SUIVI TEMPOREL DU SANCTUAIRE PELAGOS PAR TRANSECTS MENSUELS AU LARGE ET REFLEXION SUR DES METHODOLOGIES DE MONITORING

- Rapport Final -
Mars 2010

Réalisé par :

DI-MEGLIO Nathalie (écoOcéan Institut – GIS 3M)
DAVID Léa (écoOcéan Institut – GIS 3M)

GROUPEMENT D'INTERET SCIENTIFIQUE POUR LES MAMMIFERES MARINS EN MEDITERRANEE ET LEUR ENVIRONNEMENT (GIS 3M)
Castel Sye Claire, rue Ste Claire
83418 Hyères cedex gis3m@yahoo.fr

PARTENARIAT SCIENTIFIQUE

PROGRAMME DE RECHERCHE 2007/2009 PELAGOS France

SUIVI TEMPOREL DU SANCTUAIRE PELAGOS PAR TRANSECTS MENSUELS AU LARGE ET REFLEXION SUR DES METHODOLOGIES DE MONITORING

- RAPPORT FINAL –

Rédigé par
Nathalie DI-MEGLIO & Léa DAVID

Ce travail a été fait avec la collaboration de Pascal MONESTIEZ (INRA), Florian EYZAT, Morgane NOULLET et Sandrine SERRE (écoOcéan Institut), ainsi que de Denis ODY & Amandine EYNAUDI (WWF)

Contrat : 08.043.83400 du 03/12/08

Contrat : 08.043.83400 du 03/12/08

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

Coordinateurs : **Nathalie Di-MEGLIO** et **Léa DAVID**
EcoOcéan Institut
http://www.ecoocean-institut.org/

LES PARTENAIRES DE CETTE ETUDE
POUR LES DONNEES D'OBSERVATIONS

Amandine EYNAUDI et Denis ODY
World Wildlife Fund (WWF-France)
http://www.wwf.fr/

Marine Nationale
Flottille Hélicoptère

Préfecture Maritime de Méditerranée

Swiss Cetacean Society

Cybelle Planète

Fondation Nicolas Hulot

POUR L'ANALYSE DES DONNEES

Nathalie Di-MEGLIO, **Léa DAVID, Florian EYZAT, Morgane NOULLET et Sandrine SERRE**
EcoOcéan Institut
http://www.ecoocean-institut.org/

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

REMERCIEMENTS

Nous tenons ici à remercier sincèrement tous ceux qui nous ont accompagnés dans cette étude et qui ont permis qu'elle se réalise dans de bonnes conditions :

- les équipages des flotilles des hélicoptères et en particulier celle de la flotilles 35F de la Base aéronavale de Toulon
- les coordinateurs de nos embarquements à bord des hélicoptères FOSIT Toulon
- M. Besson et Mme Sellier-Richez (Préfecture Maritime de Méditerranée, Toulon)
- Les observateurs aériens : Boris Cocardon, Olivier Fouet, Thierry Legavre
- Les équipages de la « Fleur de Lampaul », du « Columbus », du « Pat » et de « l'Alcyon »
- Le noyau permanent de la Swiss Cetacean Society à terre et en mer (Lausanne, Saint-Mandrier)
- Céline Arnal de Cybelle Planète
- Tous les observateurs qui ont embarqués sur les bateaux
- Tous les membres d'écoOcéan Institut qui nous ont aidé directement, ou indirectement pour que nous puissions réaliser ce travail.

SOMMAIRE

INTRODUCTION **19**

CHAPITRE 1 - MATERIEL ET METHODES **21**

I. MISSIONS SUR LE TERRAIN **21**

I.A. MISSIONS ET DONNEES BATEAU 21
1. Missions financées par cette étude *21*
2. Autres missions réalisées par EcoOcéan institut et ses partenaires *22*
I.B. MISSIONS ET DONNEES HELICOPTERE 23

II. PERIODE ET ZONE D'ETUDE **26**

III. METHODES DE COLLECTE ET ANALYSES **27**

III.A. TRANSECT DE LIGNE 27
1. Conditions météorologiques *28*
2. Vitesse du bateau *28*
3. Surveillance visuelle *28*
4. Données et trajets *28*
5. Données collectées *28*
III.B. TRANSECT DE BANDE 29
1. Conditions météorologiques *29*
2. Vitesse et altitude de l'hélicoptère *29*
3. Surveillance visuelle *29*
4. Données et trajets *29*
III.C. DISTRIBUTION ET QUANTIFICATION DES OBSERVATIONS 29
1. Les cartes de distribution *30*
2. Abondances relatives *30*
3. Abondances absolue *31*
4. Krigeage *32*
III.D. CARACTERISATION DE LA ZONE D'ETUDE PAR LES PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX 33
1. Données satellites *33*
2. Mise en relation avec les cétacés *35*

CHAPITRE 2 – EVOLUTIONS TEMPORELLES **37**

I. RESULTATS **37**

I.A. EFFORT DE PROSPECTION 37
I.B. EVOLUTIONS TEMPORELLES 39
1. Peuplement *39*
2. Le rorqual commun *46*
3. Dauphin bleu et blanc *55*
4. Cachalot *64*
5. Dauphin de Risso *73*
6. Globicéphale *82*
7. Grand dauphin *91*
I.C. PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX 100
1. Evolution mensuelle des paramètres environnementaux *100*
2. Relation cétacés-paramètres environnementaux *103*

II. DISCUSSION **109**

II.A. EVOLUTIONS SAISONNIERES DES CETACES 109
1. Peuplement estival *110*
2. Peuplement automnal *114*
3. Peuplement hivernal *117*
4. Peuplement printanier *119*
5. En résumé *121*
II.B. EVOLUTIONS SAISONNIERES ET PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX 124

CHAPITRE 3 – PLACE DU SANCTUAIRE POUR LA PROTECTION DES CETACES **127**

I. RESULTATS **127**

I.A. EFFORT DE PROSPECTION 127
1. Variations annuelles *127*
3. Variations saisonnières *128*
I.B. PEUPLEMENT 128
I.C. ABONDANCE RELATIVE 130
1. Variations annuelles *130*
4. Variations saisonnières *134*
I.D. DISCUSSION 137

CHAPITRE 4 – COMPARAISON METHODOLOGIQUES 144

I. RESULTATS 144

I.A. HELICO VERSUS BATEAU 144
1. Le peuplement *144*
2. Rorqual commun *144*
3. Dauphin bleu et blanc *150*
I.B. TRANSECT PREDEFINI VERSUS TRANSECT ALEATOIRE 153
1. Effort de prospection *153*
2. Peuplement *154*
5. Abondance relative *154*
I.C. COUT ET MISE EN ŒUVRE 165
1. Une journée de prospection en voilier *165*
2. Une journée d'observation en hélicoptère *166*
3. Une journée d'observation en avion *167*
4. Frais supplémentaires *168*
5. Coût de la mission selon les méthodes d'observation *168*

II. DISCUSSION ET PROTOCOLE DE MONITORING 169

II.A. HELICOPTERE VERSUS BATEAU 169
1. Caractéristiques des vols et du plan d'échantillonnage aérien *170*
2. Probabilité de détection *172*
3. Hypothèses des méthodes appliquées *174*
4. Facteurs explicatifs pour le rorqual *175*
5. Facteurs explicatifs pour le dauphin bleu et blanc *177*
II.B. TP VERSUS TA 177
II.C. STRATEGIE DE MONITORING 179
1. Hélico/avion ou bateau ? *180*
2. Transect Prédéfini ou Transect Opportuniste? *181*

CONCLUSION 182

BIBLIOGRAPHIE 184

ANNEXES 193

RESUME 199

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1. PROFIL BATHYMETRIQUE (PROFONDEUR EN METRES) DU TRANSECT MENSUEL PREDEFINI (TM) LONG DE 48 MN. 24
FIGURE 2. A- REPRESENTATION DE LA FONCTION DE DENSITE DE PROBABILITE DES DISTANCES DE DETECTION F(Y) B- REPRESENTATION DE LA FONCTION DE PROBABILITE DE DETECTION DE G(Y) DE LA LARGEUR DE BANDE EFFICACE M. µ EST LA DEMI-LARGEUR EFFECTIVE COMPRISE ENTRE 0 ET W (DISTANCE DE TRONCATION) (D'APRES HEDLEY., 2000). 35
FIGURE 3. CONSOLE DE GEOREFERENCEMENT (IDRISI THE ANDES®) 38
FIGURE 4. COMPOSITION SPECIFIQUE (EN POURCENTAGE D'INDIVIDUS) DU PEUPLEMENT DE CETACES OBSERVE LORS DES MISSIONS EN BATEAU, DE 2005 A 2009. 42
FIGURE 5. COMPOSITION SPECIFIQUE (EN POURCENTAGE DE CONTACTS) DU PEUPLEMENT DE CETACES OBSERVE LORS DES MISSIONS EN BATEAU, DE 2005 A 2009. 43
FIGURE 6. COMPOSITION SPECIFIQUE ANNUELLE (EN POURCENTAGE D'INDIVIDUS) DU PEUPLEMENT DE CETACES OBSERVE LORS DES MISSIONS EN BATEAU, DE 2005 A 2009. 44
FIGURE 7. COMPOSITION SPECIFIQUE ANNUELLE (EN POURCENTAGE DE CONTACTS) DU PEUPLEMENT DE CETACES OBSERVE LORS DES MISSIONS EN BATEAU, DE 2005 A 2009. 44
FIGURE 8. COMPOSITION SPECIFIQUE SAISONNIER DU PEUPLEMENT DE CETACES OBSERVE PAR BATEAU ENTRE 2005 ET 2009. 45
FIGURE 9. PROPORTION DES ESPECES OBSERVEES PAR HELICOPTERE, DE 2005 A 2009, EN POURCENTAGE D'INDIVIDUS. 46
FIGURE 10, PROPORTION DES ESPECES OBSERVEES PAR HELICOPTERE, DE 2005 A 2009, EN POURCENTAGE DE CONTACTS. 46
FIGURE 11. PROPORTION DES ESPECES OBSERVEES PAR HELICOPTERE, PAR ANNEES ENTRE 2005 ET 2009, EN POURCENTAGE D'INDIVIDUS. 47
FIGURE 12. PROPORTION DES ESPECES OBSERVEES PAR HELICOPTERE, PAR ANNEES ENTRE 2005 ET 2009, EN POURCENTAGE DE CONTACTS. 48
FIGURE 13. PROPORTION DES ESPECES OBSERVEES PAR HELICOPTERE, SUIVANT LES SAISONS, ENTRE 2005 ET 2009, EN POURCENTAGE D'INDIVIDUS. 48
FIGURE 14. PROPORTION DES ESPECES OBSERVEES PAR HELICOPTERE, SUIVANT LES SAISONS, ENTRE 2005 ET 2009, EN POURCENTAGE DE CONTACTS. 49
FIGURE 15. EVOLUTION DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DES RORQUALS COMMUNS RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 53
FIGURE 16. EVOLUTION DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DES RORQUALS COMMUNS RENCONTRES EN HELICOPTERE DE 2005 A 2009 53
FIGURE 17. EVOLUTION DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES RORQUALS COMMUNS RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 53
FIGURE 18. EVOLUTION DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES RORQUALS COMMUNS RENCONTRES EN HELICOPTERE DE 2005 A 2009 53
FIGURE 19. EVOLUTION SAISONNIERE DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DE COMMUNS RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 55
FIGURE 20, EVOLUTION SAISONNIERE DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DE COMMUNS RENCONTRES EN HELICOPTERE DE 2005 A 2009 55
FIGURE 21. EVOLUTION SAISONNIERE DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES RORQUALS COMMUNS RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 55
FIGURE 22. EVOLUTION SAISONNIERE DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES RORQUALS COMMUNS RENCONTRES EN HELICOPTERE DE 2005 A 2009 55
FIGURE 23. EVOLUTION MENSUELLE DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DE RORQUAL COMMUNS RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 57
FIGURE 24. EVOLUTION MENSUELLE DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DE RORQUAAL COMMUNS RENCONTRES EN HELICOPTERE DE 2005 A 2009 57
FIGURE 25. EVOLUTION MENSUELLE DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES RORQUALS COMMUNS RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 57
FIGURE 26. EVOLUTION MENSUELLE DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES RORQUALS COMMUNS RENCONTRES EN HELICOPTERE DE 2005 A 2009 57
FIGURE 27. EVOLUTION DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DES DAUPHINS BLEUS ET BLANCS RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 62

FIGURE 28. EVOLUTION DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DES DAUPHINS BLEUS ET BLANCS RENCONTRES EN HELICOPTERE DE 2005 A 2009 62
FIGURE 29. EVOLUTION DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES DAUPHINS BLEUS ET BLANCS RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 62
FIGURE 30, EVOLUTION DE DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES DAUPHINS BLEUS ET BLANCS RENCONTRES EN HELICOPTERE DE 2005 A 2009 62
FIGURE 31. EVOLUTION SAISONNIERE DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DES DAUPHINS BLEUS ET BLANCS RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 64
FIGURE 32. EVOLUTION SAISONNIERE DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DES DAUPHINS BLEUS ET BLANCS RENCONTRES EN HELICOPTERE DE 2005 A 2009 64
FIGURE 33. EVOLUTION SAISONNIERE DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES DAUPHINS BLEUS ET BLANCS RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 64
FIGURE 34. EVOLUTION SAISONNIERE DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES DAUPHINS BLEUS ET BLANCS RENCONTRES EN HELICOPTERE DE 2005 A 2009 64
FIGURE 35. EVOLUTION MENSUELLE DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DES DAUPHINS BLEUS ET BLANCS RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 66
FIGURE 36. EVOLUTION MENSUELLE DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DES DAUPHINS BLEUS ET BLANCS RENCONTRES EN HELICOPTERE DE 2005 A 2009 66
FIGURE 37. EVOLUTION MENSUELLE DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES DAUPHINS BLEUS ET BLANCS RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 66
FIGURE 38. EVOLUTION MENSUELLE DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES DAUPHINS BLEUS ET BLANCS RENCONTRES EN HELICOPTERE DE 2005 A 2009 66
FIGURE 39. EVOLUTION DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DE CACHALOTS RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 71
FIGURE 40, EVOLUTION DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DES CACHALOTS RENCONTRES EN HELICOPTERE DE 2005 A 2009 71
FIGURE 41. EVOLUTION DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES CACHALOTS RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 71
FIGURE 42. EVOLUTION DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES CACHALOTS RENCONTRES EN HELICOPTERE DE 2005 A 2009 71
FIGURE 43. EVOLUTION SAISONNIERE DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DE CACHALOTS RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 73
FIGURE 44. EVOLUTION SAISONNIERE DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DE CACHALOTS RENCONTRES EN HELICOPTERE DE 2005 A 2009 73
FIGURE 45. EVOLUTION SAISONNIERE DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES CACHALOTS RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 73
FIGURE 46. EVOLUTION SAISONNIERE DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES CACHALOTS RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 73
FIGURE 47. EVOLUTION MENSUELLE DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DE CACHALOTS RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 75
FIGURE 48. EVOLUTION MENSUELLE DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DE CACHALOTS RENCONTRES EN HELICOPTERE DE 2005 A 2009 75
FIGURE 49. EVOLUTION MENSUELLE DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES CACHALOTS RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 75
FIGURE 50, EVOLUTION MENSUELLE DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES CACHALOTS RENCONTRES EN HELICOPTERE DE 2005 A 2009 75
FIGURE 51. EVOLUTION DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DES DAUPHINS DE RISSO RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 80
FIGURE 52. EVOLUTION DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DES DAUPHINS DE RISSO RENCONTRES EN HELICOPTERE DE 2005 A 2009 80
FIGURE 53. EVOLUTION DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES DAUPHINS DE RISSO RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 80
FIGURE 54. EVOLUTION DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES DAUPHINS DE RISSO RENCONTRES EN HELICOPTERE DE 2005 A 2009 80
FIGURE 55. EVOLUTION SAISONNIERE DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DE RISSO RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 82
FIGURE 56. EVOLUTION SAISONNIERE DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DE RISSO RENCONTRES EN HELICOPTERE DE 2005 A 2009 82
FIGURE 57. EVOLUTION SAISONNIERE DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES DAUPHINS DE RISSO RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 82

FIGURE 58. EVOLUTION SAISONNIERE DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES DAUPHINS DE RISSO RENCONTRES EN HELICOPTERE DE 2005 A 2009 82
FIGURE 59. EVOLUTION MENSUELLE DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DE DAUPHINS DE RISSO RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 84
FIGURE 60, EVOLUTION MENSUELLE DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DE DAUPHINS DE RISSO RENCONTRES EN HELICOPTERE DE 2005 A 2009 84
FIGURE 61. EVOLUTION MENSUELLE DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES DAUPHINS DE RISSO RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 84
FIGURE 62. EVOLUTION MENSUELLE DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES DAUPHINS DE RISSO RENCONTRES EN HELICOPTERE DE 2005 A 2009 84
FIGURE 63. EVOLUTION DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DE GLOBICEPHALES NOIRS RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 89
FIGURE 64. EVOLUTION DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DE GLOBICEPHALES NOIRS RENCONTRES EN HELICOPTERE DE 2005 A 2009 89
FIGURE 65. EVOLUTION DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES GLOBICEPHALES NOIRS RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 89
FIGURE 66. EVOLUTION DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES GLOBICEPHALES NOIRS RENCONTRES EN HELICOPTERE DE 2005 A 2009 89
FIGURE 67. EVOLUTION SAISONNIERE DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DE GLOBICEPHALES NOIRS RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 91
FIGURE 68. EVOLUTION SAISONNIERE DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DE GLOBICEPHALES NOIRS RENCONTRES EN HELICOPTERE DE 2005 A 2009 91
FIGURE 69. EVOLUTION SAISONNIERE DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES GLOBICEPHALES NOIRS RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 91
FIGURE 70, EVOLUTION SAISONNIERE DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES GLOBICEPHALES NOIRS RENCONTRES EN HELICOPTERE DE 2005 A 2009 91
FIGURE 71. EVOLUTION MENSUELLE DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DE GLOBICEPHALES NOIRS RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 93
FIGURE 72. EVOLUTION MENSUELLE DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DE GLOBICEPHALES NOIRS RENCONTRES EN HELICOPTERE DE 2005 A 2009 93
FIGURE 73. EVOLUTION MENSUELLE DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES GLOBICEPHALES NOIRS RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 93
FIGURE 74. EVOLUTION MENSUELLE DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES GLOBICEPHALES NOIRS RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 93
FIGURE 75. EVOLUTION DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DE GRANDS DAUPHINS RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 98
FIGURE 76. EVOLUTION DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DE GRANDS DAUPHINS RENCONTRES EN HELICOPTERE DE 2005 A 2009 98
FIGURE 77. EVOLUTION DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES GRANDS DAUPHINS RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 98
FIGURE 78. EVOLUTION DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES GRANDS DAUPHINS RENCONTRES EN HELICOPTERE DE 2005 A 2009 98
FIGURE 79. EVOLUTION SAISONNIERE DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DE GRANDS DAUPHINS RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 100
FIGURE 80, EVOLUTION SAISONNIERE DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DE GRANDS DAUPHINS RENCONTRES EN HELICOPTERE DE 2005 A 2009 100
FIGURE 81. EVOLUTION SAISONNIERE DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES GRANDS DAUPHINS RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 100
FIGURE 82. EVOLUTION SAISONNIERE DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES GRANDS DAUPHINS RENCONTRES EN HELICOPTERE DE 2005 A 2009 100
FIGURE 83. EVOLUTION MENSUELLE DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DE GRANDS DAUPHINS RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 102
FIGURE 84. EVOLUTION MENSUELLE DE LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES DE GRANDS DAUPHINS RENCONTRES EN HELICOPTERE DE 2005 A 2009 102
FIGURE 85. EVOLUTION MENSUELLE DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES GRANDS DAUPHINS RENCONTRES EN BATEAU DE 2005 A 2009 102
FIGURE 86. EVOLUTION MENSUELLE DE L'ABONDANCE RELATIVE (IND.KM-1) DES GRANDS DAUPHINS RENCONTRES EN HELICOPTERE DE 2005 A 2009 102
FIGURE 87. EVOLUTION MENSUELLE DES CONCENTRATIONS MOYENNES EN CHLOROPHYLLE A ENTRE 1999 ET 2009. 103

FIGURE 88. EVOLUTION MENSUELLE DE LA TEMPERATURE MOYENNE DE SURFACE ENTRE 1999 ET 2009. 104
FIGURE 89. EVOLUTION, POUR CHAQUE ANNEE, DES ECARTS ENTRE LA CONCENTRATION MENSUELLE DE CHLOROPHYLLE A DE LA ZONE ET LA MOYENNE MENSUELLE DE LA DERNIERE DECENNIE (1999-2009). 106
FIGURE 90, EVOLUTION, POUR CHAQUE ANNEE, DES ECARTS ENTRE LA TEMPERATURE DE SURFACE MENSUELLE DE LA ZONE ET LA MOYENNE MENSUELLE DE LA DERNIERE DECENNIE (1999-2009). 106
FIGURE 91. EVOLUTION MENSUELLE DES ECARTS ENTRE LA CONCENTRATION MENSUELLE DE CHLOROPHYLLE A DE LA ZONE POUR UNE ANNEE ET LA MOYENNE ANNUELLE EN CHLOROPHYLLE A. 106
FIGURE 92. EVOLUTION MENSUELLE DES ECARTS ENTRE LA TEMPERATURE DE SURFACE DE LA ZONE POUR UNE ANNEE ET LA MOYENNE ANNUELLE DE LA TEMPERATURE DE SURFACE 106
FIGURE 93 - EVOLUTION DES ECARTS A LA MOYENNE ANNUELLE POUR LES PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX (CONCENTRATION EN CHLOROPHYLLE A ET TEMPERATURE DE SURFACE) 107
FIGURE 94. ABONDANCE RELATIVE DE RORQUAL COMMUN ET TEMPERATURE DE SURFACE MOYENNE ANNUELLE DE 2006 A 2009 SUR LA ZONE D'ETUDE. 108
FIGURE 95. EVOLUTION DE LA TEMPERATURE MOYENNE DE SURFACE ET DES ABONDANCES RELATIVES DE RORQUAL COMMUN SUR LA ZONE D'ETUDE AU COURS DES ANNEES2006 ET 2007 108
FIGURE 96. ILLUSTRATION GRAPHIQUE D'UNE INTERACTION POTENTIELLE ENTRE L'ABONDANCE RELATIVE EN GLOBICEPHALE ET LA CONCENTRATION EN CHLOROPHYLLE A. (LES CONCENTRATIONS MENSUELLES EN CHLOROPHYLLE A DE L'ANNEE 2005 ETANT CORRELEES AVEC CELLES DE L'ANNEE 2008, NOUS LES AVONS UTILISEES ICI A DES FINS D'ILLUSTRATION POUR PALIER AUX VALEURS MANQUANTES DU DEBUT DE L'ANNEE 2008). 109
FIGURE 97. ABONDANCES RELATIVES MENSUELLES MOYENNES DU DAUPHIN BLEU ET BLANC, PENDANT LA PERIODE ESTIVALE, ENTRE 2006 ET 2009. 110
FIGURE 98. ILLUSTRATION GRAPHIQUE D'UNE INTERACTION POTENTIELLE ENTRE L'ABONDANCE RELATIVE DE DAUPHIN BLEU ET BLANC ET LA CONCENTRATION EN CHLOROPHYLLE A. (LES CONCENTRATIONS MENSUELLES EN CHLOROPHYLLE A DE L'ANNEE 2005 ETANT CORRELEES AVEC CELLES DE L'ANNEE 2008, NOUS LES AVONS UTILISEES ICI A DES FINS D'ILLUSTRATION POUR PALIER AUX VALEURS MANQUANTES DU DEBUT DE L'ANNEE 2008). 111
FIGURE 99. EVOLUTION SAISONNIERE DES ABONDANCES RELATIVES DES CETACES RENCONTRES LORS DES MISSIONS REALISEES EN BATEAU ET EN HELICOPTERE ENTRE 2005 ET 2009. 112
FIGURE 100, EFFORT DE PROSPECTION ANNUEL FAIT DANS ET HORS DU SANCTUAIRE PELAGOS EN BATEAU ET EN HELICOPTERE. 130
FIGURE 101. EFFORT DE PROSPECTION SAISONNIER FAIT DANS ET HORS DU SANCTUAIRE PELAGOS EN BATEAU ET EN HELICOPTERE ENTRE 2005 ET 2009. 131
FIGURE 102. COMPOSITION SPECIFIQUE DU PEUPLEMENT DE CETACES (EN % D'INDIVIDUS) OBSERVES EN BATEAU DANS (A) ET HORS (B) DU SANCTUAIRE PELAGOS DE 2005 A 2009 132
FIGURE 103. COMPOSITION SPECIFIQUE DU PEUPLEMENT DE CETACES (EN % D'INDIVIDUS) OBSERVES EN HELICOPTERE DANS (A) ET HORS (B) DU SANCTUAIRE PELAGOS DE 2005 A 2009 132
FIGURE 104. ABONDANCES RELATIVES (IND.KM-1) DANS ET HORS DU SANCTUAIRE PELAGOS POUR LES RORQUALS COMMUNS RENCONTRES EN BATEAU ET EN HELICOPTERE ENTRE 2005 ET 2009. 133
FIGURE 105. ABONDANCES RELATIVES (IND.KM-1) DANS ET HORS DU SANCTUAIRE PELAGOS POUR LES DAUPHINS BLEUS ET BLANCS RENCONTRES EN BATEAU ET EN HELICOPTERE ENTRE 2005 ET 2009. 133
FIGURE 106. ABONDANCES RELATIVES (IND.KM-1) DANS ET HORS DU SANCTUAIRE PELAGOS POUR LES DAUPHINS DE RISSO RENCONTRES EN BATEAU ET EN HELICOPTERE ENTRE 2005 ET 2009. 134
FIGURE 107. ABONDANCES RELATIVES (IND.KM-1) DANS ET HORS DU SANCTUAIRE PELAGOS POUR LES GLOBICEPHALES NOIRS RENCONTRES EN BATEAU ET EN HELICOPTERE ENTRE 2005 ET 2009. 134
FIGURE 108. ABONDANCES RELATIVES (IND.KM-1) DANS ET HORS DU SANCTUAIRE PELAGOS POUR LES CACHALOTS RENCONTRES EN BATEAU ET EN HELICOPTERE ENTRE 2005 ET 2009. 135
FIGURE 109. ABONDANCES RELATIVES (IND.KM-1) DANS ET HORS DU SANCTUAIRE PELAGOS POUR LES GRANDS DAUPHINS RENCONTRES EN BATEAU ET EN HELICOPTERE ENTRE 2005 ET 2009. 135

FIGURE 110, ABONDANCES RELATIVES (IND.KM-1) SAISONNIERES DANS ET HORS DU SANCTUAIRE PELAGOS POUR LES RORQUALS COMMUNS RENCONTRES EN BATEAU ET EN HELICOPTERE ENTRE 2005 ET 2009. 136
FIGURE 111. ABONDANCES RELATIVES (IND.KM-1) SAISONNIERES DANS ET HORS DU SANCTUAIRE PELAGOS POUR LES DAUPHINS BLEUS ET BLANCS RENCONTRES EN BATEAU ET EN HELICOPTERE ENTRE 2005 ET 2009. 137
FIGURE 112. ABONDANCES RELATIVES (IND.KM-1) SAISONNIERES DANS ET HORS DU SANCTUAIRE PELAGOS POUR LES DAUPHINS DE RISSO RENCONTRES EN BATEAU ET EN HELICOPTERE ENTRE 2005 ET 2009. 137
FIGURE 113. ABONDANCES RELATIVES (IND.KM-1) SAISONNIERES DANS ET HORS DU SANCTUAIRE PELAGOS POUR LES GLOBICEPHALES NOIRS RENCONTRES EN BATEAU ET EN HELICOPTERE ENTRE 2005 ET 2009. 138
FIGURE 114. ABONDANCES RELATIVES (IND.KM-1) SAISONNIERES DANS ET HORS DU SANCTUAIRE PELAGOS POUR LES CACHALOTS RENCONTRES EN BATEAU ET EN HELICOPTERE ENTRE 2005 ET 2009. 138
FIGURE 115. ABONDANCES RELATIVES (IND.KM-1) SAISONNIERES DANS ET HORS DU SANCTUAIRE PELAGOS POUR LES GRANDS DAUPHINS RENCONTRES EN BATEAU ET EN HELICOPTERE ENTRE 2005 ET 2009. 139
FIGURE 116. EFFORT DE PROSPECTION ANNUEL ET SAISONNIER FAIT EN BATEAU EN TRANSECT PREDEFINI (TP) ET EN TRANSECT ALEATOIRE (TA) ENTRE 2005 ET 2009. 155
FIGURE 117. COMPOSITION SPECIFIQUE DU PEUPLEMENT DE CETACES (EN % D'INDIVIDUS) OBSERVES EN BATEAU A PARTIR DE TRANSECTS PREDEFINIS (TP) ET DE TRANSECTS ALEATOIRE (TA) ENTRE 2005 ET 2009 156
FIGURE 118. ABONDANCES RELATIVES ANNUELLES (IND.KM-1) DES RORQUALS COMMUNS RENCONTRES SUR DES TRANSECTS PREDEFINIS (TP) ET ALEATOIRES (TA) EN BATEAU ENTRE 2005 ET 2009. 157
FIGURE 119. ABONDANCES RELATIVES ANNUELLES (IND.KM-1) DES DAUPHINS BLEUS ET BLANCS RENCONTRES SUR DES TRANSECTS PREDEFINIS (TP) ET ALEATOIRES (TA) EN BATEAU ENTRE 2005 ET 2009. 157
FIGURE 120, ABONDANCES RELATIVES ANNUELLES (IND.KM-1) DES DAUPHINS DE RISSO RENCONTRES SUR DES TRANSECTS PREDEFINIS (TP) ET ALEATOIRES (TA) EN BATEAU ENTRE 2005 ET 2009. 158
FIGURE 121. ABONDANCES RELATIVES ANNUELLES (IND.KM-1) DES GLOBICEPHALES NOIRS RENCONTRES SUR DES TRANSECTS PREDEFINIS (TP) ET ALEATOIRES (TA) EN BATEAU ENTRE 2005 ET 2009. 158
FIGURE 122. ABONDANCES RELATIVES ANNUELLES (IND.KM-1) DES CACHALOTS RENCONTRES SUR DES TRANSECTS PREDEFINIS (TP) ET ALEATOIRES (TA) EN BATEAU ENTRE 2005 ET 2009. 158
FIGURE 123. ABONDANCES RELATIVES ANNUELLES (IND.KM-1) DES GRANDS DAUPHINS RENCONTRES SUR DES TRANSECTS PREDEFINIS (TP) ET ALEATOIRES (TA) EN BATEAU ENTRE 2005 ET 2009. 159
FIGURE 124. ABONDANCES RELATIVES SAISONNIERES (IND.KM-1) DES RORQUALS COMMUNS RENCONTRES SUR DES TRANSECTS PREDEFINIS (TP) ET ALEATOIRES (TA) EN BATEAU ENTRE 2005 ET 2009. 159
FIGURE 125. ABONDANCES RELATIVES SAISONNIERES (IND.KM-1) DES DAUPHINS BLEUS ET BLANCS RENCONTRES SUR DES TRANSECTS PREDEFINIS (TP) ET ALEATOIRES (TA) EN BATEAU ENTRE 2005 ET 2009. 160
FIGURE 126. ABONDANCES RELATIVES SAISONNIERES (IND.KM-1) DES DAUPHINS DE RISSO RENCONTRES SUR DES TRANSECTS PREDEFINIS (TP) ET ALEATOIRES (TA) EN BATEAU ENTRE 2005 ET 2009. 160
FIGURE 127. ABONDANCES RELATIVES SAISONNIERES (IND.KM-1) DES GLOBICEPHALES NOIRS RENCONTRES SUR DES TRANSECTS PREDEFINIS (TP) ET ALEATOIRES (TA) EN BATEAU ENTRE 2005 ET 2009. 161
FIGURE 128. ABONDANCES RELATIVES SAISONNIERES (IND.KM-1) DES CACHALOTS RENCONTRES SUR DES TRANSECTS PREDEFINIS (TP) ET ALEATOIRES (TA) EN BATEAU ENTRE 2005 ET 2009. 161
FIGURE 129. ABONDANCES RELATIVES SAISONNIERES (IND.KM-1) DES GRANDS DAUPHINS RENCONTRES SUR DES TRANSECTS PREDEFINIS (TP) ET ALEATOIRES (TA) EN BATEAU ENTRE 2005 ET 2009. 162
FIGURE 130, DISTRIBUTION DES FREQUENCES DES 10 000 MOYENNES D'ABONDANCES RELATIVES (INDIVIDUS.KM-1) DE RORQUALS COMMUNS GENEREES PAR BOOTSTRAP A PARTIR DU JEU DE DONNEES DES TRANSECTS ALEATOIRES (TA), DE JUILLET 2005 A AOUT 2007. EN ROUGE :

BORNES DES QUANTILES 0,025 ET 0,975, EN BLEU : L'ABONDANCE RELATIVE MOYENNE CALCULEE A PARTIR DES TRANSECTS PREDEFINIS (TP) POUR LE MEME MOIS. 163
FIGURE 131. DISTRIBUTION DES FREQUENCES DES 10 000 MOYENNES D'ABONDANCES RELATIVES (INDIVIDUS.KM-1) DE RORQUALS COMMUNS GENEREES PAR BOOTSTRAP A PARTIR DU JEU DE DONNEES DES TRANSECTS ALEATOIRES (TA), DE JUILLET 2008 A AOUT 2009. EN ROUGE : BORNES DES QUANTILES 0,025 ET 0,975, EN BLEU : L'ABONDANCE RELATIVE MOYENNE CALCULEE A PARTIR DES TRANSECTS PREDEFINIS (TP) POUR LE MEME MOIS. 164
FIGURE 132. DISTRIBUTION DES FREQUENCES DES 10 000 MOYENNES D'ABONDANCES RELATIVES (INDIVIDUS.KM-1) DE DAUPHINS COMMUNS GENEREES PAR BOOTSTRAP A PARTIR DU JEU DE DONNEES DES TRANSECTS ALEATOIRES (TA), DE JUILLET 2005 A JUILLET 2007. EN ROUGE : BORNES DES QUANTILES 0,025 ET 0,975, EN BLEU : L'ABONDANCE RELATIVE MOYENNE CALCULEE A PARTIR DES TRANSECTS PREDEFINIS (TP) POUR LE MEME MOIS. 165
FIGURE 133. DISTRIBUTION DES FREQUENCES DES 10 000 MOYENNES D'ABONDANCES RELATIVES (INDIVIDUS.KM-1) DE DAUPHINS BLEUS ET BLANCS GENEREES PAR BOOTSTRAP A PARTIR DU JEU DE DONNEES DES TRANSECTS ALEATOIRES (TA), DE AOUT 2007 A AOUT 2009. EN ROUGE : BORNES DES QUANTILES 0,025 ET 0,975, EN BLEU : L'ABONDANCE RELATIVE MOYENNE CALCULEE A PARTIR DES TRANSECTS PREDEFINIS (TP) POUR LE MEME MOIS. 166

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Bilan des données collectées en bateau pour le suivi mensuel 22
Tableau 2. Bilan des données collectées en bateau pour le suivi mensuel 23
Tableau 3. Bilan des vols hélicoptère effectués entre 2005 et début 2009 25
Tableau 4. Synthèse des organismes qui ont financé les missions ayant permis de collecter les données analysées ici. 26
Tableau 5. Données satellites disponibles pour la chlorophylle a (vert) et la température de surface (orange) 34
Tableau 6. Synthèse de l'effort d'observation mensuel (en km) fait en bateau entre 2005 et 2009. .. 38
Tableau 7. Synthèse de l'effort d'observation mensuel (en km) fait en hélicoptère entre 2005 et 2009. 38
Tableau 8. Synthèse du nombre de contacts et d'individus des diverses espèces de cétacés rencontrés lors des missions en bateau..... 39
Tableau 9. Composition spécifique annuelle du peuplement de cétacés observés en bateau..... 40
Tableau 10, Synthèse du nombre de contacts et d'individus des diverses espèces de cétacés rencontrés lors des missions en hélicoptère. 42
Tableau 11. Composition spécifique annuelle du peuplement de cétacés observés en bateau..... 44
Tableau 12.Tableau des corrélations (Pearson) entre la température de surface du mois i (SST) et la concentration de chlorophylle a du mois i (CHL), et de la concentration de chlorophylle d'un, deux, trois et quatre mois précédent i. 103
Tableau 13. Matrice des corrélations (Pearson) entre les abondances relatives mensuelles du rorqual commun et les températures de surface du mois i (SST) et la concentration de chlorophylle a du mois i (CHL), et de chlorophylle a d'un, deux, trois et quatre mois précédent i. 105
Tableau 14. Matrice des corrélations (Pearson) entre les abondances relatives mensuelles du globicéphale noir et les températures de surface du mois i (SST) et de la concentration de chlorophylle a du mois i (CHL), et de chlorophylle a d'un, deux, trois et quatre mois précédent i. 106
Tableau 15. Matrice des corrélations (Pearson) entre les abondances relatives de dauphin bleu et blanc et les températures de surface du mois i (SST) et de la concentration en chlorophylle a du mois i (CHL), et de chlorophylle a d'un, deux, trois et quatre mois précédent i. 108
Tableau 16. Synthèse des peuplements de cétacés estivaux de Méditerranée nord-occidentale (en % d'observations) issus de la littérature..... 111
Tableau 17. Synthèse des peuplements de cétacés en automne en Méditerranée nord-occidentale (en % d'observations) issus de la littérature..... 115
Tableau 18 . Synthèse des peuplements de cétacés en hiver en Méditerranée nord-occidentale (en % d'observations) issus de la littérature..... 118
Tableau 19 . Synthèse des peuplements de cétacés printaniers en Méditerranée nord-occidentale (en % d'observations) issus de la littérature..... 119
Tableau 20, Synthèse par espèce et par année des abondances relatives faibles (blanc), moyennes (gris clair) et fortes (gris foncé) dans le Sanctuaire..... 141
Tableau 21. Synthèse par espèce et par saison des abondances relatives faibles (blanc), moyennes (gris clair), fortes (gris foncé) et maximales (noir) dans le Sanctuaire..... 142
Tableau 22. Données d'effort et d'observations de rorquals utilisées pour la comparaison hélico-bateau, de juin à septembre entre 2006 et 2008..... 145
Tableau 23. Synthèse des calculs du nombre moyen de rorquals par groupe, du taux de contact (nb de groupe de rorquals par km) et du nombre de km entre chaque groupe, à partir des jeux de données « bateau » et « hélicoptère »..... 147
Tableau 24. Abondance absolue de rorquals calculée à l'aide de la géostatistique, données juin à septembre, 2006 à 2008..... 149
Tableau 25. Abondance absolue de rorquals calculée à l'aide de Distance Sampling, données juin à septembre, 2006 à 2008..... 149
Tableau 26. Données d'effort et d'observations de dauphins bleus et blancs utilisées pour la comparaison hélico-bateau, de juin à septembre de 2006 à 2009 150

Tableau 27. Calculs du nombre moyen de dauphins bleus et blancs par groupe, du taux de contact (nb de groupe de dauphin bleu et blanc par km) et du nombre de km entre chaque groupe, à partir des jeux de données « bateau » et « hélicoptère » 153
Tableau 28. Détails des coûts pour un travail de prospection en voilier 166
Tableau 29. Détails des coûts pour un travail de prospection en hélicoptère 167
Tableau 30, Détails des coûts pour un travail de prospection en avion 168
Tableau 31. Synthèse des coûts potentiels pour des missions ayant pour objectif de collecter un nombre d'observation suffisant pour obtenir des résultats statistiquement et théoriquement robustes, par différentes plates-formes : 169
Tableau 32. Caractéristiques de plusieurs campagnes aériennes de recensement des mammifères marins 171
Tableau 33. Synthèse des calculs des temps moyens de surface pour le rorqual commun et des taux de contacts (groupe.Km^{-1}) obtenus à partir des jeux de données « bateau » et « hélicoptère » 176

LISTE DES CARTES

CARTE 1. TRANSECT DE LIGNE PREDEFINI REALISE LORS DU SUIVI MENSUEL (TM) 21
CARTE 2. VISUALISATION DES TRANSECTS DE LIGNE PREDEFINIS (TP) REALISES LORS DU PROGRAMME 23
CARTE 3. ZONE DE PROSPECTION MENSUELLE EN HELICOPTERE. 24
CARTE 4. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE 26
CARTE 5. CONCENTRATION MAXIMALE DE CHLOROPHYLLE A EN MEDITERRANEE, ISSUES DE DONNEES DE TELEDETECTION, POUR LA PERIODE ESTIVALE (JUIN A SEPTEMBRE 1998-2005) CODEE EN COULEUR AFIN DE METTRE EN EVIDENCE DIFFERENTS DOMAINES PRODUCTIFS. L'ENCADRE SYMBOLISE LA PLACE DU SANCTUAIRE PELAGOS. (NOTARBARTOLO ET AL., 2008). 27
CARTE 6. EFFORT D'OBSERVATION REALISE EN BATEAU (NOIR) ET EN HELICOPTERE (VERT) ENTRE 2005 ET 2009. 37
CARTE 7. DISTRIBUTION GLOBALE ET SAISONNIERE DE L'EFFORT D'OBSERVATION ET DES OBSERVATIONS DE RORQUAL COMMUN FAITES EN BATEAU ENTRE 2005 ET 2009. 47
CARTE 8. DISTRIBUTION GLOBALE ET SAISONNIERE DE L'EFFORT D'OBSERVATION ET DES OBSERVATIONS DE RORQUAL COMMUN FAITES EN HELICOPTERE ENTRE 2005 ET 2009. 48
CARTE 9. DISTRIBUTION GLOBALE ET SAISONNIERE DE L'EFFORT D'OBSERVATION ET DES OBSERVATIONS DE DAUPHIN BLEU ET BLANC FAITES EN BATEAU ENTRE 2005 ET 2009. 56
CARTE 10, DISTRIBUTION GLOBALE ET SAISONNIERE DE L'EFFORT D'OBSERVATION ET DES OBSERVATIONS DE DAUPHIN BLEU ET BLANC FAITES EN HELICOPTERE ENTRE 2005 ET 2009. 57
CARTE 11. DISTRIBUTION GLOBALE ET SAISONNIERE DE L'EFFORT D'OBSERVATION ET DES OBSERVATIONS DE CACHALOT FAITES EN BATEAU ENTRE 2005 ET 2009. 65
CARTE 12. DISTRIBUTION GLOBALE ET SAISONNIERE DE L'EFFORT D'OBSERVATION ET DES OBSERVATIONS DE CACHALOT FAITES EN HELICOPTERE ENTRE 2005 ET 2009. 66
CARTE 13. DISTRIBUTION GLOBALE ET SAISONNIERE DE L'EFFORT D'OBSERVATION ET DES OBSERVATIONS DE DAUPHIN DE RISSO FAITES EN BATEAU ENTRE 2005 ET 2009. 74
CARTE 14. DISTRIBUTION GLOBALE ET SAISONNIERE DE L'EFFORT D'OBSERVATION ET DES OBSERVATIONS DE DAUPHIN DE RISSO FAITES EN HELICOPTERE ENTRE 2005 ET 2009. 75
CARTE 15. DISTRIBUTION GLOBALE ET SAISONNIERE DE L'EFFORT D'OBSERVATION ET DES OBSERVATIONS DE GLOBICEPHALE NOIR FAITES EN BATEAU ENTRE 2005 ET 2009. 83
CARTE 16. DISTRIBUTION GLOBALE ET SAISONNIERE DE L'EFFORT D'OBSERVATION ET DES OBSERVATIONS DE GLOBICEPHALE NOIR FAITES EN HELICOPTERE ENTRE 2005 ET 2009. 84
CARTE 17. DISTRIBUTION GLOBALE ET SAISONNIERE DE L'EFFORT D'OBSERVATION ET DES OBSERVATIONS DE GRAND DAUPHIN FAITES EN BATEAU ENTRE 2005 ET 2009. 92
CARTE 18. DISTRIBUTION GLOBALE ET SAISONNIERE DE L'EFFORT D'OBSERVATION ET DES OBSERVATIONS DE GRAND DAUPHIN FAITES EN HELICOPTERE ENTRE 2005 ET 2009. 93
CARTE 20, PREDICTION DE PRESENCE DU CACHALOT EN SEPTEMBRE OBTENUE PAR MODELISATION (REGRESSION LOGISTIQUE). DELACOURTIE ET AL. 2009 136
CARTE 21. CARTE D'HABITAT FAVORABLE (EN ROUGE) DU DAUPHIN DE RISSO MODELISEE PAR L'ENFA. LES POINTS NOIRS REPRESENTENT LA LOCALISATION DES CELLULES DE PRESENCE DE L'ESPECE UTILISEE POUR LA MODELISATION. PRACA ET GANNIER (2008) 136
CARTE 22. PROBABILITES PREDITES DE PRESENCE DES DAUPHINS BLEUS ET BLANCS BASEES SUR L'INTERPOLATION ET L'EXTRAPOLATION A PARTIR D'UN MODELE DE CLASSIFICATION (BOOSTED CLASSIFIER). PANIGADA ET AL. (2008) 137
CARTE 23. CARTE D'HABITAT FAVORABLE (EN ROUGE) DU RORQUAL COMMUN MODELISEE PAR L'ENFA, DONNEES 1998 A 2008. (DELACOURTIE ET AL., 2009). 138
CARTE 24. PREDICTION DE PRESENCE DU RORQUAL COMMUN EN SEPTEMBRE OBTENUE PAR MODELISATION (REGRESSION LOGISTIQUE) ET ESTIMEE A PARTIR DES CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES MOYENNES (CLIMATOLOGIE 1998-2008).(DELACOURTIE ET AL., 2009). 138
CARTE 25. CARTE D'HABITAT FAVORABLE (EN ROUGE) DU GLOBICEPHALE NOIR MODELISEE PAR L'ENFA. LES POINTS NOIRS REPRESENTENT LA LOCALISATION DES CELLULES DE PRESENCE DE L'ESPECE UTILISEE POUR LA MODELISATION. (PRACA & GANNIER, 2008) 139
CARTE 26. TRAJETS EN EFFORT « BATEAU » ET OBSERVATIONS DE RORQUALS DE JUIN A SEPTEMBRE EN 2006, 2007 ET 2008 ET COMPILATION DES DONNEES SUR LES TROIS ANNEES. LA ZONE ANALYSEE EST CIRCONSCRITE EN ROUGE (PETIT RECTANGLE). 143

CARTE 27. TRAJETS EN EFFORT « HELICOPRERE » ET OBSERVATIONS DE RORQUALS EN 2006, 2007 ET 2008 ET COMPILATION DES DONNEES SUR LES TROIS ANNEES. LA ZONE ANALYSEE EST CIRCONSCRITE EN ROUGE (PETIT RECTANGLE). *144*
CARTE 28. DENSITE DE L'EFFORT PAR PIXEL, JEU DE DONNEES « BATEAU », JUIN A SEPTEMBRE 2006 A 2008 LA ZONE ANALYSEE EST CIRCONSCRITE EN ROUGE *145*
CARTE 29. TAUX DE CONTACT (NB DE GROUPE DE RORQUAL.KM^{-1}) PAR PIXEL, JEU DE DONNEES « BATEAU », JUIN A SEPTEMBRE 2006 A 2008 LA ZONE ANALYSEE EST CIRCONSCRITE EN ROUGE *145*
CARTE 30, DENSITE DE L'EFFORT PAR PIXEL, JEU DE DONNEES « HELICOPTERE », JUIN A SEPTEMBRE 2006 A 2008 LA ZONE ANALYSEE EST CIRCONSCRITE EN ROUGE *146*
CARTE 31. TAUX DE CONTACT (NB DE GROUPE DE RORQUAL.KM^{-1}) PAR PIXEL, JEU DE DONNEES « HELICOPTERE », JUIN A SEPTEMBRE 2006 A 2008 LA ZONE ANALYSEE EST CIRCONSCRITE EN ROUGE *146*
CARTE 32. CARTOGRAPHIE DE L'ESPERANCE DU NOMBRE DE GROUPES DE RORQUALS PAR KILOMETRE PARCOURU EN EFFORT, EN BATEAU DE JUIN A SEPTEMBRE DE 2006 A 2008, OBTENUE PAR LA METHODE DE KRIGEAGE BASEE SUR UN MODELE POISSONNIEN DEVELOPPEE PAR MONESTIEZ ET AL. (2006). *146*
CARTE 33. TRAJETS EN EFFORT « BATEAU » ET OBSERVATIONS DE DAUPHINS BLEUS ET BLANCS DE JUIN A SEPTEMBRE EN 2006, 2007, 2008 ET 2009 ET COMPILATION DES DONNEES SUR LES TROIS ANNEES. LA ZONE ANALYSEE EST CIRCONSCRITE EN ROUGE (PETIT RECTANGLE). *149*
CARTE 34. TRAJETS EN EFFORT « HELICOPTERE » ET OBSERVATIONS DE DAUPHINS BLEUS ET BLANCS DE JUIN A SEPTEMBRE EN 2006, 2007, 2008 ET 2009 ET COMPILATION DES DONNEES SUR LES TROIS ANNEES. LA ZONE ANALYSEE EST CIRCONSCRITE EN ROUGE (PETIT RECTANGLE). *150*

TABLEAUX DES ABREVIATION

Chl *a*	Chlorophylle *a*
SST	*Sea Surface Temperature* ou température de surface de la mer
BALPHY	*Balaenoptera physalus* : rorqual commun
STECOE	*Stenella coeruleoalba* : dauphin bleu et blanc
GRAGRI	*Grampus griseus* : dauphin de Risso
GLOMEL	*Globicephale melas* : globicéphale noir
PHYMAC	*Physeter macrocephalus* : cachalot commun
TURTRU	*Tursiops truncatus* : grand dauphin
CV	Coefficient de variation
IC	Intervalle de confiance à 95%
SD	Standard Deviation ou erreur standard
σ	Ecart type

SUIVI TEMPOREL DU SANCTUAIRE PELAGOS PAR TRANSECTS MENSUELS AU LARGE ET REFLEXION SUR DES METHODOLOGIES DE MONITORING

- RAPPORT FINAL -

INTRODUCTION

La fréquentation du Sanctuaire PELAGOS par les cétacés commence à être bien connue en période estivale, mais peu d'informations existent en dehors de cette saison. En effet, les données collectées en dehors de l'été sont le plus souvent ponctuelles, très localisées ou anciennes. L'étude présente cherche donc à combler une partie de ces lacunes ou à actualiser des données existantes grâce au suivi régulier d'une des zones de prédilection des cétacés en Méditerranée nord occidentale.

A côté de l'intérêt de caractériser la fréquentation par les cétacés d'une zone particulière tout au long de l'année, il apparaît prioritaire de déterminer les moyens à mettre en œuvre pour poursuivre de façon optimisée le suivi de ces animaux sur les prochaines années. De nombreux moyens se développent à l'heure actuelle pour collecter des données sur le terrain : bateau, avion/hélicoptère, acoustique. Mais que dire des résultats issus de ces méthodes : sont-ils comparables ou bien complémentaires ?

Afin d'avancer dans cette thématique importante, nous allons comparer plusieurs options de monitoring en terme de choix de stratégie d'échantillonnage comme en terme de logistique. Notamment nous allons comparer des prospections faites en bateau par rapport aux prospections faites en hélicoptère sur la même zone aux mêmes périodes. Nous testerons également l'intérêt des suivis sur transects prédéfinis fixes par rapport aux transects aléatoires.

Les apports escomptés de cette étude sont donc de deux ordres :

1) écologiques :
- mise en évidence des fluctuations saisonnières des populations de cétacés sur un secteur clé de la Méditerranée nord-occidentale incluant une partie du Sanctuaire PELAGOS,
- relation avec les paramètres environnementaux,

2) méthodologiques :

Définition d'un protocole de monitoring des cétacés sur le long terme basé sur :
- la comparaison méthodologique « aérien » versus « bateau »,
- la comparaison méthodologique transect prédéfini *versus* transect aléatoire

Par ailleurs, les diverses données collectées lors de ces suivis en mer seront intégrées dans d'autres actions comme A2, afin d'alimenter les modèles de distribution, ou dans A3.2 pour alimenter le catalogue de photo-identification existant sur les dauphins de Risso.

