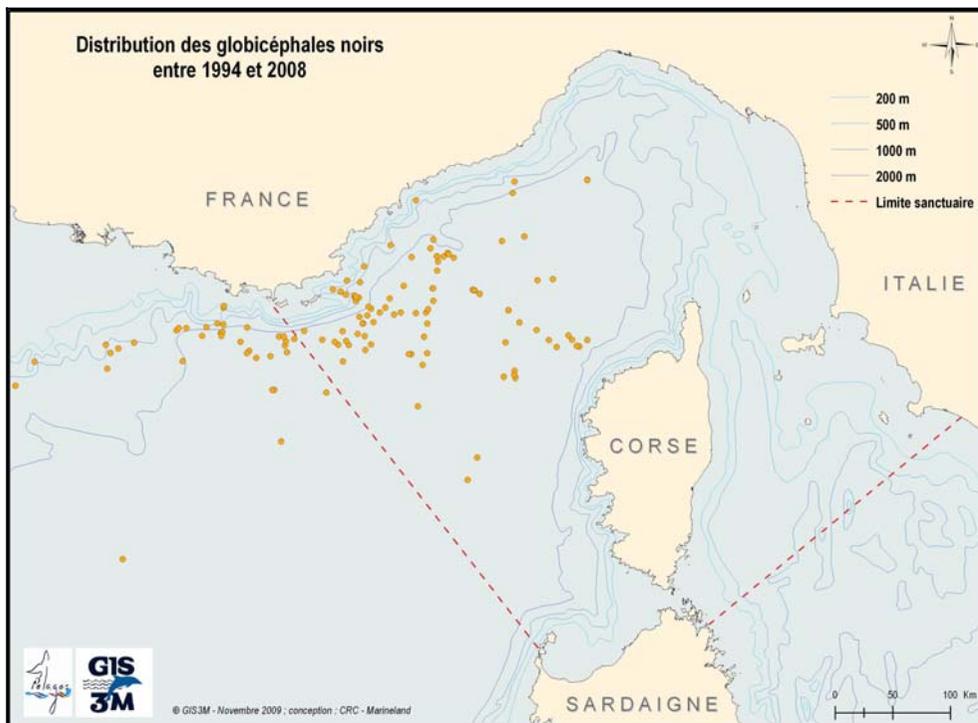
Si oui codes biopsie :

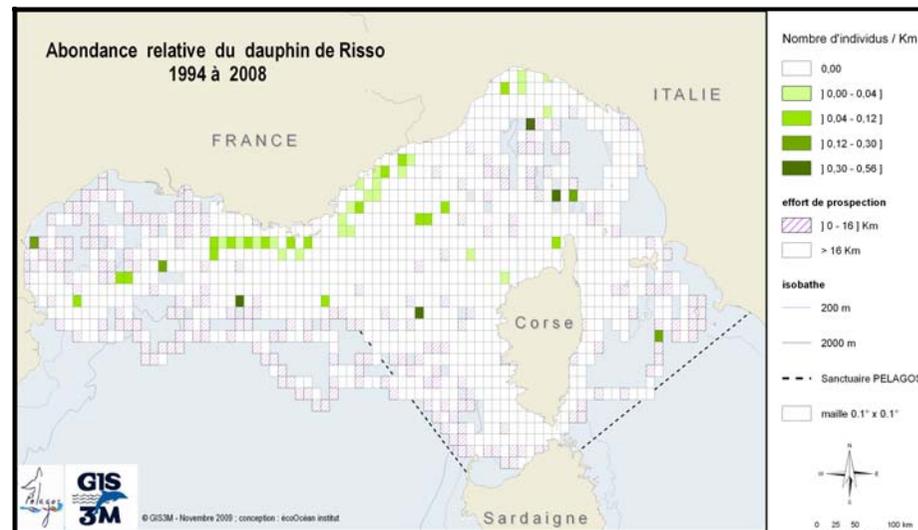
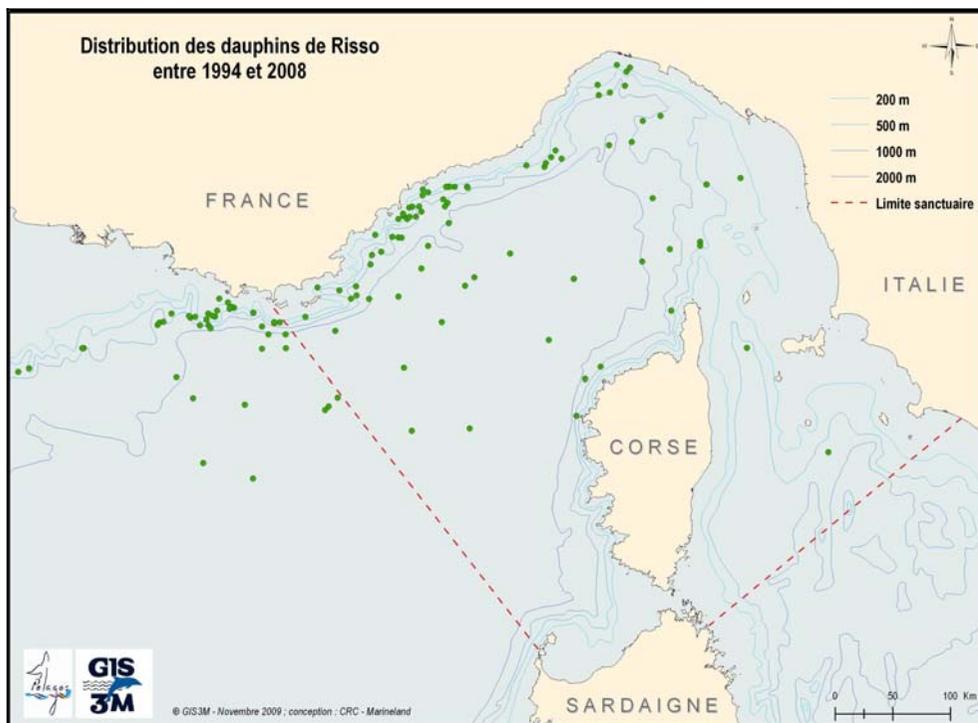
Position :

Heure de fin d'observation :

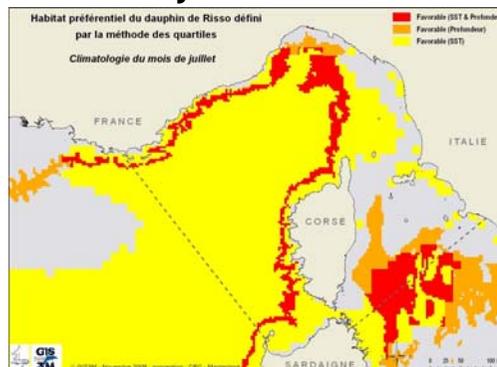
Commentaires, notes complémentaires...