Enfin nous avons dû, pour certains aspects de l'étude, réadapter les objectifs et les moyens en cours d'étude. En effet, dans le rapport intermédiaire de cette étude nous avons mis en évidence certaines difficultés (conditions météorologiques difficiles, indisponibilité des bateaux (cf. Chap. 1 § I.A)) rencontrées pour réaliser régulièrement les sorties sur le terrain. Ceci a eu pour effet au final de produire un échantillonnage trop faible et un jeu de données trop petit, limitant la fiabilité des résultats et la possibilité d'obtenir des résultats significatifs au niveau statistique. Aussi, afin de pouvoir tout de même atteindre nos objectifs, nous avons fait le choix d'intégrer et d'analyser un jeu de données supplémentaires de suivis mensuels réalisés en période estivale dans la zone liguro-provençale et provenant du programme IMPACT-CET d'EcoOcéan Institut. La zone d'étude a ainsi été élargie et d'autres analyses ont été faites (en particulier transects prédéfinis *versus* transects aléatoires) afin de répondre aux préoccupations des gestionnaires du Sanctuaire PELAGOS.

De même, les premières analyses concernant les données environnementales (cf. rapport intermédiaire) ont montré qu'il était difficile de réaliser une analyse à l'échelle de la journée. En effet, nous avons été limités par le faible nombre de transects mensuels réalisés et l'indisponibilité des données satellites journalières à cause de la couverture nuageuse. De plus, les données environnementales *in situ* n'ont pu être collectées que sur quelques unes des missions réalisées à bord du Columbus (WWF-France) sur lequel une sonde thermo-salinomètre avait été installée en 2008. Mais pour des raisons d'indisponibilité, il nous a été impossible de réaliser tous les suivis mensuels avec ce bateau. Les autres navires utilisés n'ayant pas ce type de matériel, nous n'avons donc pas pu recueillir ces données de façon systématique. Nous avons tout de même pu montrer que les données *in situ* de température correspondent (en terme de variations relatives) aux données de télédetection et permettent donc de caractériser à l'identique les mêmes masses d'eau (cf. rapport intermédiaire).

Au final, pour plus de cohérence et de fiabilité, nous avons fait le choix dans ce travail de faire une analyse des données environnementales à l'échelle du mois, et uniquement à l'aide de données de télédétection et sur une zone plus large englobant l'ensemble de l'effort de prospection disponible tant au niveau bateau que aérien.

CHAPITRE 1 - MATERIEL ET METHODES

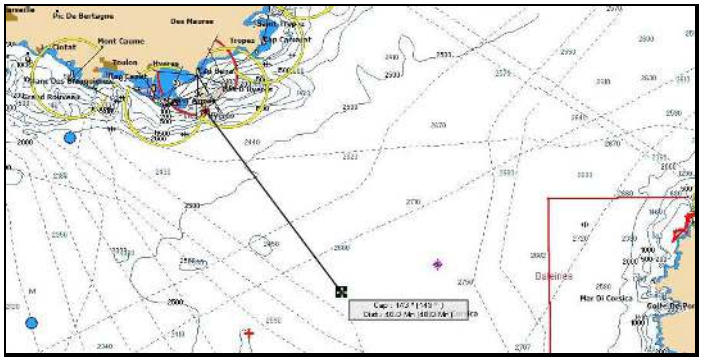
I. MISSIONS SUR LE TERRAIN

Les suivis mensuels ont été réalisés d'une part à partir d'un bateau et, d'autre part, à partir d'un hélicoptère de la Marine Nationale française.

I.A. Missions et données bateau

1. Missions financées par cette étude

Le suivi mensuel en bateau financé dans cette action est constitué de deux parties : un transect mensuel prédéfini (Tm), dans une zone favorable aux cétacés située au Sud-Est des îles d'Hyères (carte 1), et des transects aléatoires dans la zone (carte 2). Le Tm a toujours été parcouru de la côte vers le large et se caractérise par un profil topographique (figure 1) typique de la région liguro-provençale : un plateau continental extrêmement réduit suivi d'un talus continental très abrupt puis d'une large plaine abyssale au-delà des 2500 mètres.



Carte 1. Transect de ligne prédéfini réalisé lors du suivi mensuel (Tm)

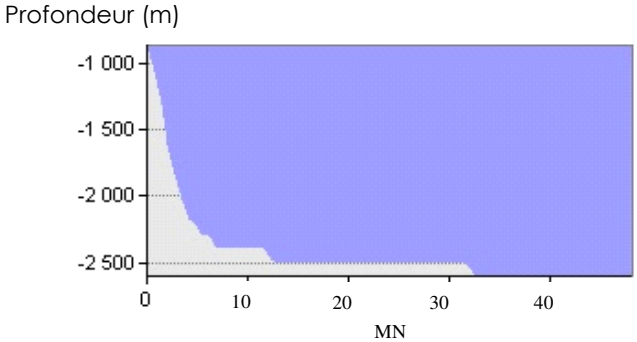


Figure 1. Profil bathymétrique (profondeur en mètres) du transect mensuel prédéfini (Tm) long de 48 MN.

Ces missions en bateau ont été effectuées entre mai 2007 et octobre 2009. Le tableau 1 récapitule les dates auxquelles ont été effectués ces suivis mensuels aussi bien sur le transect prédéfini que dans la zone environnante à des dates proches du suivi prédéfini. L'ensemble des données collectées lors de ces missions bateau a été saisi dans des fichiers Excel, vérifiées et validées. Elles ont ensuite été homogénéisées et mise au format SIG (ArcGis).

Tableau 1. Bilan des données collectées en bateau pour le suivi mensuel

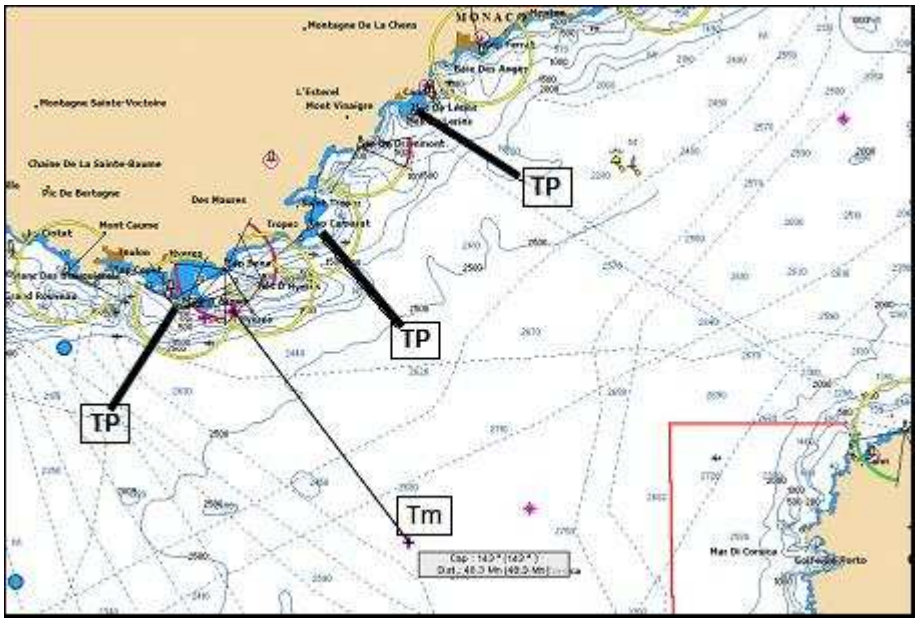
Année	Mois	Transect prédéfini (Tm)	Transects aléatoires dates environnantes
2007	Mai	OUI	OUI
	Juillet		OUI
	Août	OUI	OUI
	Septembre	OUI	OUI
	Octobre		OUI
	Décembre	OUI	
2008	Mai		OUI
	Juin	OUI	OUI
	Juillet	OUI	OUI
	Août	OUI	OUI
	Septembre	OUI	OUI
	Octobre	OUI	OUI
2009	Février	OUI	
	Avril	OUI	OUI
	Mai	OUI	OUI
	Juin	OUI	OUI
	Juillet	OUI	OUI
	Août	OUI	OUI
	Septembre	OUI	OUI
	Octobre	OUI	

Comme le montre le tableau 1, le suivi mensuel n'a pas toujours pu être réalisé pour chaque mois de l'année. Ceci est dû à différents paramètres dont le plus important est le facteur météorologique. En effet, il est impératif de réaliser le suivi mensuel dans de bonnes conditions météorologiques (vent et mer ≤ à 3 Beaufort, cf. § III), définies par la méthode du transect de ligne (Buckland *et al.,* 2001) afin de garantir la fiabilité des détections et le comptage des animaux en mer. Le second paramètre a été l'indisponibilité de la plate-forme dédiée à certaines périodes. Enfin, il nous a parfois été impossible de faire le Tm malgré de bonnes conditions météorologiques car cette zone était le siège de manœuvres militaires et donc interdite d'accès par la Marine Nationale. Tout ceci a eu pour effet, par exemple en 2008, la réalisation de seulement cinq transects mensuels prédéfinis (Tm), à savoir ceux des mois de juin, juillet, août, septembre et octobre. La raison principale étant la météorologie car 2008 fut une année particulièrement venteuse et notre zone d'étude (au large des îles d'Hyères) a souvent été le siège de vents violents empêchant parfois la réalisation des missions mensuelles.

La collecte des données en bateau durant la période hivernale des deux dernières années (2008 et 2009), particulièrement venteuses, s'est donc avérée difficile et ce malgré une équipe et une plate-forme quasiment disponible en permanence. Pour toutes ces raisons, nous avons fait le choix d'ajouter de nouvelles données (transects prédéfinis et aléatoires) issues du programme de recherche IMPACT-CET mené par *EcoOcéan institut* (tableau 2).

2. Autres missions réalisées par EcoOcéan institut et ses partenaires

Pour les diverses raisons exposées dans le paragraphe précédent, les transects mensuels prédéfinis et aléatoires n'ont pu être faits aussi souvent que nous l'aurions voulu. Aussi avons-nous décidé, afin d'avoir de meilleurs résultats lors de l'analyse concernant la comparaison des transects prédéfinis contre transects aléatoires (chapitre 4), de rajouter nos données concernant des suivis mensuels estivaux réalisés dans le secteur liguro-provençal entre 2005 et 2009 dans le cadre du programme IMPACT-CET (EcoOcéan Institut : cf. carte 2 et tableau 2).



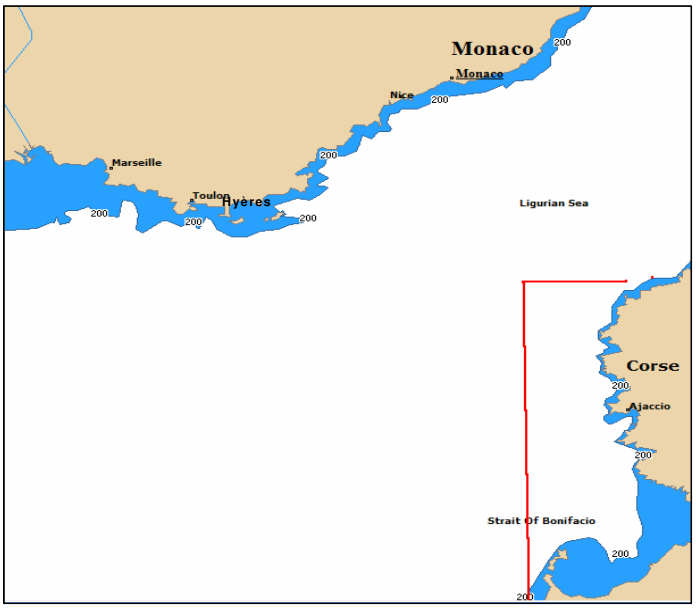
Carte 2. Visualisation des transects de ligne prédéfinis (TP) réalisés lors du programme IMPACT-CET par EcoOcéan Institut ainsi que le suivi mensuel (Tm) effectué dans cette étude.

Tableau 2. Bilan des données collectées en bateau pour le suivi mensuel

Année	Mois	Transect prédéfini (Nb de jours)	Transects aléatoire dates environnantes (Nb de jours)
2005	Juillet	9	13
	Août	7	12
2006	mai	-	1
	juin	-	10
	Juillet	13	18
	Août	6	12
	Septembre	2	12
	Octobre	-	5
2007	Mai	-	2
	Juillet	9	19
	Août	6	17
	Septembre	1	11
2008	Mai	-	6
	Juin	1	7
	Juillet	8	19
	Août	5	20
	Septembre	-	11
	Octobre	-	2
2009	Mai	-	2
	Juin	-	1
	Juillet	2	15
	Août	2	19

I.B. Missions et données hélicoptère

En hélicoptère, le suivi mensuel se fait lors de vols d'environ 2 heures à bord d'hélicoptères de la Marine Nationale au départ de la base Aéronavale de Hyères. Les trajets se font de façon aléatoire dans une zone qui englobe le secteur couvert par le transect mensuel effectué en bateau (carte 3).



Carte 3. Zone de prospection mensuelle en hélicoptère.

Globalement, les missions en hélicoptère ont été effectuées entre septembre 2005 et novembre 2009, dans le cadre du programme IMPACT-CET d'EcoOcéan Institut en partenariat avec la Marine Nationale. Comme pour les missions en bateau, la réalisation des vols dépend de différents paramètres que sont la disponibilité de l'appareil et les conditions météorologiques. Ces suivis mensuels ont été effectués par des observateurs d'EcoOcéan Institut, lors de missions affectées à la surveillance de la ZPE par la Marine Nationale. La Marine nous indiquait la date planifiée pour ce type de vol une semaine à l'avance et nous embarquions si les conditions météorologiques étaient favorables au travail scientifique, ce qui n'a pas toujours été le cas. Le tableau 3 fait le bilan des vols effectués dans de bonnes conditions météorologiques.

Tableau 3. Bilan des vols hélicoptère effectués entre 2005 et début 2009

Année	Mois	Transect aléatoire
2005	Septembre	26/09/2005
2005	Novembre	10/11/2005
2006	Février	03/02/2006 24/02/2006
2006	Mars	13/03/2006 31/03/2006
2006	Avril	10/04/2006 20/04/2006
2006	Juin	09/06/2006 30/06/2006
2006	Juillet	20/07/2006 28/07/2006
2006	Août	08/08/2006 21/08/2006
2006	Septembre	08/09/2006
2006	Octobre	18/10/2006 31/10/2006
2006	Novembre	27/11/2006
2006	Décembre	20/12/2006
2007	Février	16/02/2007
2007	Mars	06/03/2007 26/03/2007
2007	Avril	17/04/2007
2007	Mai	04/05/2007 23/05/2007
2007	Septembre	07/09/2007
2007	Octobre	03/10/2007
2008	Février	09/02/2008 14/02/2008
2008	Juin	12/06/2008
2008	Septembre	05/09/2008 22/09/2008
2008	Octobre	18/10/2008 27/10/2008
2009	Janvier	29/01/2009
2009	Février	16/02/2009
2009	Mars	03/03/2009
2009	Avril	17/04/2009 30/04/2009
2009	Juin	10/06/2009
2009	Juillet	01/07/2009
2009	Août	31/08/2009
2009	Octobre	08/10/2009

Là aussi les données collectées ont été saisies, puis les routes vérifiées et homogénéisées de telle sorte qu'elles puissent être intégrées dans un SIG.

Au final, les différentes données qui viennent d'être décrites et qui sont analysées dans cette étude sont issues de nombreuses missions financées par plusieurs organismes (tableau 4)

Tableau 4. Synthèse des organismes qui ont financé les missions ayant permis de collecter les données analysées ici.

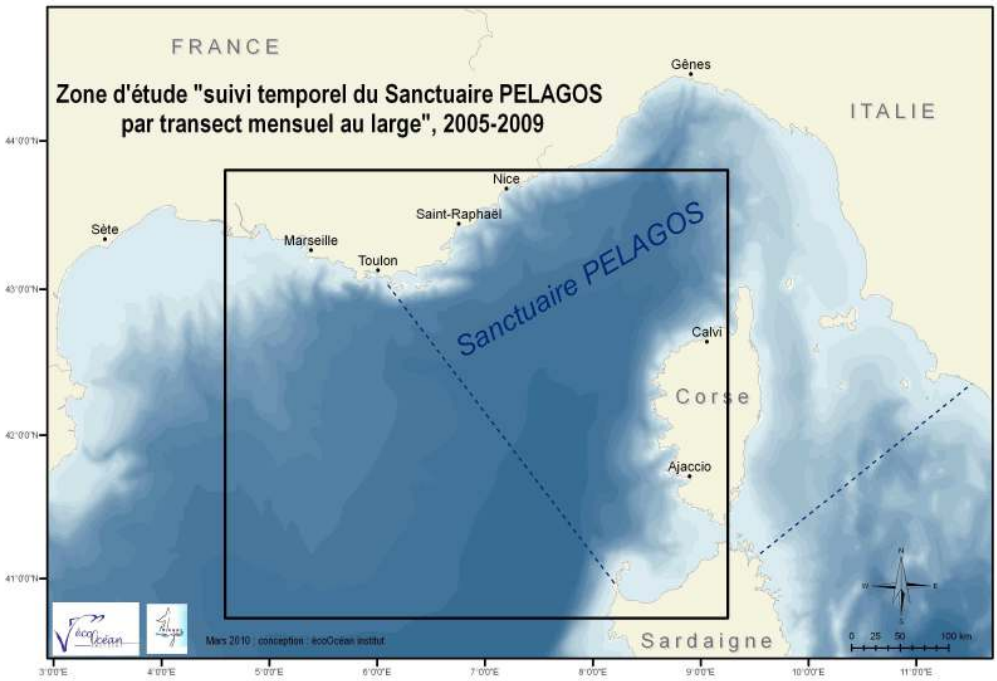
Année	Hélicoptère	Bateau
2005	écoOcéan Institut et son partenaire (Marine Nationale)	écoOcéan Institut et ses partenaires (Swiss Cetacean Society, Cybelle planète).
2006	écoOcéan Institut et son partenaire (Marine Nationale)	Fondation Nicolas Hulot, WWF-France, écoOcéan Institut et ses partenaires (Swiss Cetacean Society, Cybelle planète)
2007	écoOcéan Institut et son partenaire (Marine Nationale)	WWF-France, écoOcéan Institut et ses partenaires (Swiss Cetacean Society, Cybelle planète)
2008	écoOcéan Institut et son partenaire (Marine Nationale)	PELAGOS France (via le GIS 3M), écoOcéan Institut et ses partenaires (Swiss Cetacean Society, Cybelle planète)
2009	écoOcéan Institut et son partenaire (Marine Nationale)	PELAGOS France (via le GIS 3M), écoOcéan Institut et ses partenaires (Swiss Cetacean Society, Cybelle planète)

Quelle que soit la mission, les données ont toujours été collectées de la même manière selon les méthodes décrites dans le § III à savoir :

- Méthode du transect de ligne en bateau
- Méthode du transect de bande en hélicoptère

II. PERIODE ET ZONE D'ETUDE

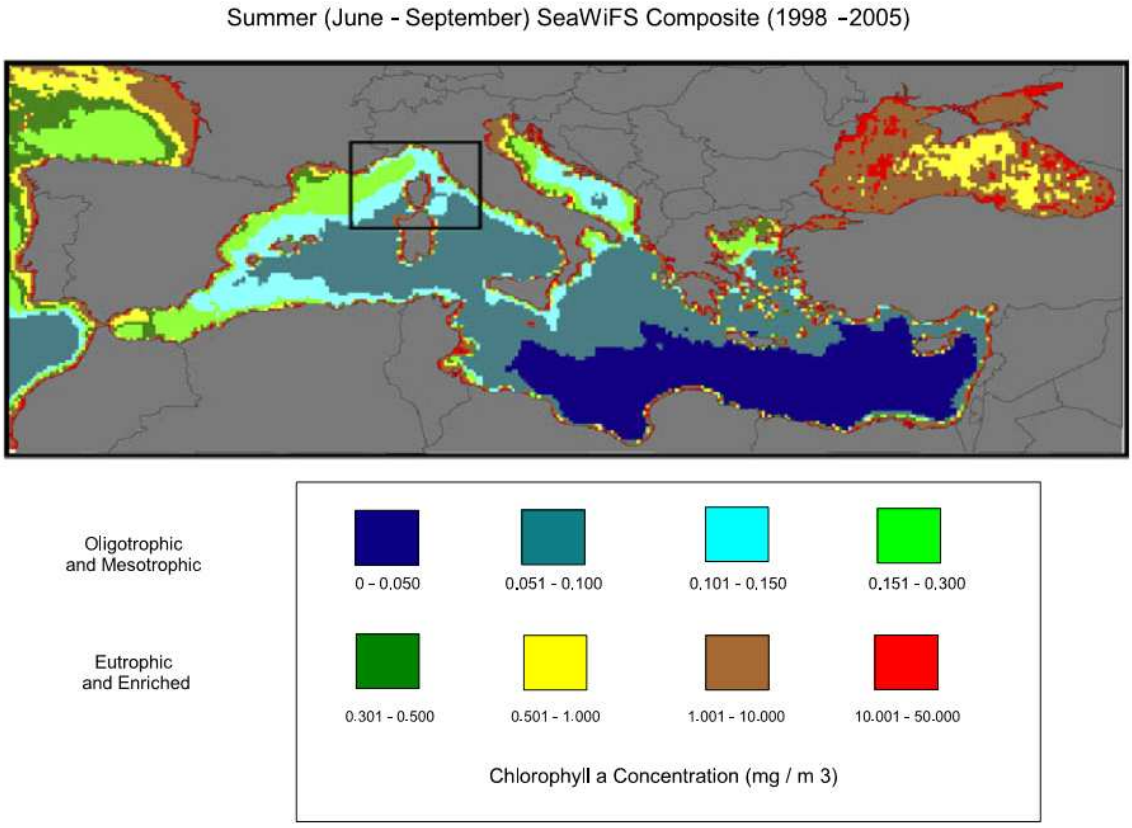
La zone d'étude se localise dans la partie centrale de la Méditerranée nord-occidentale : de de 40°30'N à 43°30'N et de 4°30' E à 9° E. Elle englobe les eaux situées au large des côtes de Provence, Ligure et Corse. La configuration bathymétrique de la zone est la suivante : le plateau continental et le talus sont généralement étroits au nord, et plus étendus dans la partie Nord-Est et Nord-Ouest, ainsi qu'entre la Corse et la Sardaigne (carte 4). Ces deux entités (talus et plateau continental) sont entaillées de nombreux canyons. Le plateau continental étant très réduit dans ce secteur, les profondeurs atteignent rapidement plus de 2000 m à une faible distance de la côte.



Carte 4. Présentation de la zone d'étude

Dans cette étude, nous avons prospecté notre zone entre 2005 et 2009, aussi bien en hiver (décembre à février), au printemps (mars à mai), en été (juin à août) qu'en automne (septembre à novembre).

Globalement, cette région se caractérise par une courantologie particulière (Millot, 2004), dominée par un courant géostrophique cyclonique longeant les côtes de Sardaigne et d'Italie continentale vers le nord, puis venant buter dans le Golfe de Gêne, avant de repartir vers le sud-ouest le long du talus provençal. Ce courant « Ligure » génère des tourbillons cycloniques à méso-échelles au large de notre côte qui, associés aux upwellings, constitue un système frontal productif : la partie Nord de notre zone d'étude est donc relativement riche en biomasse (carte 5).



*Carte 5. Concentration maximale de chlorophylle a en Méditerranée, issues de données de télédetection, pour la période estivale (juin à septembre 1998-2005) codée en couleur afin de mettre en évidence différents domaines productifs. L'encadré symbolise la place du Sanctuaire PELAGOS. (*Notarbartolo *et al.*, 2008).

III. METHODES DE COLLECTE ET ANALYSES

III.A. Transect de ligne

En bateau, l'étude de la distribution a été réalisée en se basant sur la **méthode du "transect linéaire"** décrite par Buckland *et al.* (2001).

De façon générale, cette méthode consiste à détecter avec un maximum d'efficacité les cétacés le long d'un trajet. Pour ce faire, il est nécessaire de réaliser les transects dans de bonnes conditions et ce, en appliquant rigoureusement plusieurs critères dont les principaux sont :

1. Conditions météorologiques

De nombreuses études ont montré l'influence des conditions environnementales sur la détection visuelle des cétacés. Aussi, afin de minimiser leur influence négative sur l'observation des animaux, nous ne validerons pour cette étude que les trajets réalisés dans des conditions de mer et de vent inférieures ou égales à 3 Beaufort. De même, seuls les trajets faits avec une bonne visibilité seront retenus : soit une visibilité sensiblement égale à la visibilité théorique de l'observateur.

2. Vitesse du bateau

La vitesse du bateau tout au long des transects doit être constante. Dans cette étude elle est d'environ 6 noeuds.

3. Surveillance visuelle

Une observation rigoureuse doit être maintenue de façon continue tout au long du transect. Pour ceci, des groupes de 3 observateurs se sont relayés toutes les 2 heures et ont couvert un secteur de 180° vers l'avant du bateau.

La surveillance s'est faite à l'œil nu et les jumelles n'ont été utilisées que pour confirmer l'identification et le nombre des animaux.

4. Données et trajets

Les trajets d'échantillonnage doivent être réalisés en continu et de façon aléatoire dans la zone d'étude. En théorie, l'hypothèse de départ est que la distribution des objets (cétacés) dans la zone prospectée est stochastique, sans pour autant être strictement aléatoire, c'est-à-dire distribuée selon une loi de Poisson.

Pour chaque objet (cétacé) détecté, la distance perpendiculaire à l'axe du bateau sera mesurée précisément (distance radiale et angle) au début de l'observation. L'observateur ne pourra bien évidemment pas détecter tous les objets, mais l'hypothèse fondamentale de cette méthode est que tous les objets situés sur l'axe du bateau seront détectés.

5. Données collectées

a) La navigation

La route de chaque transect a été enregistrée toutes les 2 minutes par un ordinateur grâce à l'utilisation d'un logiciel de cartographie (Fugawi ou MaxSea selon la mission) relié à un GPS (Global Positionning System). A chaque relevé correspond un horaire, une position en latitude/longitude, le cap et la vitesse du navire et la distance parcourue.

b) La météorologie

Le relevé de la météorologie se fait au démarrage de l'effort d'observation et ensuite à chaque changement de ses caractéristiques. On note ainsi, la force (en Beaufort) et la direction du vent et de la mer, la visibilité, et l'état du temps (couverture nuageuse, luminosité etc …).

c) Les animaux

Les informations recueillies lors de l'observation d'un cétacé sont multiples. Les principales sont : l'espèce, le nombre d'individus, la position, l'heure, la distance et l'angle de l'animal par rapport à l'axe du bateau, le stade de maturité, l'activité, la direction suivie.
D'autre part, les données concernant la profondeur réelle et la distance à la côte auxquelles se trouvaient les animaux au moment de l'observation ont été calculées en repositionnant les animaux dans un logiciel de cartographie contenant des cartes marines S.H.O.M. (Services Hydrologiques et Océanographiques de la Marine).

III.B. Transect de bande

En hélicoptère l'étude de la distribution a été réalisée en se basant sur la **méthode du "transect de bande"** décrite par Buckland *et al*. (2001).

Le transect de bande est une forme d'échantillonnage par quadrat. L'observateur se déplace le long d'une ligne et compte tous les objets à l'intérieur de la bande dont la largeur est prédéterminée. Cette largeur est fonction de la hauteur à laquelle est effectuée l'observation et du champ de vision (angle oculaire) de l'observateur. Dans cette étude, les vols sont effectués en hélicoptère par un seul observateur, ce qui induit une bande d'observation au sol comprise entre 717 et 897 mètres de large (voir plus loin pour le détail).

Globalement, cette méthode consiste donc à détecter avec un maximum d'efficacité les cétacés dans une bande d'observation le long d'un trajet. Pour ce faire, il est nécessaire de réaliser les transects dans de bonnes conditions et, ce, en appliquant rigoureusement plusieurs critères dont les principaux sont :

1. Conditions météorologiques

Afin de minimiser l'impact de la météorologie sur l'observation des animaux, nous ne validerons pour cette étude que les trajets réalisés dans des conditions de mer et de vent inférieures ou égales à 3 Beaufort. De même, seuls les trajets faits avec une bonne visibilité seront retenus : les portions de transects effectuées avec un fort éblouissement ne seront pas retenues ici.

2. Vitesse et altitude de l'hélicoptère

La vitesse et l'altitude de l'hélicoptère doivent être constantes tout au long des transects. Dans cette étude, les vols sont effectués à une vitesse d'environ 100 à 120 nœuds (185 km/h à 222 km/h) et à une hauteur relativement constante comprise entre 400 et 500 pieds (132 à 165 m).

3. Surveillance visuelle

Une observation rigoureuse doit être réalisée de façon continue tout au long du transect. Elle est effectuée ici à l'œil nu par un seul observateur durant des vols allant de 2 heures à 2h30,

4. Données et trajets

Les trajets d'échantillonnage doivent être réalisés sans interruption et de façon aléatoire dans la zone d'étude. La distribution des objets (cétacés) dans la zone prospectée est estimée stochastique, sans que pour autant leur répartition soit strictement aléatoire, c'est-à-dire distribuée selon une loi de Poisson.

Ne seront pris en compte dans cette étude que les objets (cétacé) détectés dans la bande de détection définie.

III.C. Distribution et quantification des observations

Afin de représenter l'emprise spatiale de chaque espèce de cétacés dans notre zone d'étude, des cartes de distribution ont été réalisées pour chaque type de mission à savoir bateau et hélicoptère. Par la suite, pour les espèces où les échantillons étaient suffisants, une méthode d'interpolation par krigeage développée par Monestiez *et al*. (2006) a été appliquée afin d'homogénéiser et les résultats sur les zones proches non observées, pour une meilleure interprétation sur la globalité de la zone d'étude considérée.

1. Les cartes de distribution

La base de données a été intégrée sous ArcView 9.2 pour cartographier la distribution des différentes espèces.
Différentes cartes ont été créées avec les données bateau et hélicoptère :

- Des cartes globales, pour chacune des six espèces, regroupant toutes les observations de 2005 à 2009 ainsi que l'effort d'observation réalisé. Ces premières cartes permettent de connaître l'emprise géographique des données.
- Le détail année par année et par saison a été représenté. Ces cartes permettent d'une part de visualiser l'emprise spatiale et d'autre part les variations annuelles et saisonnières de ce jeu de données.

2. Abondances relatives

a) Définition et calcul

Les **abondances relatives** ont été calculées dans ce travail uniquement à partir des observations faites en condition de transect de ligne (pour le bateau) ou transect de bande (pour l'hélicoptère). Elles seront exprimées en nombre d'**individus par kilomètre**. De même, des **taux de rencontres** avec les animaux seront calculés et seront exprimés en nombre d'**observations par kilomètre**.

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. Ces deux indices (abondance relative et taux de contact) ont été calculés par année, par saison et par mois pour chacune des six espèces qui nous concernent : rorqual commun, dauphin bleu et blanc, cachalot, globicéphale, dauphin de Risso et grand dauphin

b) Tests statistiques

Afin de tester la significativité des différences d'abondances relatives aux échelles de temps annuelle, saisonnière et mensuelle ainsi qu'en des secteurs distincts (dans le Sanctuaire *versus* en-dehors du Sanctuaire), nous avons utilisé les tests non-paramétriques de rang. Les tests de Kruskall-Wallis, Mann-Whitney ou Dunn se sont avérés les plus adaptés à notre type de données, et ont ainsi été appliqués.

Ces tests ne peuvent être qu'indicatifs, car ils sont peu puissants et le type de données que nous avons, autant que leur nature, sont difficiles à traiter statistiquement. Pour mener à bien les tests nous avons établi que l'unité de base de notre donnée qui serait testée serait le « transect » : une succession de kilomètres effectués dans les mêmes conditions d'observation et sans interruption. S'il y a interruption, on change alors de numéro de transect à la reprise du travail. Pour chacun des transects nous avons calculé l'abondance relative pour chaque espèce, puis nous avons comparé l'ensemble des valeurs d'abondance relatives des différents transects pour chaque échelle temporelle. Ainsi, nous avons comparé toutes les valeurs d'abondances relatives de tous les transects parcourus en 2005 contre toutes celles de tous les transects parcourus en 2006, puis celles de 2007 etc …, et de même pour les saisons et les mois.

Nous sommes conscients des limites inhérentes à nos données : en particulier nous n'avons pas indépendance stricte entre tous les échantillons (ou transects). En effet, soit leur longueur doit être importante, soit le temps qui sépare deux transects doit être élevé, ce qui n'est pas toujours le cas dans nos jeux de transects.

Cela implique que même lorsque le résultat d'un test est non significatif, il faut être prudent à l'interprétation car il est possible que le test ne soit tout simplement pas assez puissant pour détecter la différence et que nos données ne permettent pas de mettre en évidence cette différence. Cela ne veut donc pas dire que la différence n'existe pas ! En revanche, s'il y a significativité, c'est que la différence est flagrante.

Dans le cas de la comparaison des abondances relatives obtenues à partir des transect prédéfinis (TP) et aléatoires (TA), nous avons testé s'il existait des différences à l'aide de tests

de Wilcoxon apparié ou de Mann-Whitney en fonction de la pertinence de l'appariement. Puis nous avons cherché à aller plus loin. Bien que les tests précédents permettent de comparer deux échantillons de taille différente, ce qui est notre cas car nous avons plus de TA que de TP, un autre type de test complémentaire a été appliqué. Ce test s'est fait de manière empirique, sur la base de graphiques, afin de voir si les deux jeux de données sont issus de la même distribution statistique ou de deux distributions différentes. Pour connaître la distribution des valeurs, nous avons effectué un bootstrap sur les valeurs de TA à l'aide du logiciel R (www.r-project.org). Ce test se fait sous le principe que nos données suivent une loi de poisson, que ce processus « poissonnien » est homogène dans notre zone d'étude, et que l'abondance relative constitue un paramètre d'ordre central qui permet cette comparaison. Si la moyenne des TP du mois donné se situe dans l'intervalle défini par les quantiles à 0,025 et 0,975 des moyennes TA, alors les deux distributions ne sont pas significativement différentes l'une de l'autre et ainsi les valeurs obtenues à partir des TP sont représentatives de ce qui peut se passer dans la zone. Si les TP ne sont pas dans l'intervalle de confiance (IC à 95%), alors ils sont biaisés.

3. Abondance absolue

L'abondance absolue des animaux est calculée grâce aux mesures de distance au bateau et d'angle prises selon la méthode de transect linéaire et intégrées dans le logiciel « Distance sampling » (version 6.0). Cette application permet avant tout de calculer la *probabilité de détection* (**Pa**) des cétacés vus le long du transect (**L**) sur l'ensemble de la *largeur observée* (**w**). Le calcul de cette probabilité se fait à partir de la *distance perpendiculaire* (**y**) des animaux détectés par rapport à la route du navire. On obtient ainsi :

$$Pa = 1/w \int_{0,\,w} g(y)dy \quad (1)$$

La fonction de probabilité de détection **g(y)** des cétacés est obtenue à partir de la fonction de densité de probabilité des distances perpendiculaires **f(y)** issue de la modélisation de l'histogramme des distances perpendiculaires de détection :

$$f(y) = g(y) / \int_{0,\,w} g(y)dy \quad (2)$$

Cette fonction de probabilité est ajustée à l'histogramme représentant les fréquences des détections en fonction de ***y*** (Figure 2). Si l'on admet que tous les groupes sont détectés sur la route, il peut être montré que ***g(y)*** et ***f(y)*** sont de forme identique, mais ***g(y)*** est réajustée pour prendre la valeur 1 quand ***y=0,***

Pa est *la probabilité moyenne de détection sur la largeur w.*
w étant *la largeur de troncation*, au-delà de laquelle les observations ne sont plus considérées et **μ** est la *demi-largeur effective de détection* (parfois nommé *esw*).

Seule une proportion des objets (***Pa***) est détectée sur la surface échantillonnée. Et **μ** est déterminé de façon à ce que le nombre d'objets détectés au-delà de cette distance soit égal au nombre d'objets non détectés avant cette limite. Ceci se traduit par une égalité des deux surfaces hachurées sur la figure 2. Il est donc possible d'écrire :

$$\int_0^w g(y)dy = Pa \,.\, w = 1.\mu \quad (1)$$

Alors que l'intégrale de la fonction de probabilité de densité :

$$\int_0^w f(y)dy = 1$$

La relation qui lie la fonction de probabilité de détection, *g(y)*, et la fonction de densité de probabilité, *f(y)*, est :

$$f(y) = \frac{g(y)}{\mu} \quad (2) \qquad \textit{avec pour} \quad y = 0 \quad f(0) = \frac{g(y)}{\mu} \quad (3)$$

Une fois que la valeur de μ est estimée d'après f(0), **la densité en nombre d'individus** est déterminée d'après :

$$D = \frac{n}{L} \,.\, \frac{1}{2\mu \,.\, g(0)} \,.\, \bar{s} \quad (4)$$

Avec n : nombre de détections
s : effectif moyen
L : longueur totale parcourue
g(0) : fonction de détection sur la route du navire

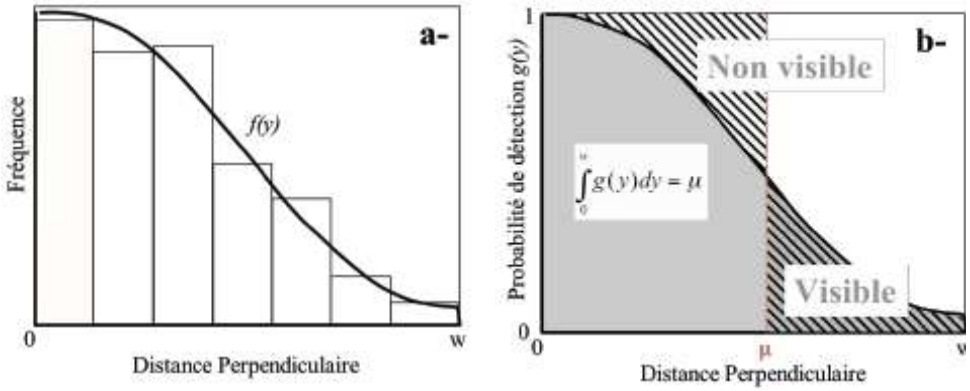


Figure 2. a- Représentation de la fonction de densité de probabilité des distances de détection f(y) b- Représentation de la fonction de probabilité de détection de g(y) de la largeur de bande efficace μ. μ est la demi-largeur effective comprise entre 0 et w (distance de troncation) (d'après Hedley., 2000).

4. Krigeage

Quantifier de façon relative l'abondance des cétacés et la cartographier peut être délicat lorsque l'on ne possède qu'un jeu de donnés d'effort spatialement hétérogène et des observations d'animaux éparses 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). Les valeurs inconnues sont estimées à partir de points voisins échantillonnés de la variable elle-même. 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 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, de calculer les valeurs d'abondance relative chaque année de bonne couverture spatiale en effort, et de comparer ce résultat par rapport à la moyenne de référence. Cette comparaison permet de situer l'année en cours (année pauvre en rorqual, ou riche ou moyenne) 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'observation 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 et de fonction de covariance *Cy(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).

III.D. Caractérisation de la zone d'étude par les paramètres environnementaux

Dans ce travail nous avons essayé de caractériser notre zone d'étude à l'aide de paramètres environnementaux afin de mieux comprendre les variations temporelles de la distribution des cétacés dans ce secteur. Pour cela, nous nous sommes basés sur deux types de données environnementales : la température de surface (Sea Surface Temperature, SST) et la concentration en chlorophylle a (Chl *a*). Afin d'étudier l'influence de l'environnement sur la distribution mensuelle, saisonnière et annuelle des cétacés, nous avons utilisé les données issues de la technique de télédétection pour avoir une bonne couverture de la zone d'étude. Ces données ont été acquises gratuitement et nous avons fait le choix de travailler au niveau mensuel en prenant des données moyennées sur des périodes d'un mois.

1. Données satellites

a) Source des données satellites

Les données satellites ont été téléchargées à partir des sites Internet suivants :

- Pour la **température superficielle de l'eau** :
  Les données utilisées de 1998 à 2008 proviennent du site de la NASA. Elles sont issues du capteur Pathfinder AVHRR et sont mesurées de nuit (images descendantes) afin de ne pas biaiser les résultats avec les conditions météorologiques :
  http://podaac.jpl.nasa.gov/pub/sea_surface_temperature/avhrr/pathfinder/data_v5/monthly/night/04km/
  La température est exprimée en degrés Celsius et chaque valeur de température (moyenne mensuelle) fournie correspond à un pixel de 4 x 4 km.
  Le capteur pathfinder ne délivre pas de données pour l'année 2009. Après consultation des responsables du site ; il nous a été conseillé de se tourner vers le capteur MODIS qui est équivalent. Le jeu de données de l'année 2008 obtenu via Pathfinder a été comparé avec celui Aqua MODIS Sea Surface Temperature (11µ nighttime) pour la même année. Les valeurs obtenues étaient équivalentes à +/- 0,01°C. Nous avons donc utilisé les données 2009 obtenues avec Aqua MODIS. La méthode de récupération et d'extraction des données est exactement la même que pour la chlorophylle a (via SeaDAS®).

- Pour la **concentration en chlorophylle *a*** (Chl *a*)
  Les données de chlorophylle *a* sont déduites de la couleur de l'océan. En effet, la couleur de l'océan est un indicateur de la biomasse phytoplanctonique présente en surface (chlorophylle *a*) et donc, par définition, correspond à la variation spectrale de la réflectance diffuse de la couche de surface.
  Les données utilisées dans cette étude proviennent du site de la NASA : Ocean Color (http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/l3). Les données sont fournies par le capteur SeaWiFS (Sea-viewing Field-of-view Sensor) et sont de « niveau 3 » c'est-à-dire qu'elles tiennent compte des corrections atmosphériques et sont spatialement moyennées avec une résolution d'environ 9x9 km (à l'équateur) pour chaque pixel. La chlorophylle *a* est exprimée en mg Chl*a*.m^{-3}. Les fichiers compilés sur un mois sont distribués au format HDF (Hierarchical Data Format).

Certaines données n'étaient pas disponibles sur ces sites Internet, en particulier certains mois de 1998, 2008 et 2009. Le tableau 5 résume les données qui ont pu être téléchargées pour ces deux paramètres environnementaux.

Tableau 5. Données satellites disponibles pour la chlorophylle a (vert) et la température de surface (jaune).

	Mois																							
	J		F		M		A		M		J		Jt		A		S		O		N		D	
Années	Chl a	SST	Chl a	SST	Chl a	SST	Chl a	SST	Chl a	SST	Chl a	SST	Chl a	SST	Chl a	SST	Chl a	SST	Chl a	SST	Chl a	SST	Chl a	SST
1998																								
1999																								
2000																								
2001																								
2002																								
2003																								
2004																								
2005																								
2006																								
2007																								
2008																								
2009																								

b) Extraction et transformation des valeurs

Le format des données satellites de la température de surface de la mer et de la concentration en Chlorophylle *a* n'étant disponible que sous un format non directement utilisable par nos logiciels, nous avons donc dû les convertir dans un format que nous pouvions analyser.

Sea Surface Temperature

Les jeux de données de SST, pour les deux capteurs sélectionnés, sont téléchargés au format HDF (Hierarchical Data Format). Afin de pouvoir traiter ces données, elles ont été converties à l'aide du logiciel IDRISI® (version The Andes, voir figure 3). Les fichiers sont importés un à un, le logiciel créant alors des fichiers rasters. Ces derniers sont ensuite géoréférencés, puis les données de notre zone d'étude sont alors extraites de la carte mondiale.

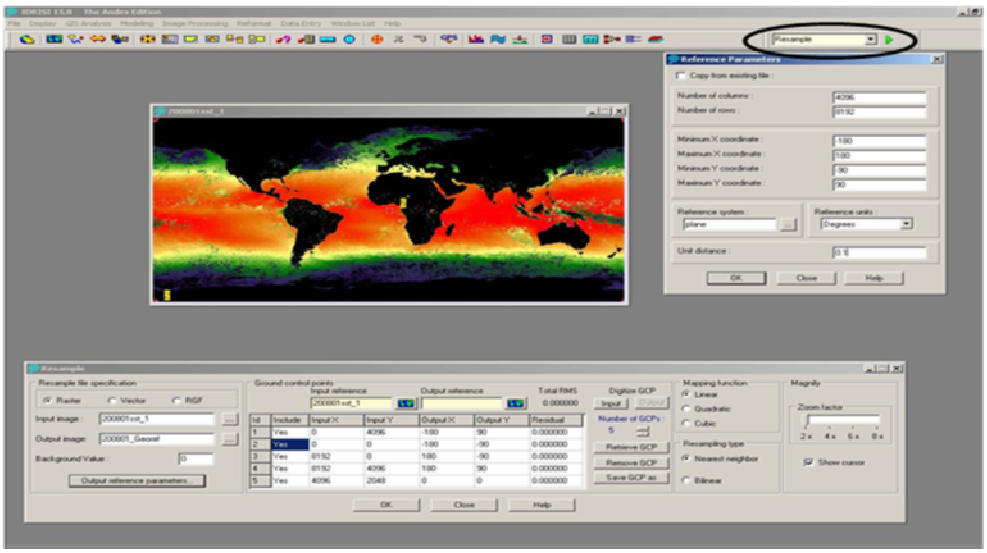


Figure 3. Console de géoréférencement (IDRISI The Andes®)

La dernière étape est la conversion des rasters en vecteurs, toujours sous IDRISI. Ces vecteurs pourront ainsi être exportés en fichiers Ascii contenant les coordonnées (X, Y) et la valeur de chaque pixel (Z).

Les valeurs de températures obtenues ne sont pas en degrés Celsius, elles sont codées sur une échelle de 0 à 255. Il faut appliquer une formule, indiquée dans les fichiers, pour obtenir les bonnes valeurs de SST (°C) : 0,075*valeur (de 0 à 255) – 3. Ce traitement des données, et les suivants, s'est fait sous Microsoft Excel®.

Concentration en Chlorophylle a

Les données de chlorophylle ont une extension « .main » qui correspond à un format HDF amélioré. Ce format n'est pas lisible par les logiciels de télédétection. Il était donc nécessaire d'utiliser SeaDAS® fourni par la NASA, qui tourne sous le système d'exploitation Linux. Le logiciel convertit les fichiers de départ en fichiers Ascii.
Les données ont été ensuite traitées sous Microsoft Excel®.

Globalement, les données considérées pour les deux paramètres environnementaux (SST et Chl *a*) dans cette étude ont été les suivantes :

- les moyennes mensuelles de 1998 à 2009,
- les moyennes saisonnières de 1998 à 2009,
- les écarts à la moyenne mensuelle des 10 années pour la période 2005-2009,
- les écarts à la moyenne saisonnière des 10 années pour la période 2005-2009,
- la moyenne annuelle de 2005 à 2009,
- les écarts mensuels à la moyenne de l'année considérée de 2005 à 2009,
- les écarts saisonniers à la moyenne de l'année considérée de 2005 à 2009.

2. Mise en relation avec les cétacés

Nous avons procédé de façon exploratoire et préliminaire, dans le but de dégager des pistes pour des analyses plus poussées ultérieurement. Nous nous sommes intéressés à une échelle spatiale correspondant à l'ensemble de la zone et à l'échelle temporelle mensuelle. Plusieurs approches ont été utilisées : une approche graphique, qui est le premier pas de l'analyse descriptive d'un phénomène. Ensuite un test statistique de corrélation de Pearson nous a permis de pointer certaines relations entre abondances relatives et paramètres environnementaux en fonction du mois et de l'année. Enfin nous avons cherché à modéliser les variables, à l'aide de différents modèles de régressions linéaires multiples et simples (fonction *lm* du logiciel R, www.r-project.org). Les variables explicatives sont les paramètres

environnementaux et la variable expliquée est l'abondance relative d'une espèce, pour les mois de mai à octobre. Les abondances relatives mensuelles d'une espèce ont été comparées aux valeurs de SST et Chl *a* mensuelles correspondantes. Certains modèles ont intégré le décalage dû à l'organisation de la chaîne alimentaire, cherchant à mettre en évidence une relation entre les valeurs de chlorophylle de deux, trois ou quatre mois précédents l'abondance relative de cétacés d'un mois donné. Aucun de ces modèles n'est apparu pertinent et valide, nous ne les présenterons donc pas. Il serait judicieux de se pencher sur les régressions logistiques afin d'affiner les résultats et peut-être parvenir à une équation non-linéaire paramétrée. Cela représente un travail considérable qui pourrait être mené ultérieurement sur la base des pistes mises en avant par l'approche graphique et des corrélations.

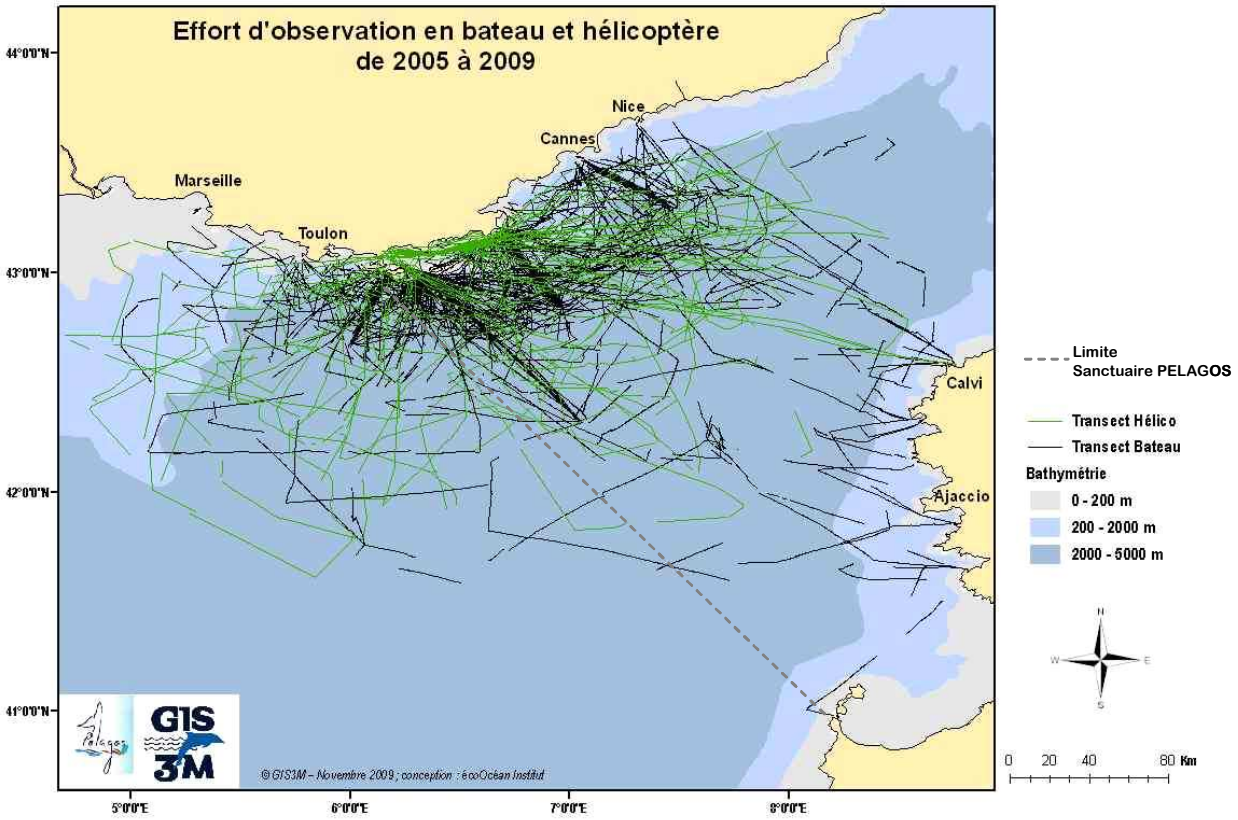
CHAPITRE 2 – EVOLUTIONS TEMPORELLES

Dans ce chapitre nous avons fait le choix d'analyser séparément les données issues des missions en bateau de celles provenant des missions en hélicoptère car les méthodes de collectes utilisées sont différentes. Nous analyserons l'évolution des peuplements de cétacés, des abondances relatives et des tailles de groupe de chaque espèce dans notre zone d'étude entre 2005 et 2009 et ce aux différentes échelles de temps que sont l'année, la saison et le mois. Nous nous attacherons ensuite à essayer d'expliquer ces fluctuations d'abondances relatives de cétacés grâce aux variations de certains paramètres environnementaux (analyses préliminaires) mesurées par télédétection dans notre zone d'étude comme la température de surface de l'eau (SST) et la concentration en chlorophylle *a* (Chl *a*). Afin de savoir si les valeurs des paramètres environnementaux des années analysées entre 2005 et 2009 sont typiques ou atypiques, nous les avons comparées aux valeurs obtenues dans la décennie à savoir entre 1999 et 2009.

I. RESULTATS

I.A. Effort de prospection

Afin de représenter l'emprise spatiale de l'effort d'observation dans notre zone d'étude, la carte 6 présente l'ensemble des transects réalisés pour chaque type de mission à savoir en bateau et en hélicoptère.