SYNTHÈSE

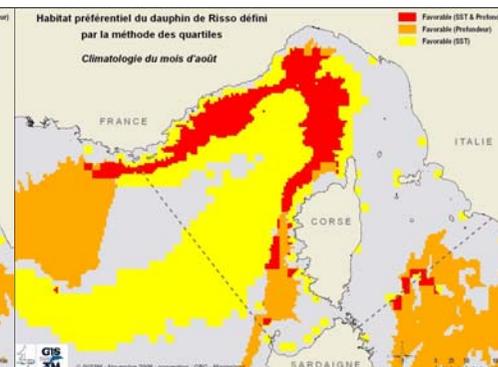




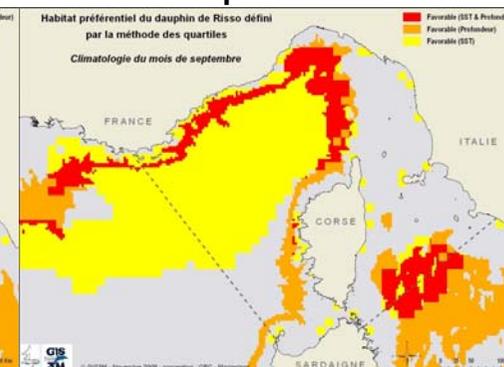
Juillet

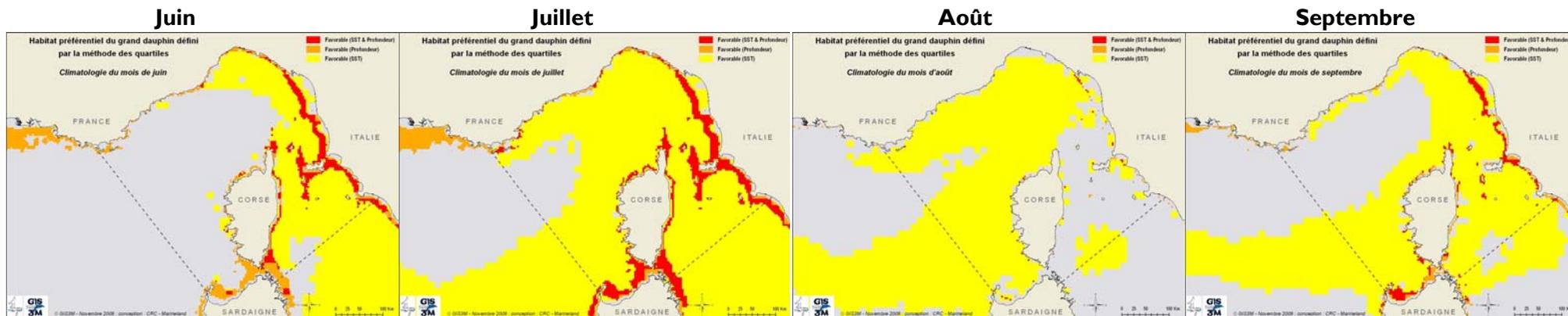