Carte 6. Effort d'observation réalisé en bateau (noir) et en hélicoptère (vert) entre 2005 et 2009.

Globalement, les distributions de l'effort d'observation fait entre 2005 et 2009 en bateau et en hélicoptère sont très semblables d'un point de vue spatial. En effet, les deux types d'effort couvrent une zone très similaire aussi bien dans que hors du Sanctuaire PELAGOS avec un effort important au-delà du plateau continental (carte 6).

D'un point de vue quantitatif on note toutefois certaines différences entre les deux modes de prospection (tableaux 6 et 7). Ainsi, si l'effort global en bateau est plus important que celui réalisé en hélicoptère (respectivement 25 938 km et 14 540 km), la répartition mensuelle et donc saisonnière est très différente. En effet, l'effort d'observation en bateau et beaucoup plus irrégulier qu'en hélicoptère, certains mois n'ayant jamais pu faire l'objet d'un effort de prospection en cinq ans. Au final, l'effort mensuel varie entre 0 et 9 315 km.mois^{-1} en bateau et entre 307 et 2162 km.mois^{-1} en hélicoptère. En bateau, certaines saisons comme l'hiver ont fait l'objet de peu de sorties (seulement 106 km en cinq ans) alors que d'autres comme l'été ont un effort très important (20 314 km). En hélicoptère par contre, toutes les saisons montrent un effort conséquent compris entre 3 054 km et 4 264 km.

Tableau 6. Synthèse de l'effort d'observation mensuel (en km) fait en bateau entre 2005 et 2009.

Effort bateau (km)	**J**	**F**	**M**	**A**	**M**	**J**	**Jt**	**A**	**S**	**O**	**N**	**D**	**TOTAL**
2005							1593	1241					**2834**
2006					41	612	1847	1222	1112	497			**5331**
2007					270	1478	2172	1801	1085			81	**6887**
2008					682	669	2072	2260	901	257			**6841**
2009		25		180	241	156	1631	1560	148	104			**4045**
TOTAL	**0**	**25**	**0**	**180**	**1234**	**2915**	**9315**	**8084**	**3246**	**858**	**0**	**81**	**25938**
Hiver	**106**												
Printemps	**1414**												
Eté	**20314**												
Automne	**4104**												

Tableau 7. Synthèse de l'effort d'observation mensuel (en km) fait en hélicoptère entre 2005 et 2009.

Effort hélicoptère (km)	**J**	**F**	**M**	**A**	**M**	**J**	**Jt**	**A**	**S**	**O**	**N**	**D**	**TOTAL**
2005									266		513		**779**
2006		354	491	398		615	915	388	849	301	405	809	**5525**
2007		522	754	157	1047				238	226			**2945**
2008		709				250			681	413			**2052**
2009	307	577	365	731		126	226	535		373			**3239**
TOTAL	**307**	**2162**	**1611**	**1287**	**1047**	**990**	**1141**	**923**	**2033**	**1312**	**918**	**809**	**14540**
Hiver	**3278**												
Printemps	**3945**												
Eté	**3054**												
Automne	**4264**												

I.B. Evolutions temporelles

1. Peuplement

a) A partir des données « bateau »

L'évolution du peuplement de cétacés entre 2005 et 2009 se base sur l'ensemble des données collectées durant cette période comprenant aussi bien les données issues des transects prédéfinis que celles des transects aléatoires faits en bateau, soit au total 993 observations de cétacés avec 7412 individus (tableau 8).

Tableau 8. Synthèse du nombre de contacts et d'individus des diverses espèces de cétacés rencontrées lors des missions en bateau.

	BALPHY	STECOE	GRAGRI	GLOMEL	PHYMAC	TURTRU	**TOTAL**
Nb individus	**274**	**6492**	**99**	**463**	**64**	**20**	**7412**
Nb de contacts	**187**	**724**	**12**	**16**	**49**	**5**	**993**

De façon générale, le peuplement du Nord-Ouest du Sanctuaire PELAGOS est constitué essentiellement de 5 espèces d'odontocètes (dauphin bleu et blanc, cachalot, dauphin de Risso, globicéphale noir et grand dauphin) qui représentent 81,2 % des contacts et 96,3 % des individus rencontrés dans ce secteur. Seule une espèce de mysticète a été observée en cinq ans : le rorqual commun.

Globalement, le dauphin bleu et blanc est prédominant dans ce peuplement, puisqu'il représente à lui seul 87.6 % des individus rencontrés et 73 % des observations faites durant cette période (figures 4 et 5).

La deuxième espèce la plus fréquemment rencontrée est le rorqual commun (19% des contacts) même si en termes d'individu cette espèce ne représente que 4% des individus constituant ce peuplement (figure 4). Viennent ensuite le cachalot avec 4,9 % des contacts et 0,9 % des individus puis les autres espèces d'odontocètes (dauphin de Risso, le globicéphale ou le grand dauphin) qui ne représentent que 0,5 à 1,6 % des contacts de cétacés durant les 5 années (figure 5).

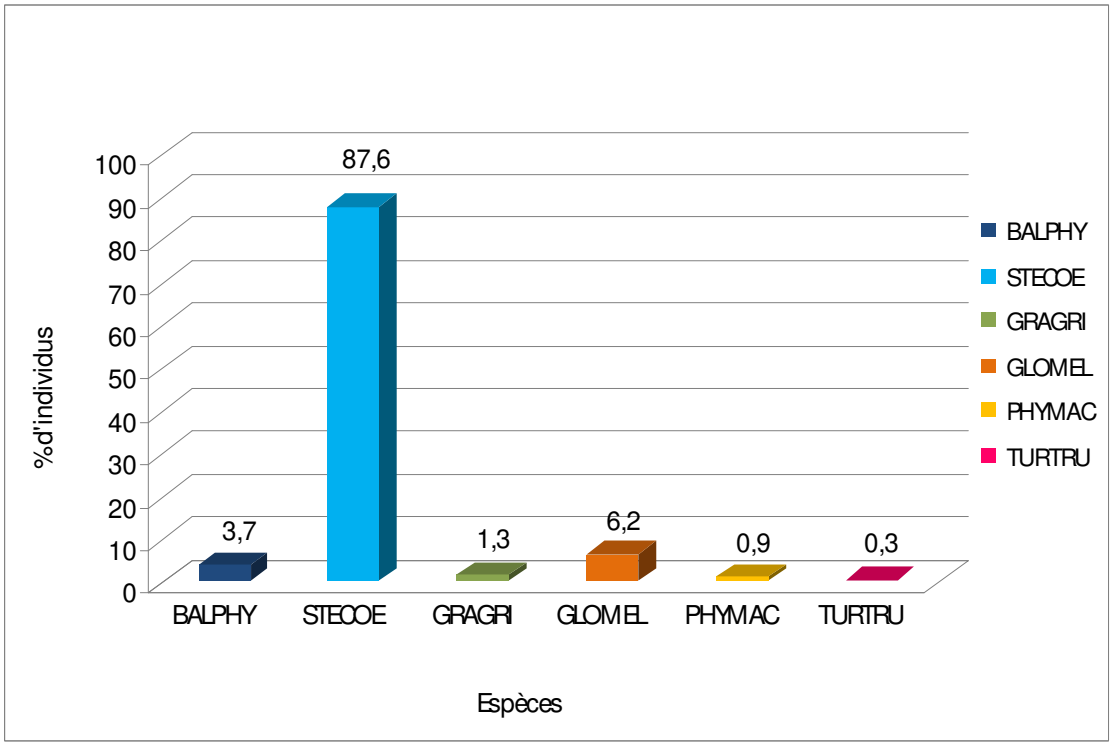


Figure 4. Composition spécifique (en pourcentage d'individus) du peuplement de cétacés observés lors des missions en bateau, de 2005 à 2009.

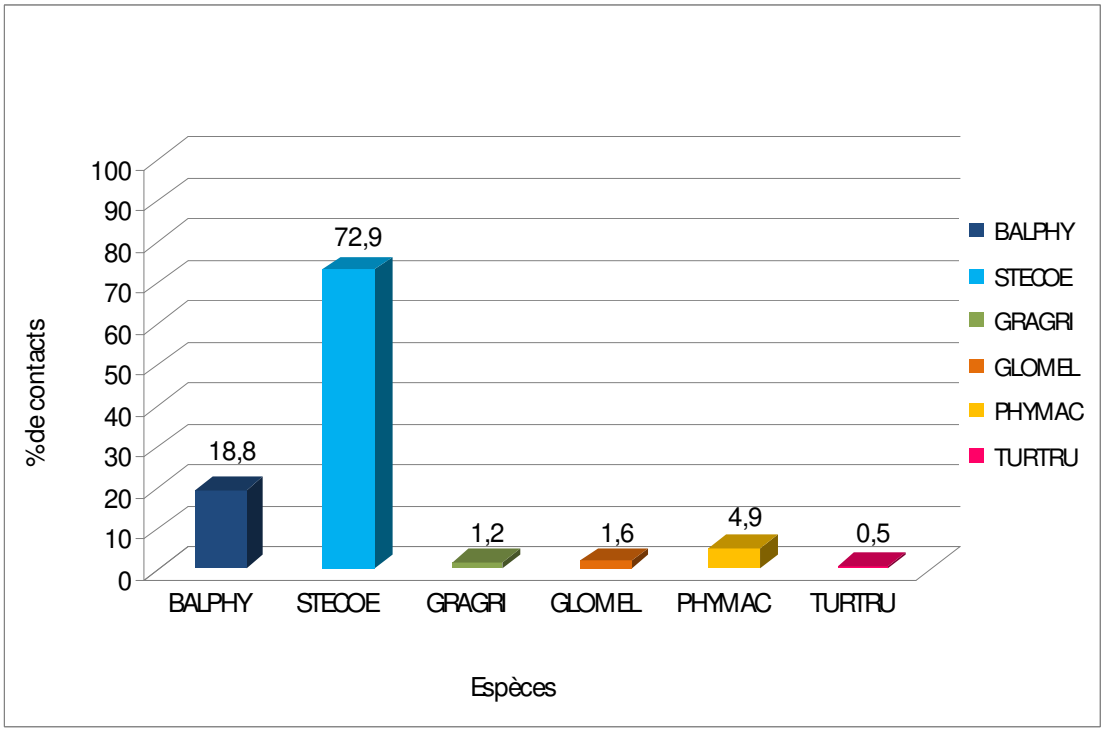


Figure 5. Composition spécifique (en pourcentage de contacts) du peuplement de cétacés observés lors des missions en bateau, de 2005 à 2009.

Si l'on considère les peuplements annuels de cétacés, on remarque que quel que soit l'espèce, sa proportion dans le peuplement peut parfois varier d'une année sur l'autre. Cependant, quelle que soit l'année les dauphins bleus et blancs se montre l'espèce la plus importante quantitativement dans ce peuplement, soit entre 81,7 et 92,7 % des individus observés (figure 6 et tableau 9). De même, le rorqual commun reste chaque année, la deuxième espèce la plus fréquemment rencontrée dans ce secteur à l'exception toutefois de 2009 où cette espèce a été vue entre 2,2 et 3,9 fois moins que les autres années (figures 6 et 7 et tableau 9).

Globalement, on constate que les fluctuations annuelles peuvent varier d'une espèce à l'autre. Ainsi le cachalot, a été rencontré de façon plus importante en 2005 et 2008 alors que pour le globicéphale noir ce maximum est observé en 2005 et 2006. De même, le dauphin de Risso a été surtout présent en 2005, 2007 et 2008 alors que le grand dauphin a été plus fréquemment rencontré en 2009 (tableau 9).

Tableau 9. Composition spécifique annuelle du peuplement de cétacés observés en bateau.

% d'individus	BALPHY	STECOE	GRAGRI	GLOMEL	PHYMAC	TURTRU
2005	1,9	92,1	0,9	4,3	0,7	0,0
2006	3,9	81,7	0,5	13,0	0,6	0,4
2007	4,3	92,7	0,6	1,6	0,8	0,0
2008	5,2	87,2	3,7	2,2	1,2	0,5
2009	0,7	90,1	0,1	7,9	0,9	0,2
% de contacts	**BALPHY**	**STECOE**	**GRAGRI**	**GLOMEL**	**PHYMAC**	**TURTRU**
2005	13,0	75,4	1,4	2,9	7,2	0,0
2006	23,1	68,2	0,5	3,12	4,1	0,9
2007	16,8	77,0	1,1	1,1	4,0	0,0
2008	23,6	68,4	1,9	0,6	5,1	0,3

2009	6,0	82,9	0,9	1,7	6,8	1,7

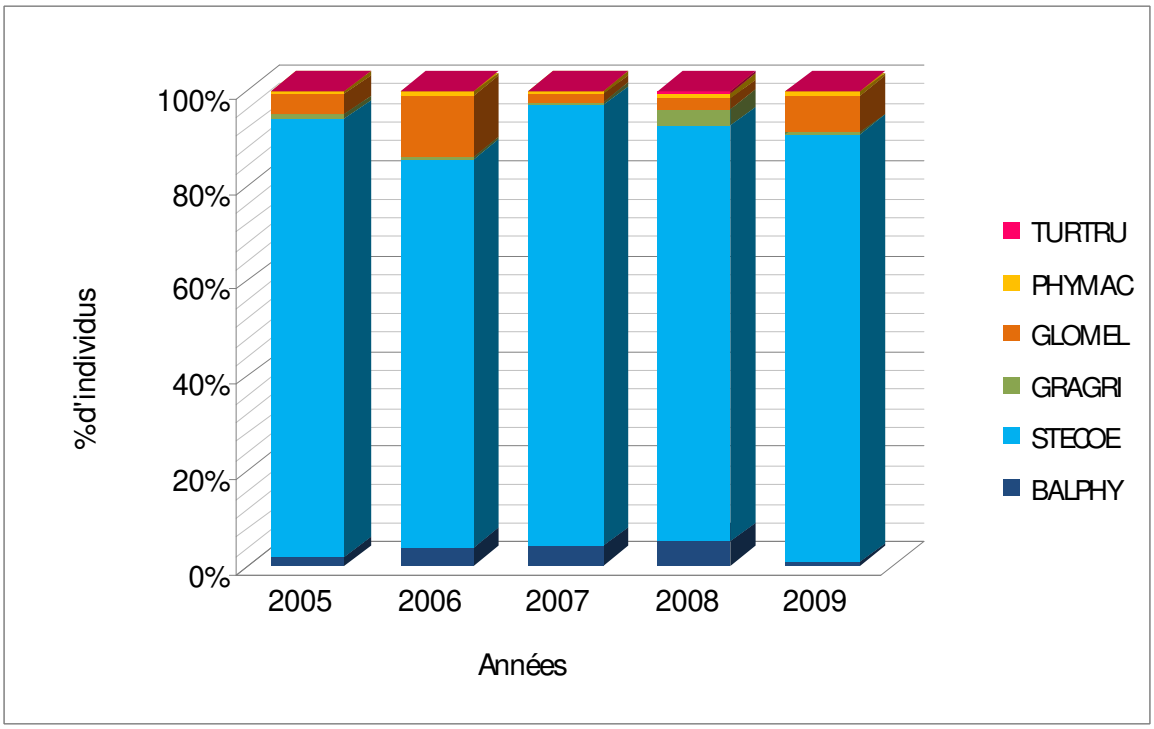


Figure 6. Composition spécifique annuelle (en pourcentage d'individus) du peuplement de cétacés observés lors des missions en bateau, de 2005 à 2009.

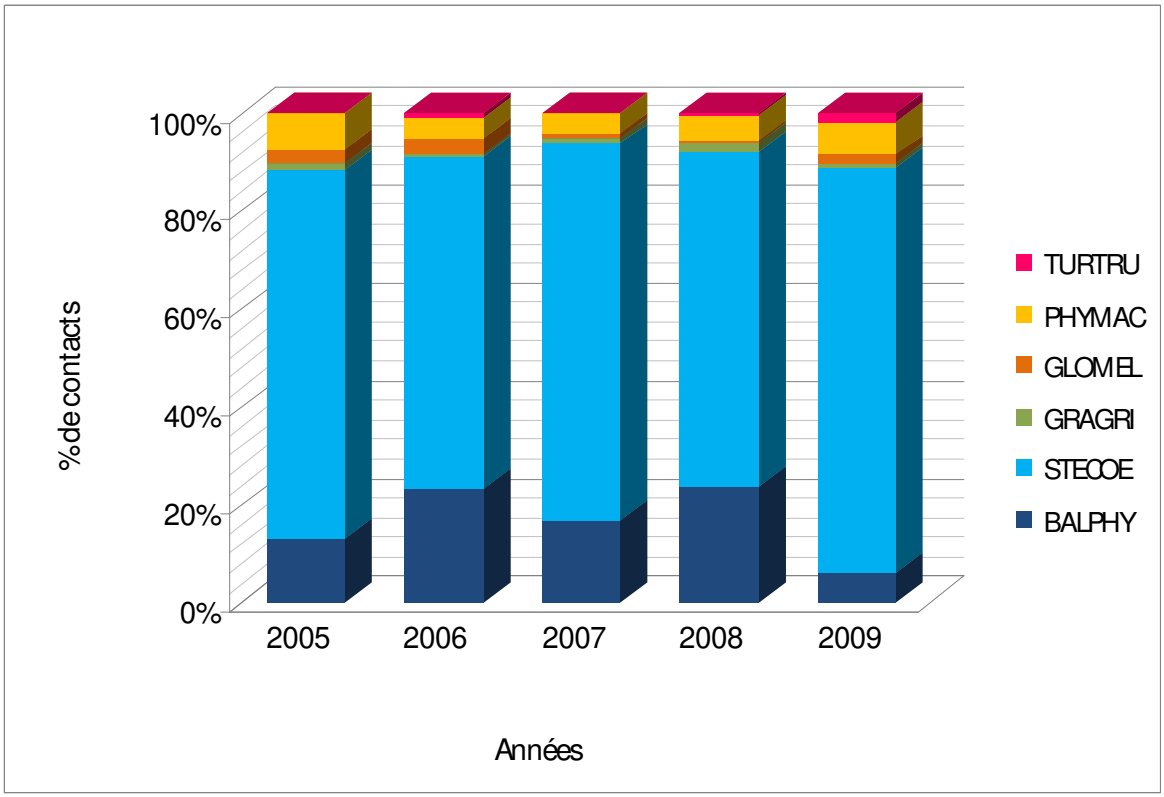


Figure 7. Composition spécifique annuelle (en pourcentage de contacts) du peuplement de cétacés observés lors des missions en bateau, de 2005 à 2009.

Enfin, le peuplement de cétacés de ce secteur semble varier tout au long de l'année. En effet, le peuplement hivernal (décembre à février) est composé uniquement de dauphin bleu et blanc, alors qu'à partir du printemps (mars à mai), le cachalot et le rorqual commun commencent à être présents. Enfin, l'été (juin à août) et l'automne (septembre à novembre) se

caractérisent par la présence des six espèces de cétacés (rorqual commun, le dauphin bleu et blanc, le cachalot, le dauphin de Risso, le globicéphale noir et le grand dauphin) dans des proportions très semblables (figure 8).

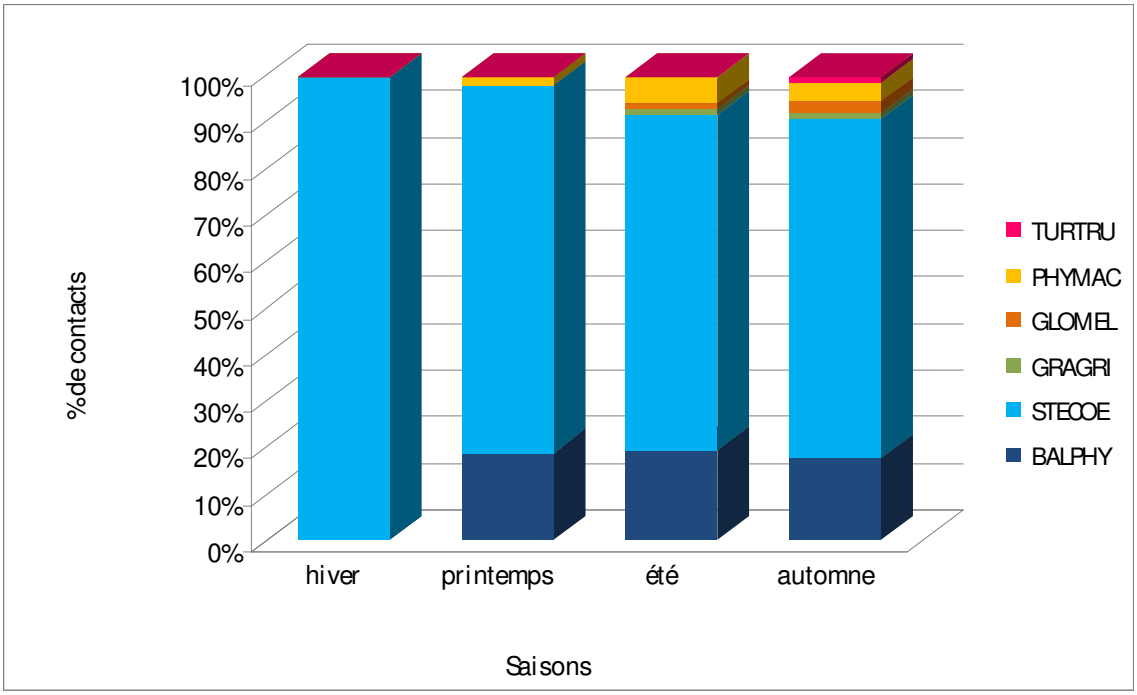


Figure 8. Composition spécifique saisonnier du peuplement de cétacés observés par bateau entre 2005 et 2009.

b) A partir des données « hélicoptère »

L'évolution du peuplement de cétacés entre 2005 et 2009 se base sur l'ensemble des données collectées lors des transects aléatoires faits en hélicoptère, soit au total 90 observations de cétacés avec 1017 individus (tableau 10).

Tableau 10. Synthèse du nombre de contacts et d'individus des diverses espèces de cétacés rencontrés lors des missions en hélicoptère.

	BALPHY	STECOE	GRAGRI	GLOMEL	PHYMAC	TURTRU	**TOTAL**
Nb ind	**24**	**932**	**38**	**17**	**4**	**2**	**1017**
Nb contacts	**18**	**57**	**7**	**3**	**4**	**1**	**90**

De façon générale, le peuplement de la zone liguro-provençale est constitué de 6 espèces (rorqual commun, dauphin bleu et blanc, cachalot, dauphin de Risso, globicéphale noir et grand dauphin) dont 5 d'odontocètes qui représentent 80 % des contacts et 97,6 % des individus rencontrés durant cette période.

Le dauphin bleu et blanc est l'animal le plus fréquemment rencontré (91,6% des individus et 63,3 % des contacts) (figures 9 et 10). Viennent ensuite le rorqual commun (20 % des contacts et 2,3 % des individus) et le dauphin de Risso (7,8 % des contacts et 3,7 % des individus). Le globicéphale noir, le cachalot sont quant à eux observés dans des proportions moindres et très semblables alors que le grand dauphin est très peu présent dans ce peuplement avec seulement 0,2% des individus et 1,1 % des rencontres (figures 9 et 10).

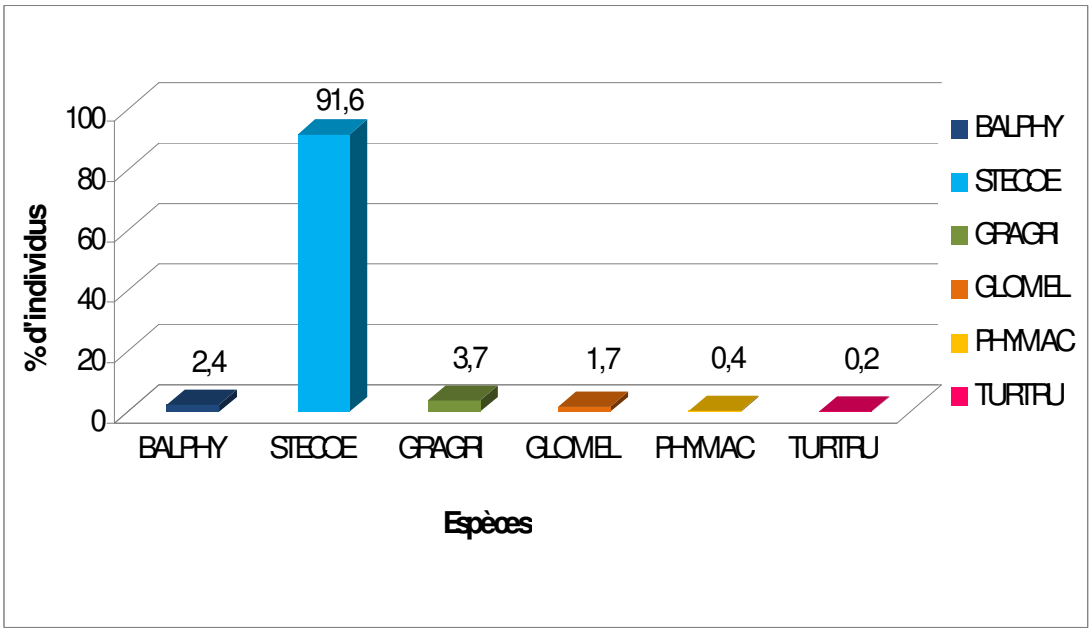


Figure 9. Proportion des espèces observées par hélicoptère, de 2005 à 2009, en pourcentage d'individus.

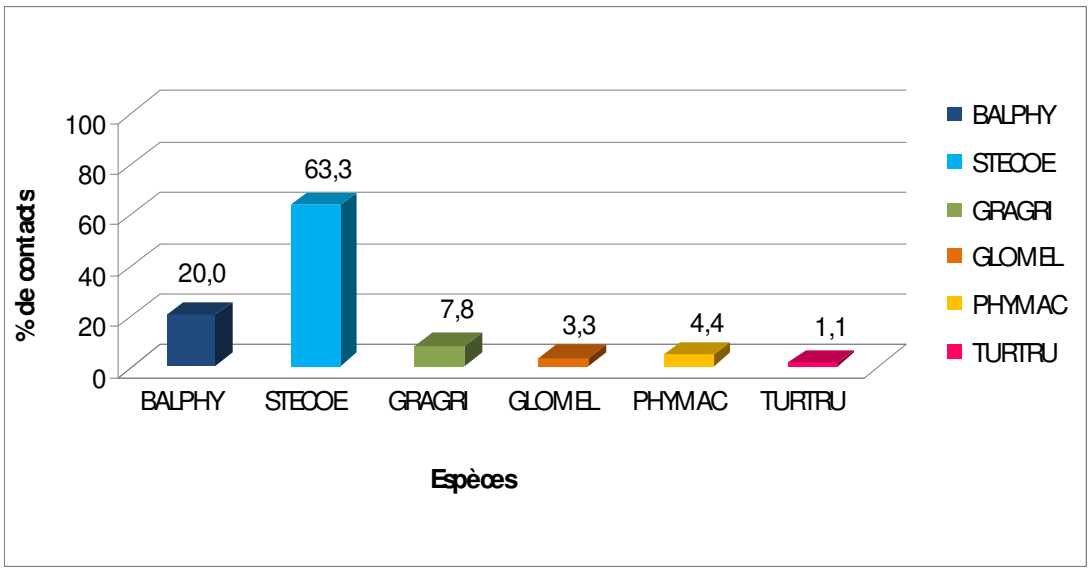


Figure 10. Proportion des espèces observées par hélicoptère, de 2005 à 2009, en pourcentage de contacts.

Par ailleurs, on remarque (figures 11 et 12, tableau 11) que ce peuplement fluctue d'une année sur l'autre et de façon très variable selon les espèces. Ainsi, une espèce comme le dauphin bleu peut varier du simple au double en terme de proportion : 50 % des contacts en 2005 et 90,5 % des contacts en 2009. De même, le rorqual commun montre de grandes variations allant de 50 à 4,8 % des rencontres avec ces animaux selon les années (tableau 11). Le cachalot, le dauphin de Risso, le globicéphale et le grand dauphin quant à eux peuvent ne avoir été vus certaines années et être très présents d'autres.

Enfin, on note que le nombre d'espèce qui compose le peuplement peut fluctuer d'une année à l'autre. On observe ainsi que deux espèces en 2005, trois en 2009, 4 en 2006 et 2008 et 5 en 2007. Cependant, quelle que soit l'année considérée, le dauphin bleu et blanc et le rorqual commun ont toujours été observés.

Tableau 11. Composition spécifique annuelle du peuplement de cétacés observés en bateau.

% individus	BALPHY	STECOE	GRAGRI	GLOMEL	PHYMAC	TURTRU
2005	8,3	91,7	0,0	0,0	0,0	0,0
2006	8,4	81,5	9,0	0,0	0,0	1,1
2007	1,1	80,9	12,4	4,5	1,1	0,0
2008	2,0	91,5	0,0	5,9	0,7	0,0
2009	0,2	99,6	0,0	0,0	0,2	0,0
% contacts	**BALPHY**	**STECOE**	**GRAGRI**	**GLOMEL**	**PHYMAC**	**TURTRU**
2005	50,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2006	33,3	51,9	11,1	0,0	0,0	3,7
2007	8,7	60,9	17,4	4,3	8,7	0,0
2008	23,1	53,8	0,0	15,4	7,7	0,0
2009	4,8	90,5	0,0	0,0	4,8	0,0

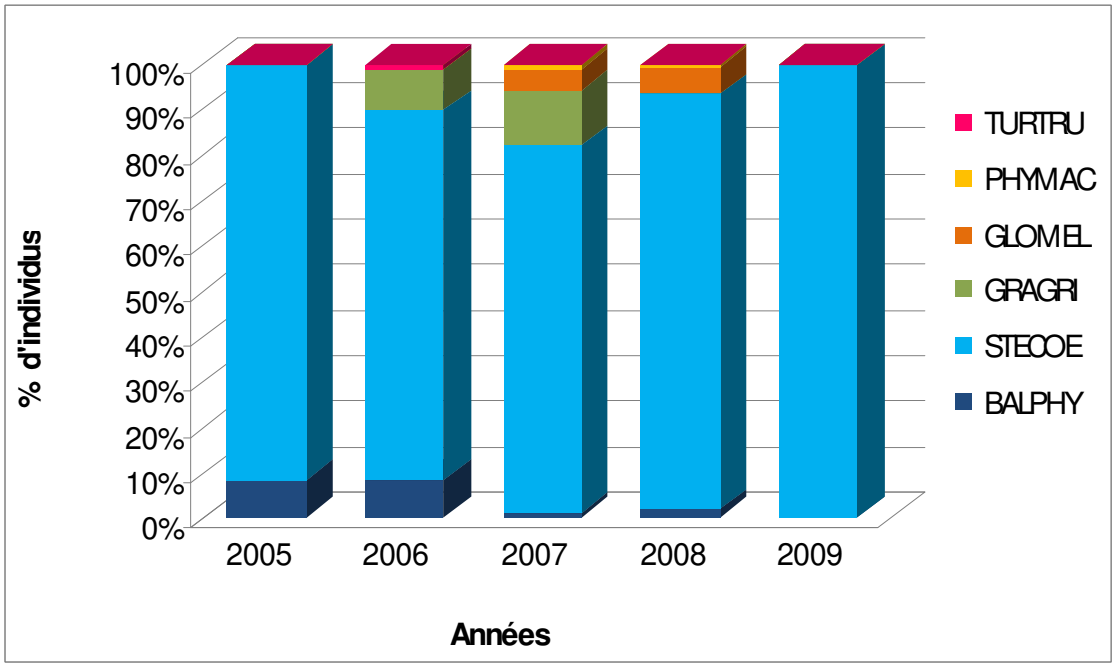


Figure 11. Proportion des espèces observées annuellement par hélicoptère entre 2005 et 2009, en pourcentage d'individus.

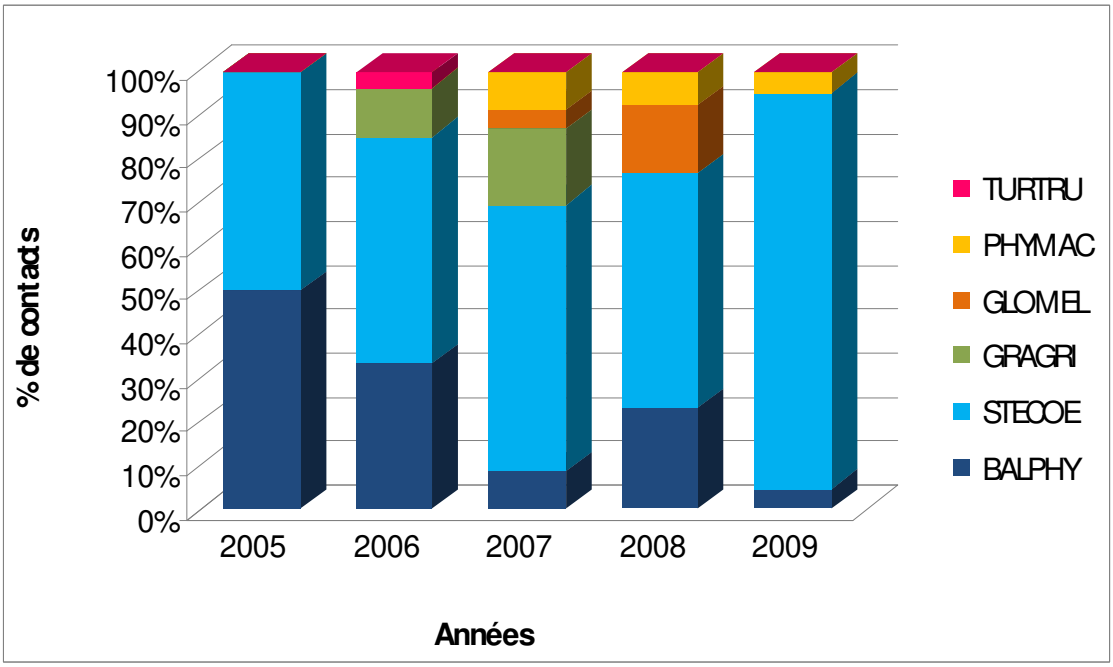


Figure 12. Proportion des espèces observées annuellement par hélicoptère entre 2005 et 2009, en pourcentage de contacts.

Par ailleurs, l'analyse du peuplement montre des variations saisonnières au niveau de sa composition. Ainsi, les dauphins bleus et blancs, les rorquals communs et les dauphins de Risso ont été rencontrés à toutes les saisons, dans des proportions différentes aussi bien en terme de contacts que d'individus (figures 13 et 14). Le globicéphale quant à lui, n'a été vu qu'en été et en automne alors que le grand dauphin n'a été vu qu'en été. Le cachalot pour sa part a été noté toutes les saisons à l'exception de l'été.

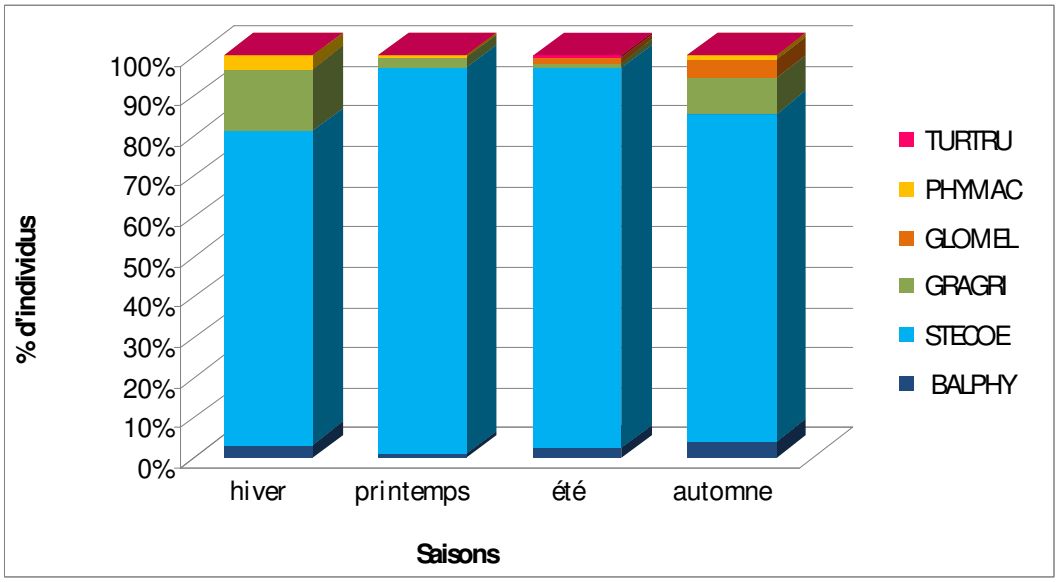


Figure 13. Proportion des espèces observées par hélicoptère, suivant les saisons, entre 2005 et 2009, en pourcentage d'individus.

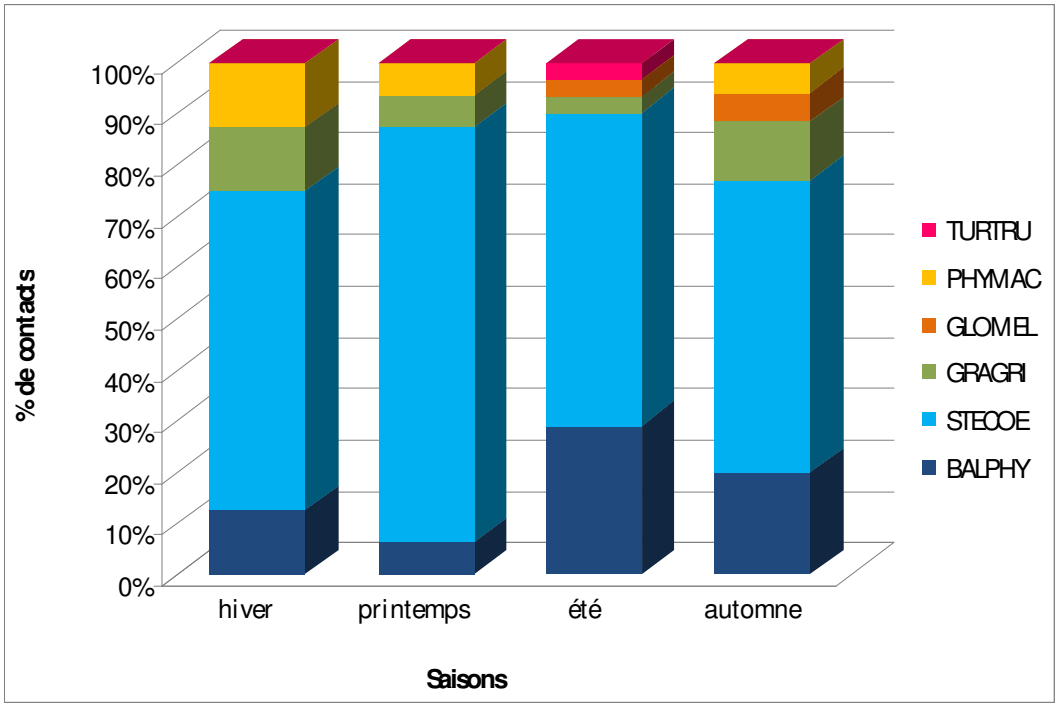


Figure 14. Proportion des espèces observées par hélicoptère, suivant les saisons, entre 2005 et 2009, en pourcentage de contacts.

2. Le rorqual commun

a) Distribution

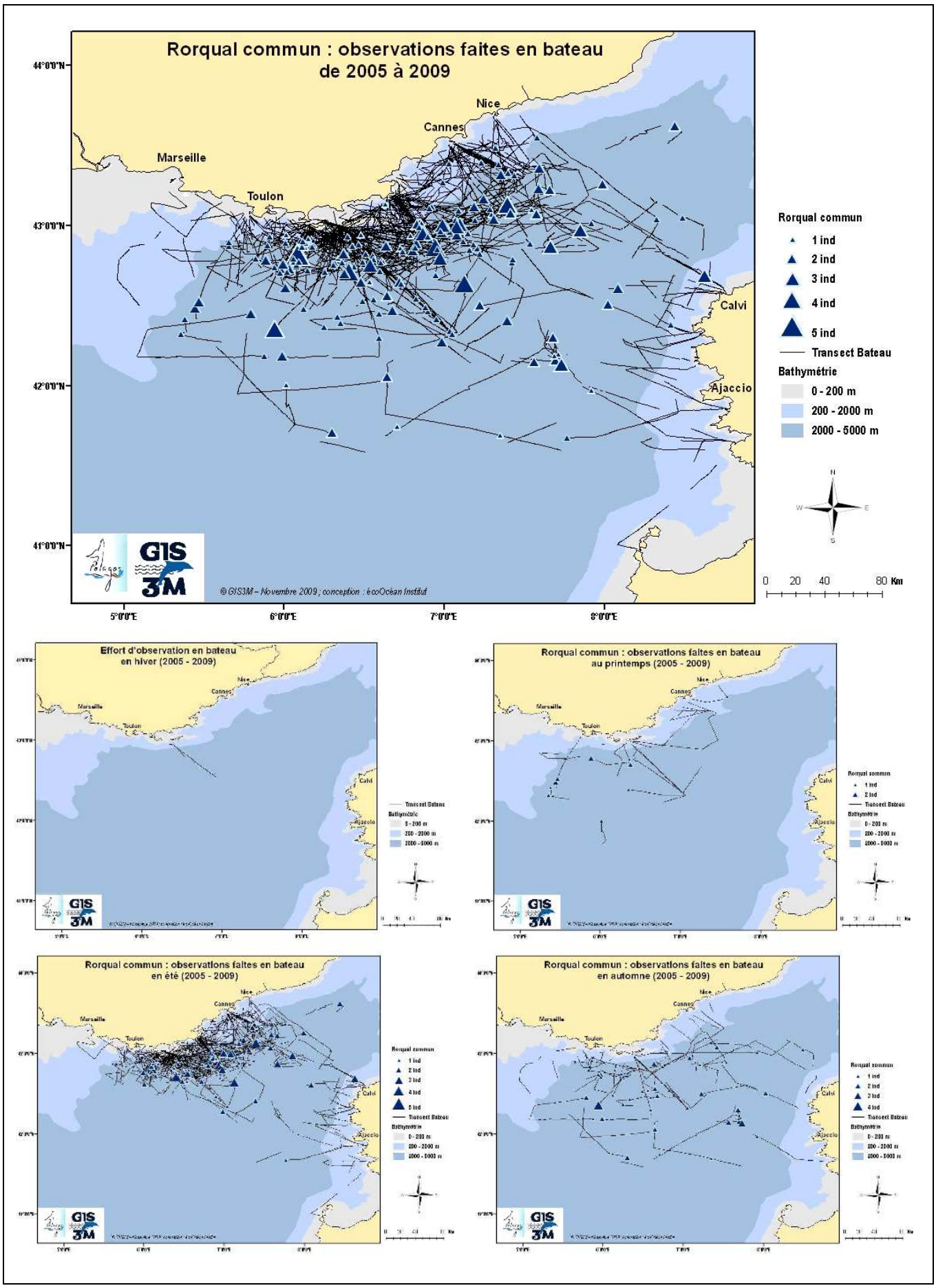
Quel que soit le moyen de prospection utilisé, les rorquals ont toujours été vus dans l'ensemble de la zone prospectée, dès que les fonds sont supérieurs à 2000 mètres (cartes 7 et 8).

En hiver, un seul individu a été observé au milieu de la zone en hélicoptère malgré des sorties régulières et un effort de prospection de près de 3800 kilomètres. En bateau, aucune observation n'a été faite à cette saison, mais peu de missions ont eu lieu à cette difficile période de l'année. Pas complètement absent de cette partie de Méditerranée en hiver, les rorquals sont donc néanmoins très rares.

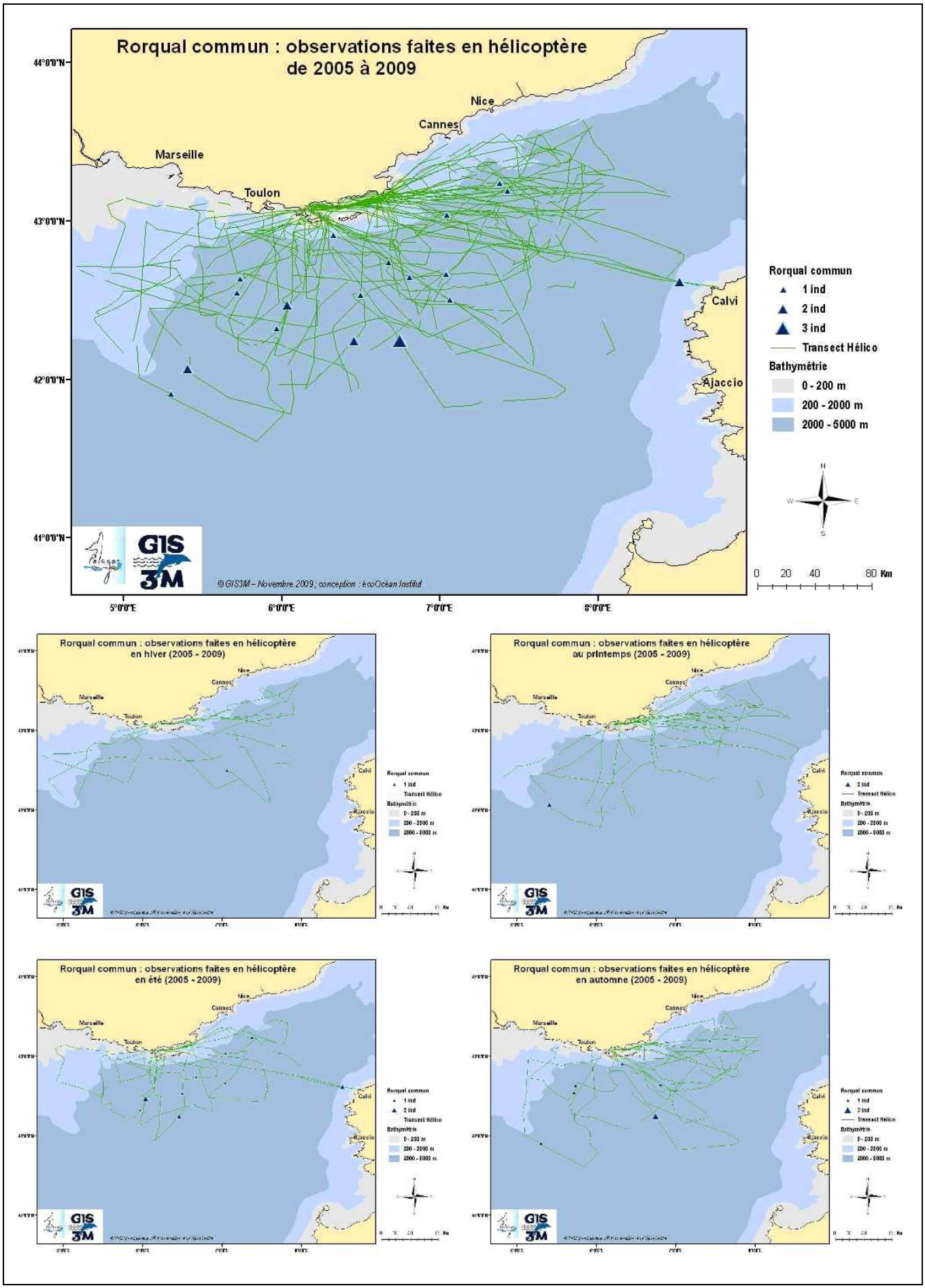
Au printemps plusieurs individus ont été observés et tous l'ont été dans la partie ouest de notre zone située au large entre Marseille et les îles d'Hyères.

Le plus grand nombre d'observations a eu lieu en période estivale. Les rorquals communs fréquentent alors une large zone comprenant la mer Ligure (Nord-Est de notre zone allant jusqu'aux abords de la Corse) et le large de la Provence.

En automne les animaux sont encore bien présents dans le secteur pélagique situé au-delà des fonds de 2000 mètres.



Carte 7. Distributions globale et saisonnière de l'effort d'observation et des observations de rorqual commun faites en bateau entre 2005 et 2009.



Carte 8. Distributions globale et saisonnière de l'effort d'observation et des observations de rorqual commun faites en hélicoptère entre 2005 et 2009.

b) Variations annuelles

Quel que soit le moyen de prospection utilisé, on note que l'année 2006 semble avoir été une année riche en rorquals communs. On observe ainsi les abondances relatives les plus élevées des cinq années en bateau (0,0016 ind.km^{-1}) et la seconde valeur la plus élevée pour les données hélicoptère (0,0025 ind.km^{-1}). De même, 2006 est l'année où la taille des groupes de rorquals communs est la plus importante (figures 15 à 18) : seule année où le nombre d'individus dans un groupe est supérieur à 1,5. A l'opposé, 2009 fut pauvre en rorqual, avec des valeurs d'abondance relative et de taille de groupe minimales pour les deux jeux de données. Les abondances relatives collectées en bateau s'avèrent d'ailleurs significativement différentes en 2009 par rapport à toutes les autres années (Kruskall-Wallis, $p < 0,0001$; Dunn, $p < 0,05$).

Enfin, on remarque que, si globalement on observe des tendances annuelles identiques à la taille moyenne de groupes des rorquals communs en bateau et en hélicoptère, on note cependant que les valeurs sont systématiquement plus élevées en bateau qu'en hélicoptère. Toutefois, quel que soit le moyen utilisé, la taille des groupes de rorqual commun est toujours comprise entre 1 et 2 individus.

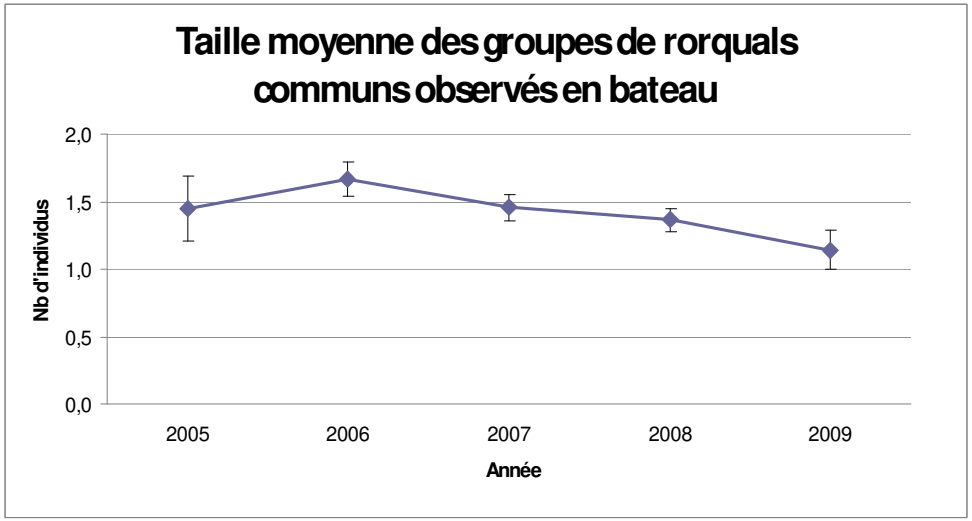


Figure 15. Evolution de la taille moyenne des groupes des rorquals communs rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

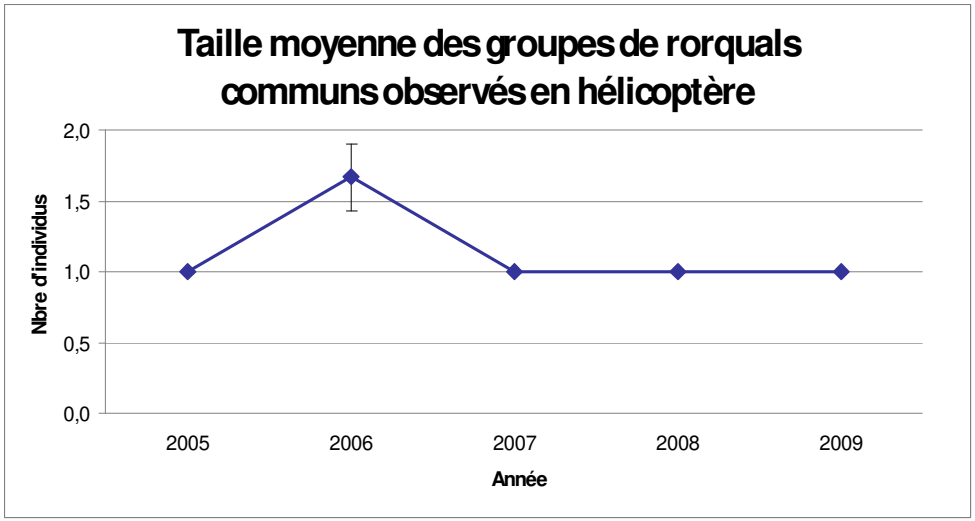


Figure 16. Evolution de la taille moyenne des groupes des rorquals communs rencontrés en hélicoptère de 2005 à 2009.