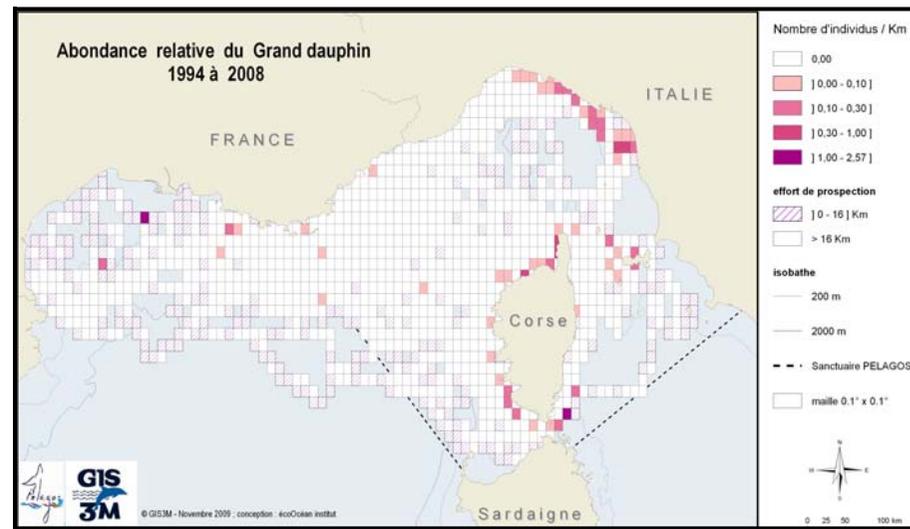
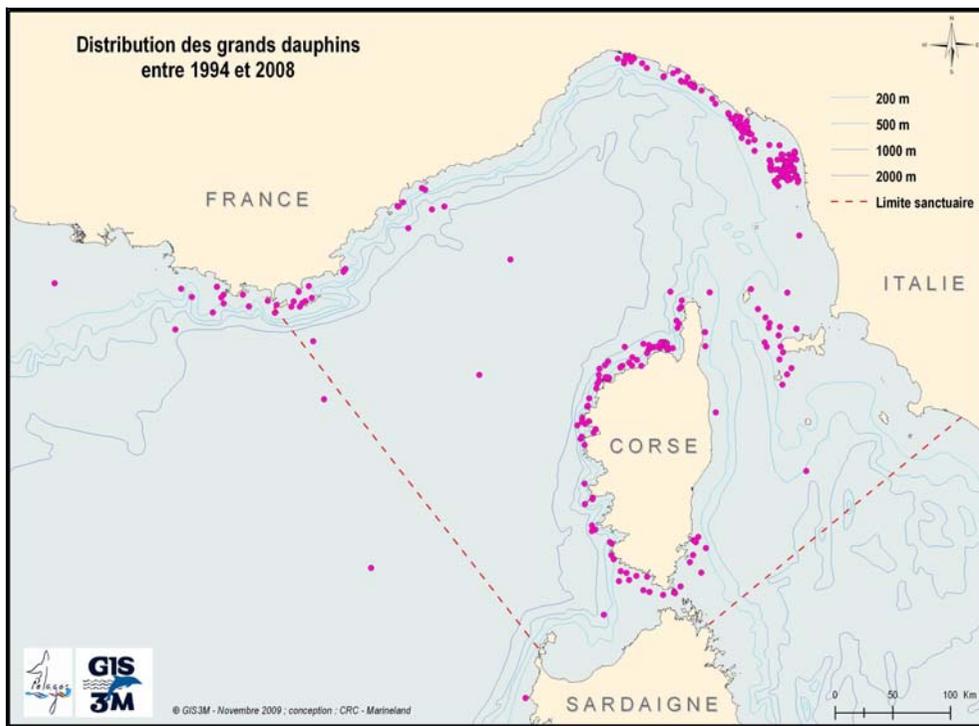


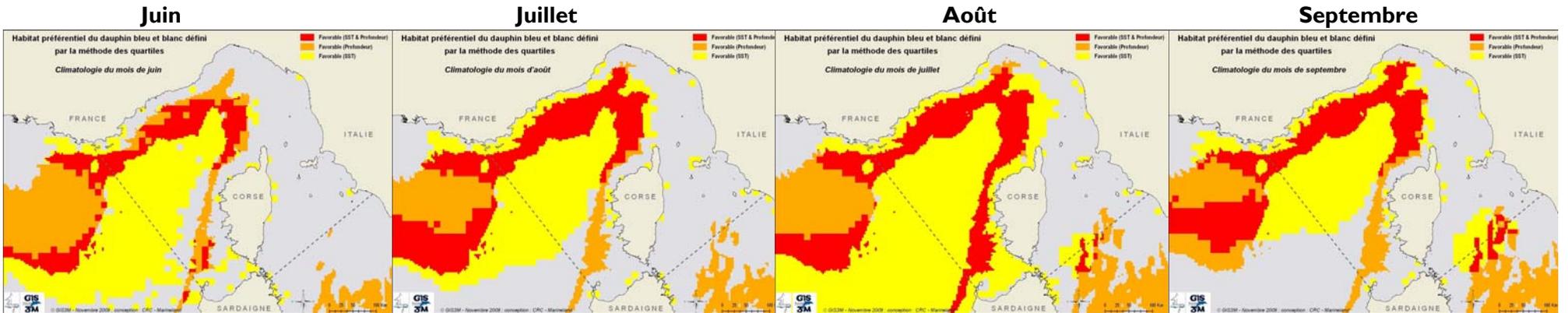
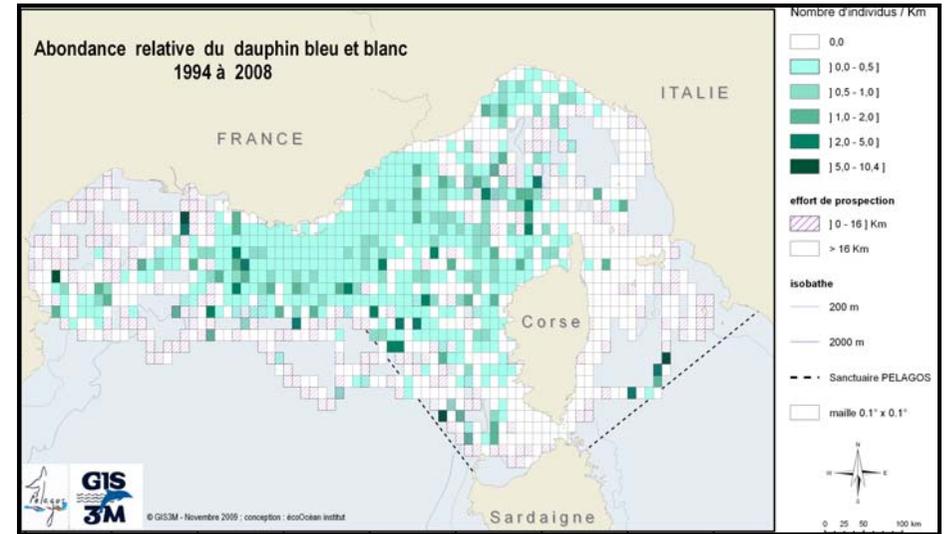
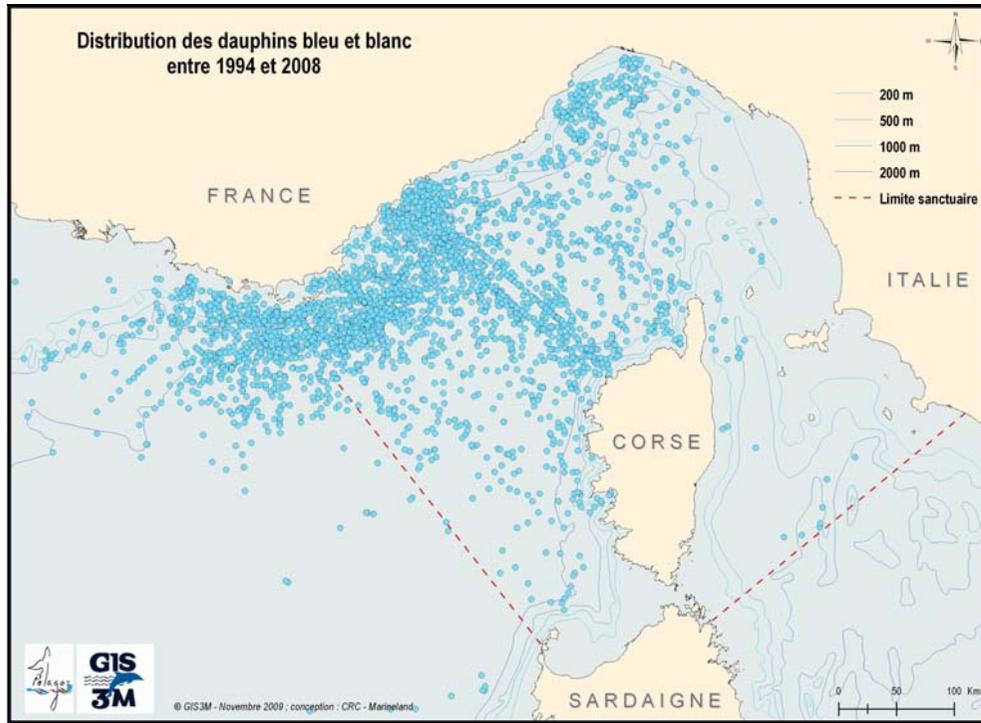
Août

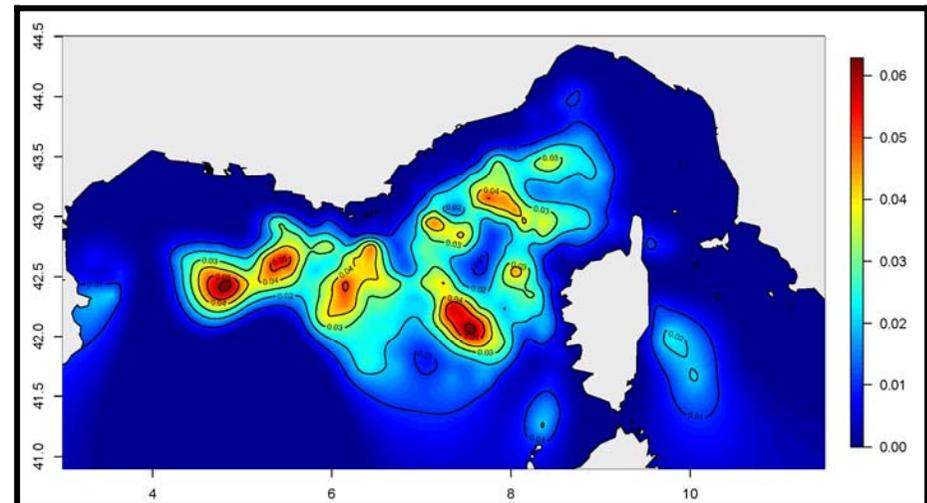
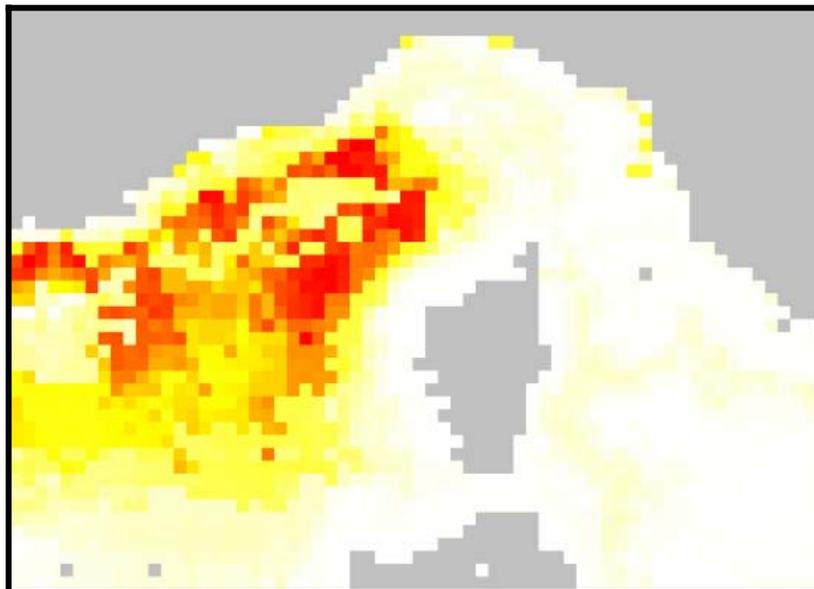