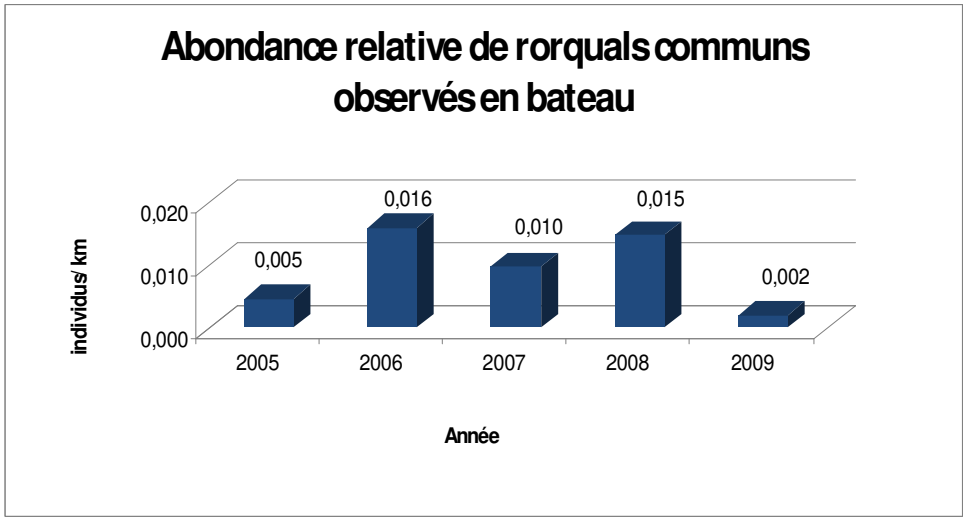


Figure 17. Evolution de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des rorquals communs rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

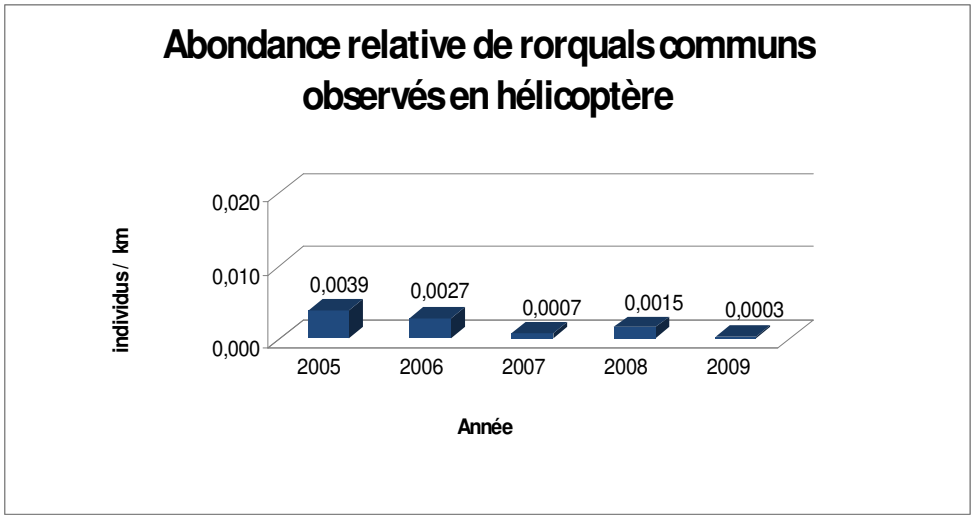


Figure 18. Evolution de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des rorquals communs rencontrés en hélicoptère de 2005 à 2009.

c) Variations saisonnières

Mis à part en hiver, les tailles de groupes de rorquals par saison sont toutes supérieures ou égales à 1,3 individus par groupe. Au printemps les données collectées par hélicoptère témoignent de regroupements à peine plus importants (2 individus par groupe) (figures 19 et 20 puis figures 21 et 22).

Les résultats montrent que les rorquals sont présents toute l'année dans la zone d'étude. Cependant, si les deux jeux de données s'accordent sur la faible abondance relative de rorquals en hiver, les valeurs diffèrent par la suite. Les animaux seraient aussi abondants au printemps qu'en été puis plus fréquents en automne selon les données collectées en bateau. En revanche vus d'hélicoptère les rorquals semblent peu présents au printemps (au même niveau qu'en hiver), plus fréquents en été et repartiraient en partie de la zone dès l'automne.

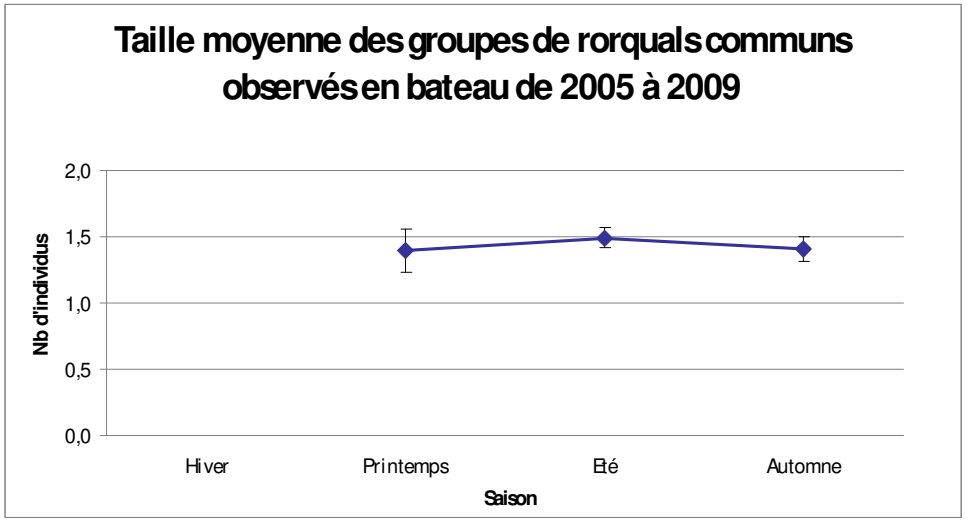


Figure 19. Evolution saisonnière de la taille moyenne des groupes de rorquals communs rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

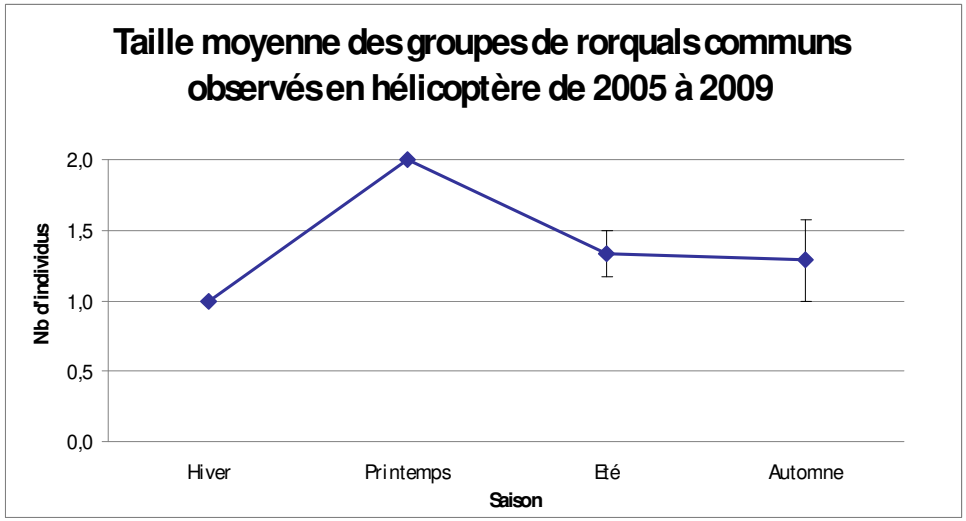


Figure 20. Evolution saisonnière de la taille moyenne des groupes de rorquals communs rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

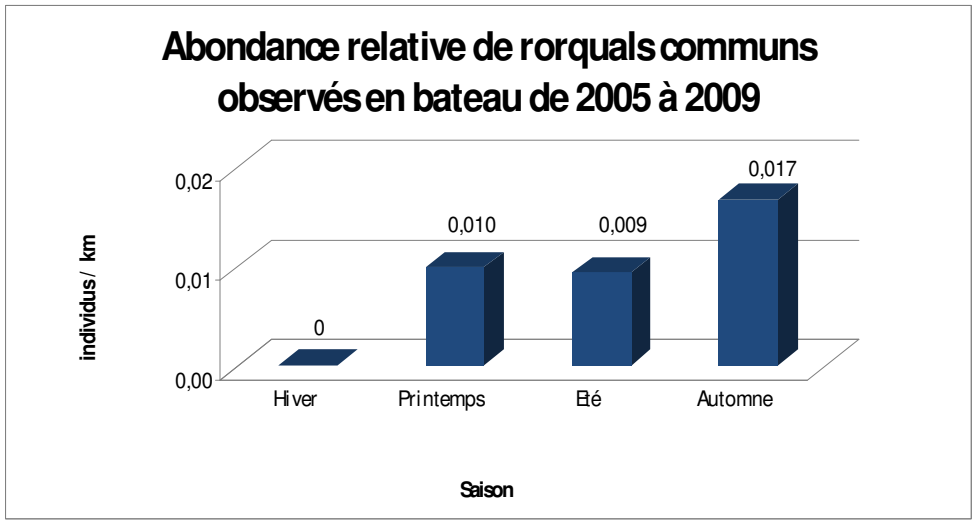


Figure 21. Evolution saisonnière de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des rorquals communs rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

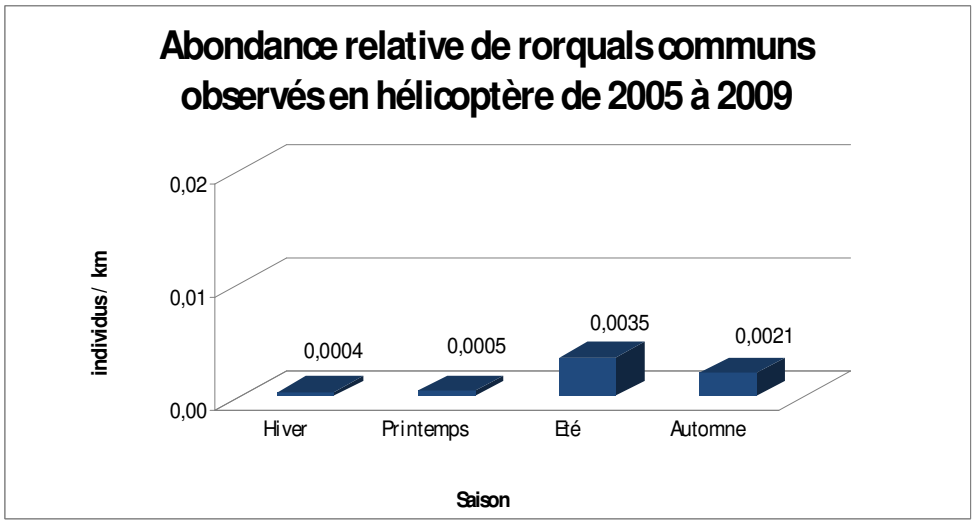


Figure 22. Evolution saisonnière de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des rorquals communs rencontrés en hélicoptère de 2005 à 2009.

d) Variations mensuelles

Le jeu de données collecté en bateau couvre essentiellement la période allant de mai à septembre, période durant laquelle les rorquals sont les plus fréquents. Par contre, les prospections faites en hélicoptère s'échelonnent sur toute l'année (voir figures 23 et 24).

Globalement, les données collectées en bateau attestent d'une abondance assez constante en rorquals dans la zone entre mai et août (0,008 à 0,011 ind.km^{-1}), même si on note une légère augmentation en septembre et octobre (figure 25). Les tests statistiques ne montrent d'ailleurs une différence significative entre ces divers mois qu'en 2007 (Kruskall-Wallis, $p < 0,0001$), et en particulier entre le mois de septembre et ceux de juin, juillet et août (Dunn, $p < 0,05$).

Les abondances relatives calculées à partir des transects faits en hélicoptère montrent une présence faible mais avérée des animaux de février à novembre, avec des valeurs peu différentes (de 0,001 à 0,004 ind.km^{-1}) et un maximum relatif en août (0,006 ind.km^{-1}) (figure 26).

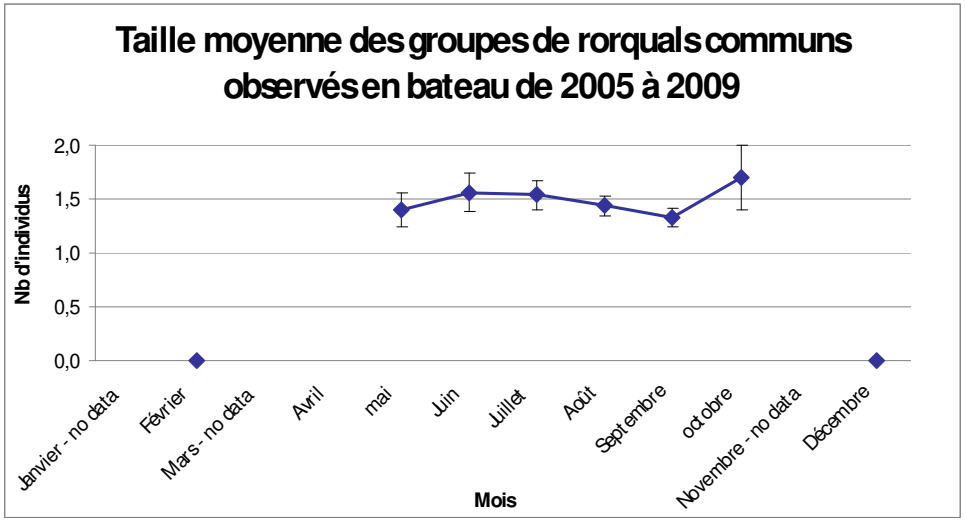


Figure 23. Evolution mensuelle de la taille moyenne des groupes de rorquals communs rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

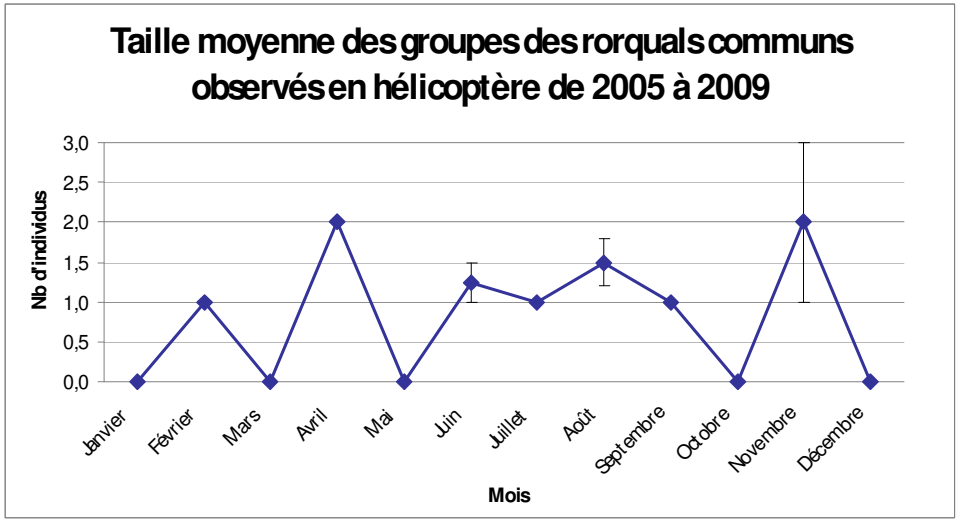


Figure 24. Evolution mensuelle de la taille moyenne des groupes de rorquals communs rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

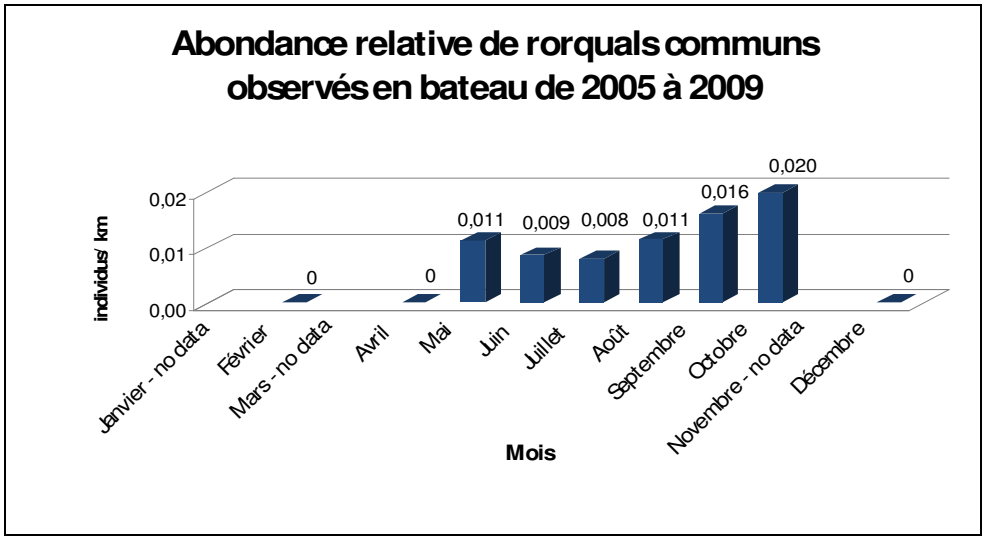


Figure 25. Evolution mensuelle de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des rorquals communs rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

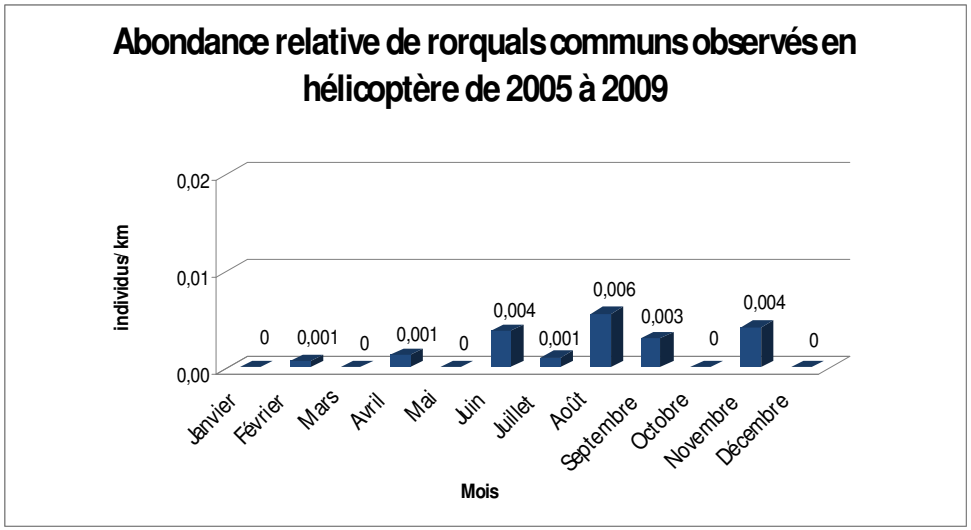


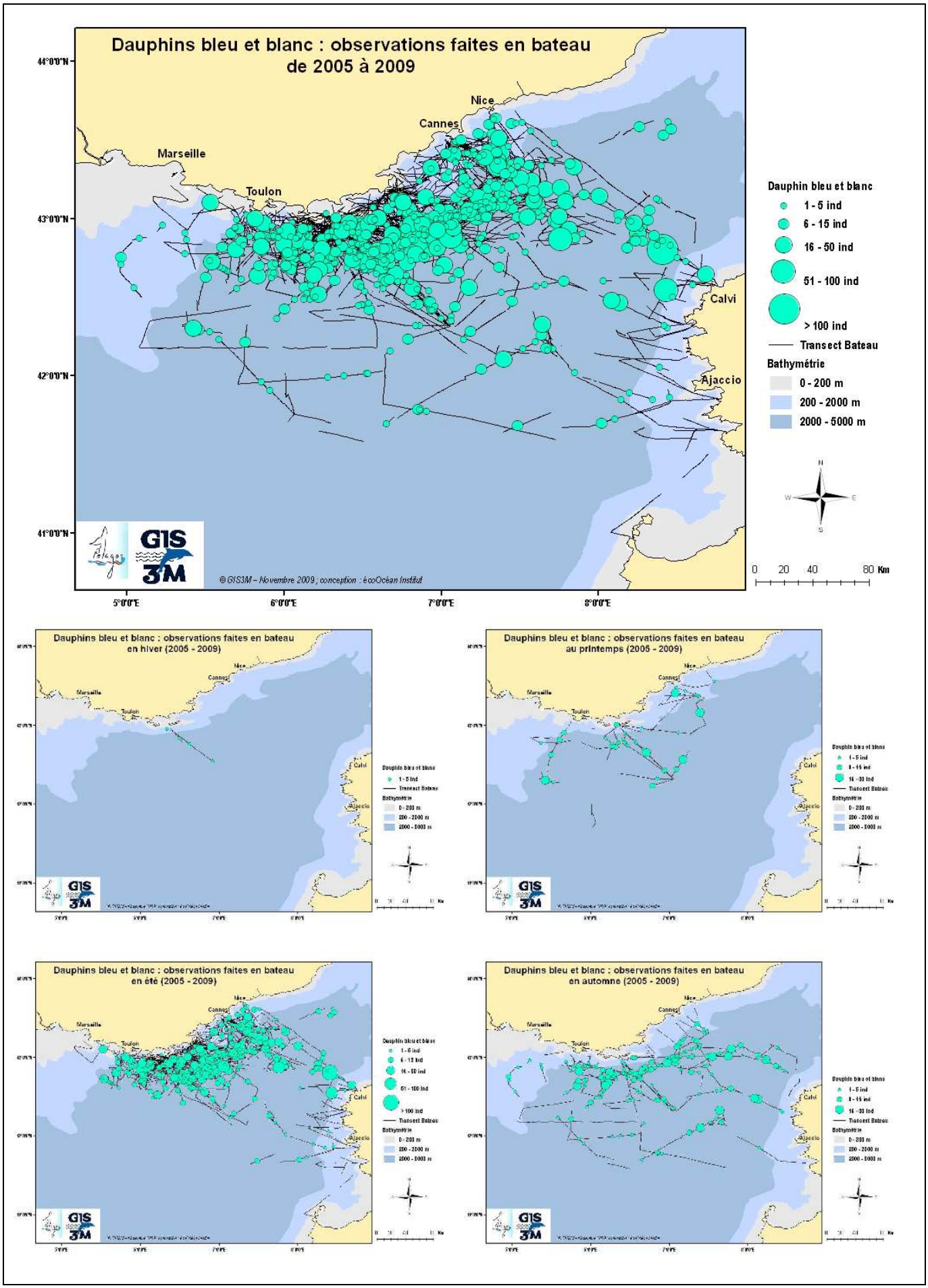
Figure 26. Evolution mensuelle de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des rorquals communs rencontrés en hélicoptère de 2005 à 2009.

3. Dauphin bleu et blanc

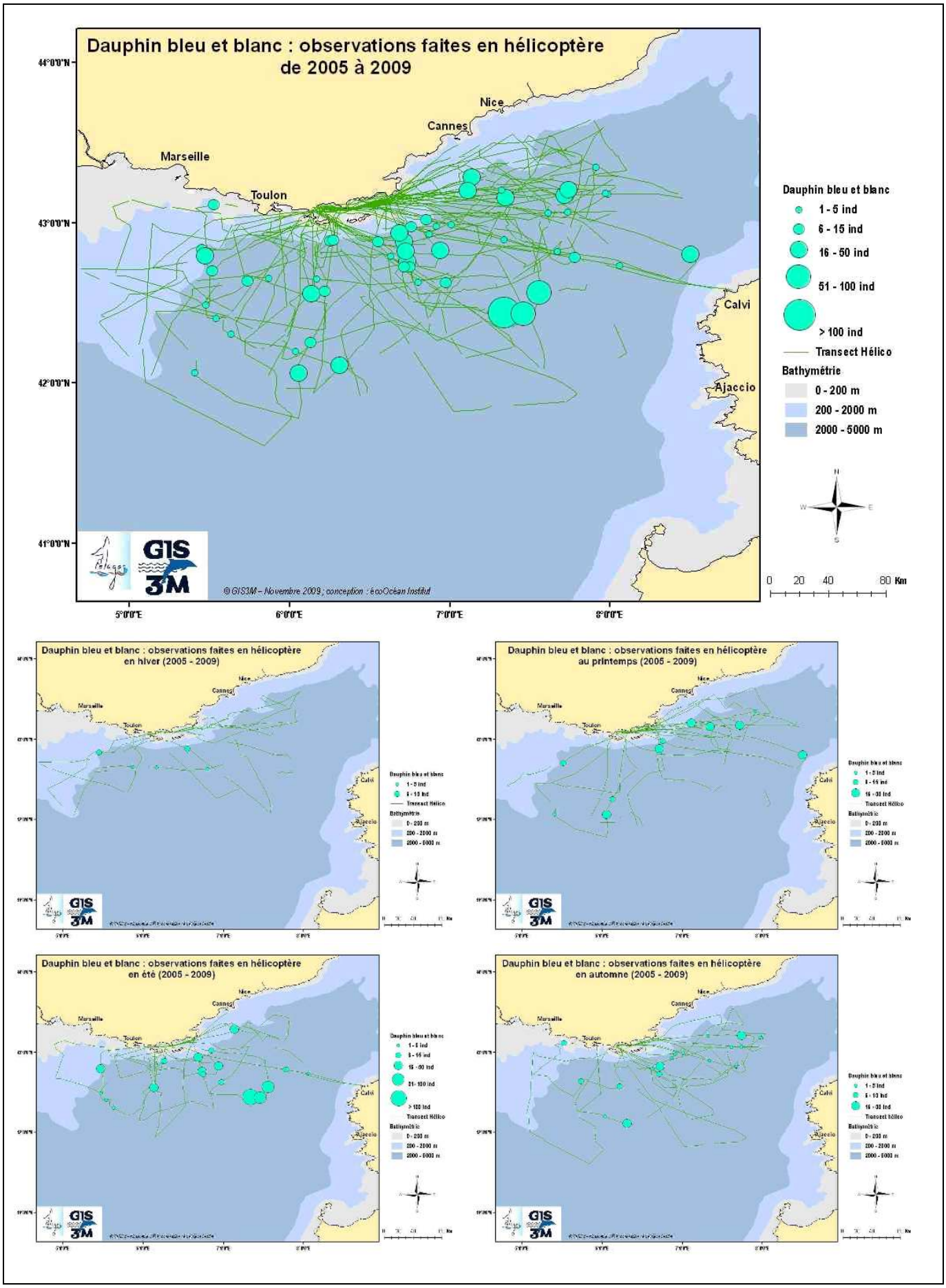
a) Distribution

Quel que soit le moyen de prospection utilisé, on observe que globalement les dauphins bleus et blancs fréquentent aussi bien les eaux côtières que pélagiques, et ont été quasiment toujours vus dans tous les secteurs prospectés, mis à part le plateau continental (cartes 9 et 10).

En hiver (carte 10), l'Est de la zone semble moins fréquentée par les animaux que l'Ouest, tandis que dès le printemps et jusqu'à l'automne l'ensemble de la zone d'étude est exploitée par les animaux. D'une façon générale, les observations faites depuis les vols en hélicoptère sont plus pélagiques que celles faites à partir du bateau.



Carte 9. Distributions globale et saisonnière de l'effort d'observation et des observations de dauphins bleus et blancs faites en bateau entre 2005 et 2009.



Carte 10. Distributions globale et saisonnière de l'effort d'observation et des observations de dauphins bleus et blancs faites en hélicoptère entre 2005 et 2009.

b) Variations annuelles

Les tailles moyennes de groupes de dauphins bleus et blancs oscillent faiblement d'une année sur l'autre pour les observations faites à partir des bateaux (entre 7 et 12 individus), et plus fortement pour celles réalisées à bord de l'hélicoptère (entre 10 et 25 individus). Pour les deux jeux de données les tailles de groupes sont relativement constantes en 2005 et 2006 (12 à 13 individus par groupe), elles sont au plus bas en 2007 puis augmentent jusqu'en 2009. En 2008 et 2009, les animaux vus en hélicoptère étaient regroupés en plus grands bancs (20 et 25 individus par groupe) que ceux détectés en bateau (7 et 12 individus par groupe (figures 27 et 28).

Les abondances relatives de dauphins bleus et blancs, observés à partir du jeu de données bateau, semblent être légèrement supérieures en 2006 (0,33 ind.km^{-1}) par rapport aux autres années qui ont des valeurs très similaires entre elles (0,21 à 0,25 ind.km^{-1}) (figure 29). Par contre en hélicoptère, c'est en 2009 que ces animaux ont été le plus souvent rencontrés (0,14 ind.km^{-1}) par rapport aux autres années (0,03 à 0,07 ind.km^{-1}) (figure 30). Néanmoins aucune différence ne se révèle significative quel que soit le jeu de données testé (Kruskall-Wallis, $p > 0,05$; Dunn, $p > 0,05$).

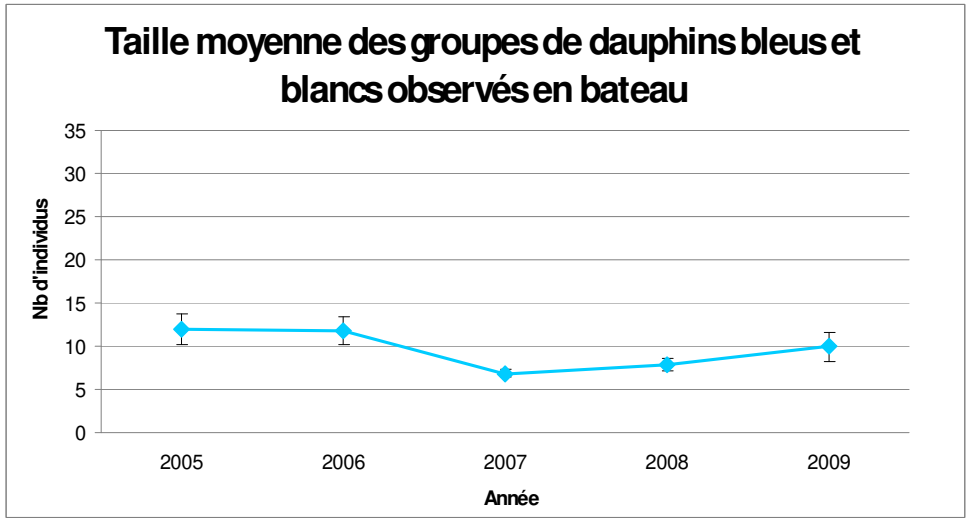


Figure 27. Evolution de la taille moyenne des groupes de dauphins bleus et blancs rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

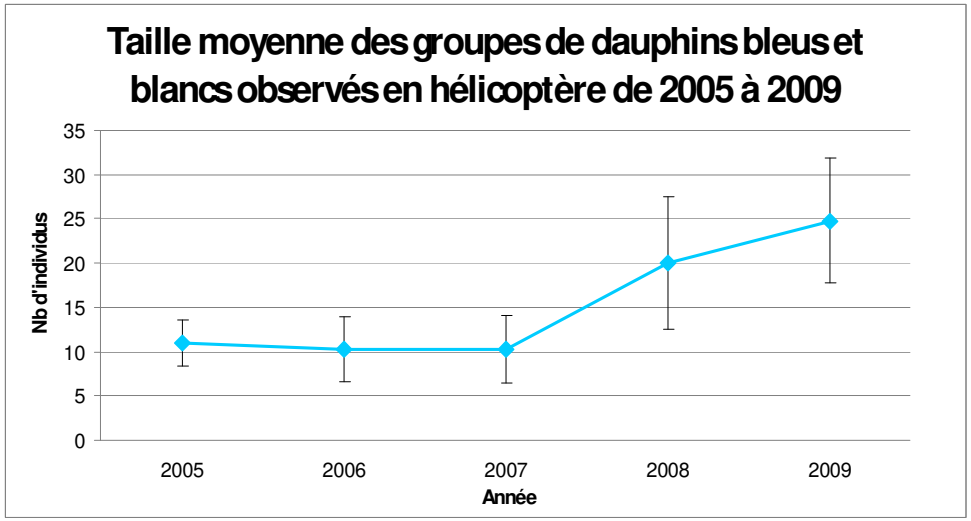


Figure 28. Evolution de la taille moyenne des groupes de dauphins bleus et blancs rencontrés en hélicoptère de 2005 à 2009.

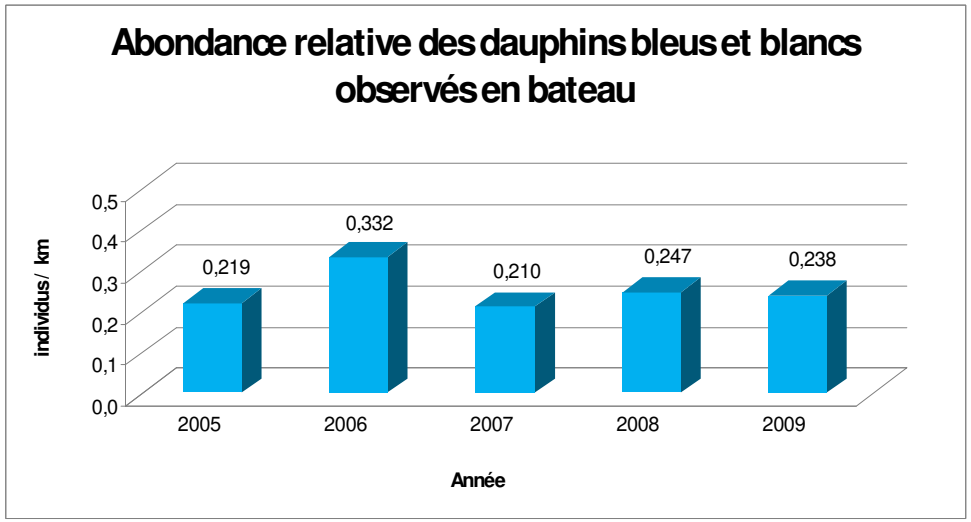


Figure 29. Evolution de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des dauphins bleus et blancs rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

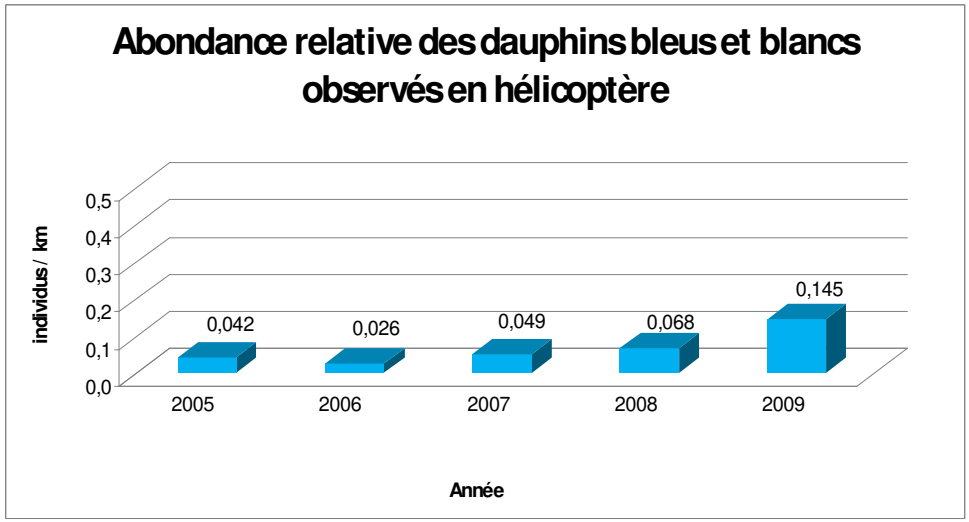


Figure 30. Evolution de de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des dauphins bleus et blancs rencontrés en hélicoptère de 2005 à 2009.

c) Variations saisonnières

Les dauphins bleus et blancs se rassemblent en groupes de plus en plus grands au fur et à mesure de l'avancée dans l'année, pour atteindre un maximum en été (10 individus par groupe pour le jeu de données bateau et près de 25 individus par groupe pour le jeu de données hélicoptère) (figures 31 et 32). A l'automne les animaux semblent se disperser en plus petites unités jusqu'à aboutir à une taille de groupe minimale en hiver (environ 5 individus par groupe). Par ailleurs, il est intéressant de noter que les tailles moyennes de groupes faites en hélicoptère sont systématiquement plus importantes que celles faites à partir d'un bateau.

Les dauphins bleus et blancs sont présents dans la zone d'étude tout au long de l'année. Peu nombreux en hiver, ils sont de plus en plus fréquents jusqu'à l'automne où leur abondance atteint quasiment 0,3 ind.km^{-1} (données bateau) (figure 33). Les données collectées en hélicoptère, en revanche, montrent que si ces dauphins sont effectivement peu abondants en hiver, ils sont quasiment aussi fréquents au printemps qu'en automne et plus nombreux en été (figure 34).

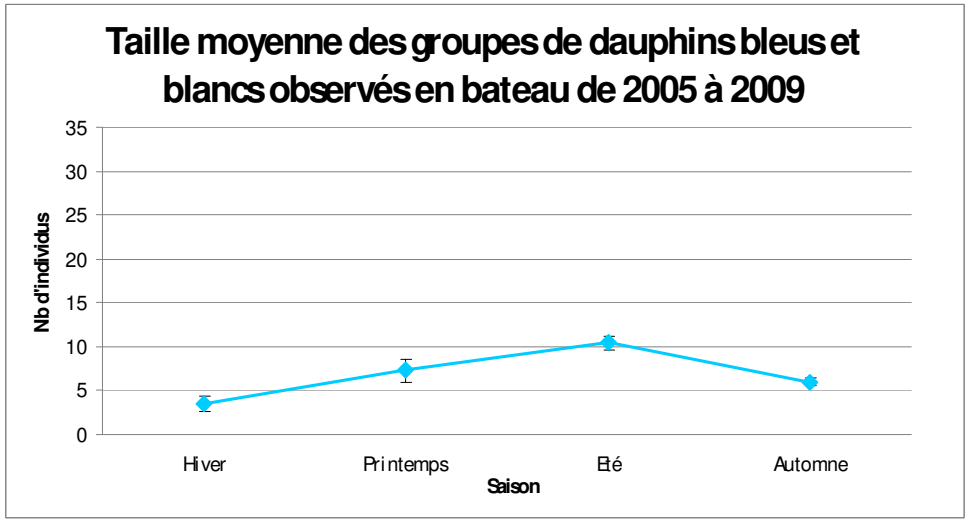


Figure 31. Evolution saisonnière de la taille moyenne des groupes de dauphins bleus et blancs rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

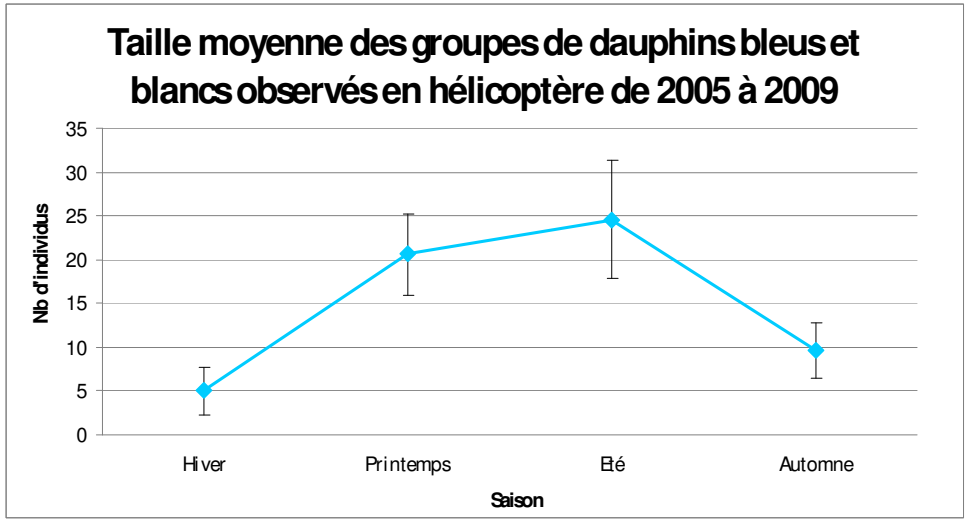


Figure 32. Evolution saisonnière de la taille moyenne des groupes de dauphins bleus et blancs rencontrés en hélicoptère de 2005 à 2009.

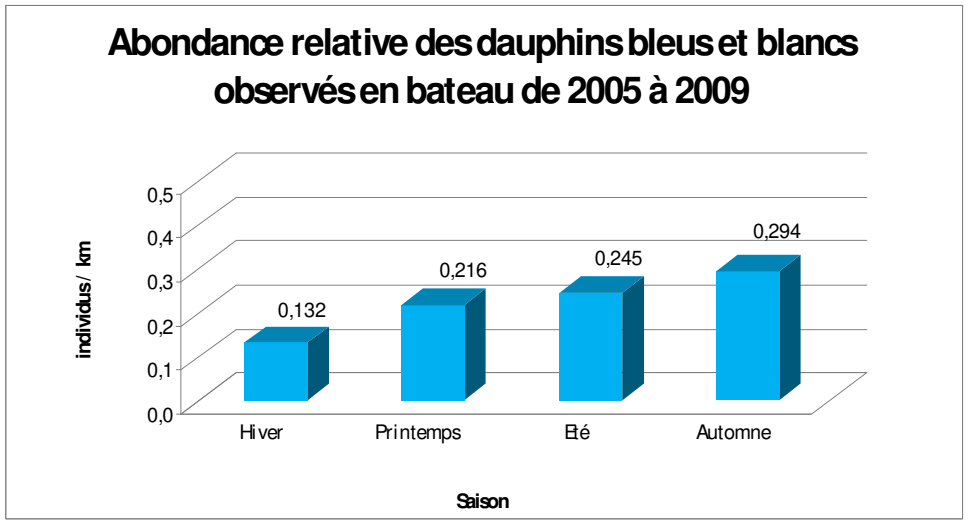


Figure 33. Evolution saisonnière de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des dauphins bleus et blancs rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

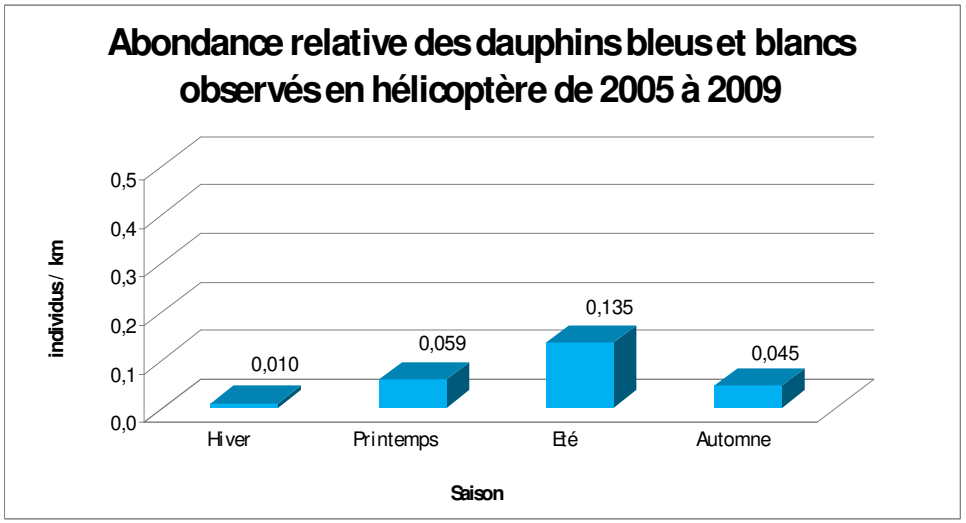


Figure 34. Evolution saisonnière de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des dauphins bleus et blancs rencontrés en hélicoptère de 2005 à 2009.

d) Variations mensuelles

L'analyse au niveau mensuel nous permet de préciser que le mois de juillet est celui pendant lequel les dauphins se rassemblent en plus grands groupes, et que mars semble également propice aux regroupements (figures 35 et 36). Par contre en hiver (décembre et février), les quelques animaux présents se structurent en toutes petites unités (3 à 5 individus). Les données collectées en bateau montrent des tailles de groupe relativement similaires (moyennes et écarts-types) tout au long de l'année, alors que l'on note des variations mensuelles importantes pour les tailles de groupes issues des données hélicoptères.

Les variations mensuelles d'abondances relatives des dauphins dans la zone montrent qu'une quantité non négligeable d'animaux exploite le secteur tout au long de l'année, notamment en avril, juin, juillet, septembre et octobre. Ces variations mensuelles sont significativement non différentes les unes des autres, sauf l'abondance relative du mois d'août versus celle de septembre en 2006, et celle de juin versus juillet et août en 2007 (données bateau, Dunn, $p < 0,05$).

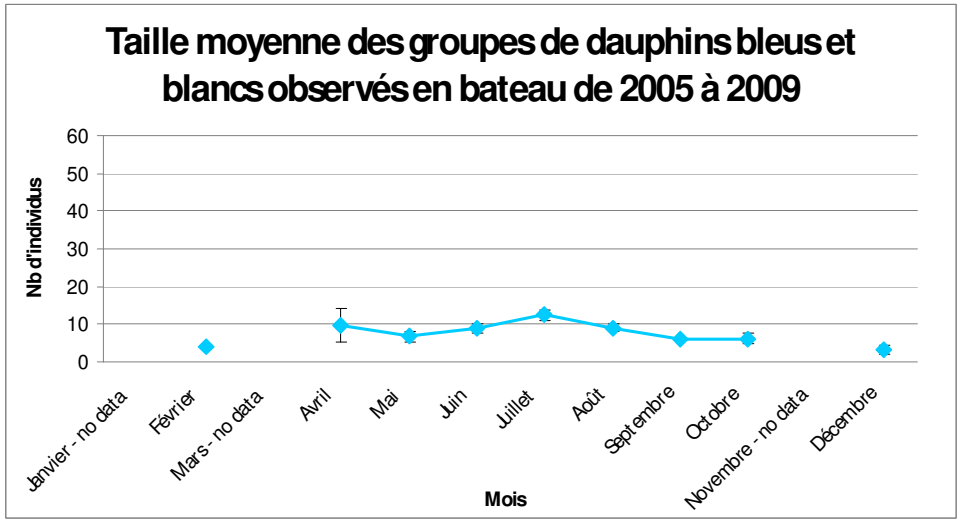


Figure 35. Evolution mensuelle de la taille moyenne des groupes de dauphins bleus et blancs rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

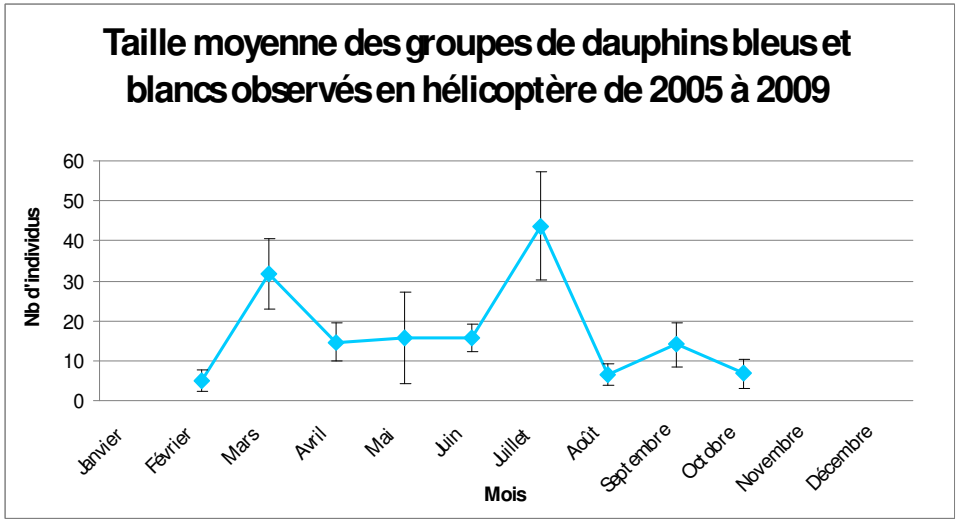


Figure 36. Evolution mensuelle de la taille moyenne des groupes de dauphins bleus et blancs rencontrés en hélicoptère de 2005 à 2009.

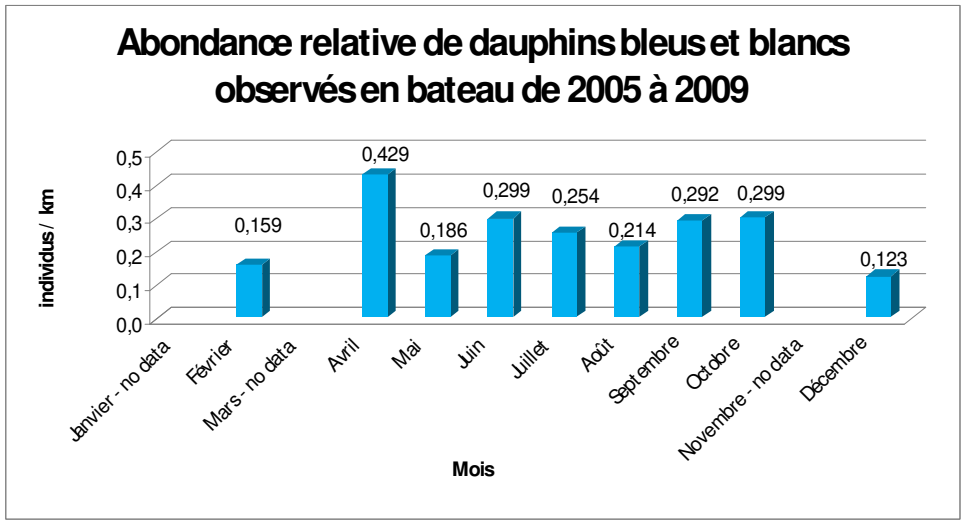


Figure 37. Evolution mensuelle de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des dauphins bleus et blancs rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

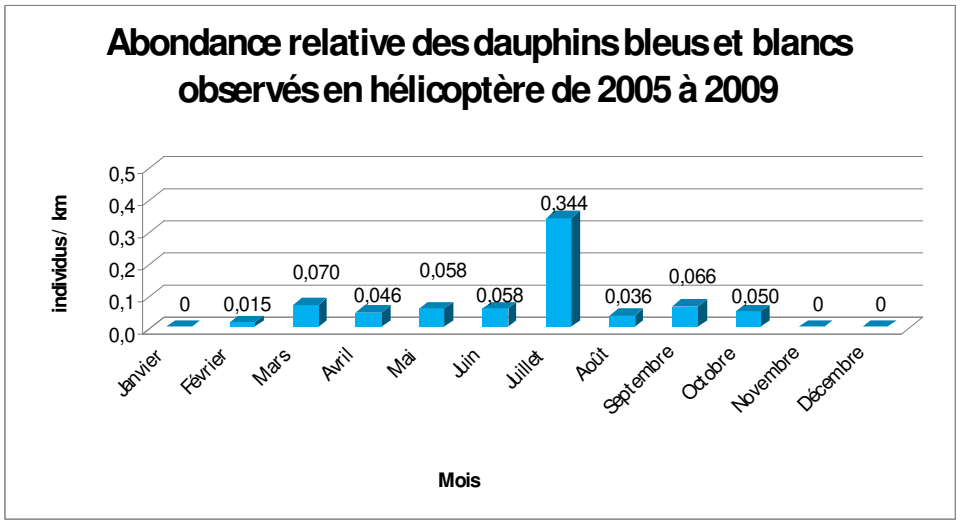


Figure 38. Evolution mensuelle de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des dauphins bleus et blancs rencontrés en hélicoptère de 2005 à 2009.