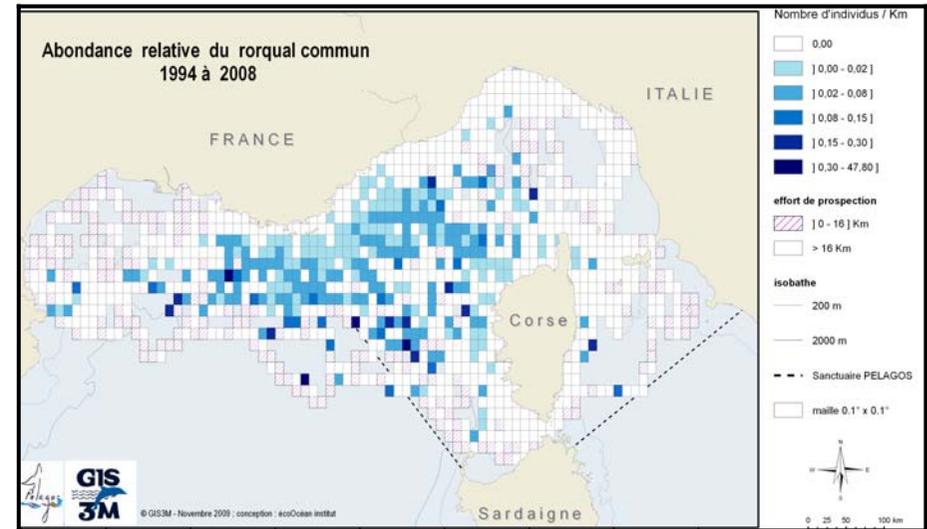
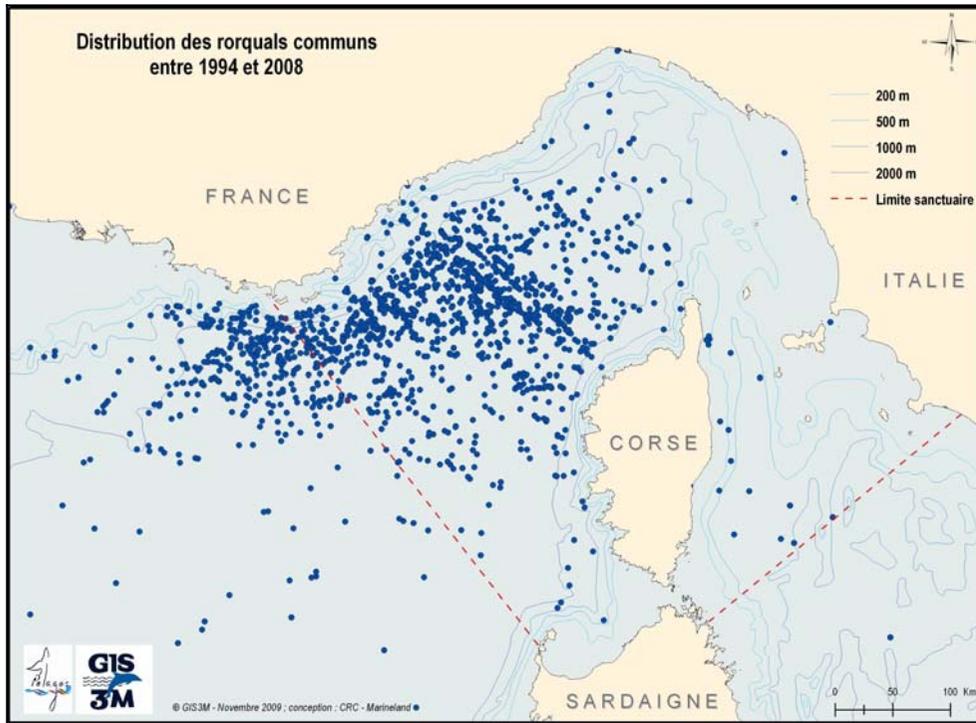


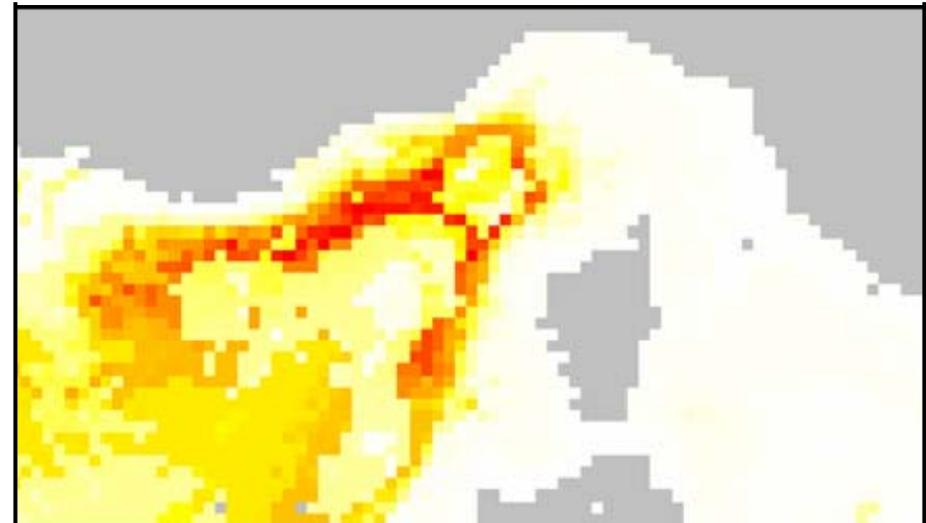
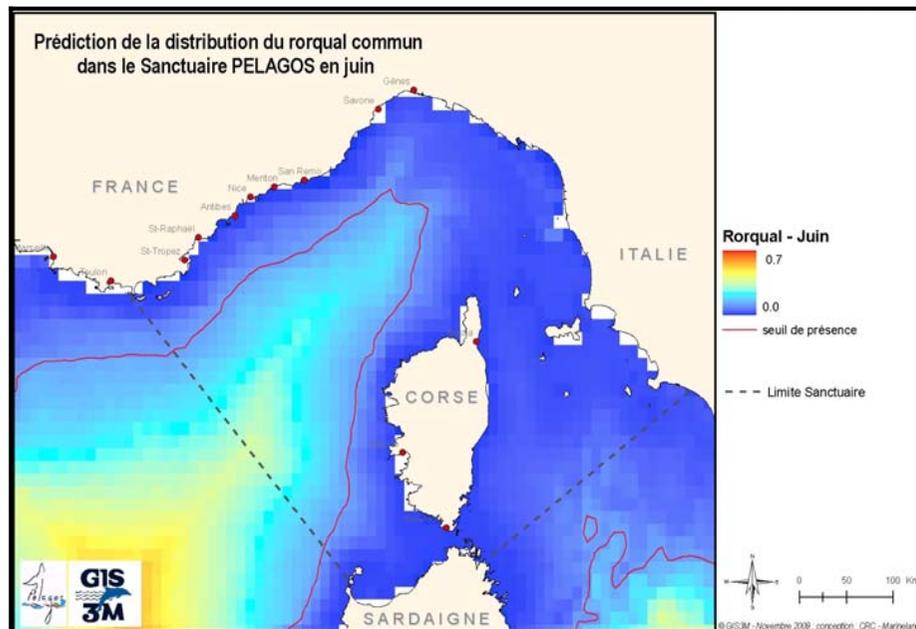
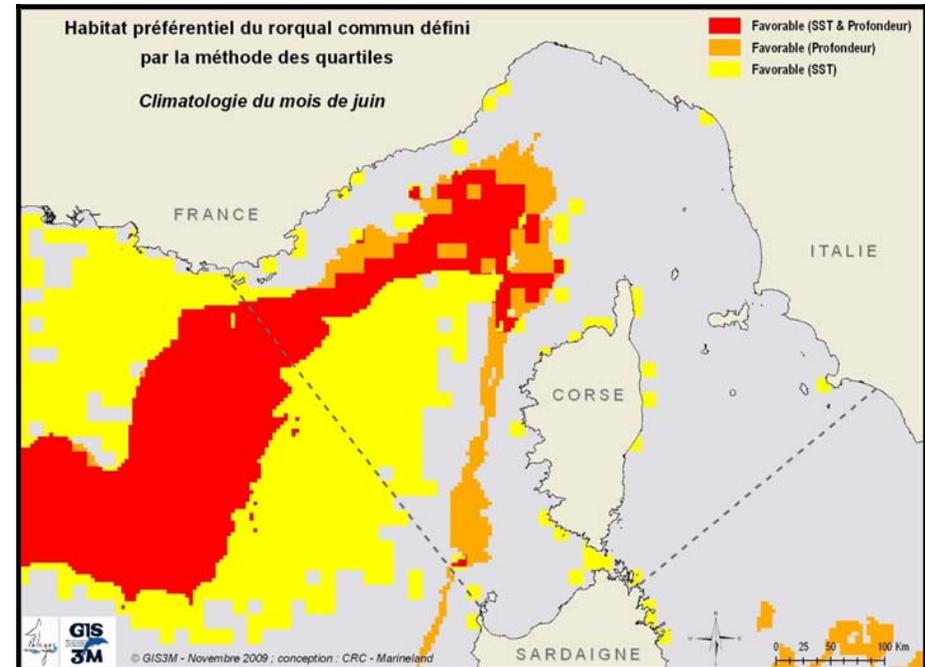
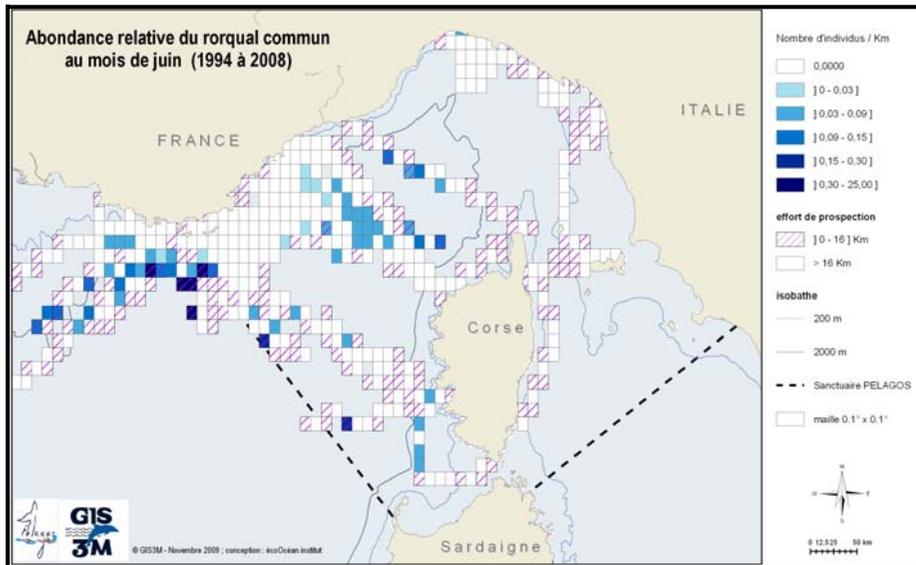
Septembre

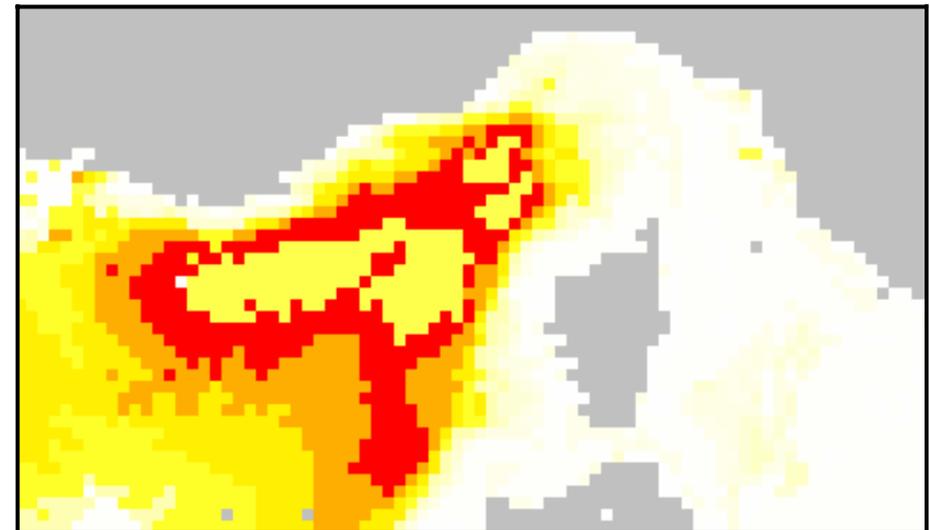
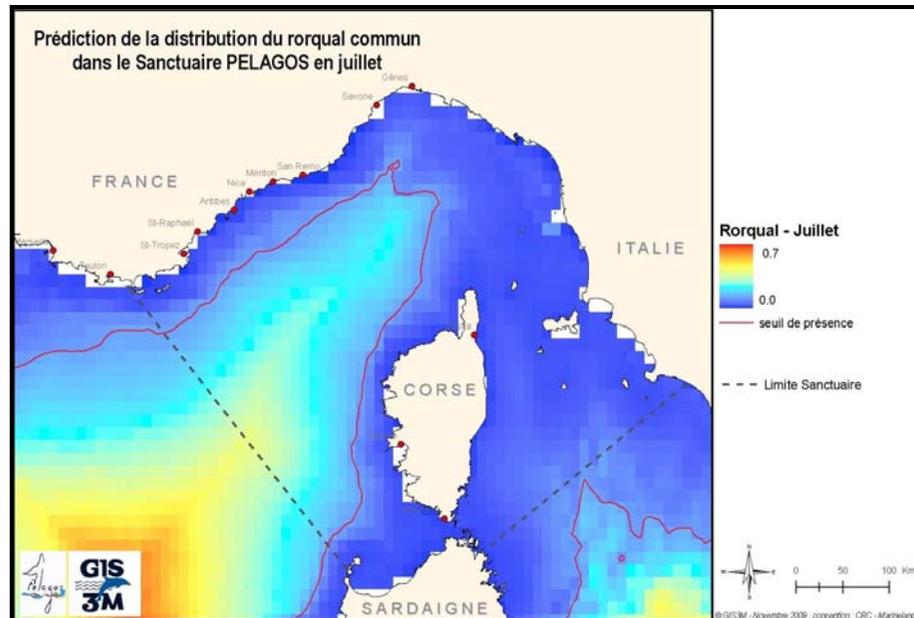