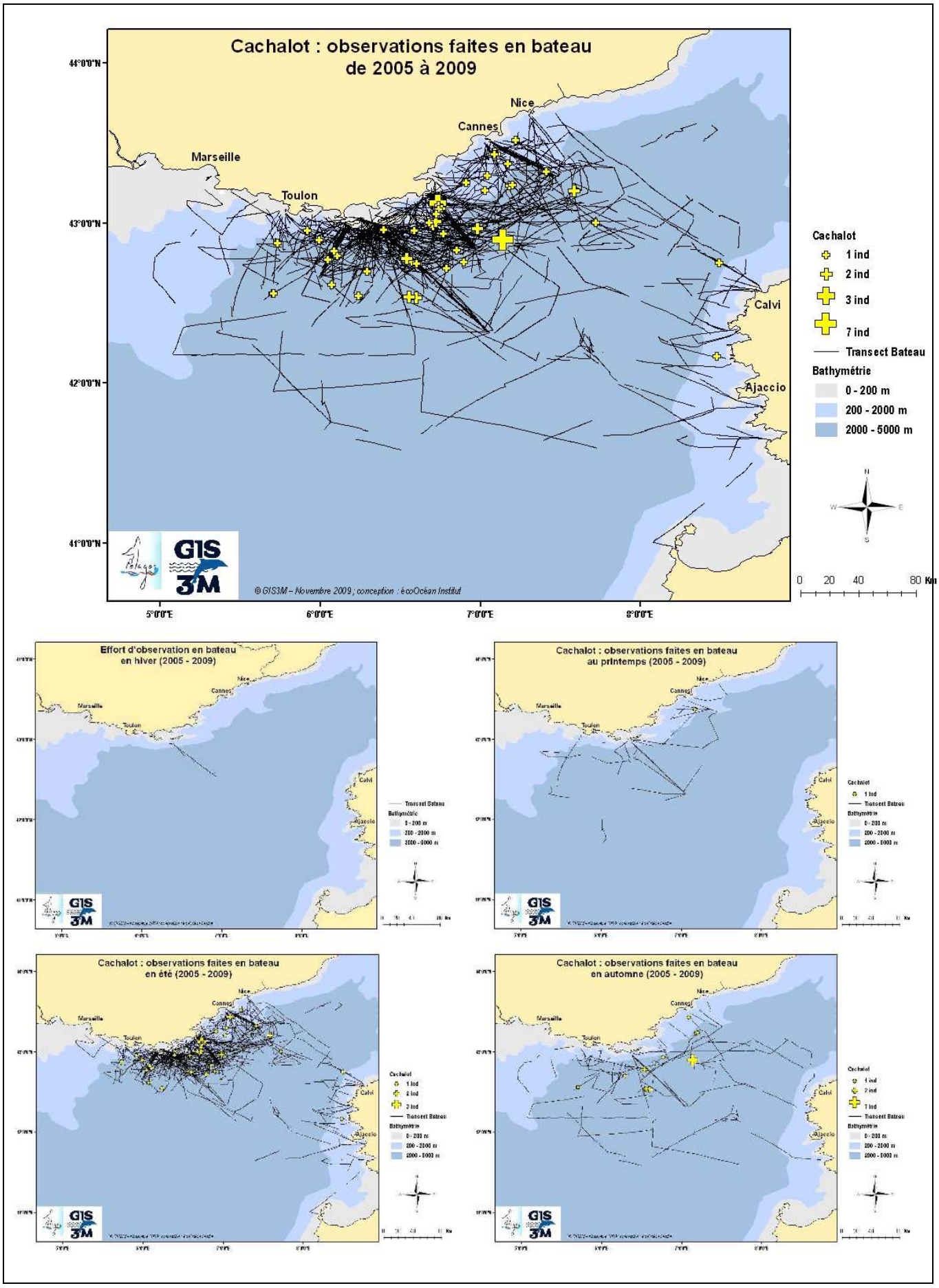
4. Cachalot

a) Distribution

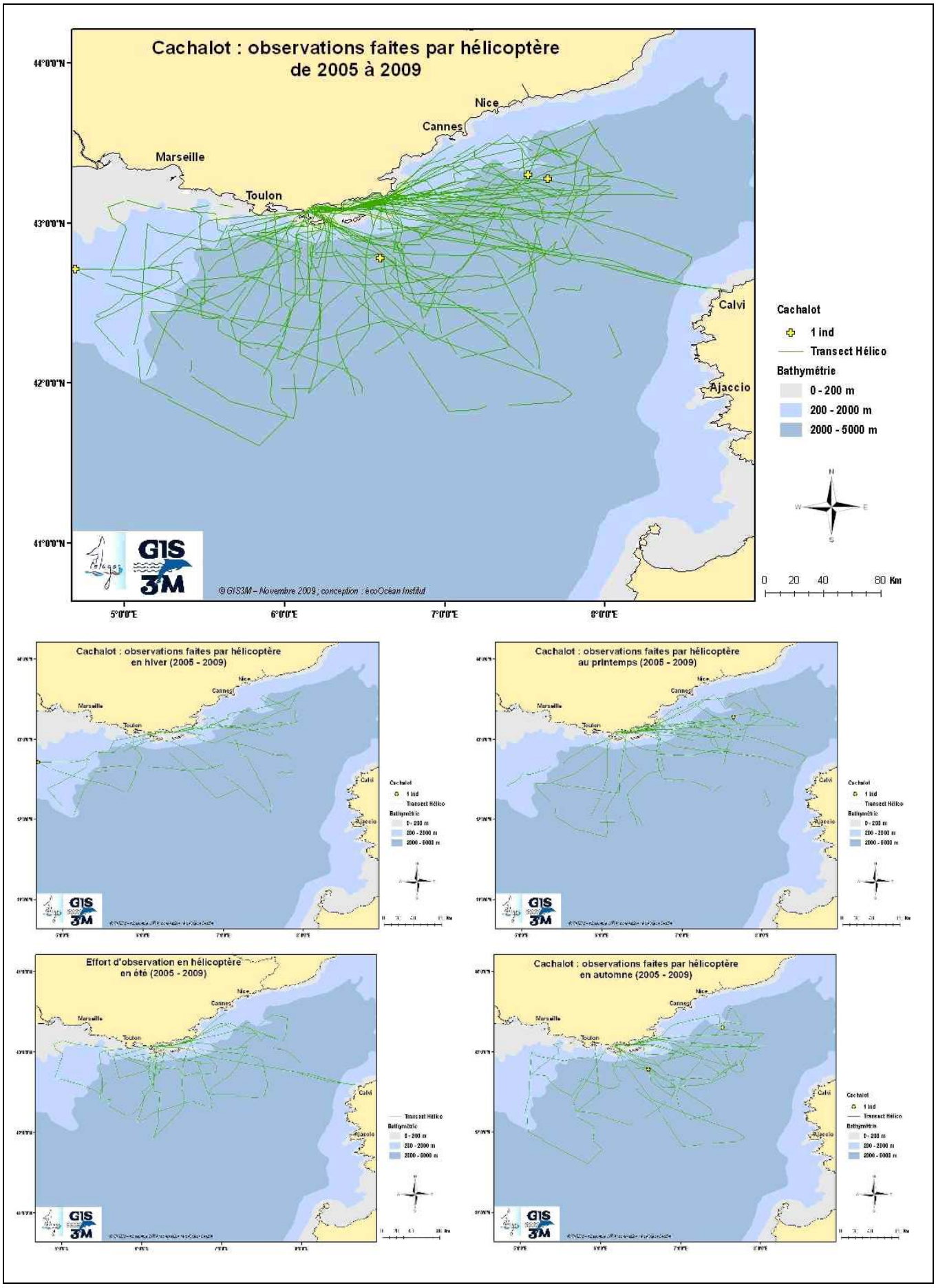
Globalement, les cachalots semblent affectionner le bas du talus continental, mais également la zone pélagique (cartes 11 et 12).

En hiver, le cachalot n'a été observé qu'une seule fois à l'extrême Ouest de la zone d'étude, sur le talus du Golfe du Lion (carte 12). Au printemps, cette espèce a été vue à deux reprises uniquement au large de la Côte d'Azur et ce, aussi bien en bateau qu'en hélicoptère. En été, les observations s'étalent sur l'ensemble du talus et au large, tant du côté continental que corse. En automne, les cachalots rencontrés se distribuaient principalement au large des côtes provençales sur des fonds de plus de 2000 m.

Enfin, il est intéressant de noter que certaines zones, comme le large de Cannes et des îles d'Hyères semblent exploitées tout au long de l'année par cette espèce.



Carte 11. Distributions globale et saisonnière de l'effort d'observation et des observations de cachalots faites en bateau entre 2005 et 2009.



Carte 12. Distributions globale et saisonnière de l'effort d'observation et des observations de cachalots faites en hélicoptère entre 2005 et 2009.

b) Variations annuelles

Dans notre zone d'étude, les cachalots rencontrés sont souvent solitaires, voire en petits groupes de deux individus (figures 39 et 40). Quelques exceptions ont cependant été notées en 2006 et 2008 où des groupes plus importants ont été observés : un groupe de 3 individus en 2006 et un de 7 individus en 2008. Contrairement aux observations faites en bateau, cette espèce n'a pu être observée en hélicoptère qu'en 2007, 2008 et 2009 et avec un seul individu à chaque fois.

Quel que soit le moyen de prospection utilisé, on remarque qu'au fil des années les abondances relatives de cachalots varient très faiblement, avec un maximum relatif en 2008 et un minimum en 2005 et 2007 pour les données collectées en bateau (figure 41). Cependant, aucune différence significative n'a pu être mise en évidence entre les diverses années sur ce jeu de données (Kruskall-Wallis, $p > 0,05$; Mann-Whitney, $p > 0,05$).

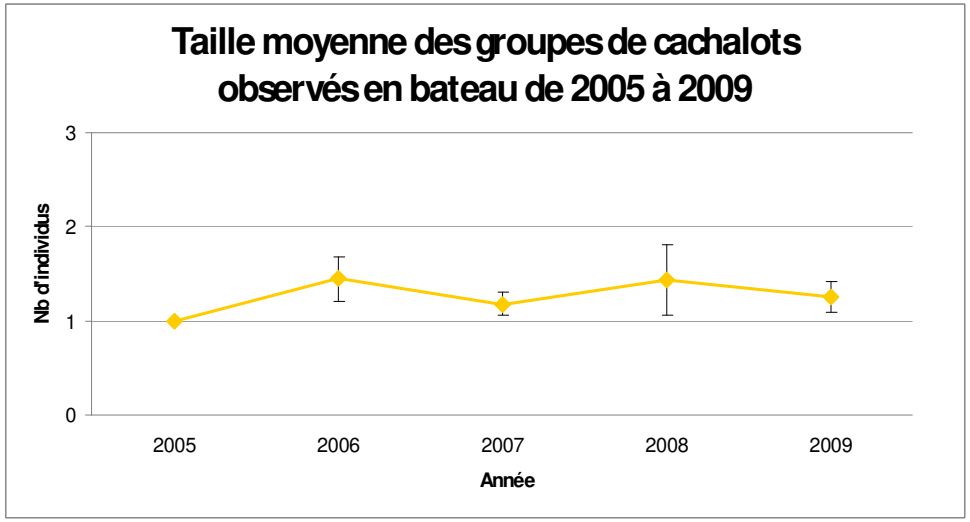


Figure 39. Evolution de la taille moyenne des groupes de cachalots rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

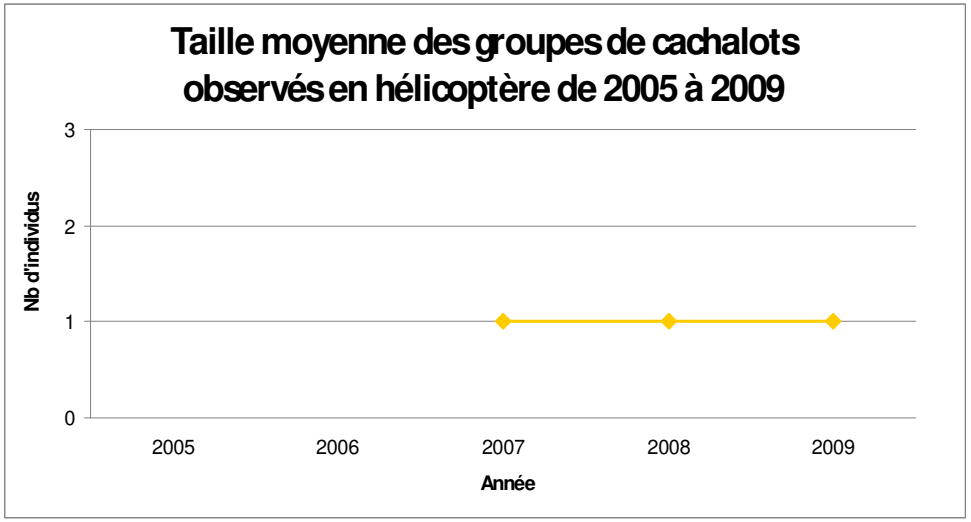


Figure 40. Evolution de la taille moyenne des groupes des cachalots rencontrés en hélicoptère de 2005 à 2009.

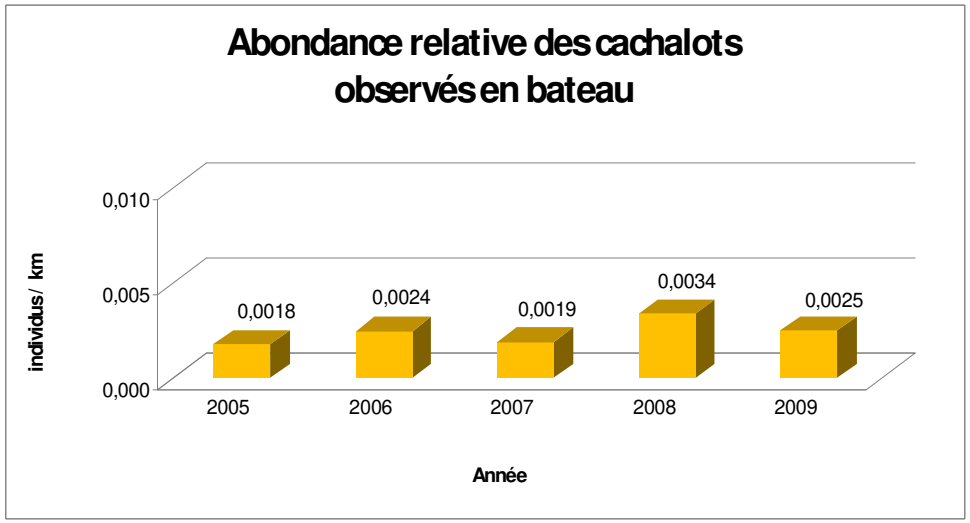


Figure 41. Evolution de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des cachalots rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

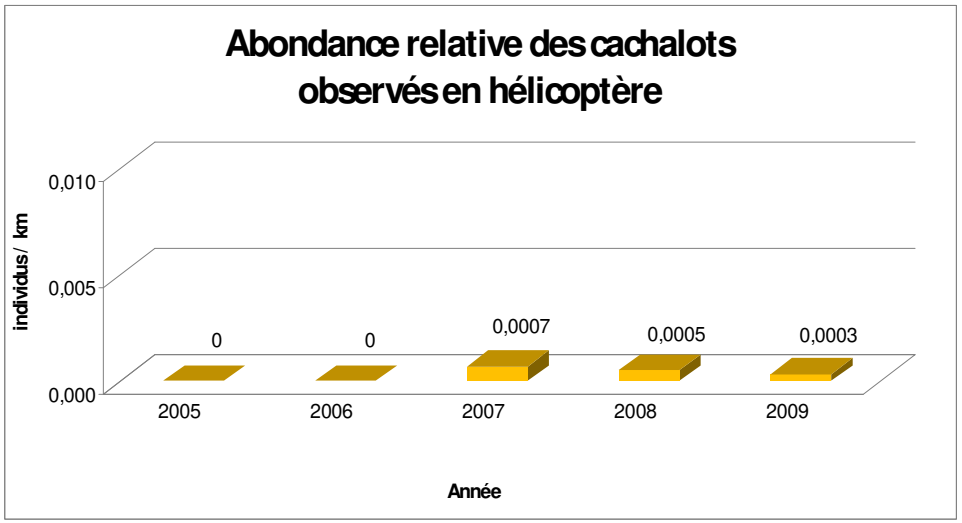


Figure 42. Evolution de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des cachalots rencontrés en hélicoptère de 2005 à 2009.

c) Variations saisonnières

Si l'espèce est présente tout au long de l'année dans cette zone, elle semble cependant être de plus en plus fréquente de l'hiver (minimum) à l'automne : saison pendant laquelle les tailles de groupes sont les plus élevées (près de 2 individus par groupe) et les abondances relatives atteignent un maximum (0,005 ind.km^{-1} pour les données bateau et 0,0005 ind.km^{-1} pour les données hélicoptère) (figures 43 à 46).

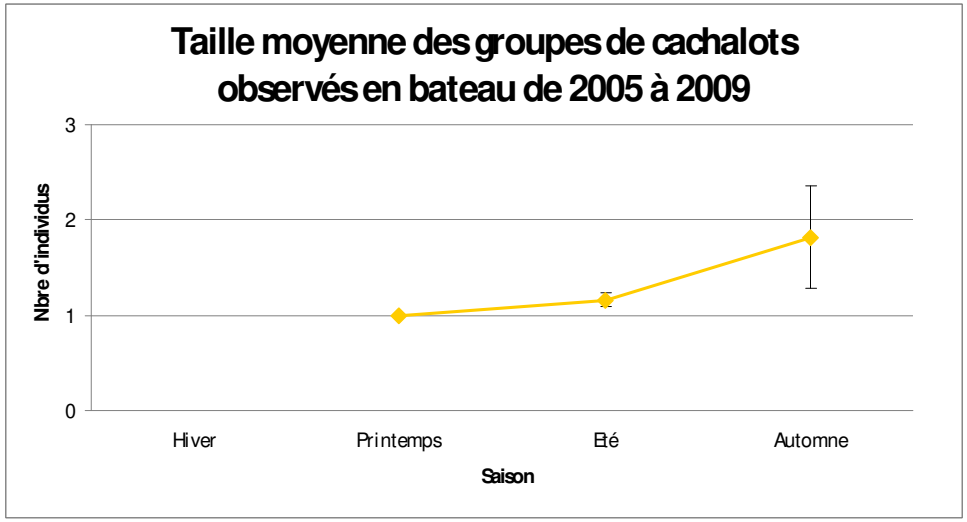


Figure 43. Evolution saisonnière de la taille moyenne des groupes de cachalots rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

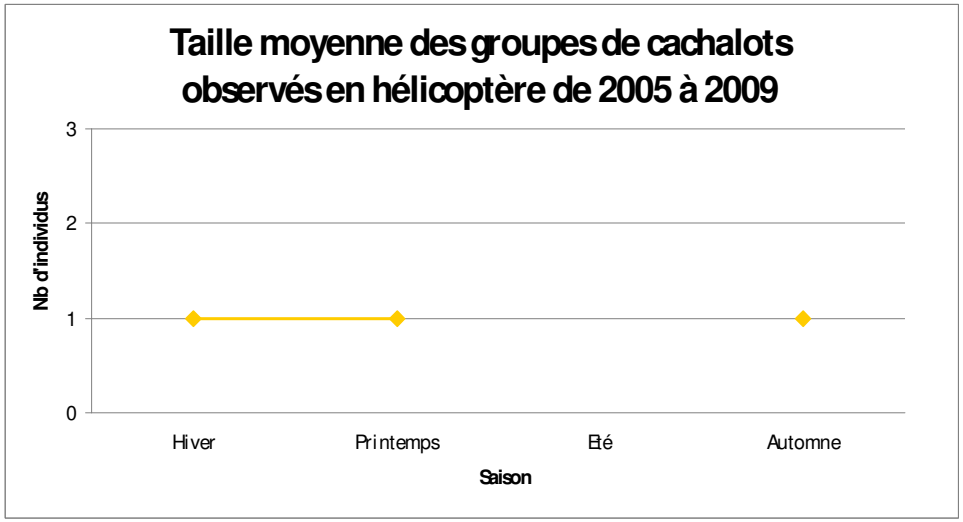


Figure 44. Evolution saisonnière de la taille moyenne des groupes de cachalots rencontrés en hélicoptère de 2005 à 2009.

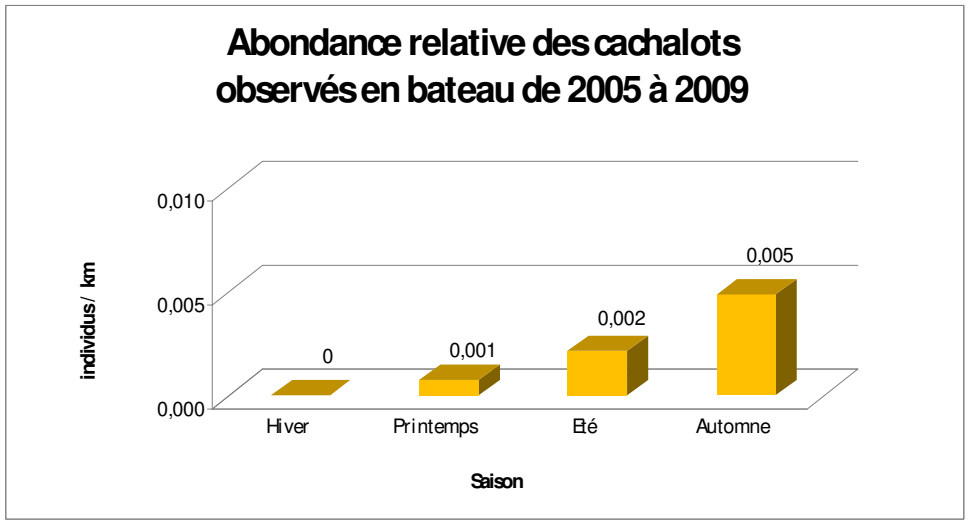


Figure 45. Evolution saisonnière de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des cachalots rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

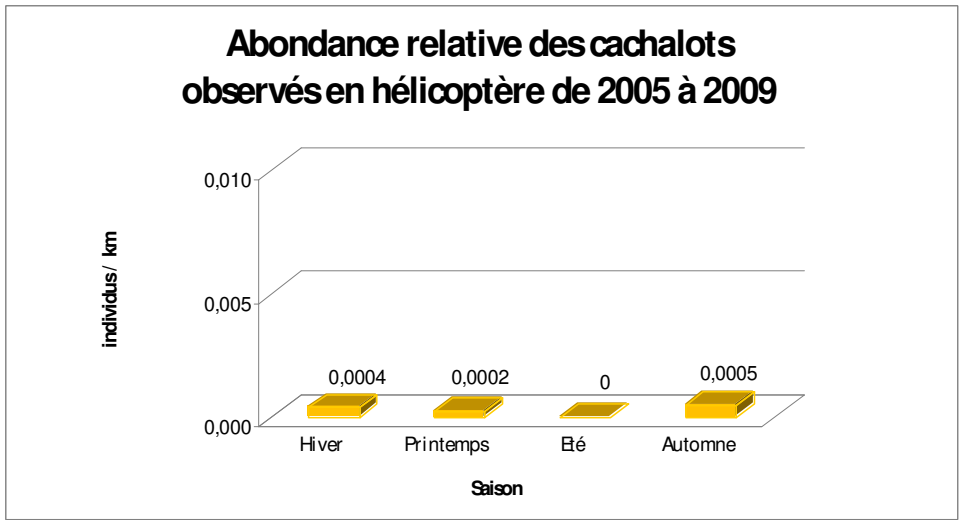


Figure 46. Evolution saisonnière de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des cachalots rencontrés en hélicoptère de 2005 à 2009.

d) Variations mensuelles

Comme précédemment on observe une augmentation progressive de la fréquentation de la zone par les cachalots sur le jeu de données bateau (figures 47 et 49). Cette augmentation s'effectue à partir de mai (1 individu par groupe et 0,001 ind.km^{-1}) et jusqu'à un maximum atteint en octobre (7 individus par groupe et 0,008 ind.km^{-1}).

Par ailleurs, il est important d'avoir à l'esprit que les abondances relatives nulles observées les autres mois (en bateau ou en hélicoptère) ne sont peut-être pas le reflet exact de la réalité. En effet, cela témoigne certainement plus de la difficulté d'observer cette espèce à la surface de la mer (elle qui passe en moyenne 50 minutes sous l'eau pour 12 minutes en surface), que d'une absence réelle d'animaux dans la zone à ces différentes périodes (figures 49 et 50).

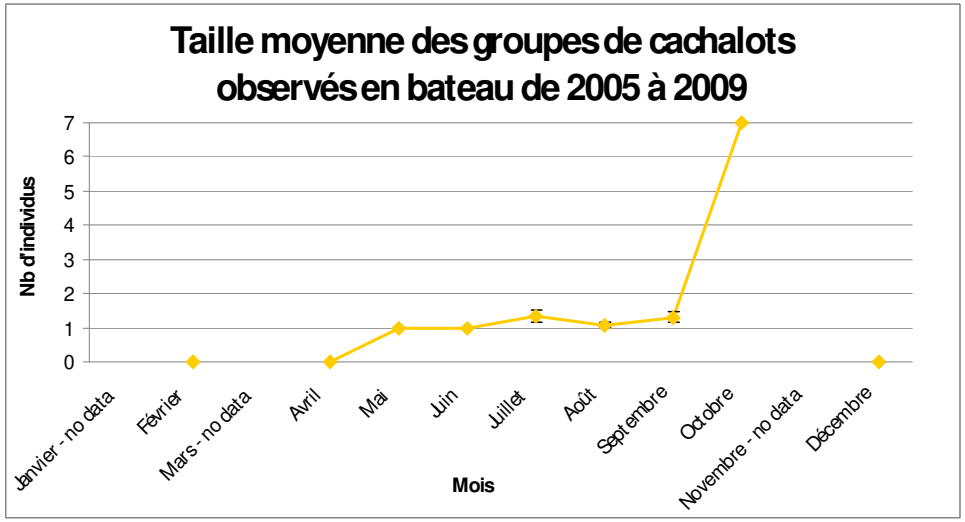


Figure 47. Evolution mensuelle de la taille moyenne des groupes de cachalots rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

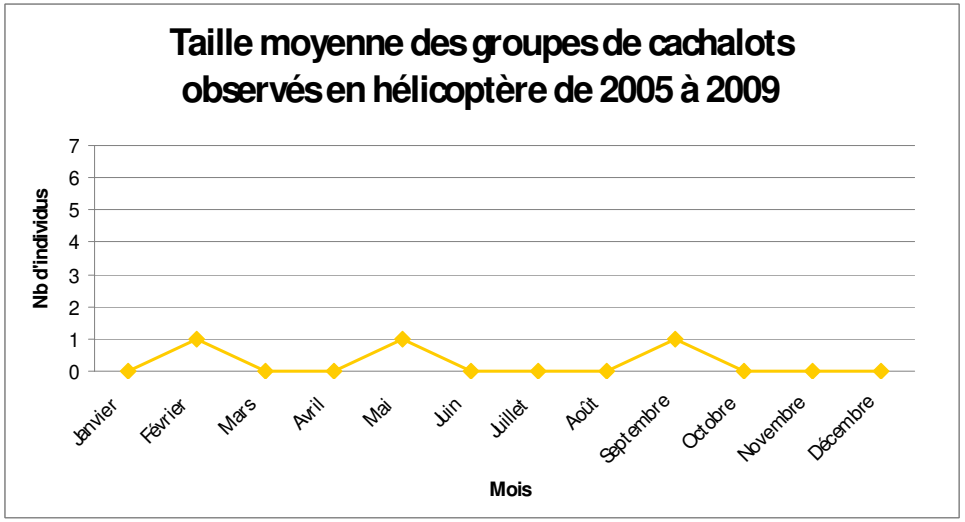


Figure 48. Evolution mensuelle de la taille moyenne des groupes de cachalots rencontrés en hélicoptère de 2005 à 2009.

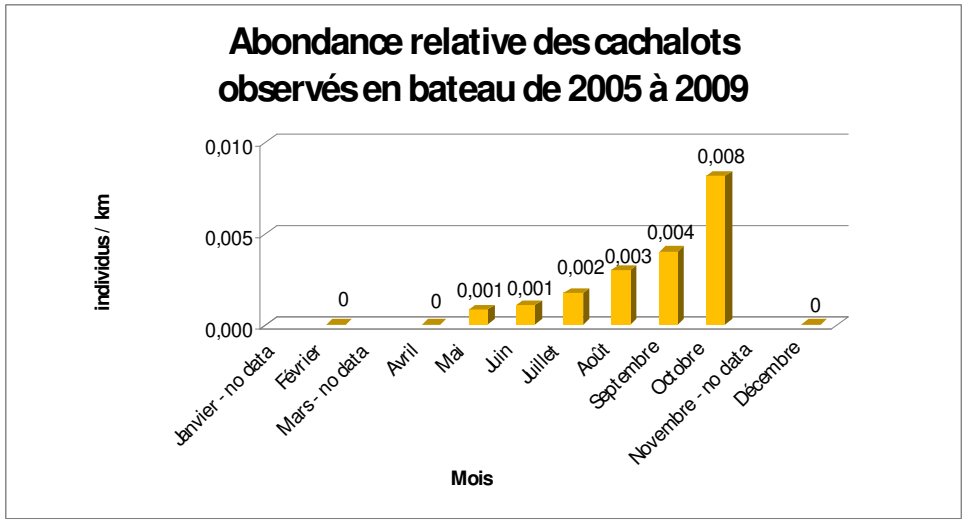


Figure 49. Evolution mensuelle de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des cachalots rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

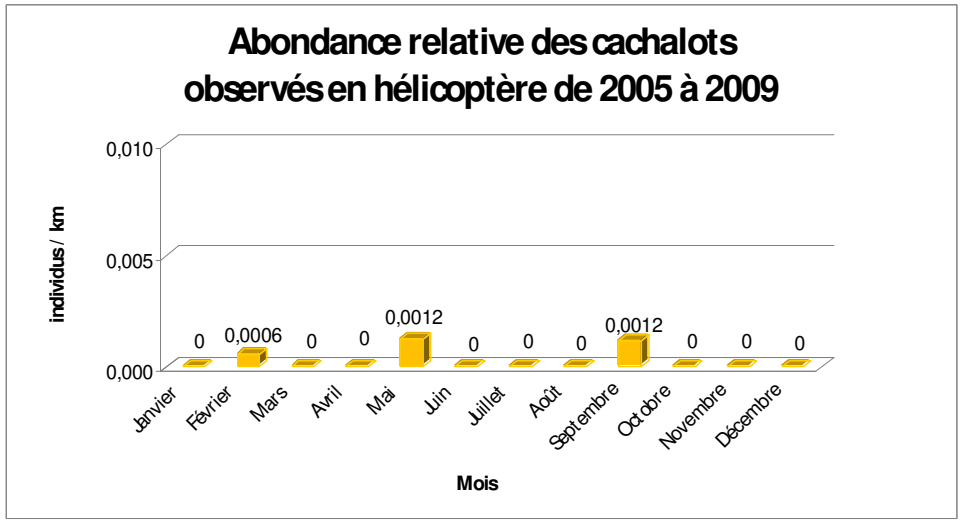
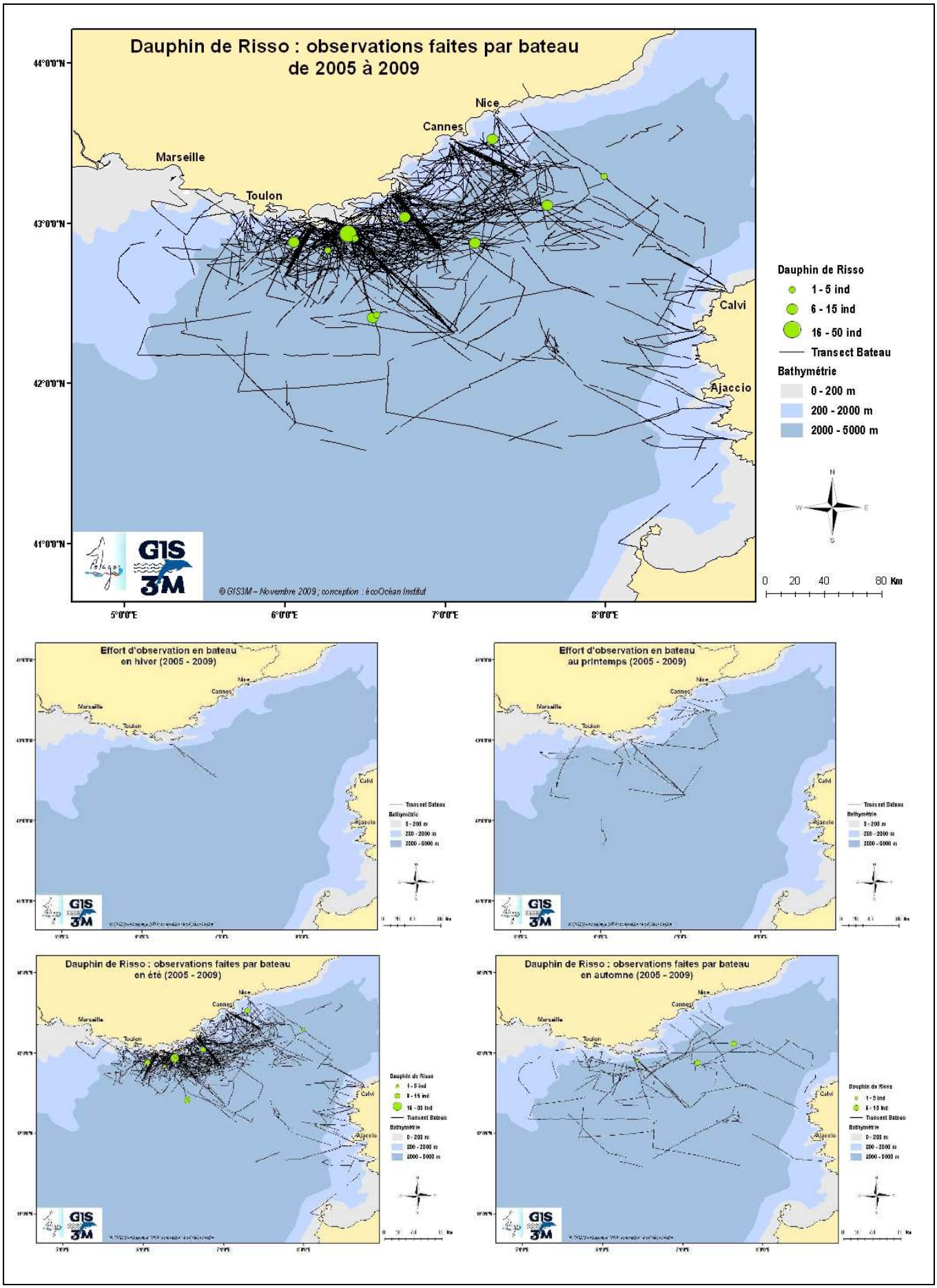


Figure 50. Evolution mensuelle de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des cachalots rencontrés en hélicoptère de 2005 à 2009.

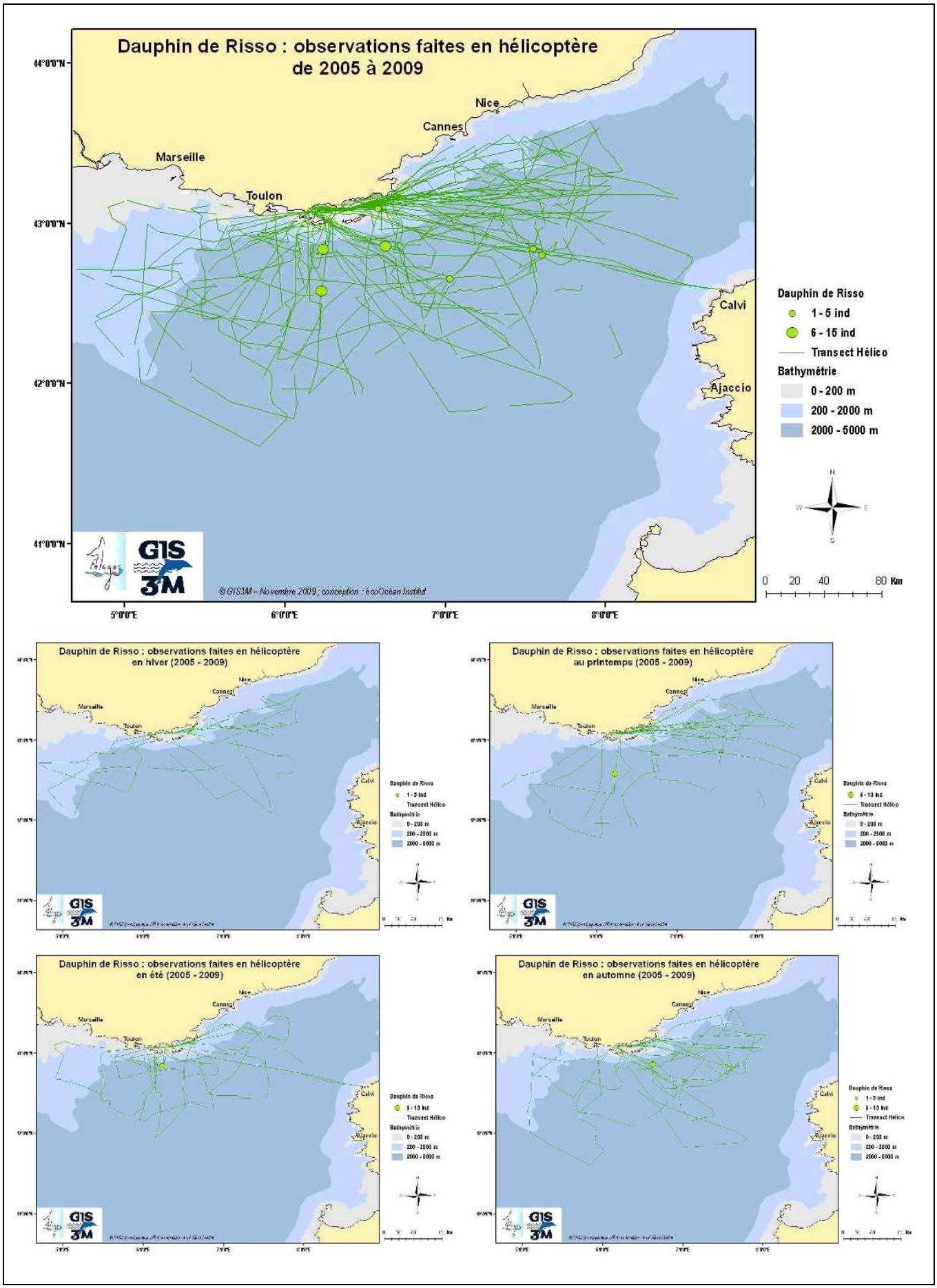
5. Dauphin de Risso

a) Distribution

Les cartes 13 et 14 nous montrent que globalement le dauphin de Risso fréquente à la fois le talus continental et le domaine pélagique situé entre Nice et Marseille. Toutefois, il semblerait que les dauphins de Risso exploitent différents domaines en fonction de la saison. Ainsi au cours de l'été, la grande majorité des animaux se localise sur le talus continental, alors que ces animaux se distribuent plus au large en automne. De même, la seule observation de l'espèce faite en hiver l'a été sur le haut du talus tandis que celle réalisée au printemps l'a été dans le domaine pélagique. Enfin, il est intéressant de noter que le secteur situé autour ou au large des îles d'Hyères est une zone importante pour ces animaux car elle est régulièrement fréquentée en toutes saisons par cette espèce.



Carte 13. Distributions globale et saisonnière de l'effort d'observation et des observations de dauphins de Risso faites en bateau entre 2005 et 2009.



Carte 14. Distributions globale et saisonnière de l'effort d'observation et des observations de dauphins de Risso faites en hélicoptère entre 2005 et 2009.

b) Variations annuelles

Si l'on cumule les deux jeux de données, on note que le dauphin de Risso a été observé dans la zone toutes les années entre 2005 et 2009 (figures 51 à 54). Cependant, il apparaît clairement (figure 51 et 52) que la taille moyenne des groupes de ces animaux peut varier d'une année à l'autre. Les données collectées en bateau montrent ainsi que 2007 et 2009 ont été des années où la taille des groupes était faible (2 à 4 individus par groupe respectivement), alors que 2006 et 2008 semblent avoir été des années plus favorables aux grands groupes (10 à 13 individus par groupe respectivement). En hélicoptère, en revanche, les dauphins de Risso n'ont pu être observés que deux années (2006 et 2007) et dans des groupes ayant une taille moyenne similaire (5 à 6 individus par groupe).

Les abondances relatives des dauphins de Risso dans notre zone d'étude semblent varier d'une année sur l'autre (figures 53 et 54). Ainsi, le jeu de données bateau montre des abondances très similaires comprises entre 0,001 et 0,002 ind.km^{-1}, alors que 2008 s'est avérée une année plus riche en dauphins de Risso avec un maximum de 0,011 ind.km^{-1}. Enfin, 2009 est une année où l'espèce s'est a priori faite plus rare dans la zone, avec une abondance minimale de 0,0002 ind.km^{-1}. Ces différences annuelles d'abondances relatives n'ont cependant pas pu être confirmées car aucune différence significative n'a pu être mise en évidence par les tests statistiques de Kruskall-Wallis et Mann-Whithney.

Pour les données hélicoptère, c'est en 2007 que les animaux ont été le plus souvent rencontrés.

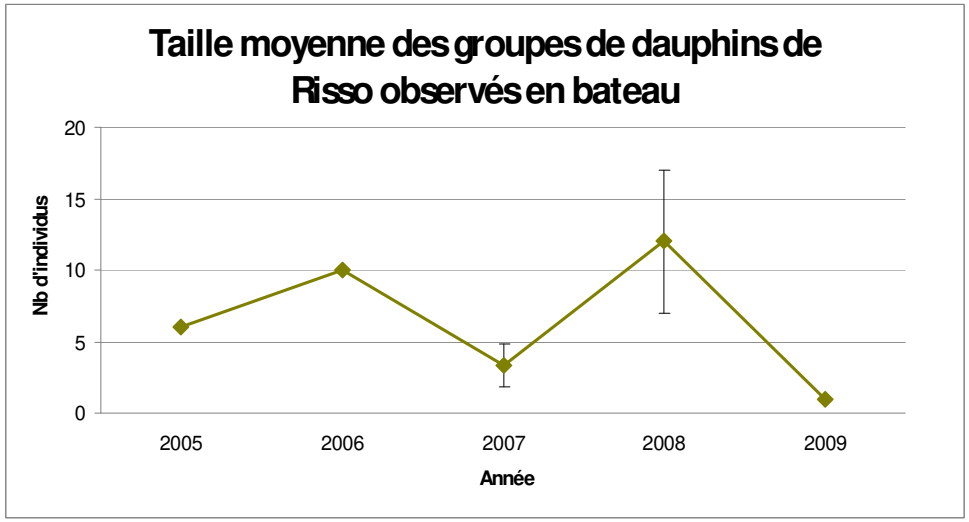


Figure 51. Evolution de la taille moyenne des groupes des dauphins de Risso rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

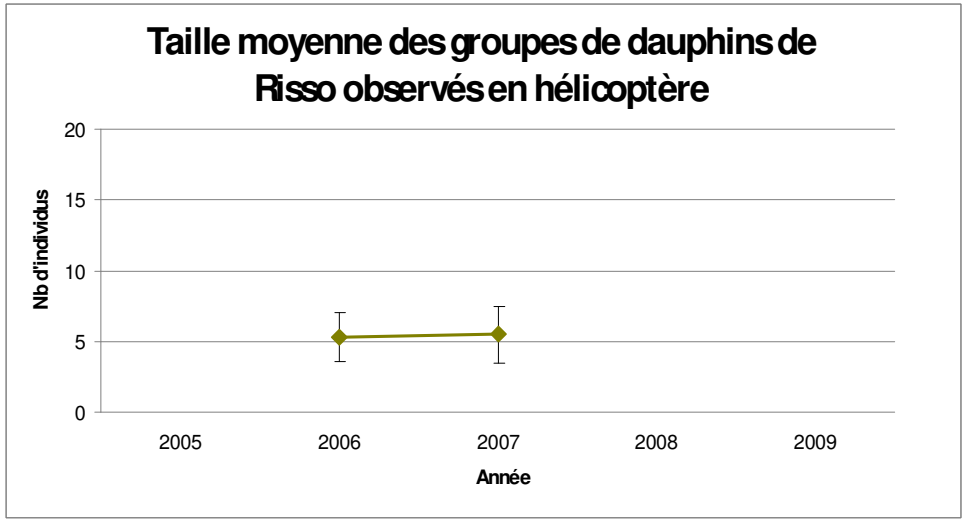


Figure 52. Evolution de la taille moyenne des groupes des dauphins de Risso rencontrés en hélicoptère de 2005 à 2009.

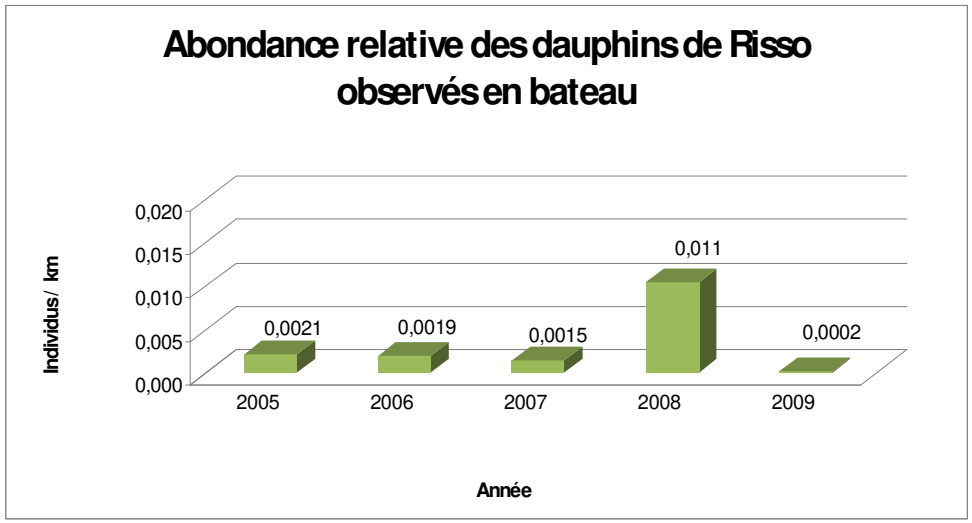


Figure 53. Evolution de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des dauphins de Risso rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

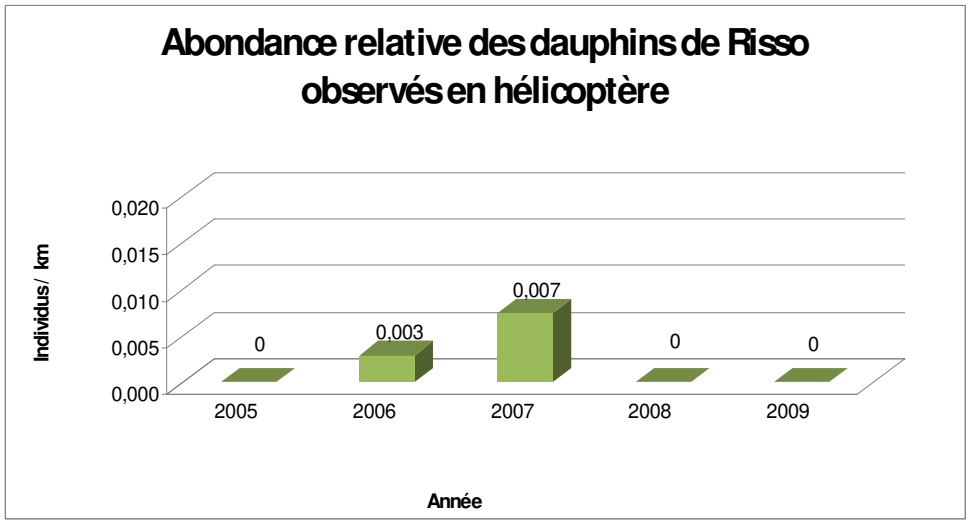


Figure 54. Evolution de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des dauphins de Risso rencontrés en hélicoptère de 2005 à 2009.

c) Variations saisonnières

D'après les données collectées en hélicoptère, le dauphin de Risso est présent tout au long de l'année, dans des abondances relatives à peu près constantes de l'hiver à l'été (0,0014 à 0,0017 ind.km^{-1}). En revanche ces animaux semblent plus fréquents en automne, constatation faite à partir des deux jeux de données, et ce dans des valeurs très similaires (0,005 ind.km^{-1} en hélicoptère et 0,006 ind.km^{-1} en bateau) (figures 57 et 58).

Durant toutes ces saisons, ces dauphins semblent se regrouper en unités comprenant un nombre d'individus moyen assez constant, soit environ 8 individus par groupe pour les données bateau et 5 à 6 individus par groupe pour les données hélicoptère.

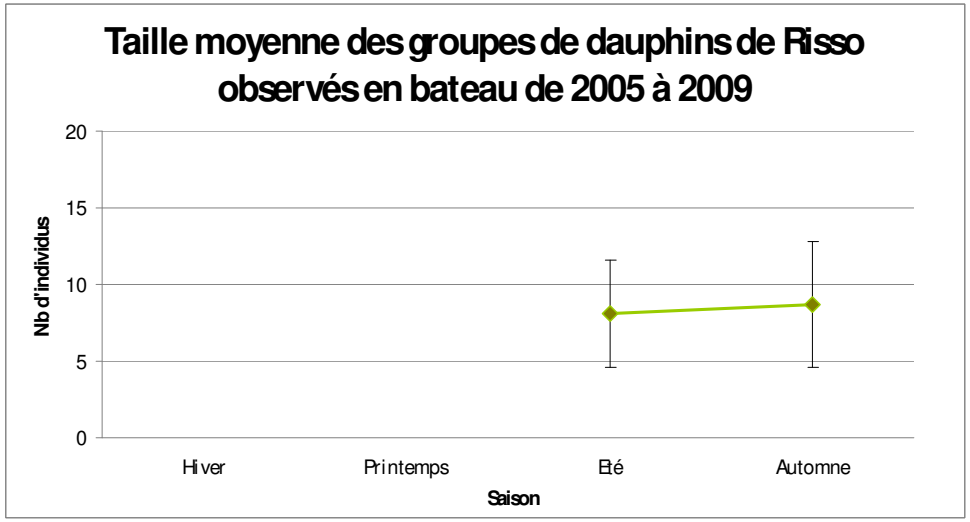


Figure 55. Evolution saisonnière de la taille moyenne des groupes de dauphins de Risso rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

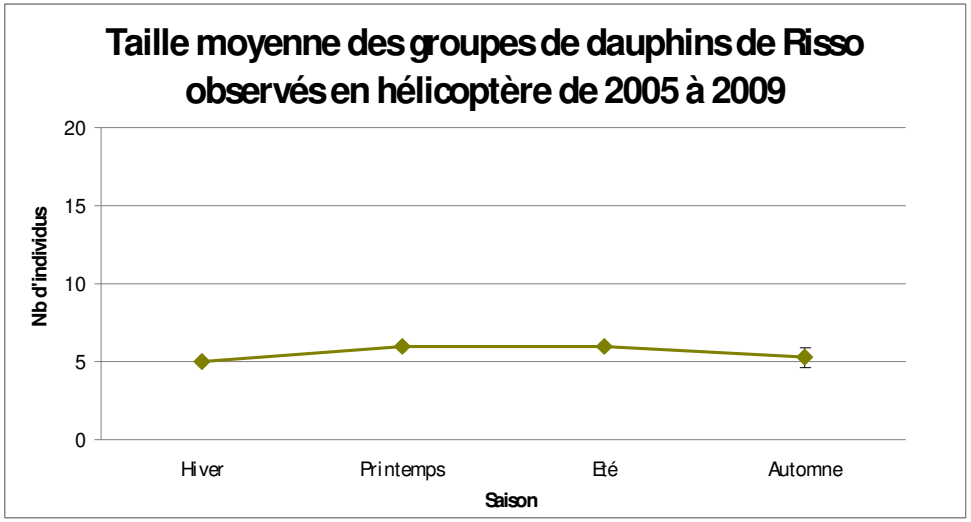


Figure 56. Evolution saisonnière de la taille moyenne des groupes de dauphins de Risso rencontrés en hélicoptère de 2005 à 2009.