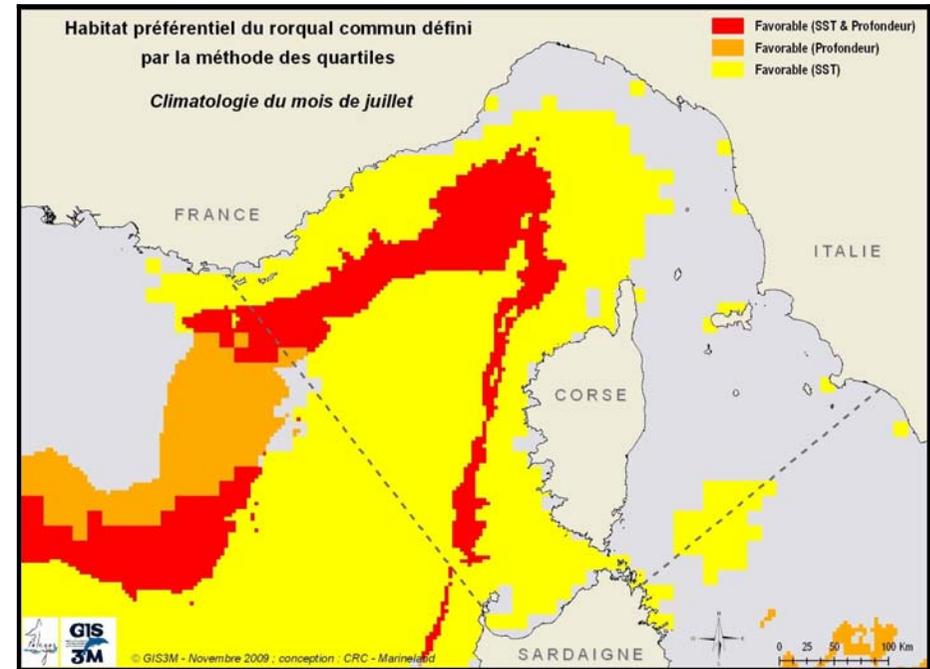
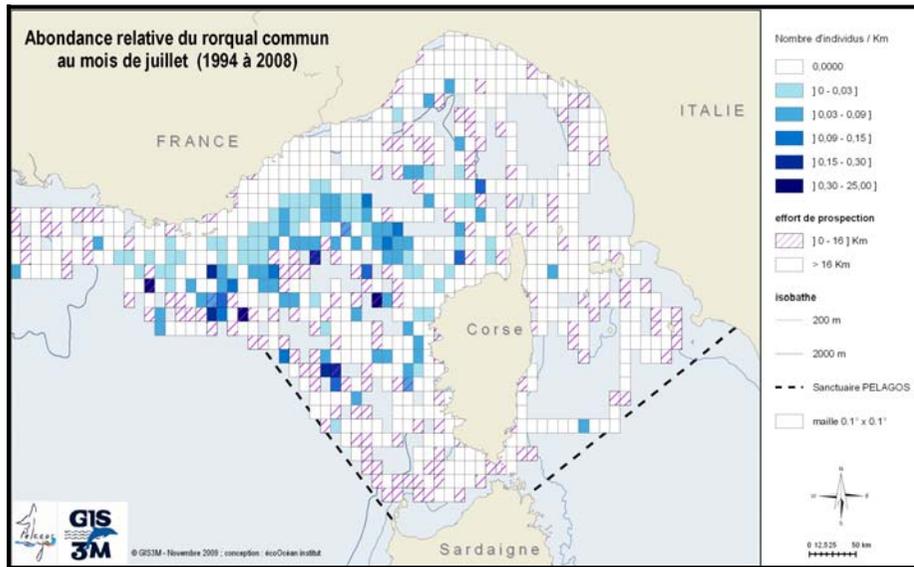


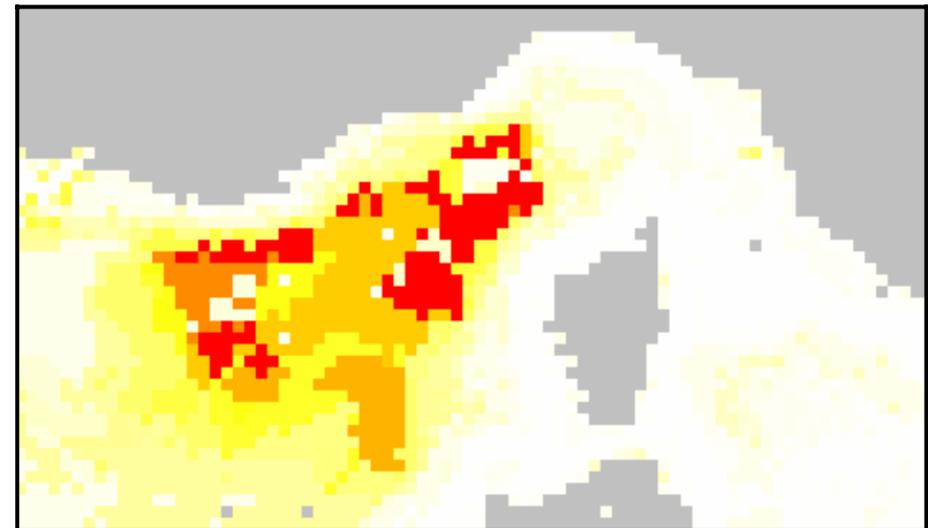