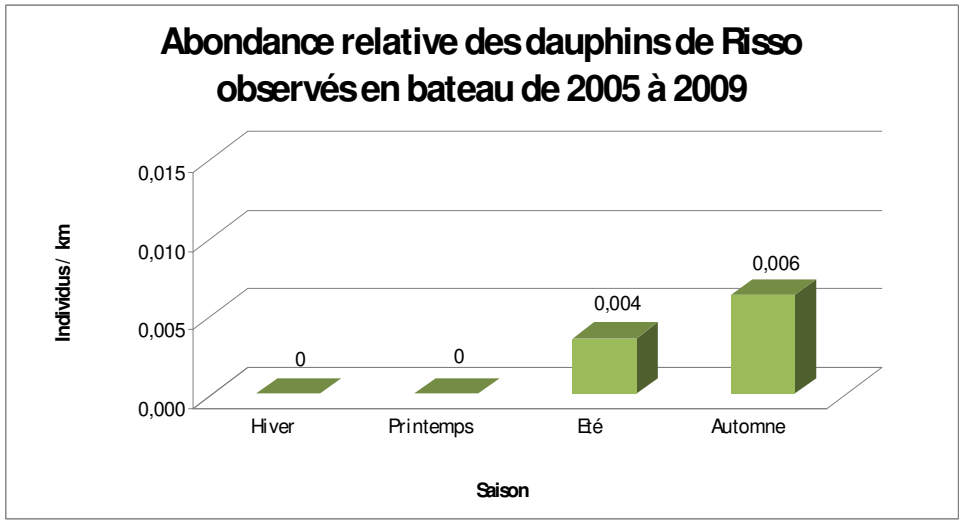


Figure 57. Evolution saisonnière de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des Dauphins de Risso rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

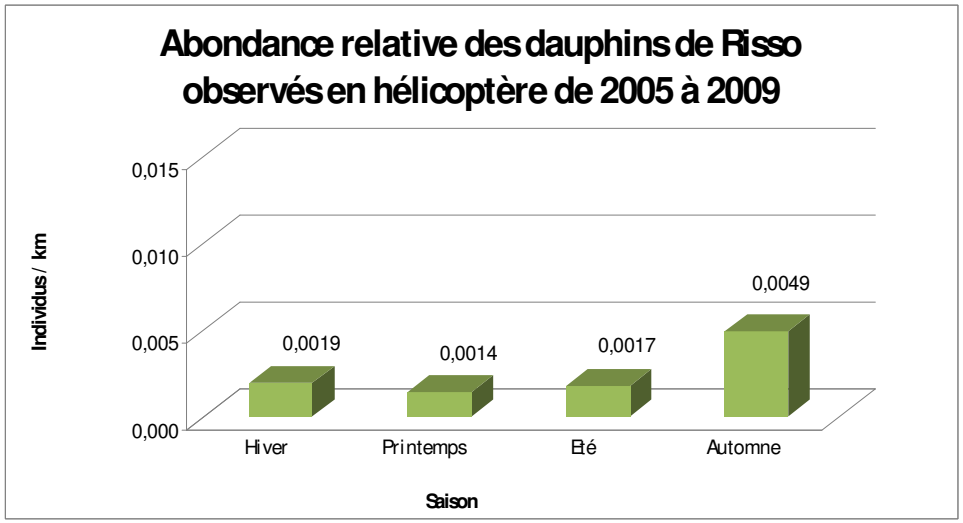


Figure 58. Evolution saisonnière de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des dauphins de Risso rencontrés en hélicoptère de 2005 à 2009.

e) Variations mensuelles

Rencontrés à partir de février et jusqu'en octobre, les dauphins de Risso semblent avoir la même fréquentation et quasiment la même taille de groupe tous les mois où ils ont été observés en hélicoptère (figures 60 et 62). A l'opposé, les résultats obtenus en bateau montrent plus de variations. En effet, les tailles de groupes vont du simple au triple entre juillet et octobre (respectivement 5 et 15 individus par groupe) (figures 59 et 61). De même, on observe que les abondances relatives entre juin et octobre fluctuent de façon importante (figure 61). Cependant, aucune différence statistique n'a pu être mise en évidence entre les différents mois de chaque année.

Enfin, quel que soit le jeu de données, le mois d'octobre apparaît comme le mois où cette espèce est la plus présente dans la zone, enregistrant ainsi les abondances relatives maximales pour cette espèce aussi bien en hélicoptère qu'en bateau.

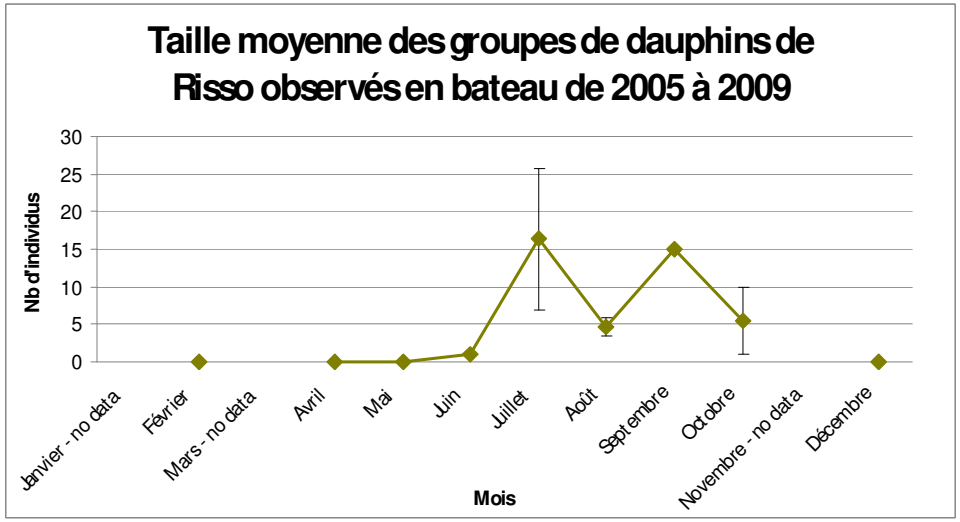


Figure 59. Evolution mensuelle de la taille moyenne des groupes de dauphins de Risso rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

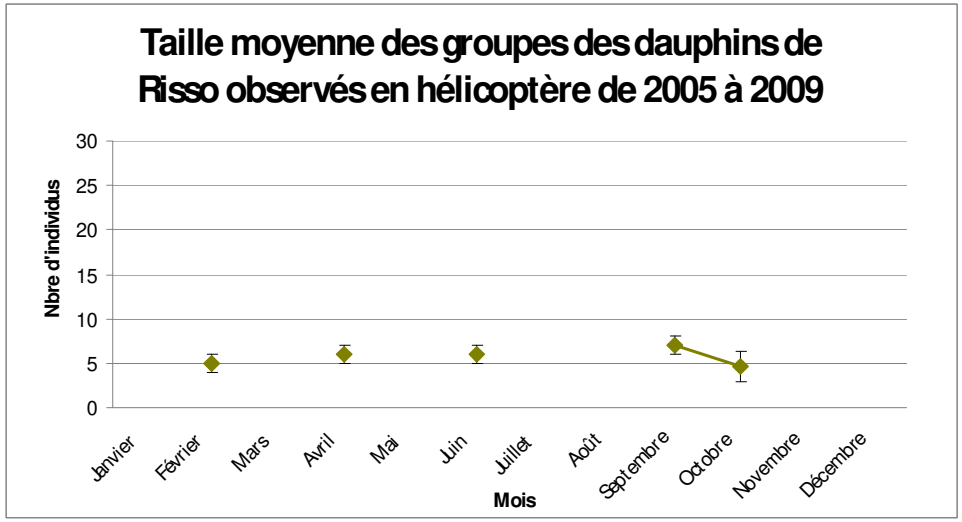


Figure 60. Evolution mensuelle de la taille moyenne des groupes de dauphins de Risso rencontrés en hélicoptère de 2005 à 2009.

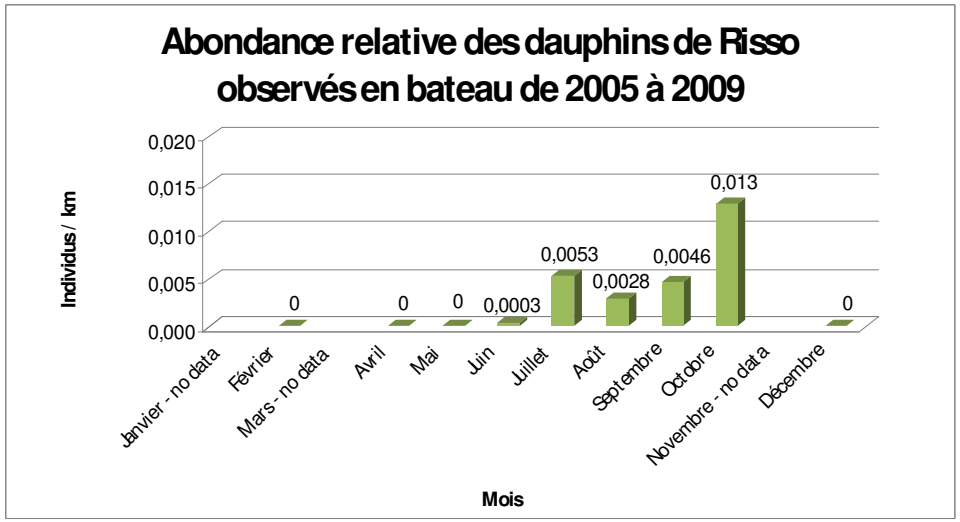


Figure 61. Evolution mensuelle de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des dauphins de Risso rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

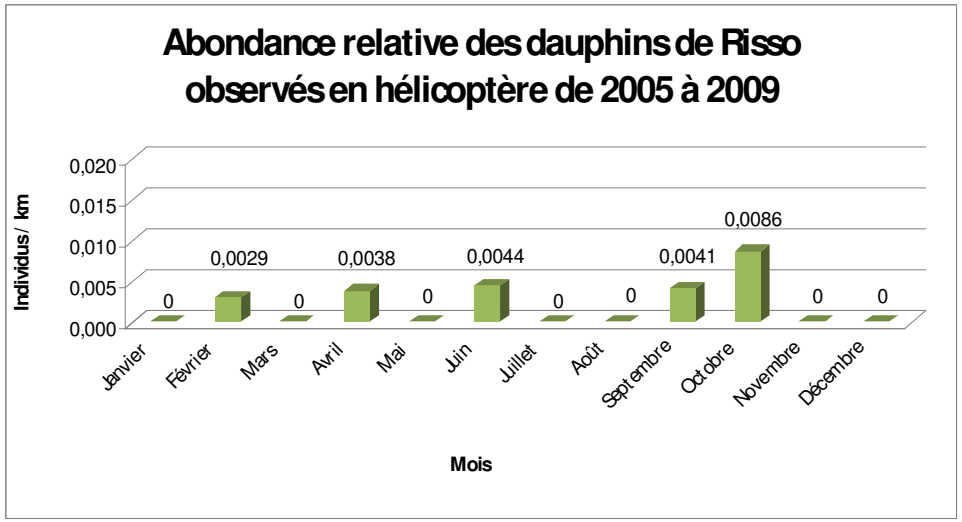


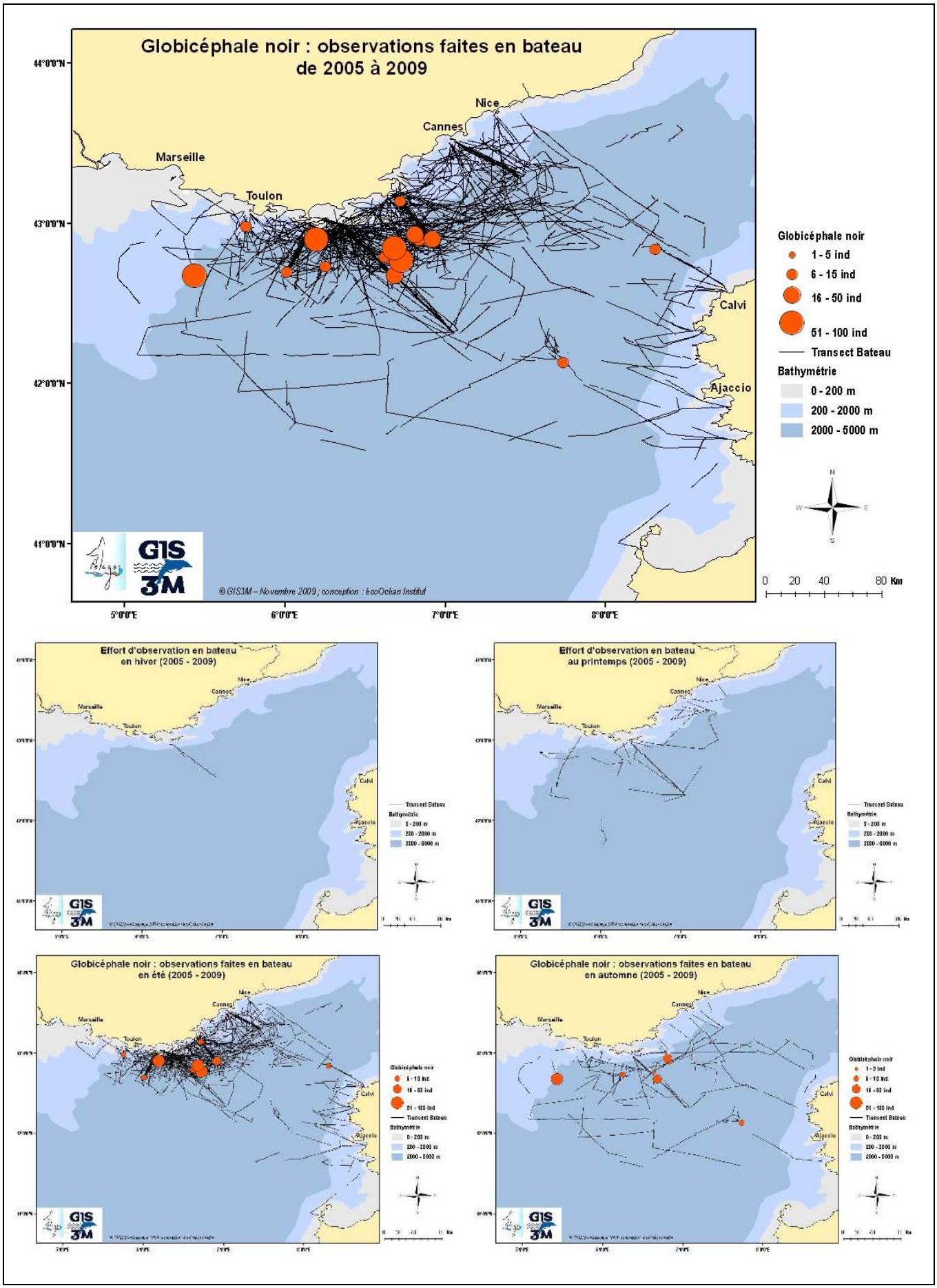
Figure 62. Evolution mensuelle de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des dauphins de Risso rencontrés en hélicoptère de 2005 à 2009.

6. Globicéphale

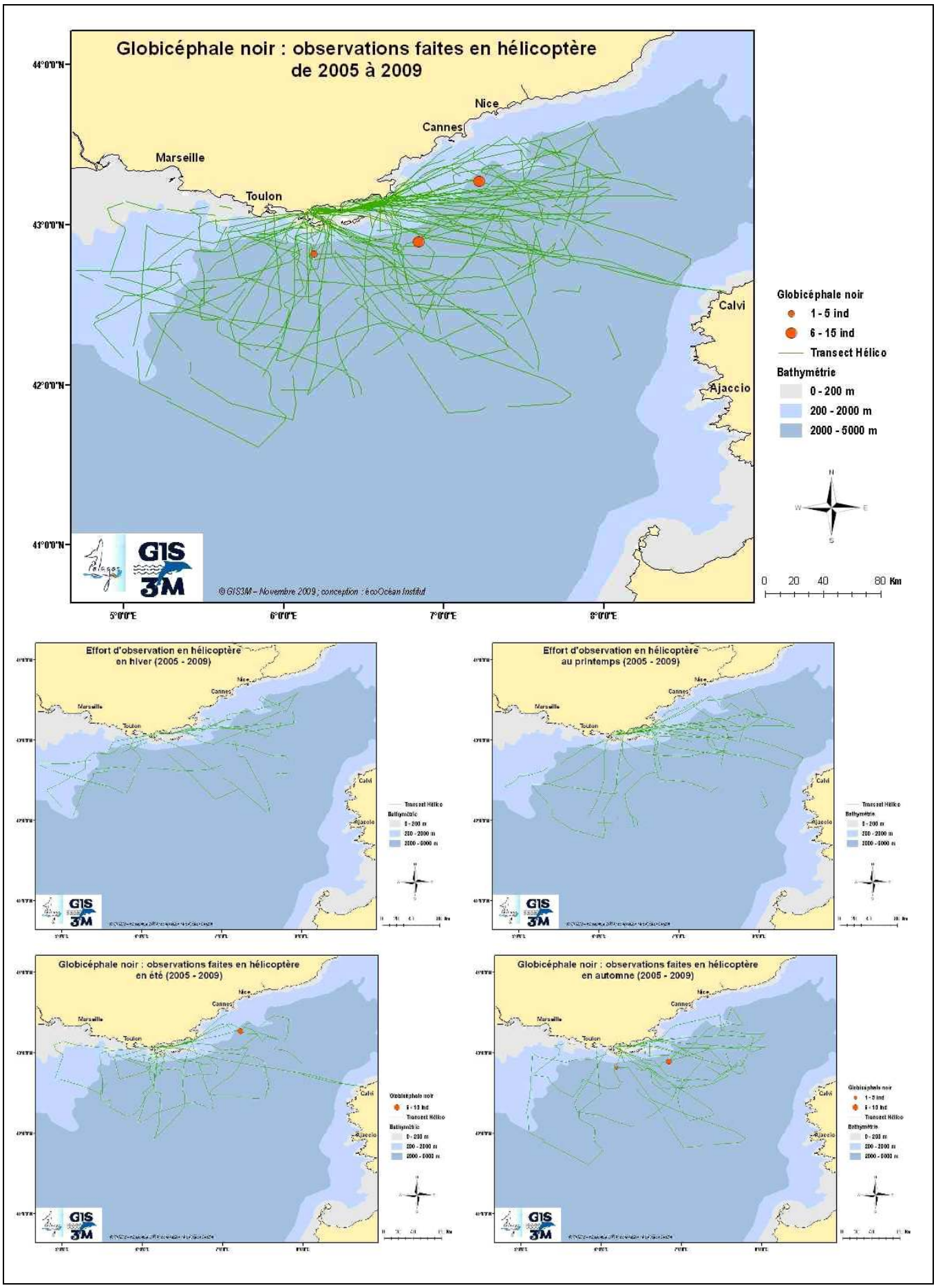
a) Distribution

Le globicéphale noir a été rencontré, durant nos prospections, essentiellement dans le domaine pélagique au-delà des fonds de 2000 m et en particulier au large de la marge provençale (cartes 15 et 16).

Cette espèce se montre a priori saisonnière, car les groupes de globicéphales n'ont été observés dans la zone qu'en été et en automne quel que soit le moyen de prospection utilisé. Leur localisation pour l'ensemble de la période tendrait à démontrer une préférence géographique pour un secteur restreint proche de la marge continentale, entre Toulon et Cannes, avec une affection particulière pour une zone située au sud-est des îles d'Hyères. Enfin, le large de la zone liguro-corse semble aussi fréquenté en été et en automne par quelques individus.



Carte 15. Distributions globale et saisonnière de l'effort d'observation et des observations de globicéphales noirs faites en bateau entre 2005 et 2009.



Carte 16. Distributions globale et saisonnière de l'effort d'observation et des observations de globicéphales noirs faites en hélicoptère entre 2005 et 2009.

b) Variations annuelles

Les figures 63 à 66 mettent en évidence que, si le globicéphale noir est présent chaque année dans la zone étudiée, la taille de ses groupes et son abondance relative peuvent être variables d'une année sur l'autre. Animal fortement grégaire, les globicéphales peuvent se regrouper en grands groupes comme en 2006 et 2009 (au moins 40 individus par groupe en moyenne), ce qui entraîne de fortes abondances relatives (0,05 et 0,02 ind.km^{-1} respectivement). A l'inverse, les années où cette espèce est peu fréquente, les groupes rencontrés sont également nettement plus petits (9 individus par groupe et 0,004 ind.km^{-1} en 2007). Cependant, aucune différence ne s'est montrée statistiquement significative (tests Kruskall-Wallis et Mann-Whitney).

Enfin, il est surprenant de voir que les données collectées en hélicoptère ne corroborent pas les résultats obtenus avec le jeu de données collecté en bateau. Ainsi, ces animaux n'ont été observés en hélicoptère qu'en 2007 et 2008 et avec des tailles de groupes et des abondances relatives similaires et peu élevées les deux années (4 à 8 individus par groupe et 0,003 à 0,004 ind.km^{-1}).

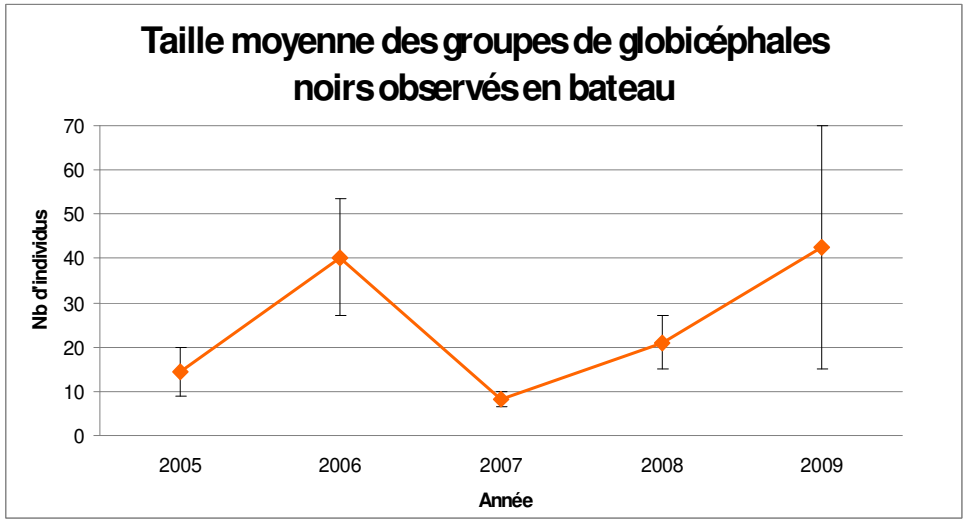


Figure 63. Evolution de la taille moyenne des groupes de globicéphales noirs rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

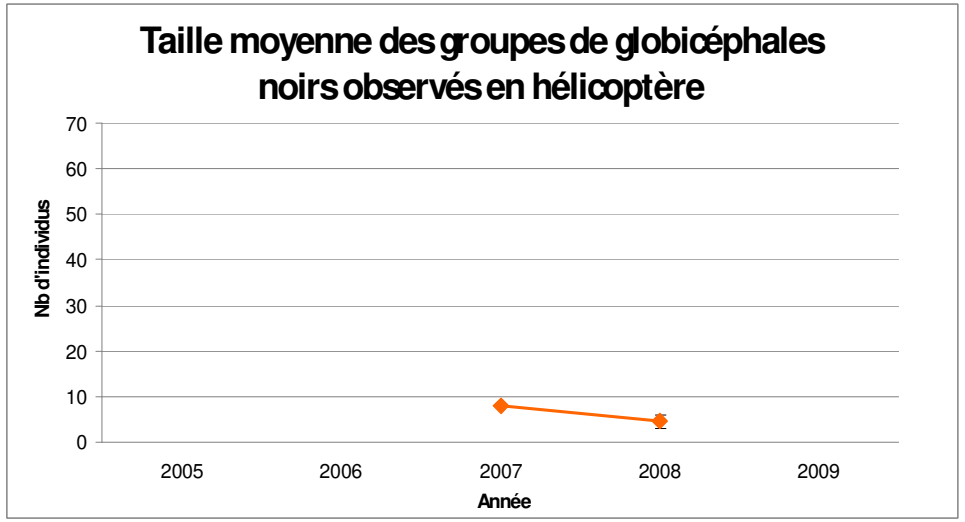


Figure 64. Evolution de la taille moyenne des groupes de globicéphales noirs rencontrés en hélicoptère de 2005 à 2009.

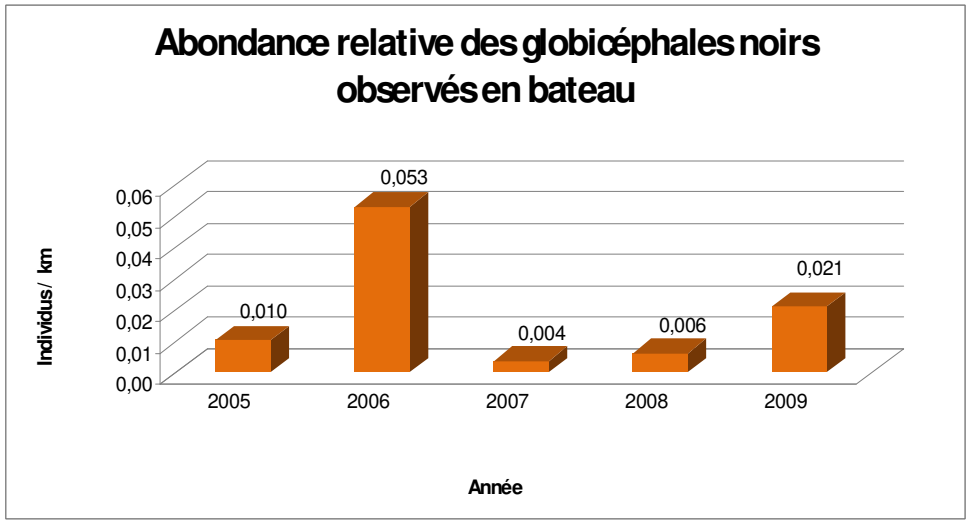


Figure 65. Evolution de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des globicéphales noirs rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

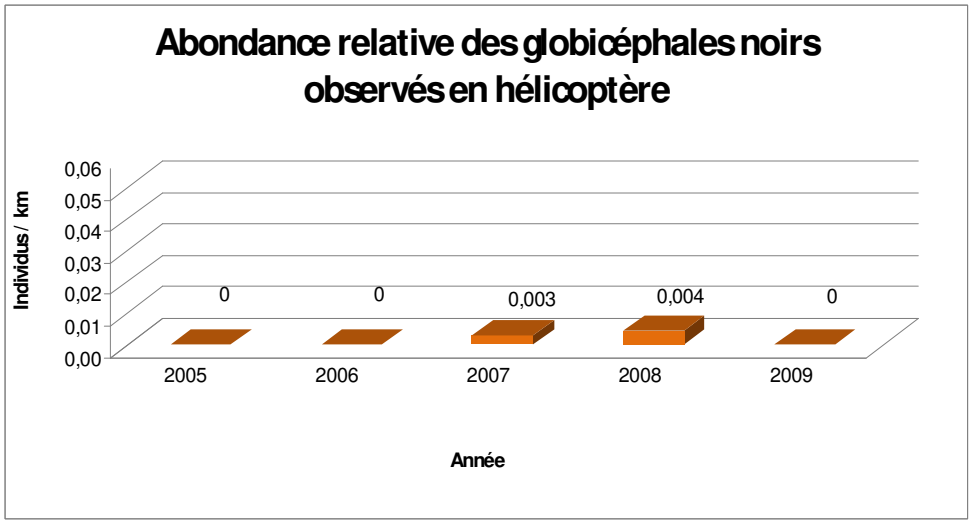


Figure 66. Evolution de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des globicéphales noirs rencontrés en hélicoptère de 2005 à 2009.

c) Variations saisonnières

Les deux jeux de données collectées attestent de la présence du globicéphale noir dans notre zone d'étude uniquement en été et en automne (figures 67 à 70). Si les observations en hélicoptère sont similaires pour les deux saisons (même taille de groupe et même abondance relative), celles effectuées à partir du bateau montrent que les animaux se rassemblent en plus grands groupes en été (environ 35 individus par groupe) qu'en automne (environ 20 individus par groupe), mais qu'ils sont plus abondants en automne (0,035 ind.km^{-1} contre 0,016 ind.km^{-1} en été).

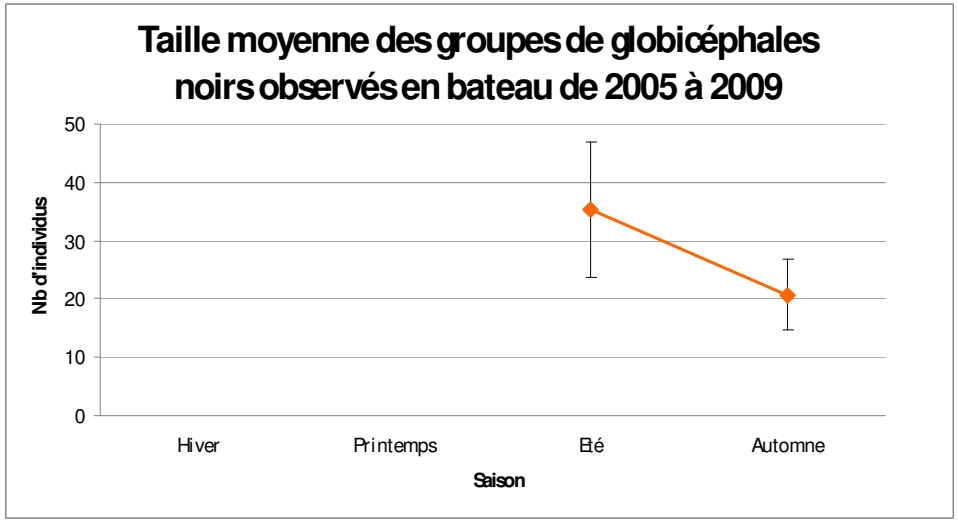


Figure 67. Evolution saisonnière de la taille moyenne des groupes de globicéphales noirs rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

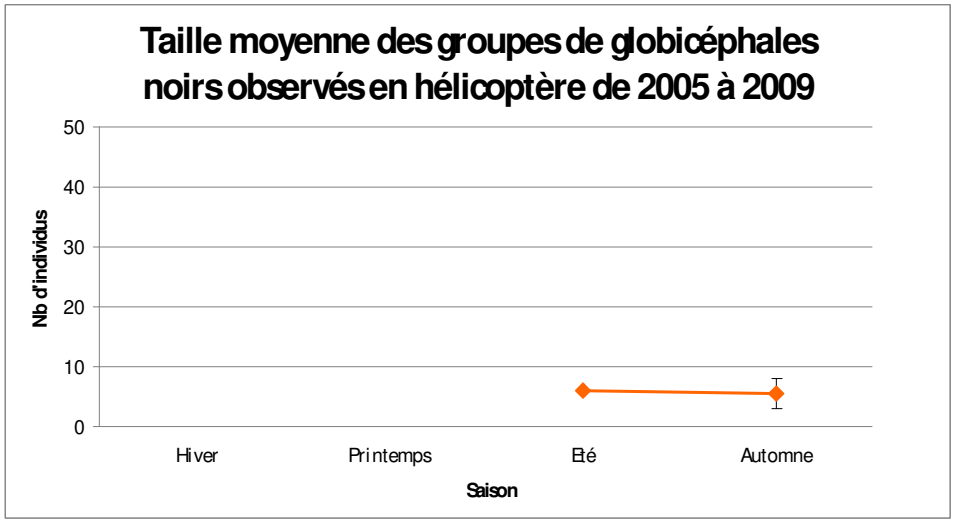


Figure 68. Evolution saisonnière de la taille moyenne des groupes de globicéphales noirs rencontrés en hélicoptère de 2005 à 2009.

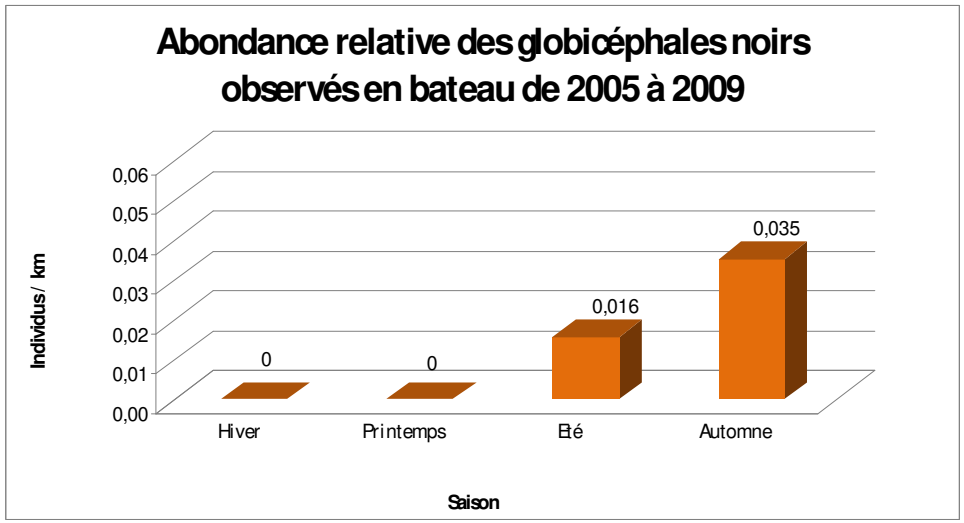


Figure 69. Evolution saisonnière de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des Globicéphales noirs rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

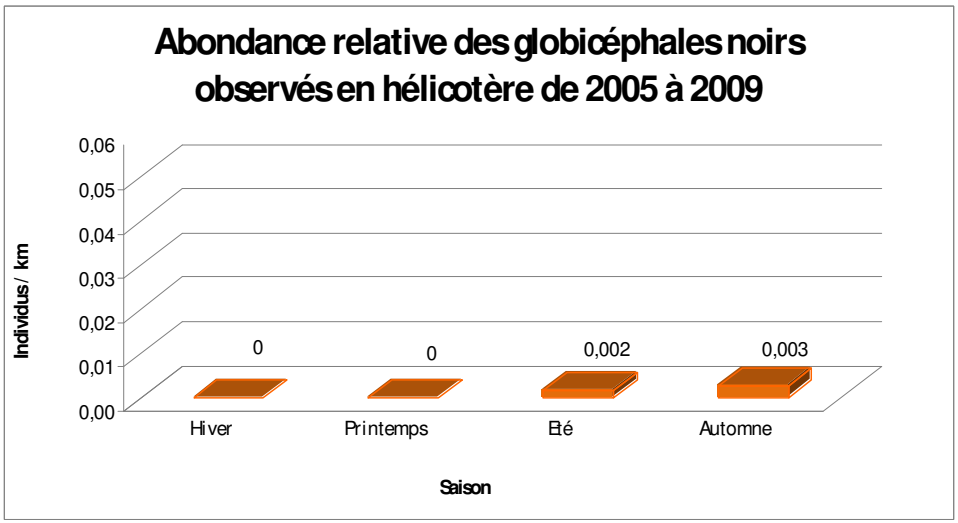


Figure 70. Evolution saisonnière de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des globicéphales noirs rencontrés en hélicoptère de 2005 à 2009.

d) Variations mensuelles

Les analyses par mois montrent que la présence des globicéphales dans la zone d'étude est très courte : quatre mois seulement de juin à septembre (figures 71 à 74). C'est en juillet que l'on rencontre les plus grands groupes (en moyenne 40 individus par groupe), alors que les deux mois suivants cette taille moyenne de groupe est deux fois moins importante (20 individus par groupe en août et septembre). Enfin, les abondances relatives de ces animaux apparaissent importantes en juillet, mais sont maximales en septembre.

Aucune différence mensuelle significative n'a cependant pu être mise en évidence statistiquement.

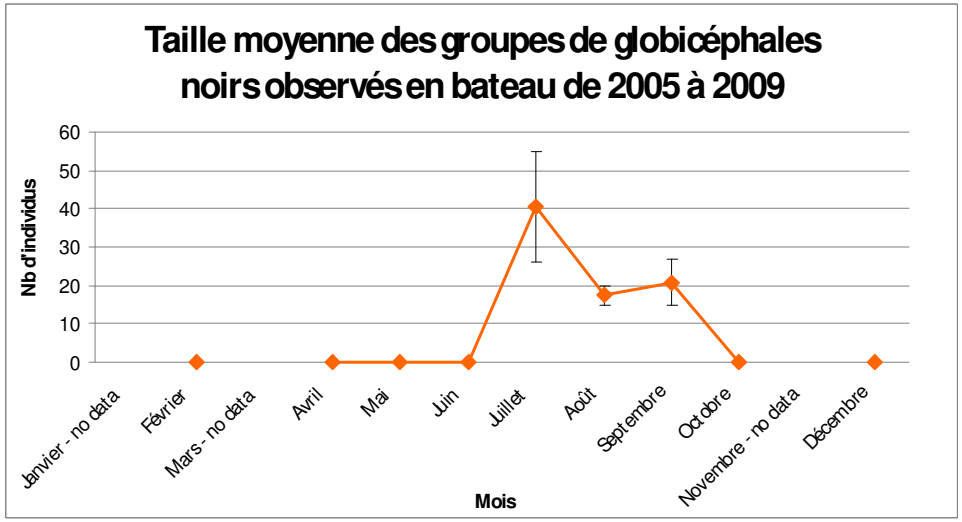


Figure 71. Evolution mensuelle de la taille moyenne des groupes de globicéphales noirs rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

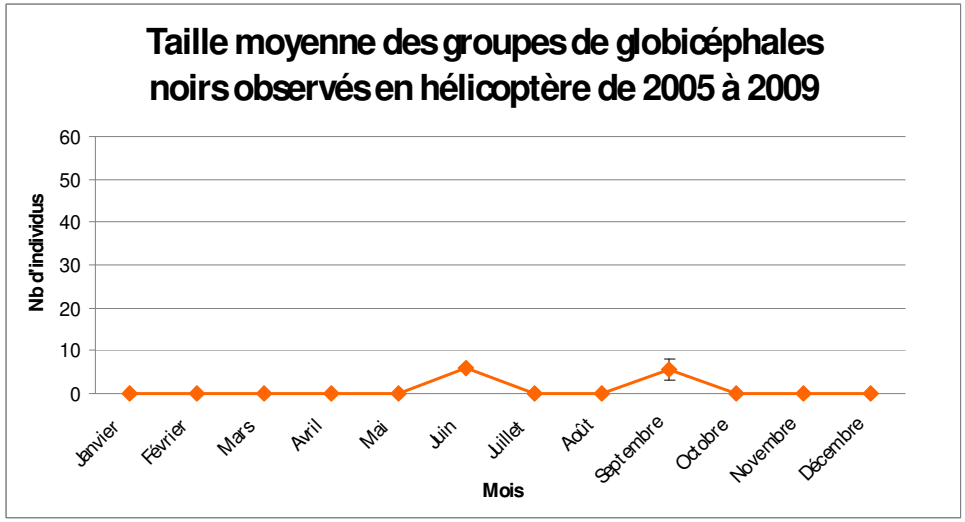


Figure 72. Evolution mensuelle de la taille moyenne des groupes de globicéphales noirs rencontrés en hélicoptère de 2005 à 2009.

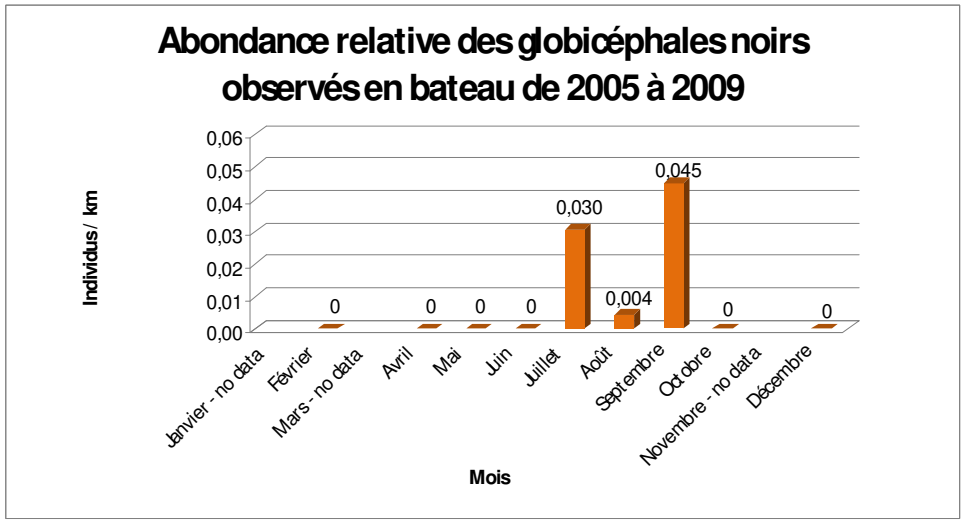


Figure 73. Evolution mensuelle de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des globicéphales noirs rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

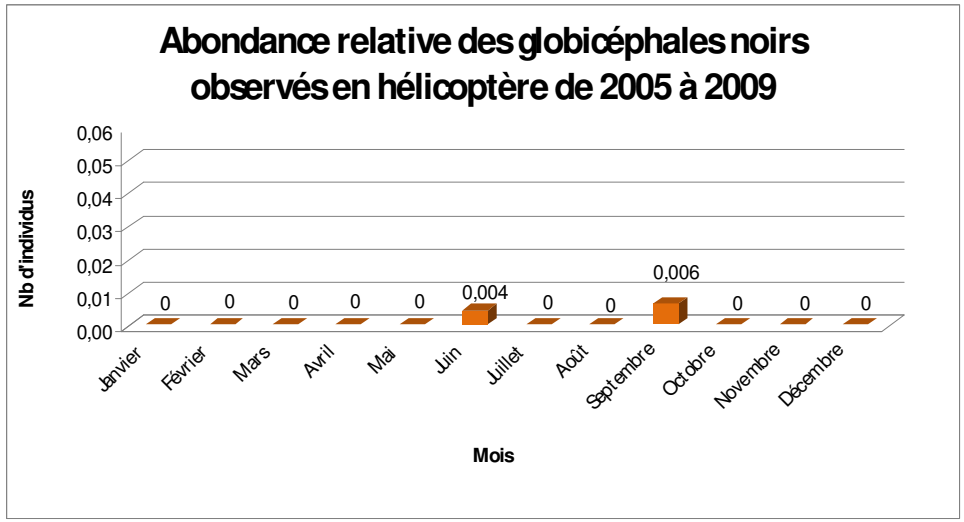


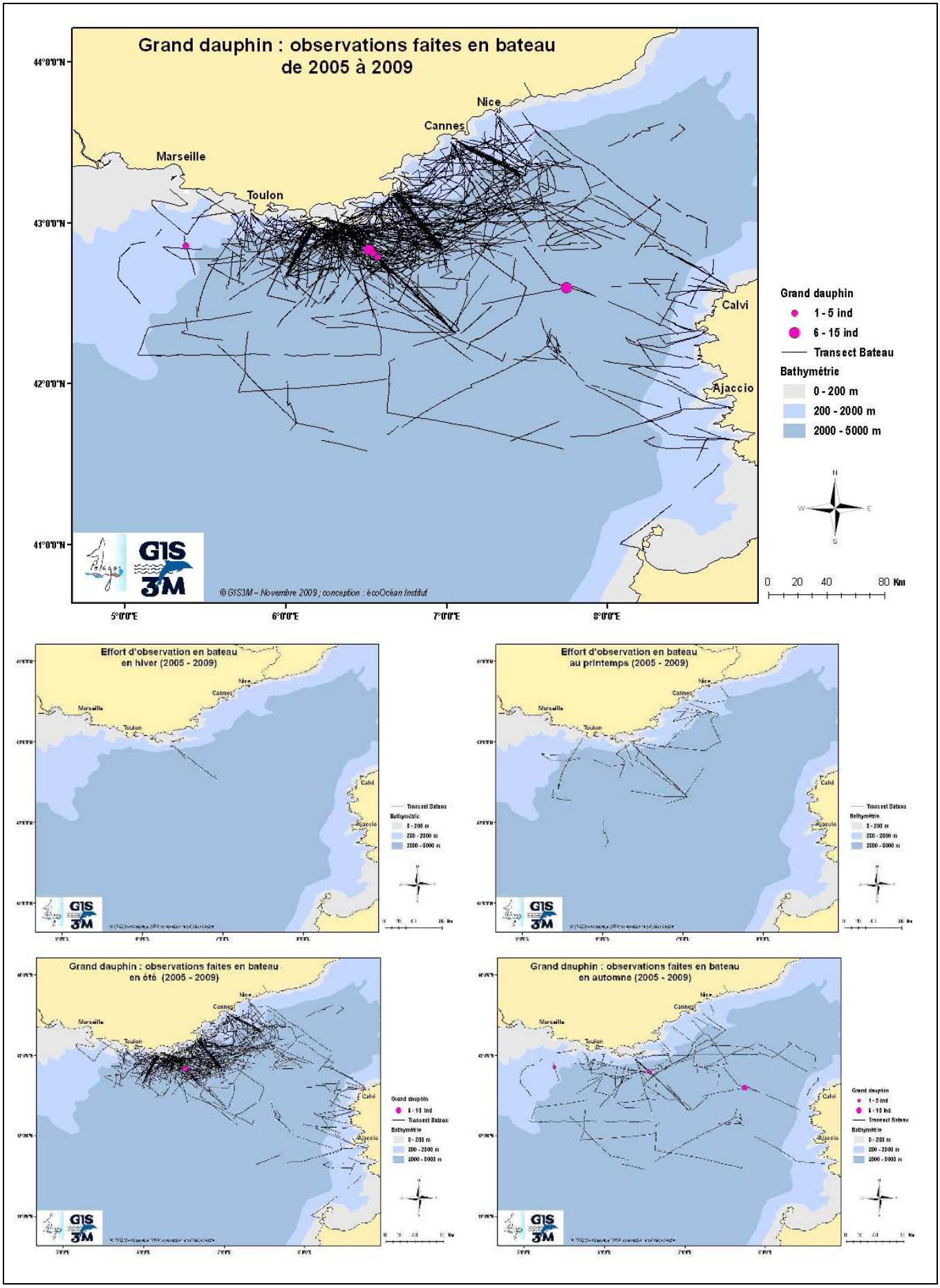
Figure 74. Evolution mensuelle de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des globicéphales noirs rencontrés en hélicoptère de 2005 à 2009.

7. Grand dauphin

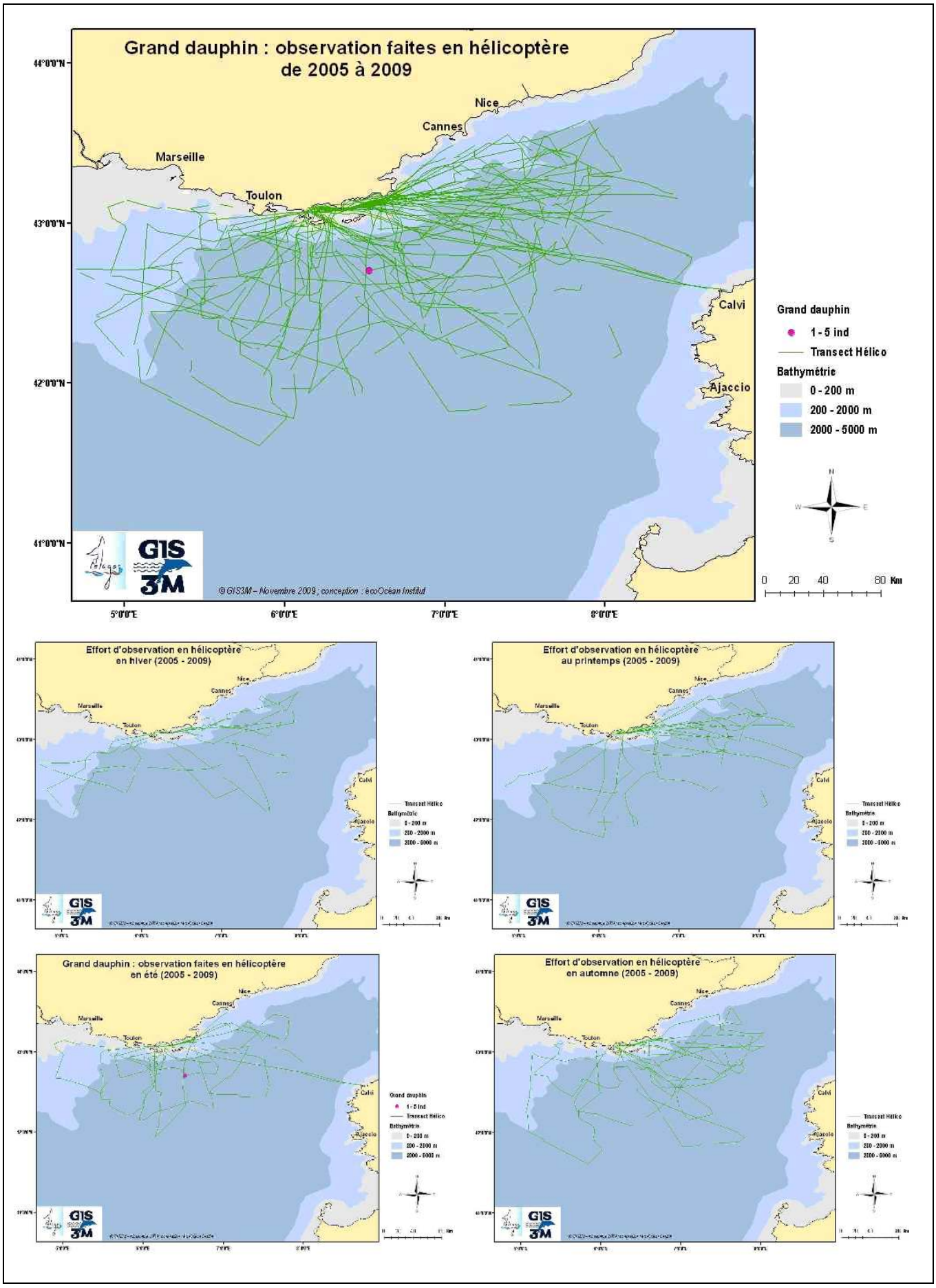
a) Distribution

Pour une espèce connue pour fréquenter préférentiellement le plateau continental, il est intéressant de noter que toutes les observations de grands dauphins réalisées au cours de nos diverses missions se localisent au-delà de fonds de 1500 mètres, et majoritairement au large sur des fonds de plus de 2000 m (cartes 17 et 18). Ces animaux semblent affectionner particulièrement la zone provençale. Ainsi, quatre des six rencontres avec cette espèce ont été réalisées au sud des îles d'hyères sur des fonds de plus de 2000 mètres et une sur le bas du talus continental au large de Cassis. Seule une observation a été faite en plein milieu de la mer Ligure entre le continent et la Corse.

Le grand dauphin a été vu au cours de ces cinq années uniquement en été et en automne. En été ces animaux ont été vus exclusivement au large des îles d'hyères. En automne ces dauphins semblent fréquenter aussi la zone ligure centrale.



Carte 17. Distributions globale et saisonnière de l'effort d'observation et des observations de grands dauphins faites en bateau entre 2005 et 2009.



Carte 18. Distributions globale et saisonnière de l'effort d'observation et des observations de grands dauphins faites en hélicoptère entre 2005 et 2009.

b) Variations annuelles

Le grand dauphin a été rencontré au cours de trois années. En 2006 à partir des deux types de plate-forme (bateau et hélicoptère) et en 2008 et 2009 en bateau (figures 75 à 78). Les abondances relatives calculées à partir de ce dernier jeu de données atteignent des valeurs similaires en 2006 et 2008 (0,0015 ind.km^{-1}) et plus faibles en 2009. Toutefois, ces abondances ne semblent pas significativement différentes d'après les tests statistiques effectués. Les tailles de groupes quant à elles oscillent selon les années entre 1 individu (en 2009) et 10 individus (en 2008).

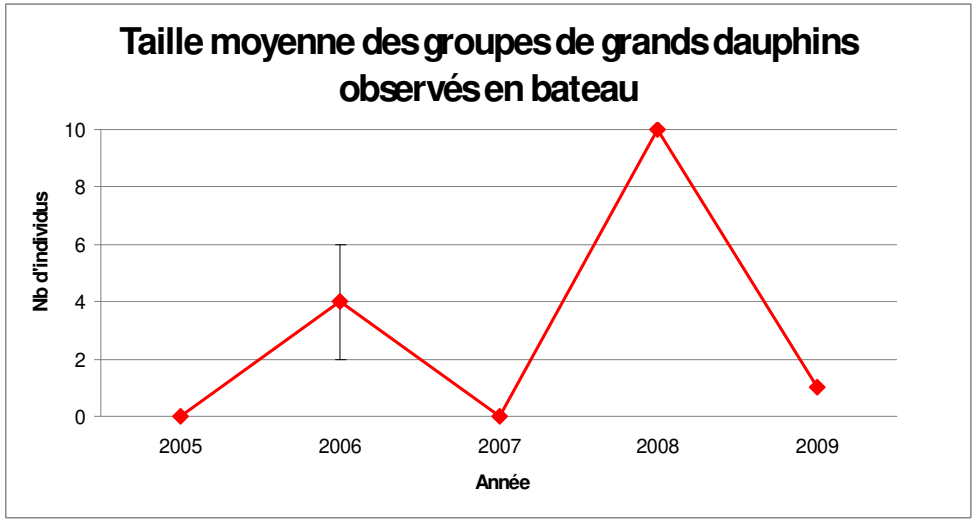


Figure 75. Evolution de la taille moyenne des groupes de grands dauphins rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

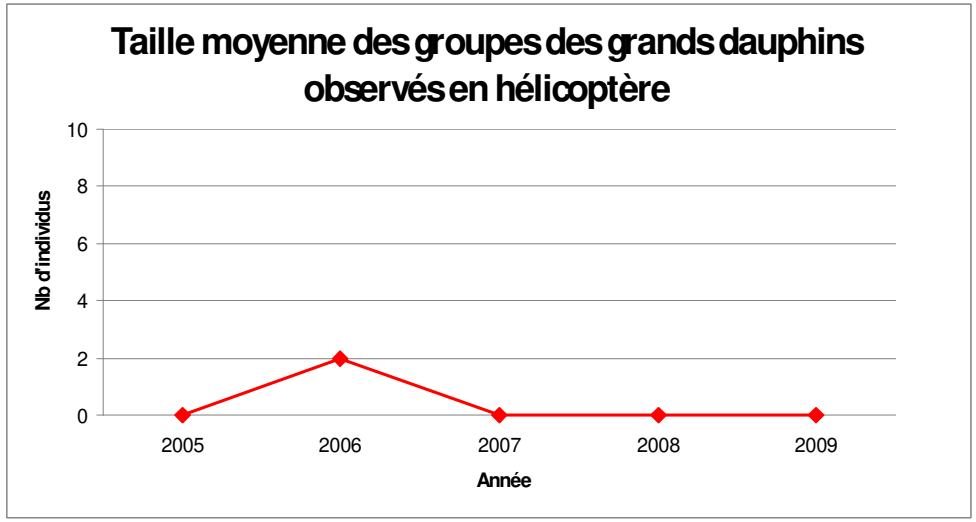


Figure 76. Evolution de la taille moyenne des groupes de grands dauphins rencontrés en hélicoptère de 2005 à 2009.