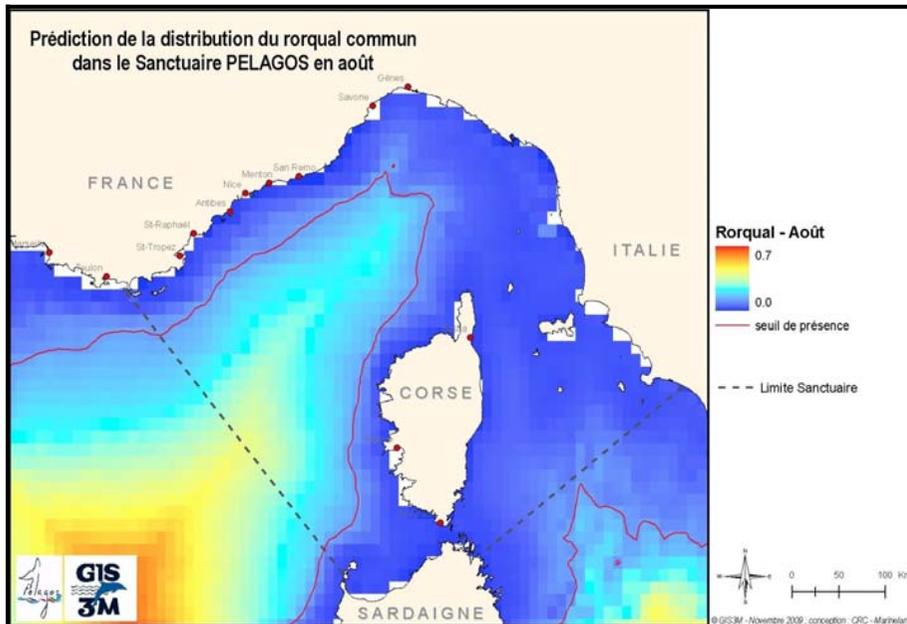
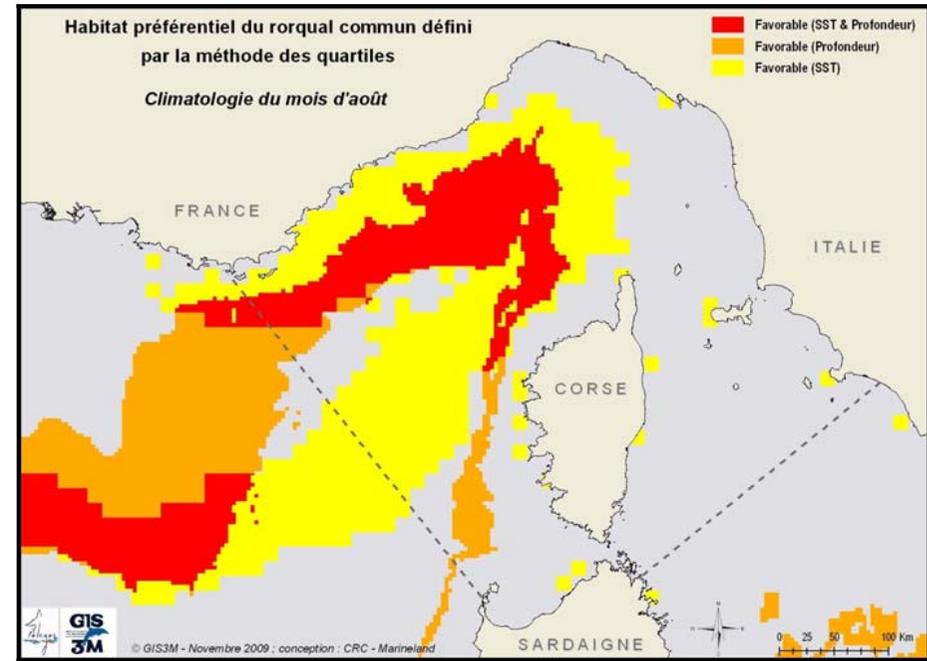
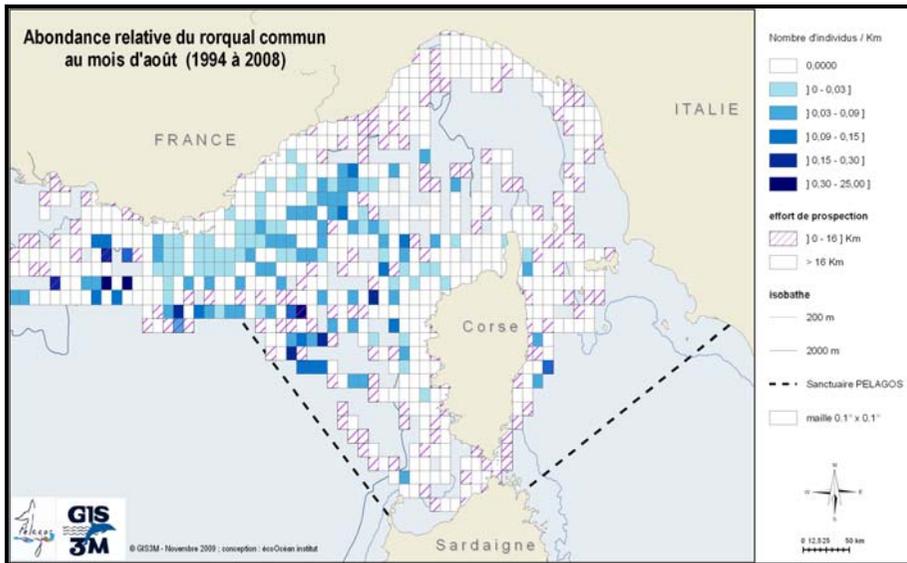












RORQUAL COMMUN

SEPTEMBRE