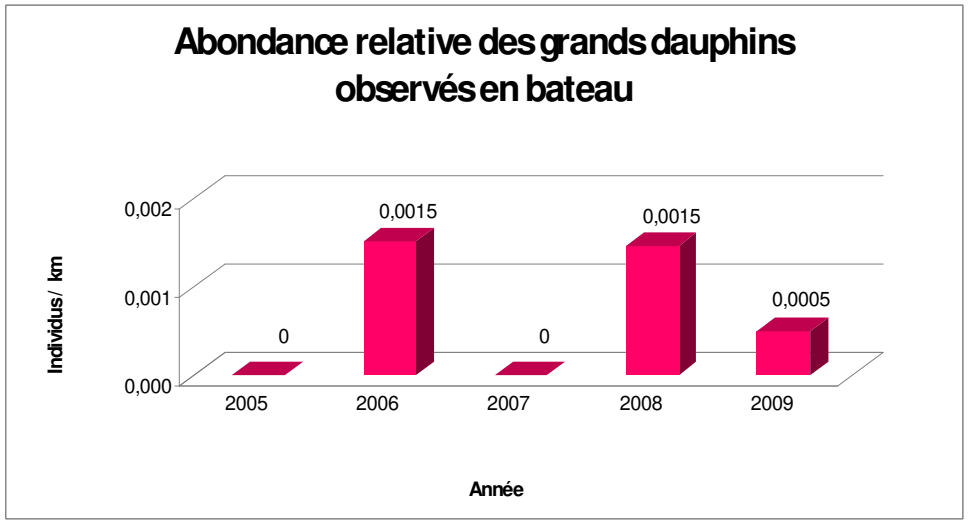


Figure 77. Evolution de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des grands dauphins rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

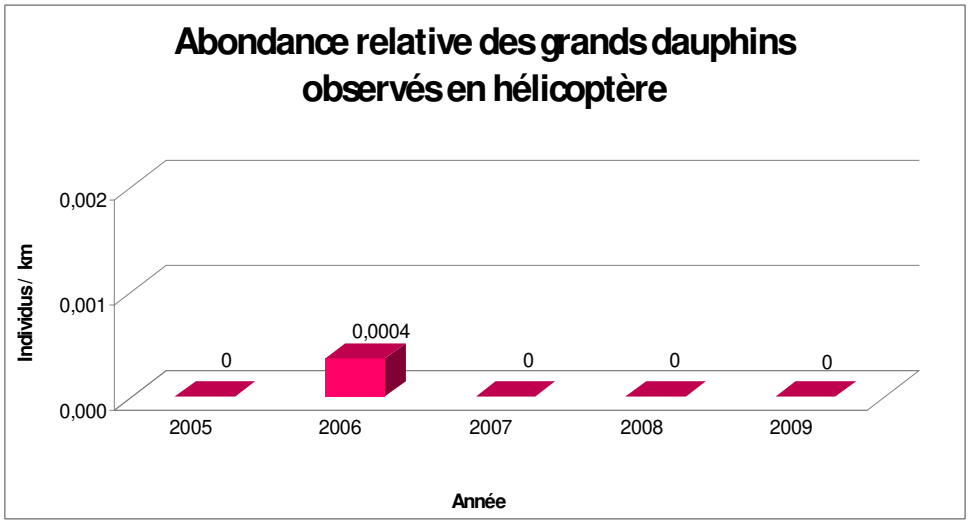


Figure 78. Evolution de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des grands dauphins rencontrés en hélicoptère de 2005 à 2009.

c) Variations saisonnières

Cette espèce n'a été observée dans notre zone d'étude qu'en été et en automne (figures 79 à 82). Sur les six groupes rencontrés lors de nos différentes missions, seuls deux (un en bateau et un en hélicoptère) ont été rencontrés en été, dont un groupe de 10 individus. Les quatre autres groupes, comprenant seulement 2,5 individus en moyenne ont fréquenté la zone en automne : saison où l'on note l'abondance relative la plus importante, soit 0,002 ind.km^{-1}.

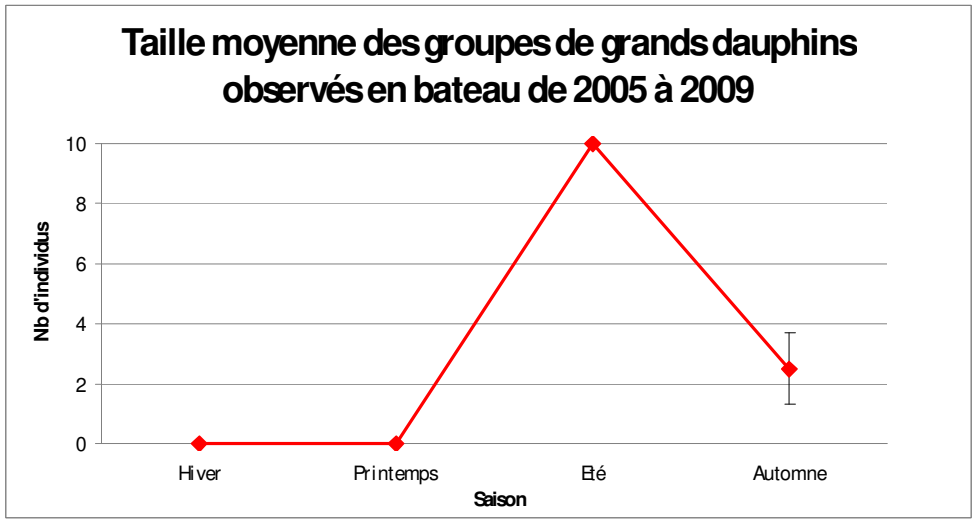


Figure 79. Evolution saisonnière de la taille moyenne des groupes de grands dauphins rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

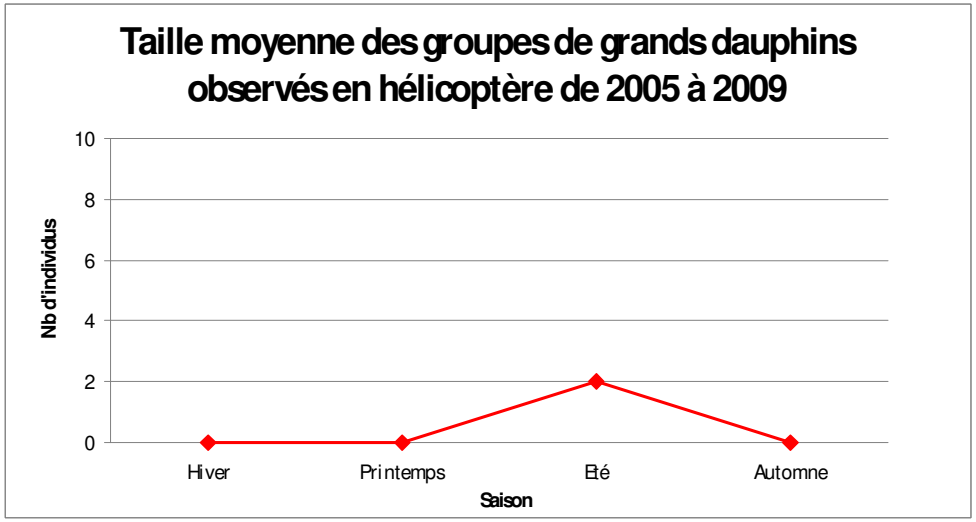


Figure 80. Evolution saisonnière de la taille moyenne des groupes de grands dauphins rencontrés en hélicoptère de 2005 à 2009.

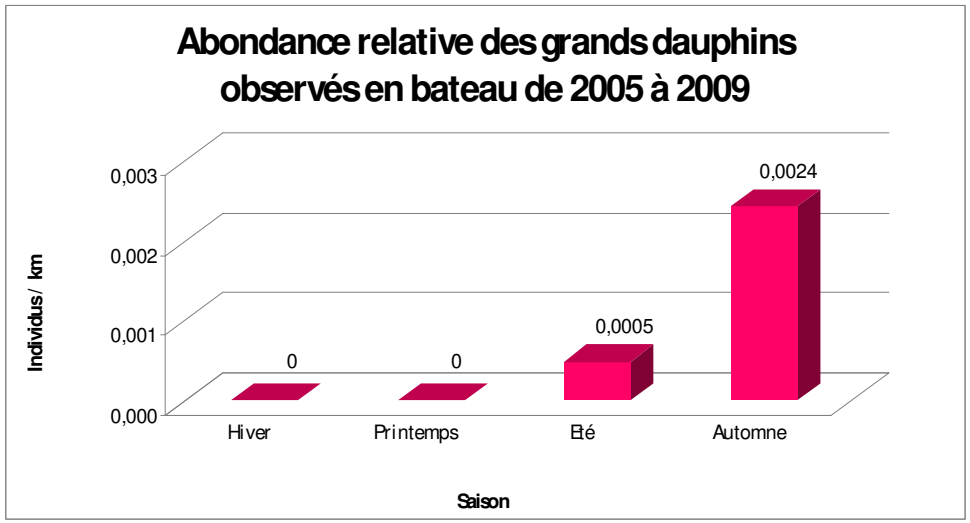


Figure 81. Evolution saisonnière de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des grands dauphins rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

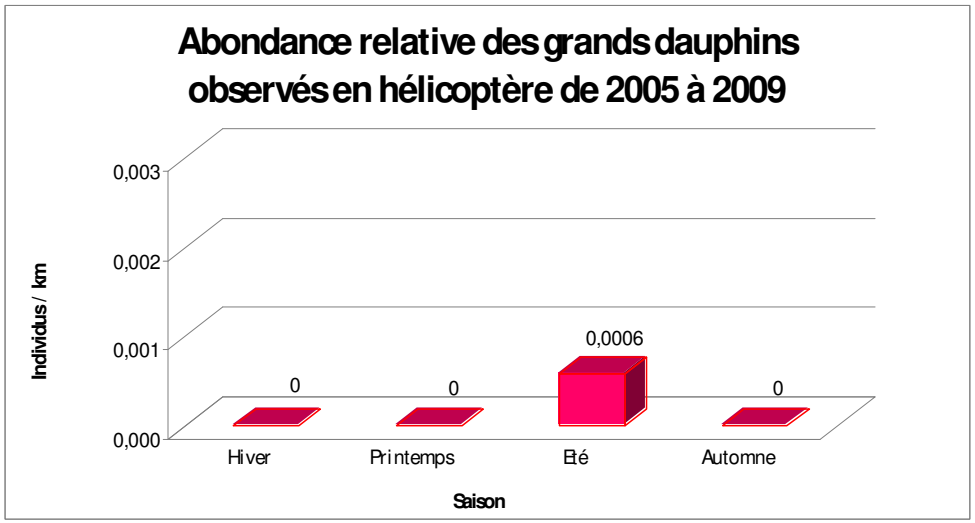


Figure 82. Evolution saisonnière de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des grands dauphins rencontrés en hélicoptère de 2005 à 2009.

e) Variations mensuelles

Le grand dauphin a été rencontré de juillet à octobre dans le secteur pélagique de notre zone d'étude (figures 83 à 86). Ces animaux se sont rassemblés en plus grands groupes en août, mais ont été globalement plus abondants en septembre et en octobre.

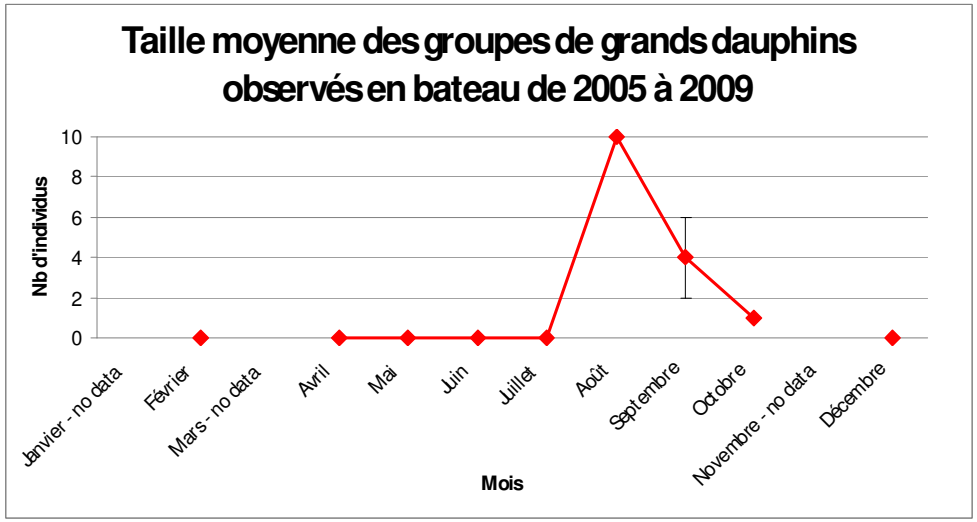


Figure 83. Evolution mensuelle de la taille moyenne des groupes de grands dauphins rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

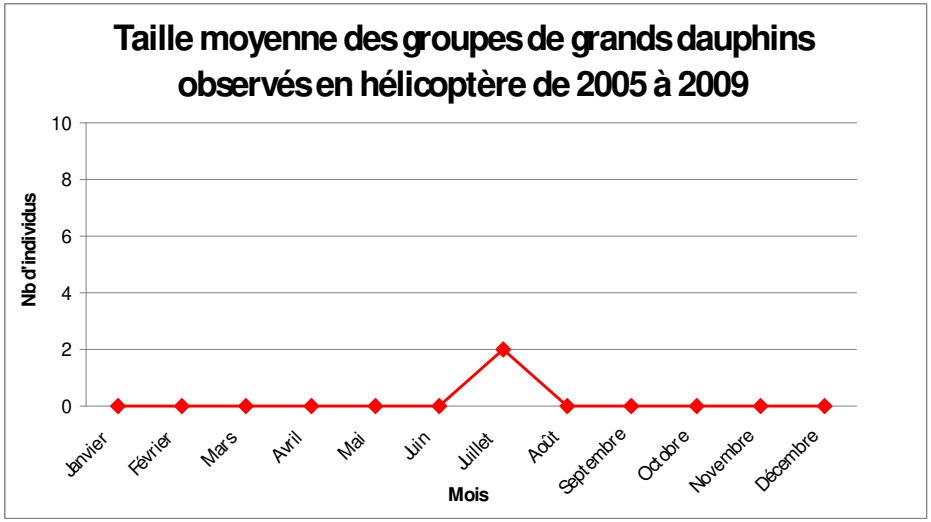


Figure 84. Evolution mensuelle de la taille moyenne des groupes de grands dauphins rencontrés en hélicoptère de 2005 à 2009.

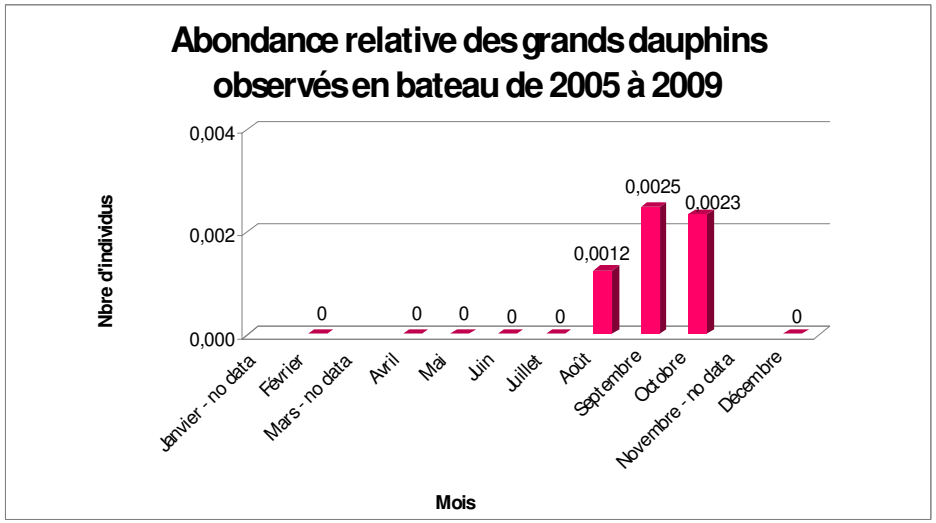


Figure 85. Evolution mensuelle de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des grands dauphins rencontrés en bateau de 2005 à 2009.

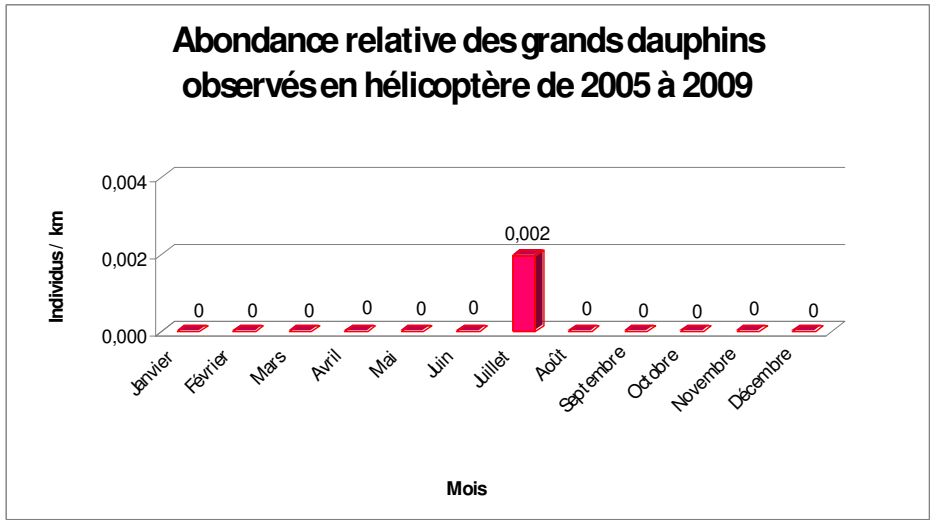


Figure 86. Evolution mensuelle de l'abondance relative (ind.km^{-1}) des grands dauphins rencontrés en hélicoptère de 2005 à 2009.

I.C. Paramètres environnementaux

Les animaux sont généralement observés là où les conditions environnementales leur sont favorables, en particulier là où la nourriture est abondante. Nous allons donc essayer d'expliquer la présence des cétacés dans notre zone d'étude par l'évolution de deux paramètres environnementaux que sont la température de surface (SST) de la mer et la concentration en chlorophylle *a*, cette dernière étant la base de toute la chaîne alimentaire.

1. Evolution mensuelle des paramètres environnementaux

a) Au cours de la dernière décennie

De façon générale, la production de chlorophylle *a* dans notre zone démarre brusquement au début du printemps et atteint rapidement un maximum en mars-avril (>0,7 mg.m^{-3}) avant de décroître rapidement jusqu'au début de l'été (juin ; > 0,3 mg.m^{-3}) (figure 87). Les concentrations minimales sont observées au cœur de l'été. Une recrudescence de production est parfois notée vers la fin de l'automne et le début de l'hiver.

Il est important de noter que, selon les années, le pic de concentration printanier est en mars ou en avril (ex : 2004, 2005, 2008) et atteint des valeurs qui peuvent aller du simple (0,7 mg.m^{-3}), au double d'une année sur l'autre (1,4 mg.m^{-3}, ex : 2004-2005 et 2007-2008) .

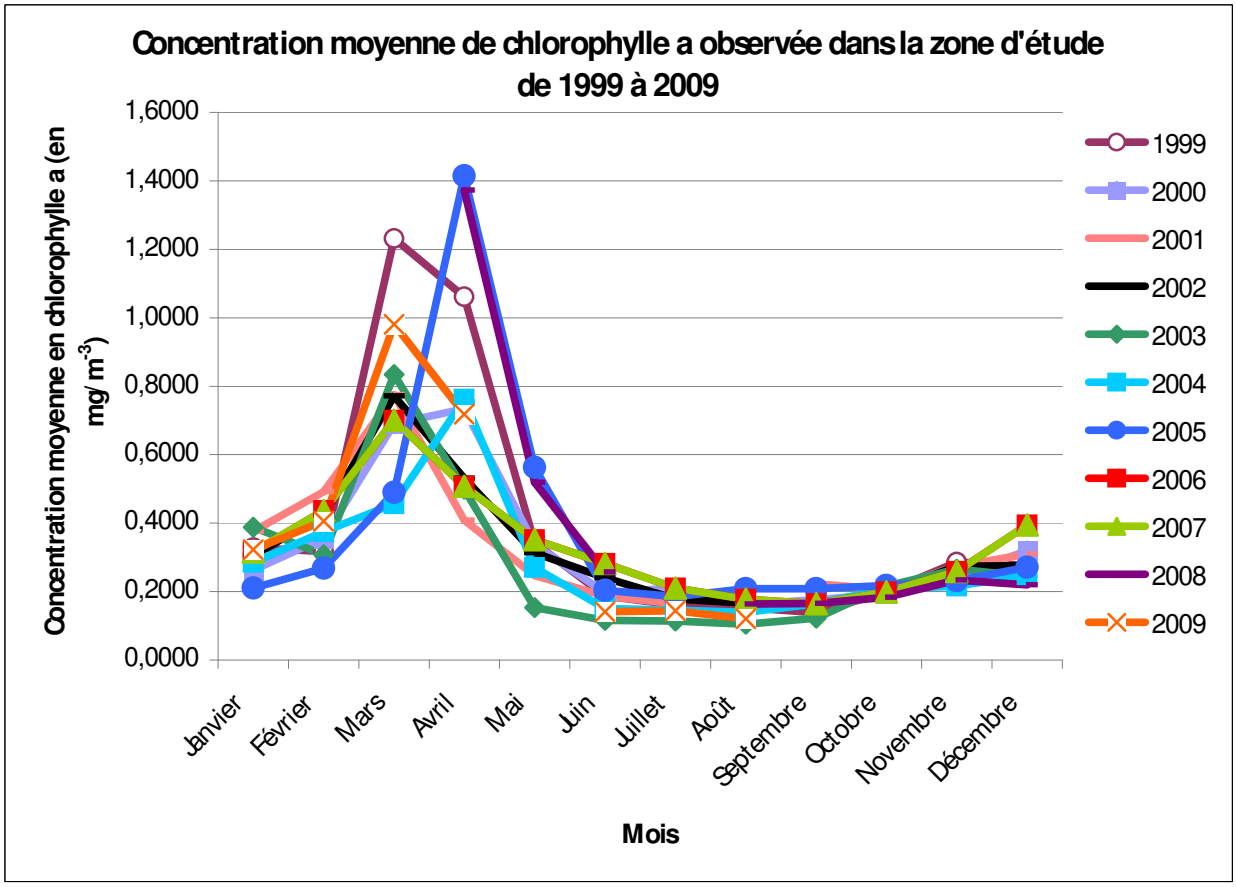


Figure 87. Evolution mensuelle des concentrations moyennes en Chlorophylle a entre 1999 et 2009.

Côté températures de surface, l'évolution au cours des mois est assez constante en fonction des années (figure 88) : un hiver froid, une augmentation progressive des valeurs à partir d'avril, avec un maximum en août en général (>22°C), puis une baisse graduelle dès

septembre pour atteindre un minimum en février (<14°C). On note cependant des années plus chaudes que les autres (>26°C), en particulier 2003 (juin, juillet, août) et 2006 (juillet). L'hiver 2006-2007 et le début du printemps 2007 (avril) s'avèrent également plus doux que les autres années.

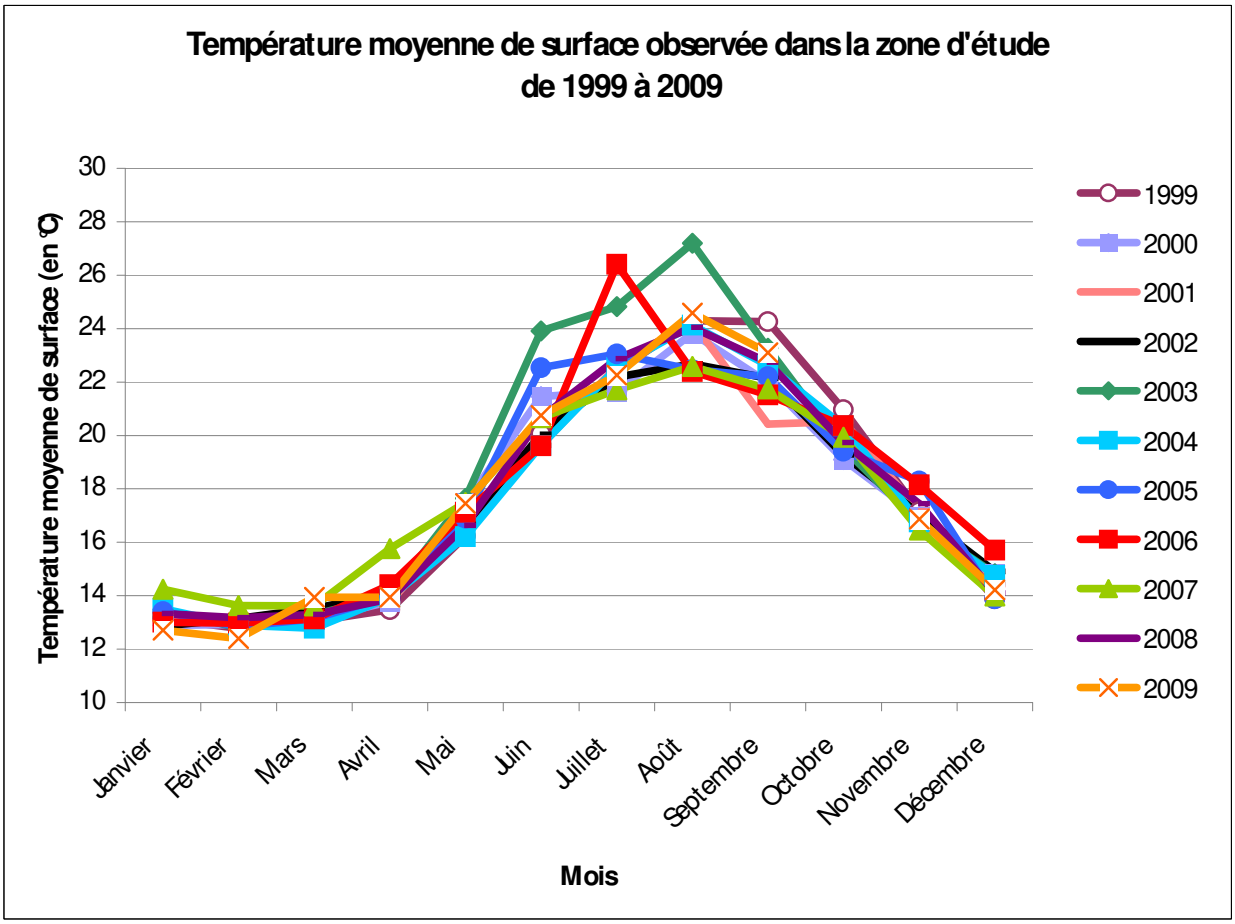


Figure 88. Evolution mensuelle de la température moyenne de surface entre 1999 et 2009.

b) Variations annuelles

Les « blooms » du printemps présentent une variation importante par rapport à la moyenne des 10 dernières années (Fig.89). Deux années se distinguent particulièrement du schéma habituel :

- En 2009 le pic de production a eu lieu en mars, un mois plus tôt que les autres années.
- En 2007, il n'y a pas eu de pic de production à proprement parler, et la production de chlorophylle *a* est restée nettement inférieure à la moyenne en avril.

Les courbes de concentration en chlorophylle *a* au cours des années d'études peuvent être réparties en deux catégories (figure 91) : les années avec un pic de production faible et précoce, en mars (2007 et 2009), et celles avec un pic de production élevé ayant lieu en avril (2005, 2006 et 2008).

Les courbes d'évolution mensuelle des températures de surface montrent chaque année le même profil depuis dix ans (figure 90). Cependant on peut noter quelques particularités annuelles. En effet, en 2005, le maximum de température est atteint relativement tôt dans la saison et reste constant sur 4 mois (juin-septembre). En 2006, un pic exceptionnel est atteint au mois de juillet. Enfin l'hiver 2006-2007 et le printemps 2007 ont été beaucoup plus doux que les autres années.

Globalement, la figure 92 met clairement en évidence que les années 2006 et 2007 sont les plus atypiques. En effet, en 2006 les températures de surface du mois de juillet sont exceptionnellement élevées (+3,5℃ par rapport à la moyenne de l'année). De même, l'hiver 2006-2007 fut très doux (environ + 1 ℃) alors qu'à l'inverse l'année 2008 apparaît comme une année moyenne.

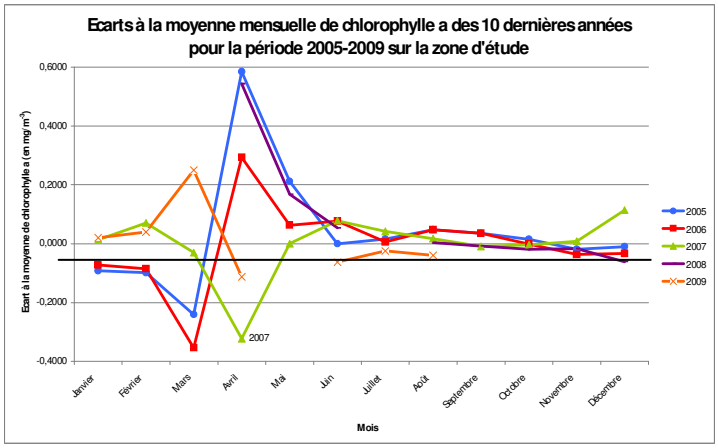


Figure 89. Evolution, pour chaque année, des écarts entre la concentration mensuelle de chlorophylle a de la zone et la moyenne mensuelle de la dernière décennie (1999-2009).

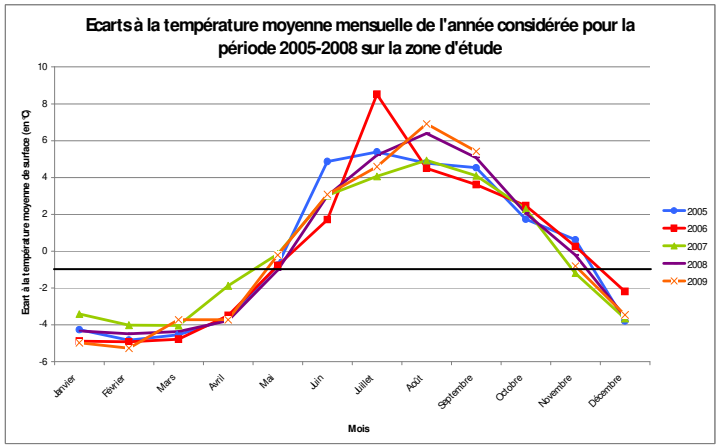


Figure 90. Evolution, pour chaque année, des écarts entre la température de surface mensuelle de la zone et la moyenne mensuelle de la dernière décennie (1999-2009).

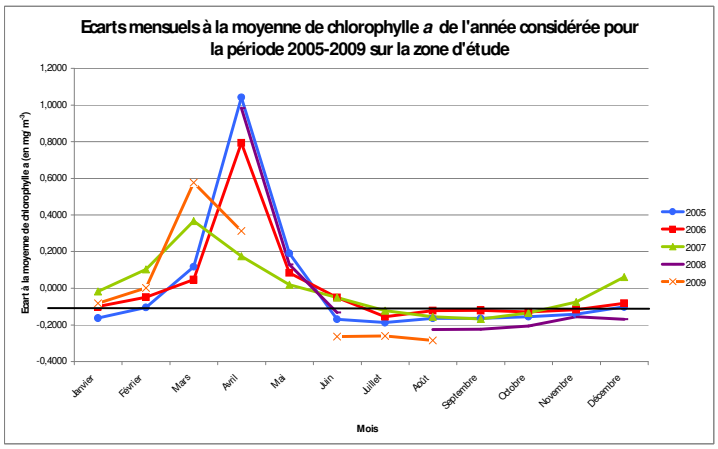


Figure 91. Evolution mensuelle des écarts entre la concentration de chlorophylle a mensuelle de la zone pour une année et la moyenne annuelle en chorophylle a.

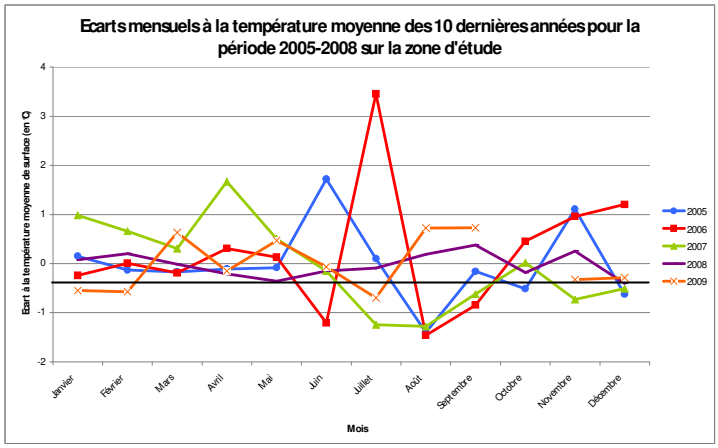


Figure 92. Evolution mensuelle des écarts entre la température de surface mensuelle de la zone pour une année et la moyenne annuelle de la température de surface.

c) Inter-relation entre les deux variables SST et Chl a

Au cours des différentes années d'études, nous avons pu observer une corrélation négative entre la température de surface et la chlorophylle *a* du même mois, ainsi qu'une corrélation positive entre la température un mois donné et la chlorophylle *a* présente trois mois plus tard (tableau 12). De plus nous observons aussi une relation directe entre la température de surface et l'apparition du pic de chlorophylle *a* (figure 93). Il semble ainsi qu'une température inférieure de 4℃ à la moyenne de l'année contrôle le pic de chlorophylle *a*. Lorsque la température descend 4℃ au dessous de la moyenne, cela déclenche une production progressive de chlorophylle *a*. Celle-ci se développe de plus en plus rapidement jusqu'à ce que la température de l'eau atteigne 4℃ au dessous de la moyenne : le pic de production est alors atteint à ce moment là. A partir de là, la concentration en chlorophylle *a* diminue jusqu'à l'année suivante. En 2007, l'allure particulière de la courbe de production de chlorophylle *a* peut-être

reliée à la courbe de température de surface et à cette valeur seuil de 4°C au dessous de la moyenne annuelle. Ainsi, la production semble avoir été limitée cette année-là par une température de surface oscillant autour de la valeur seuil qui agirait comme un interrupteur, en activant et désactivant la production.

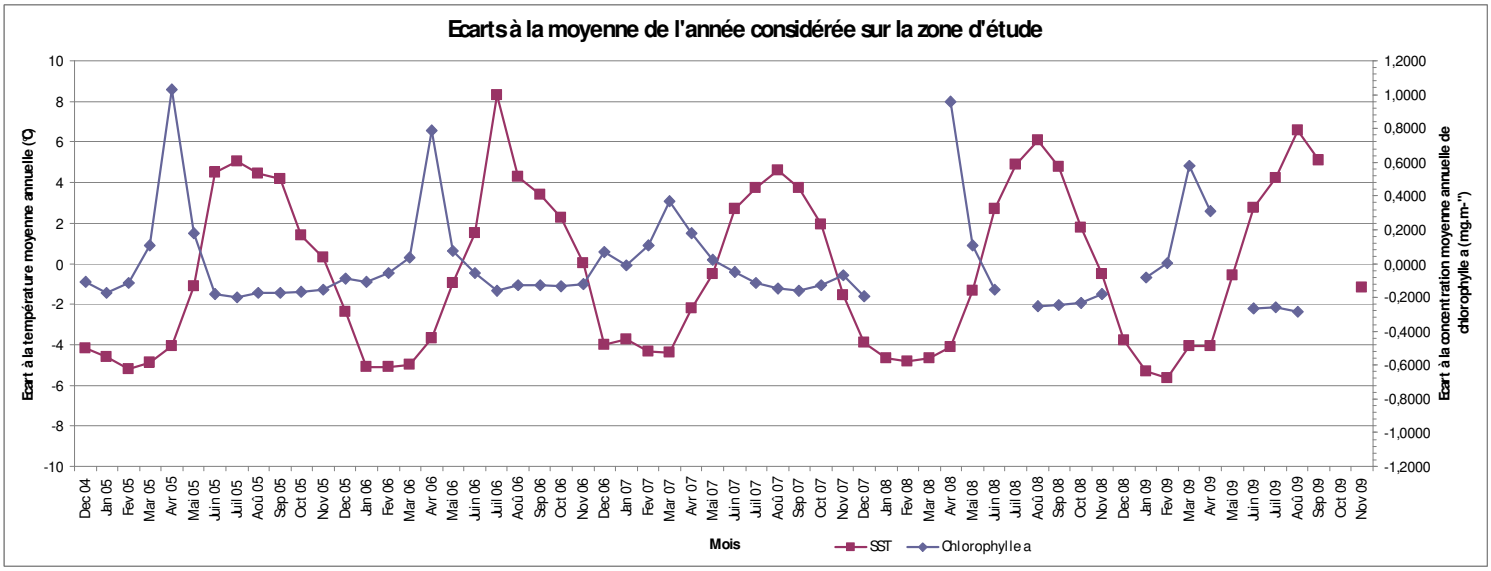


Figure 93 - Evolution des écarts à la moyenne annuelle pour les paramètres environnementaux (concentration en chlorophylle a et température de surface)

Tableau 12. Tableau des corrélations (Pearson) entre la température de surface du mois i (SST) et la concentration de chlorophylle a du mois i (CHL), et de la concentration de chlorophylle d'un, deux, trois et quatre mois précédent i.

	CHL	CHL.1	CHL.2	CHL.3	CHL.4	SST
CHL	1	0,74	0,24	-0,36	-0,40	-0,88
CHL.1	0,74	1	0,28	-0,16	-0,36	-0,47
CHL.2	0,24	0,28	1	0,26	-0,27	-0,10
CHL.3	-0,36	-0,16	0,26	1	0,14	0,60
CHL.4	-0,40	-0,36	-0,27	0,14	1	0,43
SST	-0,88	-0,47	-0,10	0,60	0,43	1

A côté de cela on observe (figure 93) qu'un hiver doux comme celui de 2006-2007 entraîne plutôt une concentration en chlorophylle *a* faible et précoce (mars), alors qu'un hiver plus froid (2004-2005 ou 2005-2006) entraîne un pic de chlorophylle *a* plus élevé et plus tardif (avril).

Au final on peut estimer que les années 2006 et 2008 présentent un schéma général d'évolution des paramètres environnementaux relativement similaire. A l'opposé, les années 2007 et 2009 se ressemblent. Elles ont une évolution différente de l'année précédente, mais aussi les valeurs de chlorophylle *a* nettement moindres avec les pics décalés dans le temps.

2. Relation cétacés-paramètres environnementaux

Dans ce paragraphe ne sont présentés que les résultats pour lesquels ont pu être mises en évidence des corrélations entre les cétacés et les paramètres environnementaux. Dans un premier temps nous avons réalisé une analyse visuelle à partir des graphiques. Parallèlement à cela, des tests de corrélations linéaires simples ont été menés entre les abondances relatives et les deux variables environnementales, incluant un aspect temporel (décalage dans le temps)

dans le but de dégager des pistes de recherche ultérieures. Ces analyses ne constituent que des résultats préliminaires, qui devront être étayés et validés par un échantillonnage et des analyses plus poussées dans l'avenir.

a) Le rorqual commun

Ainsi on constate que les abondances annuelles de rorquals semblent corrélées positivement à la température de surface de l'eau (figure 94). En détail, on peut voir qu'en 2006 plus d'animaux ont été observés (figure 95), coïncidant avec une année ayant eu un hiver plutôt frais et un été particulièrement chaud. En revanche en 2007 peu d'animaux ont été observés et cela correspond à une température moyenne hivernale plus douce et estivale moins chaude par rapport aux autres années.

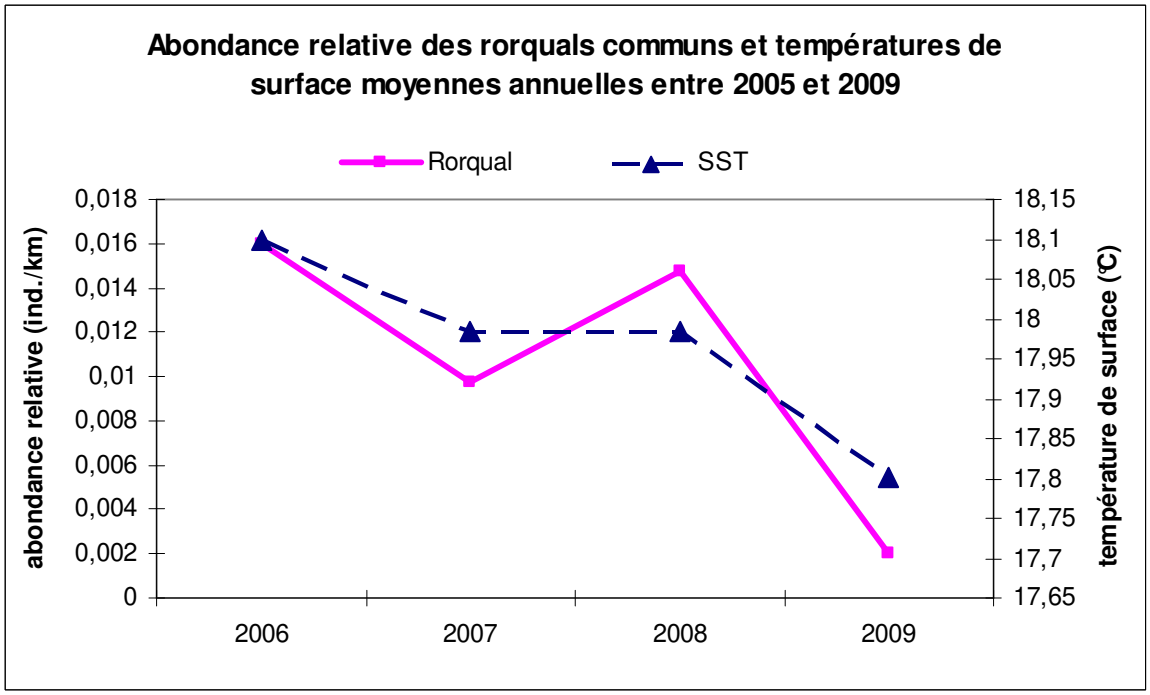


Figure 94. Abondance relative des rorquals communs et températures de surface moyenne annuelles de 2006 à 2009 sur la zone d'étude.

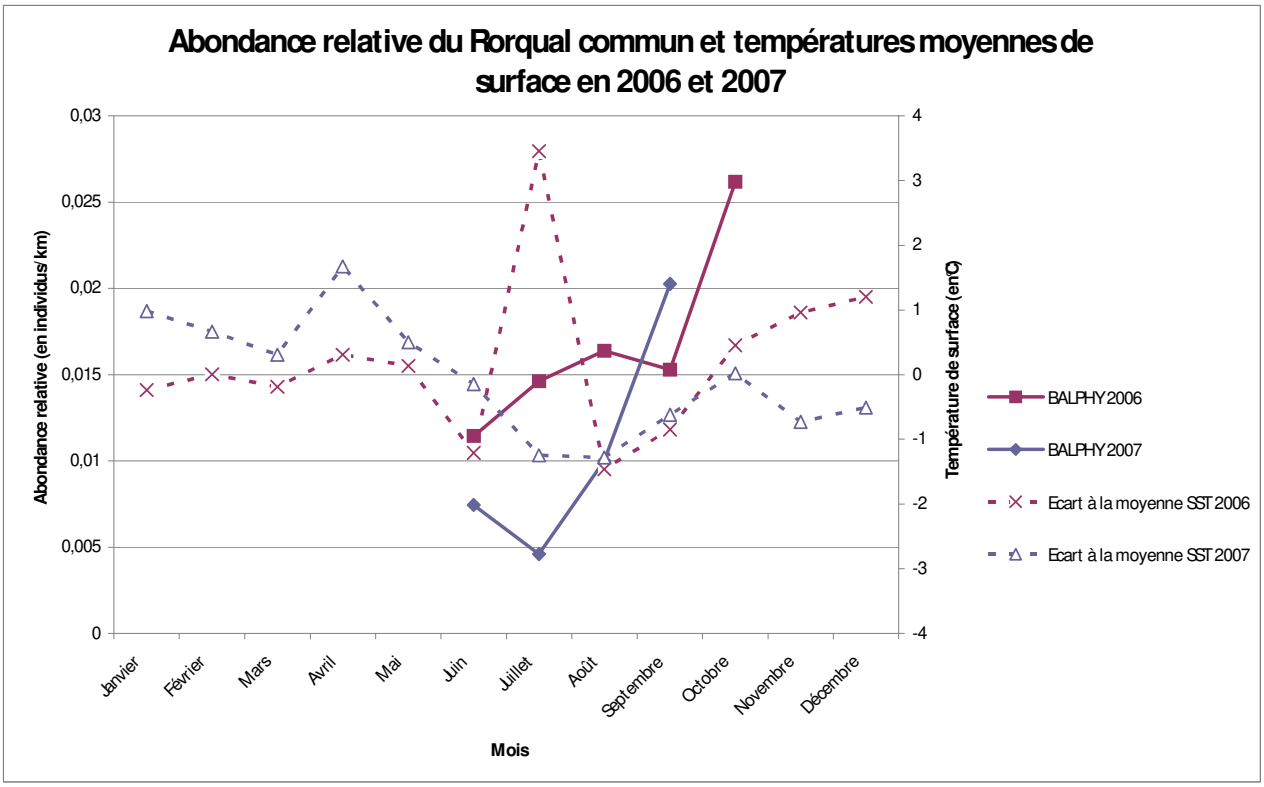


Figure 95. Evolution de la température moyenne de surface et des abondances relatives des rorquals communs sur la zone d'étude au cours des années 2006 et 2007

Cette remarque n'est pourtant pas validée par un test de corrélation à l'échelle du mois (tableau 13). Le processus en cause est donc à une échelle temporelle plus globale que le mois, voire au-delà de quatre mois de décalage. En revanche une corrélation semble exister statistiquement entre les abondances de rorquals et la chlorophylle *a* du même mois (0,41), mais celle-ci est peu visible graphiquement.

Tableau 13. Matrice des corrélations (Pearson) entre les abondances relatives mensuelles du rorqual commun et les températures de surface du mois i *(SST) et la concentration de chlorophylle a du mois* i *(CHL), et de chlorophylle a d'un, deux, trois et quatre mois précédent* i.

	BALPHY	CHL	CHL.1	CHL.2	CHL.3	CHL.4	SST
BALPHY	1	0,06	0,41	-0,02	-0,34	-0,30	-0,03

b) Le globicéphale noir

Globalement, il apparaît une relation entre les pics de chlorophylle *a* et l'abondance de globicéphales (figure 96). En particulier la précocité du pic semble avoir pour conséquence la venue plus tôt de l'espèce dans la zone. Ainsi en 2009 le pic de chlorophylle a eu lieu en mars et les abondances de globicéphales ont été maximales en juillet alors qu'en 2008 le pic de chlorophylle est intervenu un mois plus tard, en avril, a été plus important, et les abondances de globicéphales sont également plus tardives dans la saison (septembre) et légèrement plus élevées.

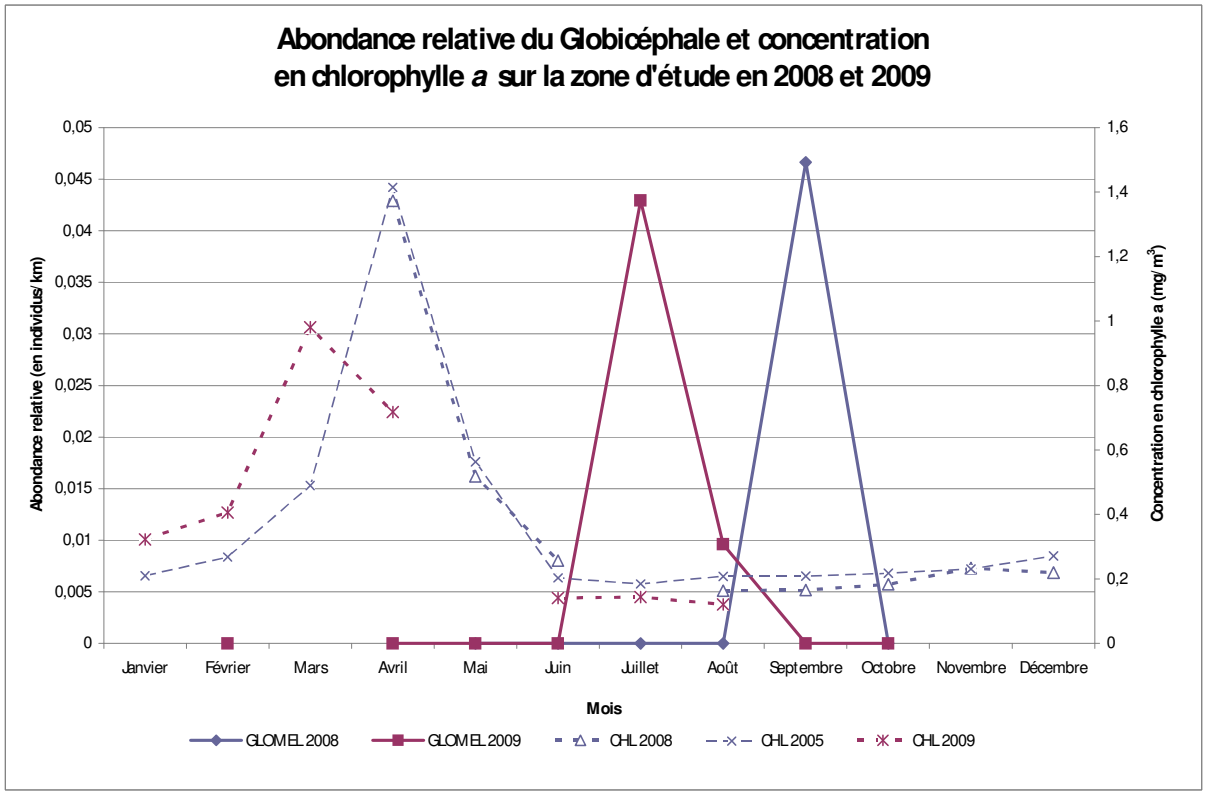


Figure 96. Illustration graphique d'une interaction potentielle entre l'abondance relative en Globicéphale et la concentration en chlorophylle a. (Les concentrations mensuelles en chlorophylle a de l'année 2005 étant corrélées avec celles de l'année 2008, nous les avons utilisées ici à des fins d'illustration pour palier les valeurs manquantes du début de l'année 2008).

Néanmoins cette relation n'est pas systématique, et la corrélation à l'échelle mensuelle avec les valeurs de chlorophylle *a* antérieures de 4 mois n'a pu être validée ici (tableau 14). En revanche à cette échelle temporelle, une tendance à une corrélation négative avec la chlorophylle *a* du même mois se dessine, et une corrélation positive entre les températures de surface et les abondances relatives de globicéphales (r = 0,54) se dévoile (tableau 14). L'ensemble des résultats restent néanmoins à confirmer par des analyses plus poussées.

Tableau 14. Matrice des corrélations (Pearson) entre les abondances relatives mensuelles du globicéphale noir et les températures de surface du mois i *(SST) et de la concentration de chlorophylle a du mois* i *(CHL), et de chlorophylle a d'un, deux, trois et quatre mois précédent* i.

	GLOMEL	CHL	CHL.1	CHL.2	CHL.3	CHL.4	SST
GLOMEL	1	-0,36	-0,18	-0,19	0,33	-0,05	0,54

c) Le dauphin bleu et blanc

A première vue les courbes des abondances relatives mensuelles du dauphin bleu et blanc ne sont pas explicites, car très variables d'une année sur l'autre (figure 97). On constate néanmoins certaines tendances similaires entre les années 2007 et 2009 et entre 2006 et 2008 (figure 97). Dans le premier cas les dauphins semblent moins fréquents au cœur même de l'été, et plus abondants vers la fin de l'été ; dans le second cas les animaux sont fréquents dès le début de l'été et les abondances diminuent par la suite, puis stagnent ou augmentent.

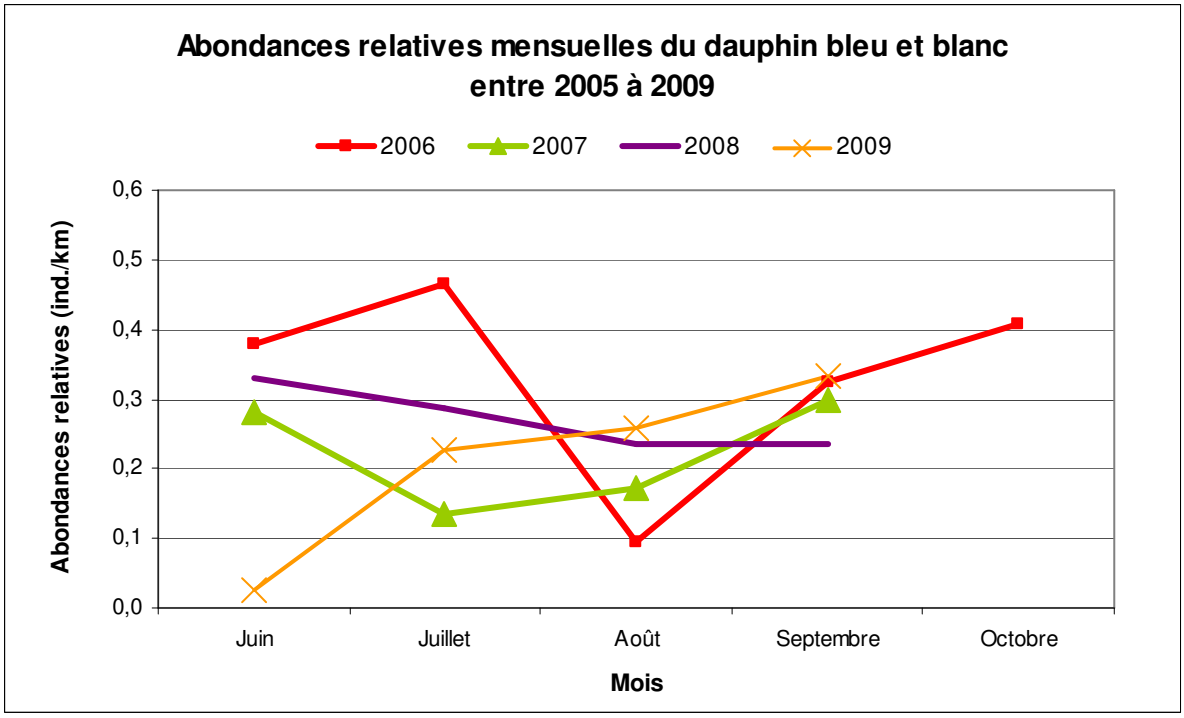


Figure 97. Abondances relatives mensuelles moyennes du dauphin bleu et blanc, pendant la période estivale, entre 2006 et 2009.

La mise en relation graphique de l'abondance relative des dauphins bleus et blancs et les valeurs de chlorophylle *a* en 2008 et 2009 (figure 98), nous amène à penser qu'un pic de chlorophylle *a* en mars (2009) entraîne la venue des animaux plus tôt dans la zone par rapport à une année où le pic de chlorophylle *a* et le pic d'abondance des dauphins sont plus tardifs (en 2008). Mais le faible échantillonnage en mer durant les mois d'avril et mai ne permet pas d'assurer ce résultat qui reste donc peu fiable, en tous les cas à confirmer.

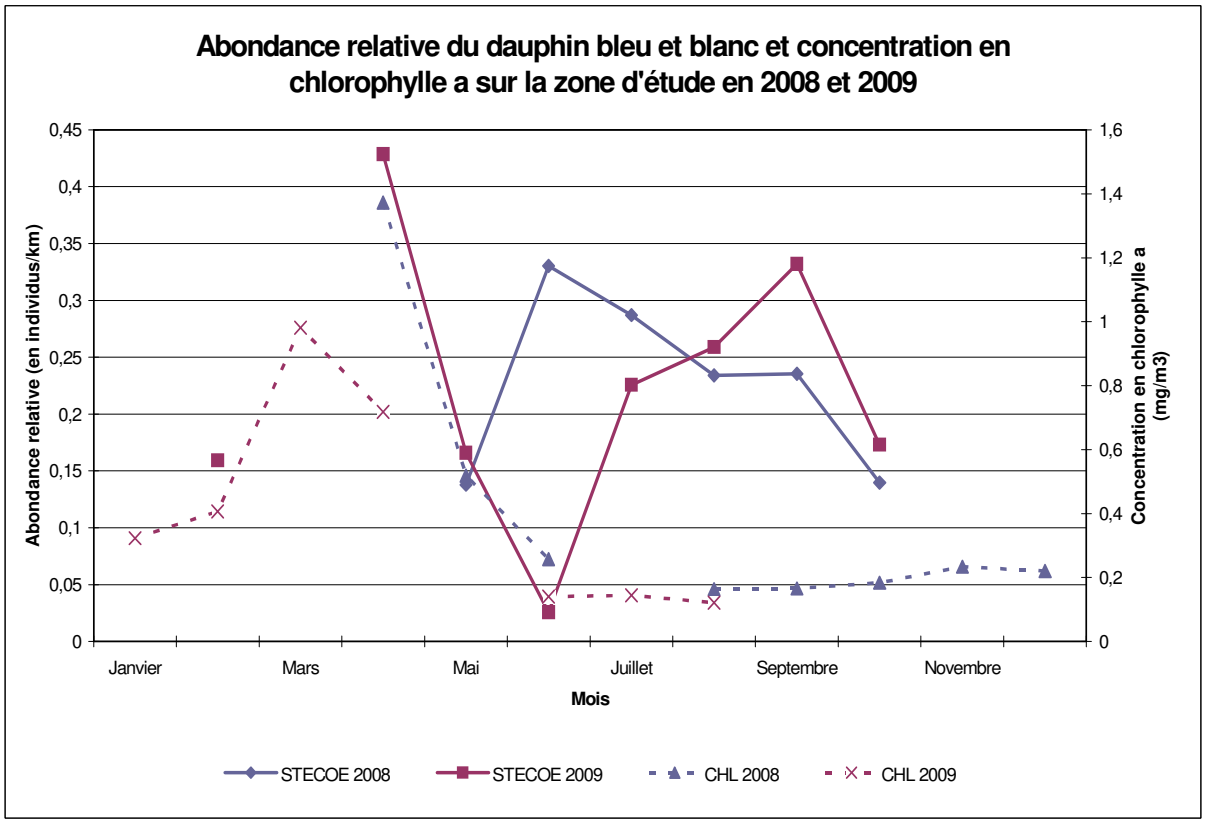


Figure 98. Illustration graphique d'une interaction potentielle entre l'abondance relative de dauphin bleu et blanc et la concentration en chlorophylle a.

D'ailleurs, bien que ces relations ne soient pas significatives à l'échelle du mois, on note néanmoins effectivement une tendance à une corrélation négative avec la chlorophylle *a* du même mois et du mois précédent ainsi qu'une corrélation positive avec la température de surface (tableau 15).

Tableau 15. Matrice des corrélations (Pearson) entre les abondances relatives de dauphin bleu et blanc et les températures de surface du mois i *(SST) et de la concentration en chlorophylle a du mois* i *(CHL), et de chlorophylle a d'un, deux, trois et quatre mois précédent* i.

	STECOE	CHL	CHL.1	CHL.2	CHL.3	CHL.4	SST
STECOE	1	-0,37	-0,37	0,24	0,12	-0,14	0,36

II. DISCUSSION

Notre zone d'étude, définie comme le secteur central de la Méditerranée nord-occidentale, est le siège de mouvements de cétacés permanents. En effet, on note que, tout au long de l'année, les différentes espèces de cétacés ne sont pas présentes de la même manière (figure 99). Certaines ne sont là que saisonnièrement alors que d'autres semblent présentes tout au long de l'année. Dans ce paragraphe nous nous attacherons à discuter en particulier les variations saisonnières que l'on peut observer pour les différentes espèces de cétacés et dans un second temps comment les paramètres environnementaux de cette zone peuvent expliquer ces fluctuations.

Afin de pouvoir comparer nos résultats à ceux de la littérature, nous avons fait le choix de ne comparer ici que les données issues des missions « bateau », aucune étude conséquente n'ayant été faite à partir de missions aériennes dans notre zone d'étude. Néanmoins les résultats du jeu de données hélicoptère seront pris en compte dans cette discussion.

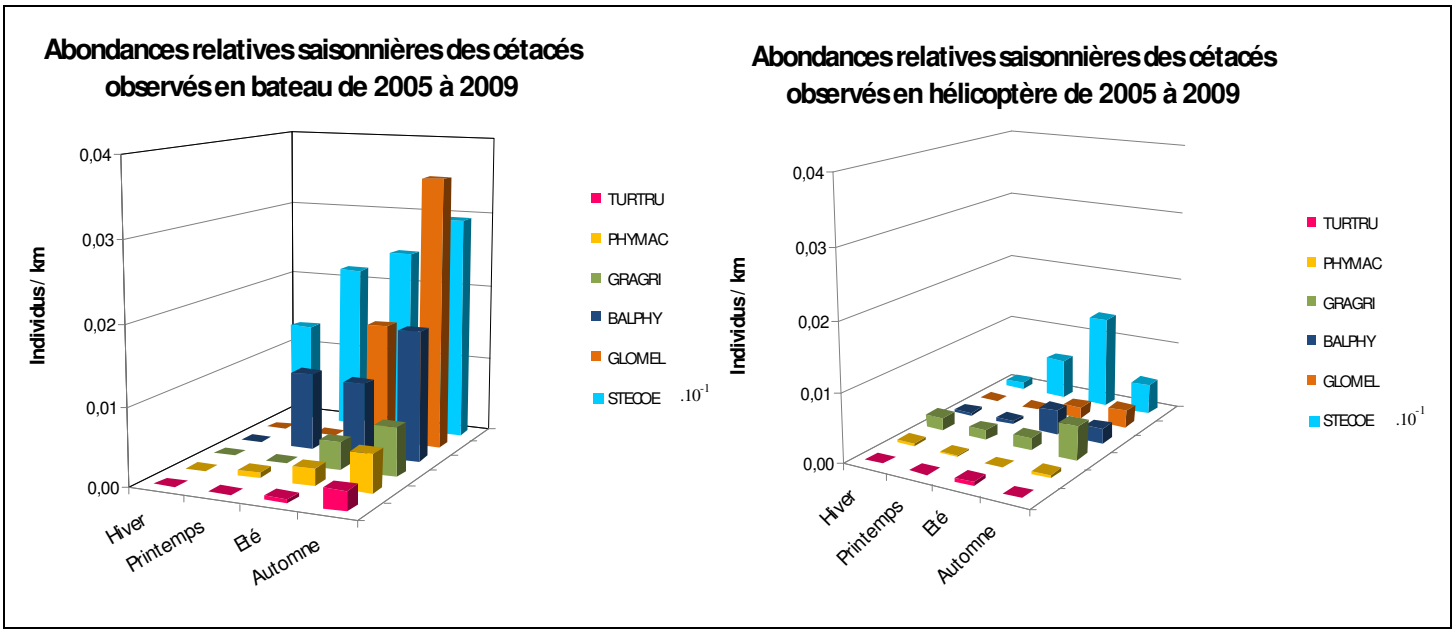


Figure 99. Evolution saisonnière des abondances relatives des cétacés rencontrés lors des missions réalisées en bateau et en hélicoptère entre 2005 et 2009.

II.A. Evolutions saisonnières des cétacés

Globalement le peuplement de cétacés de notre zone d'étude (Méditerranée nord-occidentale centrale) est constitué essentiellement de 5 espèces d'odontocètes (dauphin bleu et blanc, cachalot, dauphin de Risso, globicéphale noir et grand dauphin) qui représentent 81,2 % des contacts et 96,3 % des individus rencontrés dans ce secteur. Seule une espèce de mysticète a été observée en cinq ans : le rorqual commun. Par ailleurs, nous avons pu voir dans le § I.B.1. que la composition de ce peuplement peut parfois varier légèrement d'une année sur l'autre : certaines années semblant être plus propices à certaines espèces. De même, il est apparu que le peuplement de cétacés varie tout au long de l'année. En effet, le peuplement hivernal (décembre à février) est composé uniquement de dauphins bleus et blancs, alors qu'à partir du printemps (mars à mai), le cachalot et le rorqual commun commencent seulement à être présents. Enfin, l'été (juin à août) et l'automne (septembre à novembre) se caractérisent par la présence des six espèces de cétacés (le rorqual commun, le

dauphin bleu et blanc, le cachalot, le dauphin de Risso, le globicéphale noir et le grand dauphin) dans des proportions très semblables. Les observations collectées par hélicoptère apportent des éléments supplémentaires concernant la présence des diverses espèces dans notre zone d'étude. Ainsi, elles témoignent de la présence de dauphins bleus et blancs, mais aussi de rorquals et de dauphins de Risso tout au long de l'année, et que le cachalot peut être aussi rencontré en hiver dans notre région. Par ailleurs, cela confirme que seuls les globicéphales et les grands dauphins sont vus plus tardivement dans l'année, à savoir en été et en automne. Cependant, pour ce qui concerne le grand dauphin, espèce côtière par excellence, il est également possible que l'effort de prospection ait sous-échantillonné son habitat préférentiel, d'où une sous-représentation de cette espèce aux diverses saisons. En d'autres termes, ce n'est pas parce que nous n'avons pas observé cette espèce qu'on peut dire avec certitude qu'elle était absente. Pour le cachalot c'est le même constat car étant donné les grandes capacités d'apnée de cette espèce (Drouot, 2003), il est fort probable que nous passions au-dessus d'un individu sans avoir la possibilité de le voir. Là encore, une absence de donnée n'est pas forcément synonyme d'absence d'animaux. Ce point est crucial pour cette espèce d'autant plus que le cachalot n'est pas très fréquent. Ces différents biais ne concerne toutefois pas vraiment les autres espèces car ce sont toutes des espèces non inféodées au plateau continental et notre effort de prospection est donc bien adapté. Par ailleurs elles effectuent des plongées plus réduites et sont donc plus facilement détectables par une observation visuelle. Enfin, ce sont des espèces plus communes pour lesquelles la masse de données pondère ces biais éventuels.

Si l'on compare nos résultats saisonniers à ceux de la littérature nous pouvons voir que certaines différences apparaissent. La comparaison de la composition du peuplement a été effectuée essentiellement 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.

1. Peuplement estival

Globalement, les variations observées entre les divers peuplements estivaux dans le tableau 16 sont souvent dues à l'étendue et aux caractéristiques bathymétriques de la zone prospectée, mais aussi semble t-il aux variations du peuplement dans le temps. 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 différents grands domaines bathymétriques, ce qui est plus en accord avec ce que nous observons dans cette étude, même si l'on note certaines divergences. Ainsi, quel que soit l'étude ou le secteur de Méditerranée nord occidentale, l'espèce la plus fréquente reste le dauphin bleu et blanc qui représente à lui seul entre 49,3 et 72,2 % des observations. La seconde espèce la plus observée est le rorqual commun avec une proportion dans le peuplement comprise entre 19,4 à 40,5 % des observations.

La comparaison de nos résultats, basés sur des missions faites entre 2005 et 2009, avec des études plus anciennes s'appuyant sur des missions réalisées au début des années 90 (Di-Méglio, 1999 ; Forcada *et al.*, 1995) montre des tendances inverses. En effet, entre 1990 et 1996, le peuplement des différentes zones de Méditerranée nord-occidentale était constitué d'une proportion de dauphins bleus et blancs moins importante, et d'une quantité de rorquals communs plus élevée que dans notre étude. De même, le cachalot semble plus présent dans le peuplement actuellement (5,6 % des observations, présente étude) qu'il y a dix ou quinze ans (entre 0 et 1,9 % des observations ; Di-Méglio, 1999, Forcada *et al.*, 1995). Par contre, si l'on compare nos résultats à ceux d'études récentes réalisées dans le Sanctuaire PELAGOS en 2001 (Gannier, 2006) ou dans les deux tiers de la Méditerranée nord-occidentale (valeurs calculées pour les années 2005-2008 ; Delacourtie *et al.*, 2009), on remarque qu'ils sont globalement très semblables (tableau 16). Ceci pourrait laisser supposer que le peuplement de Méditerranée nord-occidentale a changé par rapport à ce que nous connaissions dans les années 90,

Tableau 16. Synthèse des peuplements de cétacés estivaux de Méditerranée nord-occidentale (en % d'observations) issus de la littérature.

% 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 **Centre Méditerranée nord-occidentale** ***n = 661 obs.***	**19,4**	**5,6**	**1,4**	**1,4**	**0,2**	**72,2**	**-**	**-**	**-**
Présente étude (b) Centre Méditerranée nord-occidentale *n = 880 obs*	19,0	5,3	1,8	1,1	0,3	72,4	-	-	-
Présente étude (c) *Centre Méditerranée nord-occidentale* *n = 49 obs*	*28,6*	*4,1*	*6,1*	*4,1*	*2,0*	*55,1*	-	-	-
Méditerranée nord-occidentale (1) *n = 6 084 obs.*	25,0	3,1	3,3	2,3	1,7	64,5	NC	NC	NC
Méditerranée nord-occidentale (1)b *n = 964 obs*	18,5	4,7	1,7	0,009	0,005	73,8			
Mer Ligure (2) *n = 195 obs.*	37,4	1,5	1,5	0,5	0,5	58,6	-	-	
Mer Ligure (3) *n, = 865 obs.*	27,7	1,0	2,2	2,1	0,5	66,5	-	-	
Mer Ligure (4) *n = 63 obs.*	9,6	-	-	17,3	3,2	49,3	-	3,1	17,5
Secteur Corso-Ligure (5) *n = 133 obs.*	39,8	-	0,8	5,3	-	52,6	-	1,5	-
Sanctuaire PELAGOS (6) *n = 92 obs.*	26,1	4,3	1,1	3,3	1,1	59,8	2,2	2,2	-
Liguro-provence (7) *n = 321 obs.*	38,9	0,6	4,0	4,0	-	52,3	-	-	-
Liguro-corse (7) *n = 158 obs.*	40,5	0,6	0,6	1,9	0,6	55,1	-	-	0,6
Golfe du Lion (7) *n = 159 obs.*	35,4	1,9	0,6	3,7	-	56,5	1,9	-	-
Méditerranée nord-occidentale (7) *n = 640 obs.*	38,4	0,9	2,3	3,4	0,2	54,1	0,5	-	0,2

Présente étude (bateau) : juin à août 2005-2009 (20 314 km)
Présente étude (b) (bateau) : juin à septembre 2005-2009 (23 559 km)
Présente étude (c) (hélicoptère) : juin à septembre 2005-2009 (5 157 km)
(1) Action A2 : juin à septembre 1994-2008 (97 492 km) (Delacourtie et al., 2009)
(1)b Action A2 : juin à septembre 2005-2008 (19 961 km) (Delacourtie et al., 2009)
*(2) juin à septembre 2001-2003 (2 546 km) (Laran, 2005)**
(3) juin à septembre 1988-1998 (12 936 km) (Gannier, 1999)
(4) Campagne Greenpeace 1990-91, distribution et photo-id (5 237 km) (Fabbri & Lauriano, 1992)
(5) août 1992 (Forcada et al., 1995)
(6) 2001, (Gannier, 2006)
(7) Mai à septembre 1994-1996 (13 354 km) (Di-Méglio, 1999)

Ces tendances observées dans le peuplement semblent confirmées en partie pour certaines espèces par des études faites en Méditerranée nord-occidentale. Ainsi, plusieurs travaux scientifiques ont montré des variations au niveau de la taille des groupes et des abondances des dauphins bleus et blancs de Méditerranée nord-occidentale. Delacourtie *et al.* (2009) donnent ainsi des taux de rencontres annuels et des abondances relatives plus importantes entre 1994 et 1998 qu'entre 2005 et 2008 (respectivement 0,37 à 0,64 ind.km^{-1} et

0,029 à 0,042 obs.km^{-1} contre 0,18 à 0,32 ind.km^{-1} et 0,015 et 0,030 obs.km^{-1}). De même, d'autres études confirment que cette espèce était plus abondante dans les années 90 (entre 0,79 et 1,46 ind.km^{-1} (Di-Méglio, 1999 ; Gannier & Gannier, 1997 ; Gannier, 1999) qu'entre 2005 et 2009 (0,24 ind.km^{-1} ; présente étude) et que les tailles moyennes de groupe des dauphins bleus et blancs étaient plus importantes (entre 12,8 et 20,0 ind. groupe^{-1}) entre 1994 et 1998 (Delacourtie *et al.*, 2009 ; Di-Méglio, 1999 ; Gannier, 1997) qu'entre 2005 et 2009 (entre 7,9 et 13,3 ind.groupe^{-1} actuellement) (présente étude ; Delacourtie *et al.*, 2009). Le dernier recensement de l'espèce fait en 2008 dans le Sanctuaire par Panigada *et al.* (2009) va dans le même sens que nos résultats, puisque d'après lui la population de dauphins bleus et blancs du Sanctuaire PELAGOS serait moins importante qu'il y a 20 ans.

De façon générale, la présence, l'abondance et la taille de groupe d'un prédateur est un reflet de son activité prédatrice et sociale (Moulin & Wurtz, 2005; Murrisson & Gaskin, 1989 ; Piatt *et al.,* 1989). Des changements dans ces paramètres indiquent certainement des modifications dans son environnement biologique ou social. Des présomptions et des indices concordants amèneraient à penser que nous pourrions observer ici les prémisses d'un changement écologique global au niveau de la Méditerranée nord-occidentale (Azzelino *et al.,* 2008 ; Gambaiani *et al.,* 2009). Les caractéristiques environnementales évoluant, les dauphins adapteraient leur pression trophique par un changement dans l'aire de distribution de la population en dehors du Sanctuaire, et/ou par des abondances relatives réduites. De plus amples analyses sont nécessaires pour chiffrer plus précisément cette baisse possible de la fréquentation du Sanctuaire et de ses abords.

Concernant le rorqual commun, le même type de phénomène a pu être observé. En effet, cette espèce apparaît comme plus abondante dans les années 90, où différents auteurs donnent en moyenne des abondances comprises entre 0,01 et 0,1 ind.km^{-1} (Delacourtie *et al.*, 2009 ; Di-Méglio, 1999 ; Gannier, 1999 ; Panigada *et al.,* 2005), qu'entre 2005 et 2009 (entre 0,003 et 0,01 ind.km^{-1} (Delacourtie *et al.*, 2009 ; présente étude). De même, on note que la taille moyenne des groupes de rorquals était légèrement plus importante dans les années 90 (1,55 à 1,74 ind.groupe^{-1} ; Delacourtie *et al.*, 2009 ; Di-Méglio, 1999 ; Gannier, 2005b ; Panigada *et al.*, 2005) qu'entre 2005 et 2008 (1,46 à 1,49 ind.groupe^{-1} ; Delacourtie *et al.*, 2009 ; présente étude). Toutefois, ces tendances sont à prendre avec précaution car si certains auteurs laissent supposer que la population de rorquals tend à diminuer depuis les années 90 en se basant sur les abondances relatives annuelles (Panigada *et al.*, 2005 ; Laran et Gannier, 2006), d'autres (Monestiez *et al.*, 2009) remettent en question cette tendance en calculant des abondances annuelles absolues à l'aide de la méthode de krigeage par bloc selon un modèle poissonien (Monestiez *et al.,* 2006). Ils montrent ainsi que ces différences seraient dues en partie au fait que les échantillonnages sont très hétérogènes d'une année sur l'autre en termes d'effort et de couverture spatiale. Ce qui n'exclus pas non plus un mouvement des populations légèrement en-dehors du Sanctuaire en réponse aux conditions environnementales ou aux pressions anthropiques changeantes.

Le cachalot quant à lui semble légèrement plus présent dans le peuplement actuel que dans celui des années 90 aussi bien au niveau de sa proportion dans le peuplement, comme nous l'avons vu précédemment, qu'au niveau des abondances et de la taille des groupes. Ainsi, Delacourtie *et al.* (2009) donnent respectivement pour la Méditerranée nord-occidentale une abondance relative moyenne de 0,001 ind.km^{-1} et une taille moyenne de groupe de 1,06 ind.groupe^{-1} entre 1994 et 1998 et des valeurs de 0,0028 ind.km^{-1} et de 1,24 ind.groupe^{-1} entre 2005 et 2008. De la même manière, Di-Méglio (1999) trouve une abondance relative de cachalot de 0,002 ind.km^{-1} et une taille moyenne de groupe de 1,0 ind.groupe^{-1} (1994-1996) pour la Mer Ligure tandis que cette étude atteste d'une valeur de 0,002 ind.km^{-1} et de 1,16 ind.groupe^{-1} entre 2005 et 2008 pour le centre de la Méditerranée nord-occidentale. Là aussi de plus amples analyses sont nécessaires, car cette espèce ne passe que très peu de temps en surface et nos données ne sont que visuelles. Il n'est pas exclu que ces résultats soient en partie dus à des différences annuelles dans le temps passé en surface par exemple. De même, si la composition des groupes tend vers plus de femelles et de jeunes (Di-Méglio & David, 2008), ceux-ci restent peut-être plus longtemps en surface par rapport aux gros mâles ?

Enfin, aucune tendance n'a été vraiment observée pour le dauphin de Risso, le globicéphale noir et le grand dauphin. Ainsi, les tailles de groupes et les abondances relatives des dauphins de Risso varient pour une même zone comme le secteur ligure entre 8,4 et 14 ind.groupe^{-1} et 0,0012 et 0,07 ind.km^{-1} quelle que soit la période considérée (Delacourtie *et al.*, 2009 ; Di-Méglio, 1999 ; Gannier, 1997 et 2006 ; Laran, 2005 ; présente étude). Le globicéphale noir, pour sa part, ne montre pas de vraie tendance mais plutôt des fluctuations d'abondance et

des tailles de groupes annuelles. De 2005 à 2008, on note ainsi, en Méditerranée nord-occidentale, des tailles de groupes et des abondances relatives pouvant varier respectivement de 14,5 à 40,3 ind.groupe^{-1} et 0,008 à 0,065 ind.km^{-1} selon l'année considérée (Delacourtie *et al.*, 2009). Le même type de fluctuations annuelles a aussi été observé par ces auteurs entre 1994 et 1998. De la même manière, nous avons noté dans notre étude qu'entre 2005 et 2009, les tailles de groupe variaient entre 9 et plus de 40 ind.groupe^{-1} selon l'année considérée, tandis que les abondances relatives fluctuaient entre 0,004 et 0,05 ind.km^{-1}. Cependant, aucune différence significative n'a été statistiquement trouvée entre ces différentes abondances relatives annuelles. Par ailleurs, il est difficile d'expliquer ces variations sans une comparaison avec les conditions environnementales ou les facteurs menaçant cette espèce : concurrence inter-spécifique ? Dérangement par les activités anthropiques sub-côtières ? Changements dans l'abondance et la distribution de ses proies ? En ce qui concerne le grand dauphin, une seule observation de 10 individus a été faite en été, ce qui nous donne une abondance relative de 0,0005 ind.km^{-1}. Cette abondance relative est peu différente de celle que Di-Méglio (1999) obtient en mer Ligure (0,004 ind.km^{-1}) pour un jeu de données semblable, c'est-à-dire qui couvre majoritairement la zone pélagique qui n'est pas le domaine de prédilection de ces animaux. En revanche, cette abondance est beaucoup plus faible que celle que Baril *et al.* (2001) a obtenu lors de prospections dévolues à cette espèce, et ce aussi bien pour la zone continentale (Golfe du Lion et secteur des îles d'Hyères) que pour la zone corse (respectivement 0,110 et 0,107 ind.km^{-1}) : ce qui confirme l'affinité du grand dauphin pour le secteur côtier. Concernant les tailles de groupe, il semblerait que cette taille varie en fonction du secteur de Méditerranée nord-occidentale concerné. Ainsi, les dernières études réalisées donnent en moyenne des groupes de 8 à 13,3 individus pour le secteur provençal (Baril et al., 2001 ; Labach *et al.*, 2009, présente étude) alors que les groupes sont en moyenne de 18,5 ind.groupe^{-1} dans le Golfe du Lion et de 9,2 à 10,8 ind.groupe^{-1} en Corse (Baril *et al.*, 2001 ; Dhermain, 2006). Cependant, des études antérieures donnent des tailles de groupes moindres dans le bassin corso-liguro-provençal : entre 1 et 5,4 ind.groupe^{-1} (Di-Méglio, 1999 ; Gannier, 1997). Ce qui pourrait conforter l'idée que cette espèce pourrait être de plus en plus présente dans nos régions.

Globalement en été, la distribution des cétacés est surtout concentrée dans la partie nord de notre zone d'étude : les observations le long de la Corse étant beaucoup moins importantes. La distribution bathymétrique des différentes espèces de cétacés varie cependant d'une espèce à l'autre. Ainsi, le dauphin bleu et blanc fréquente l'ensemble de notre zone d'étude, mais a une préférence pour la zone continentale avec un gradient de la côte vers le large comme cela a déjà été observé par différents auteurs (Delacourtie *et al.,* 2009 ; Gannier, 2005a ; Moulin *et al.*, 2008 ; Reeves et Notarbartolo di Sciara, 2006).

De la même manière, le rorqual a son maximum d'abondance en été avec des concentrations importantes au large des côtes liguro-provençales, même s'il est observé jusqu'aux abords de la Corse. Cette affinité pour le domaine pélagique situé au large de la partie continentale est en adéquation avec ce que l'on trouve dans la littérature (Arcangelli *et al.*, 2009 ; Cotté, 2009 ; David *et al.*, 2001 ; Delacourtie *et al,* 2009 ; Di-Méglio, 1999 ; Dubroca *et al.,* 2004 ; Forcada *et al.*, 1995).

Le cachalot quant à lui semble affectionner particulièrement le bas du talus et la zone pélagique tant au niveau continental que corse. Cependant les plus fortes concentrations ont été notées au large des côtes liguro-provençales. Cette affinité pour le talus et le secteur pélagique a été mise en évidence par plusieurs auteurs dans ce secteur de Méditerranée, et Drouot (2003) a montré que le cachalot avait une affinité particulière pour les fonds compris entre 500 et 1300 mètres (48,5% des observations) et entre 2500 et 2700 m (30,3% des observations). Gannier *et al* (2002) et Delacourtie *et al.* (2009) ont mis en évidence, dans des études portant respectivement sur l'ensemble du bassin méditerranéen ou le nord de la Méditerranée occidentale, que ces animaux se répartissaient sur des fonds compris environ entre 100 et 2800 mètres. En revanche Gordon *et al.* (2000) n'a pu mettre en évidence aucune différence significative des taux de détection acoustique sur quatre classes de profondeurs dans la zone du Sanctuaire.

Le dauphin de Risso fréquente en été à la fois le talus continental et le domaine pélagique situé entre Nice et Marseille, mais avec une préférence plus importante pour la zone du talus où la majorité des observations a été faite. Cette affinité pour le secteur du talus continental a été observée en Méditerranée nord-occidentale du Golfe du Lion à la mer Tyrrhénienne (Azzelino *et*

al., 2008 ; Bompar, 1997 ; David, 2000 ; Delacourtie *et al.,* 2009 ; Di-Méglio, 1999 ; Gannier, 2006 ; Marini *et al*., 1996 ; Praca & Gannier, 2008 ; Reeves & Notarbartolo di Sciara, 2006). Par ailleurs, il est surprenant qu'aucune observation n'ait été faite du côté corse car cette espèce est y régulièrement observée en été et surtout à partir de mi-juillet (Di-Méglio, 1999). Mais ceci est peut-être dû en partie au faible échantillonnage de cette zone durant ces cinq années.

Le globicéphale noir a été rencontré, durant nos prospections, essentiellement dans le domaine pélagique au-delà des fonds de 2000 m, et en particulier au large de la marge provençale. Le large de la zone liguro-corse semble cependant aussi fréquenté en été par quelques individus (une seule observation), mais cela de façon beaucoup plus exceptionnelle. Cette préférence pour le secteur situé le plus à l'Ouest de notre zone d'étude en période estivale est en adéquation avec ce que l'on peut observer dans la littérature. Ainsi, ces animaux sont signalés comme fréquentant le Golfe du Lion en début d'été (Di-Méglio, 1999 ; Mangion & Gannier, 2002)) et comme étant peu présents en cette saison dans les secteurs situés plus à l'Est, comme le secteur corse ou la zone Ligure (Di-Méglio, 1999 ; Gannier, 1998 ; Gannier, 2005).

Enfin, le grand dauphin est l'espèce que nous avons rencontrée le moins en période estivale : une seule observation faite au large des côtes provençales. Il est intéressant de noter que toutes les observations de grand dauphin réalisées au cours de nos diverses missions se localisent au-delà de fonds de 1500 mètres, et majoritairement au large sur des fonds de plus de 2000 m, ce qui est le cas aussi pour cette observation estivale. Ceci est d'autant plus surprenant que cette espèce est connue pour fréquenter en période estivale préférentiellement le plateau continental de divers secteurs de Méditerranée nord occidentale comme la Corse, le Golfe du Lion ou les côtes provençales (Beaubrun *et al.,* 2000 ; Labach *et al.,* 2009 ; Baril *et al*., 2001 ; Renaud, 2001). Bearzi *et al.* (2008) précisent cependant, dans leur synthèse bibliographique, que certains individus peuvent être observés dans le domaine pélagique, lorsque ces animaux se déplacent d'une zone à une autre comme cela a été observé par différents auteurs (Dhermain *et al*., 1999; Gnone *et al*., *in prep*.).

2. Peuplement automnal

Les rares études sur le peuplement de cétacés de Méditerranée nord-occidentale en automne sont synthétisées dans le tableau 17. Afin de pouvoir comparer ces études à nos résultats nous avons dû redécouper nos données et calculer le peuplement automnal uniquement sur les mois d'octobre et novembre, comme cela a été fait dans ces travaux.

Globalement, on note que les deux études réalisées à l'aide de données récentes (2001-2003 pour Laran (2005) et 2005-2009, présente étude) donnent des résultats similaires. En revanche ils sont différents de ceux de Gannier (1998 et 1999) qui reposent sur des données antérieures (1988-1994 et 1988-1998). Ainsi les études récentes montrent une proportion de dauphins bleus et blancs légèrement inférieure à celle observée par Gannier (1998 et 1999) : respectivement 73,2 à 79,6% des observations contre 86,5 % et 89,2 %. A l'opposé, les rorquals semblent avoir une place plus importante dans le peuplement automnal actuel : environ 17,8 % des observations contre 5,4 à 7,7 % des observations antérieurement. De la même manière, le cachalot s'avère plus présent dans le peuplement actuel à l'inverse du globicéphale noir qui semble moins présent actuellement.

Les différences entre les résultats de ces divers travaux semblent être globalement le reflet d'une variation temporelle du peuplement et non d'un biais dû à la distribution spatiale de l'échantillonnage car les études de Laran (2005) et de Gannier (1998 et 1999) se situent à l'Est de notre zone, en Mer Ligure, et couvrent des secteurs de taille inférieure à la nôtre. Par ailleurs, ceci semble aussi être confirmé par le fait que le peuplement automnal, calculé d'après les données hélicoptère (2005-2009) qui couvrent une large zone, définit de la même manière un taux d'observation de rorqual commun relativement élevé (11,8 % des observations faites en octobre - novembre) et une proportion de dauphin bleu et blanc de 70,6 %, donc plutôt basse par rapport aux années antérieures.

Concernant les dauphins de Risso, et les grands dauphins, aucune tendance ne semble se dégager. Le dauphin de Risso semble toujours aussi présent à cette saison par rapport aux années antérieures, tandis que le grand dauphin n'a été observé que dans notre étude. L'absence d'observation de grands dauphins dans le travail de Laran (2005) pourrait s'expliquer

en partie par le fait que la zone prospectée (radiale entre Antibes et Calvi) est peu propice à cette espèce.

Tableau 17. Synthèse des peuplements de cétacés en automne en Méditerranée nord-occidentale (en % d'observations) issus de la littérature.

% nombre d'observations	**Rorqual**	**Cachalot**	**Globicéphale**	**D. de Risso**	**Grand dauphin**	**D. bleu & blanc**
Présente étude Centre Méditerranée nord-occidentale *n = 275 obs.*	**17,8**	**4,0**	**2,5**	**1,1**	**1,5**	**73,1**
Présente étude (b) Centre Méditerranée nord-occidentale *n =56 obs.*	17,9	1,8		3,6	3,6	73,2
Présente étude (c) Centre Méditerranée nord-occidentale *n =17 obs.*	11,8	-	-	17,6	-	70,6
Mer Ligure (1) n = 37 obs.	5,4	-	2,7	2,7		89,2
Mer Ligure (2) n = 49 obs.	16,3	2,0	-	2,0		79,6
Mer Ligure (3) n = 52 obs.	7,7	-	1,9	3,8		86,5

Présente étude (bateau) : septembre à novembre 2005-2009 (4104 km)
Présente étude (b) (bateau) : octobre à novembre 2005-2009 (858 km)
Présente étude (c) (Hélicoptère) : octobre à novembre 2005-2009 (2 585 km)
(1) octobre à novembre 1988-1998 (803 Km) (Gannier, 1999)
(2) octobre à novembre 2001-2003 (1407 km) (Laran, 2005)
(3) octobre à novembre 1988-1994 (310 km) (Gannier, 1998)

Certaines des tendances observées dans le peuplement semblent confirmer en partie d'autres travaux faits en Méditerranée nord-occidentale, toutefois ces résultats sont à prendre avec précaution car ils reposent sur très peu d'études. Ainsi, conformément à ce que nous avons vu dans le peuplement, les abondances des dauphins bleus et blancs semblent plus élevées dans les années 90 que dans notre étude plus récente : respectivement 0,45-0,46 ind.km^{-1} (Gannier & Gannier, 1997 pour 1994; Gannier, 1999 pour 1988-1998) et 0,29 ind.km^{-1} (présente étude). De même, on note des tailles de groupe inférieures à l'heure actuelle : 6,3 ind.groupe^{-1} (présente étude) contre 15,0 ind.groupe^{-1} entre 1988 et 1998 (Gannier, 1999).

Le rorqual commun semble avoir des tailles de groupe actuellement moins importantes que dans les années 90, et ce pour la Zone Ligure : entre 1,27 et 1,8 ind.groupe^{-1}, pour des études menées entre 2001 et 2009 (présente étude ; Aissi *et al.,* 2008 ; Laran, 2005) contre 2,5 ind.groupe^{-1} entre 1998 et 1998 (Gannier, 1999). Les résultats pour les abondances relatives sont plus variables ailleurs, en fonction de la zone considérée. Les rorquals du bassin liguro-provençal semblent moins fréquents dans les années 90 : environ 0,006 ind.km^{-1} (Gannier & Gannier, 1997, pour 1994; Gannier, 1999, pour 1988-1998) qu'actuellement dans notre zone (centre Méditerranée nord-occidentale) avec 0,017 à 0,02 ind.km^{-1} (présente étude). En revanche, ces abondances sont plus importantes si on les compare à la zone située au Nord-ouest de la mer Ligure (0,002 ind.km^{-1} (Aissi *et al.*, 2008)). Ceci pourrait être le reflet d'un

déplacement d'une partie des rorquals vers une zone située à l'Ouest du Sanctuaire, et que notre secteur d'étude engloberait. La comparaison des abondances relatives des rorquals dans et hors Sanctuaire PELAGOS dans le Chapître 3 nous permettra de confirmer cette hypothèse.

En ce qui concerne le dauphin de Risso, les tailles de groupe et les abondances relatives semblent peu varier dans le temps, mais plutôt en fonction du secteur considéré. En effet, Gannier (1999) donne une abondance relative pour les mois d'octobre et novembre de 0,0011 ind.km^{-1} dans le secteur liguro-provençal (1988–1998) alors que nous obtenons dans notre zone d'étude une valeur de 0,013 ind.km^{-1} (2005-2009) pour les mêmes mois. Par contre, nos résultas en septembre et octobre sont inférieurs à ceux de Laran (2005), qui a travaillé plus à l'Est (traversée Antibes/Calvi) : respectivement 0,0063 ind.km^{-1} et 8,7 ind.groupe^{1} (présente étude) contre 0,019 ind.km^{-1} et 13 ind.groupe^{-1} .

Les abondances relatives du cachalot obtenues dans les années récentes peuvent varier selon les auteurs. Praca (2008) donne ainsi une valeur pour le bassin liguro-provençal proche de la notre : 0,0038 ind.km^{-1} contre 0,0049 ind.km^{-1} (présente étude). En revanche, Laran et Gannier (2005) rapportent que cette espèce est présente dans le secteur ligure surtout en automne où elle atteint une valeur maximale de 0,032 ind.km^{-1} en octobre. Les cachalots semblent par ailleurs atteindre en automne des tailles de groupes maximales et en particulier en septembre où différents auteurs rapporte la présence de groupes sociaux avec de très jeunes spécimens pouvant aller jusqu'à 7 individus (Di-Méglio & David, 2008 ; Laran & Gannier, 2005)

En automne, bien que le globicéphale soit régulièrement observé, rares sont les études qui traitent de l'abondance relative de cette espèce. Di-Méglio (1999) rapporte que cette abondance est maximale entre fin août et début septembre dans le secteur liguro-provençal (0,15 ind.km^{-1}) et la zone liguro-corse (0,05 ind.km^{-1}) ce qui est très proche de ce qu'observe Laran (2005) en septembre-octobre dans le centre ligure (0,11 ind.km^{-1}) et supérieur à ce que nous obtenons dans le centre de la Méditerranée nord-occidentale (0,035 ind.km^{-1} ; présente étude). A l'automne, les globicéphales noirs peuvent se regrouper en groupes de taille inférieure à ce que nous avons pu observer en été : en moyenne 20,7 ind.groupe^{-1} contre 35,3 ind.groupe^{-1} respectivement. Cependant, ils peuvent aussi se regrouper en grands groupes comme l'atteste l'observation de 200 individus en septembre 1974 par Vallon *et al.* (1976).

Pour ce qui est du grand dauphin, la taille des groupes semble varier dans le temps. Ainsi, Dhermain (1996) rapporte qu'entre 1972 et 1992 la taille moyenne des groupes de cette espèce était de 4,4 ind.groupe^{-1} alors qu'elle a atteint une moyenne de 9,2 ind.groupe^{-1} dans le même secteur provençal entre 1992 et 1995. Actuellement, cette taille de groupes serait seulement de 2,5 ind.groupe^{-1} dans notre zone d'étude, bien que la majorité des observations aient été faites à l'automne au large des îles d'Hyères. Ceci est par ailleurs assez surprenant car selon Shane *et al*. (1986) et Connor *et al*. (1999) la taille des groupes de grands dauphins augmenterait au fur et à mesure que l'on s'éloignerait de la côte.

Globalement, en automne les cétacés semblent affectionner des eaux plus pélagiques qu'en été. En effet, quasiment toutes les observations ont été faites au-delà des fonds de 2000 m et ce même pour les espèces plus côtières comme le grand dauphin. Les rorquals communs sont ainsi dispersés dans le secteur le plus pélagique situé au centre du bassin corso-liguro-provençal alors que l'essentiel des observations se localisaient plus au Nord en été. Ceci est en adéquation avec plusieurs travaux. Gannier (1998) montre ainsi que ces animaux sont exclusivement répartis sur des fonds de plus de 2000 m dans le bassin liguro-provençal à l'automne, tandis que Laran (2005) donne des profondeurs moyennes en automne supérieures à l'été (respectivement 2605 m et 2467 m). David *et al.,* (2001) montrent également schématiquement ces déplacement vers le continent ou à l'inverse plus vers la zone pélagique. En ce qui concerne la distribution automnale des dauphins bleus et blancs on remarque que là encore ces animaux sont moins côtiers et dispersés dans une large zone pélagique (fonds supérieurs à 2000 m), comme a pu l'observer Gannier (1998) dans la zone Ligure où la majorité des observations automnales se situait au-dessus de fonds de plus de 1000 m. De même, Laran (2005) obtient une profondeur moyenne automnale légèrement supérieure à celle de l'été : respectivement 2269 m et 2217 m. Par ailleurs, nous avons pu observer qu'à cette saison ces dauphins semblent avoir une préférence pour la structure frontale du courant ligure située au large des côtes continentales où la majorité des observations a été faite. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que, selon Di-Méglio (1999), ces animaux semblent affectionner plus particulièrement les zones de fronts d'une amplitude inférieure ou égale à 2°C. D'après l'auteur, 73,6 % des fronts où les animaux ont été vus en chasse se localisent en grande partie dans ou en bordure du courant nord méditerranéen.

Le cachalot n'échappe pas à cette tendance. Il se distribue lui aussi plus au Sud qu'en été et préférentiellement sur les fonds de plus de 2000 m : 1 seul cachalot a été vu sur le talus en cette saison. De plus, cet odontocète semble préférer le large de la zone continentale entre Toulon et Nice où toutes les rencontres ont été faites que cela soit en bateau ou en hélicoptère et ce, malgré un effort d'observation couvrant les autres secteurs.

La distribution des globicéphales noirs et des dauphins de Risso se fait en automne au-delà des fonds de 2000 m. Le dauphin de Risso se répartit surtout au large des côtes continentales entre les îles d'Hyères et Nice : aucune observation n'a été faite en Corse ni à l'Ouest des îles d'Hyères bien que ces secteurs aient été échantillonnés. Ces résultats sont en adéquation avec Di-Méglio (1999) qui montre que ces animaux se regroupent à la fin de l'été et au début de l'automne au large des côtes continentales et en particulier entre Marseille et Antibes où 91,7 % des observations ont été faites à cette période. De même, Azzelino *et al.* (2008) observe qu'en septembre ces animaux se déplacent plus à l'Ouest de sa zone d'étude à savoir le secteur proche de Nice. Par ailleurs, il est surprenant que l'ensemble de nos observations ait été faite au-delà des fonds de 2000 m car d'après Gannier (1998), ces cétacés affectionneraient en automne surtout la zone du talus profond (78 % des observations) et en moindre quantité le large (22 % des observation) dans le bassin liguro-provençal.

Le globicéphale noir quant à lui, se répartit essentiellement plus à l'Ouest au large des côtes situées entre Marseille et Camarat : une seule observation a été réalisée au large des côtes corses. Cette tendance à se concentrer au large des côtes provençales en automne a été observée par Di-Méglio (1999) en septembre où les abondances maximales dans le secteur liguro-provençal. Cependant cet auteur rapporte contrairement à nous et ce qui a été observé par Podesta & Malgnaghi (1988) que ces odontocètes migreraient majoritairement vers des fonds moins importants (1000 m) à la fin de l'été et au début de l'automne.

En automne, toutes les observations de grands dauphins ont été faites sur des fonds de plus de 2000 m. Deux ont été réalisées au Sud des îles d'Hyères et une au centre de la mer Ligure. Il est surprenant que, comme en été, l'ensemble des observations ait été fait au large puisque cette espèce ne fréquenterait le domaine pélagique que ponctuellement lors de déplacements selon Bearzi *et al.* (2008). Une étude récente (Gnone *et al*, *in prep*) préciserait que ces déplacements se feraient entre les différentes sous populations de la zone Est de la Méditerranée nord-occidentale. Par ailleurs, Labach et al. (2009) rapportent qu'entre avril et octobre 2009 dans le secteur des îles d'Hyères, seul un groupe de grand dauphin a été reporté sur des fonds de 1500 m : la quasi-totalité des contacts était sur le plateau continental. Cette différence peut être due en partie à un biais d'échantillonnage car à cette saison la majorité de notre effort d'observation était localisé au large tandis que cela était le contraire pour Labach *et al*. (2009).

3. Peuplement hivernal

Il n'est pas aisé de comparer les résultats des différentes études réalisées en hiver en Méditerranée nord-occidentale car la taille et la répartition bathymétrique des zones prospectées par chacun sont très différentes. Cependant, quel que soit l'auteur, on note que le peuplement hivernal se caractérise par une forte présence de dauphins bleus et blancs, ce qui est notre cas, que l'on considère les données bateau ou hélicoptère : soit entre 62,5 et 100 % des observations réalisées en hiver (tableau 14). Globalement, et contrairement à nos résultats, les travaux de Gannier (1999) et Laran (2005) montrent des résultats assez similaires et en particulier pour les dauphins bleus et blancs, les rorquals communs et les dauphins de Risso. Ceci peut s'expliquer en partie par le fait que ces deux études ont été réalisées en bateau dans des secteurs se recoupant partiellement et situés majoritairement en zone Ligure alors que notre étude porte sur un effort très faible, peu représentatif (106 km), effectué uniquement en zone provençale lors d'un transect vers le large. Il est par ailleurs intéressant de constater que le peuplement issu des missions hélicoptères est très semblable aux résultats de ces deux études. Pourtant l'ensemble des observations faites en hélicoptère l'a été à l'Ouest du cap Camarat, bien qu'un effort important ait été fait en mer Ligure dans le secteur prospecté par Gannier (1999) et Laran (2005). Enfin, le globicéphale noir et de grand dauphin n'ont jamais été observés dans aucune des études (tableau 18).

Tableau 18. Synthèse des peuplements de cétacés en hiver en Méditerranée nord-occidentale (en % d'observations) issus de la littérature.

% nombre d'observations	**Rorqual**	**Cachalot**	**Globicéphale**	**D. de Risso**	**Grand dauphin**	**D. bleu & blanc**
Présente étude Centre Méditerranée nord-occidentale *n =56 obs.*	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**100**
Présente étude (b) Centre Méditerranée nord-occidentale *n = 8 obs.*	12,5	12,5	-	12,5	-	62,5
Mer Ligure (1) n = 47 obs.	8,5	-	-	10,6	-	80,9
Mer Ligure (2) n = 74 obs.	6,8	1,4	-	8,1	-	83,8

Présente étude (bateau) : décembre à février 2005-2009 (106 km)
Présente étude (b) (Hélicoptère) : décembre à février 2005-2009 (2 582 km)
(1) décembre à février 1988-1998 (803 Km) (Gannier, 1999)
(2) décembre à février 2001-2003 (1756 km) (Laran, 2005)

Les abondances relatives et les tailles de groupes des dauphins bleus et blancs se montrent plus importantes dans les années 90 qu'actuellement : respectivement 9,1 ind.groupe^{-1} et environ 0,21 ind.km^{-1} de 1988 à 1998 (Gannier & Gannier, 1997 ; Gannier, 1999) et 3,5 ind.groupe^{-1} et 13,2 ind.km^{-1} entre 2005 et 2008 (présente étude). Cependant le faible nombre de travaux scientifiques et ce sur des zones spatialement différentes ne permet pas de dégager une vraie tendance. Globalement ces animaux se distribuent en hiver du talus supérieur vers le large en groupes de petite taille à l'Ouest de Camarat et ce malgré un effort en hélicoptère à l'Est de cette zone. Ces dauphins semblent préférer une zone moins pélagique qu'en été ce qui est confirmé par les profondeurs moyennes hivernales données par Laran (2005) (1915 m en hiver contre 2217 m en été). De même, Gannier (1998) rapporte qu'en hiver les dauphins bleus et blancs présentent une plus grande affinité pour les fonds de plus de 1000 m (80 % des observations) et une moindre affinité pour la zone côtière (3,7 %) et du talus supérieur (16 %).

En hiver, un seul rorqual a été observé en plein milieu de la zone en hélicoptère et ce malgré des sorties régulières et un effort de prospection de près de 3800 kilomètres. En bateau, aucune observation n'a été faite à cette saison, mais peu de missions ont eu lieu à cette difficile période de l'année. Pas complètement absents de cette partie de Méditerranée en hiver, les rorquals sont donc néanmoins très rares comme le confirment les abondances relatives données par Gannier (1995 et 1999) pour la zone liguro-provençale (0,0026 ind.km^{-1}) ou par Aissi *et al.* (2008) dans le Nord de la mer Ligure (0,00054 ind.km^{-1}). Cotté *et al.* (2009) rapportent quant à eux la présence hivernale de ces cétacés au Sud et à l'Ouest des îles d'Hyères : ces animaux se disperseraient en hiver dans le Nord de la Méditerranée nord-occidentale. Durant cette saison les rorquals forment de petits groupes, soit 1 à 1,2 ind.groupe^{-1} (Aissi *et al.,* 2008 ; Laran, 2005 ; Gannier, 1999) et semblent fréquenter la zone du talus profond et le large dans le secteur ligure (respectivement 31 et 79 % des observations faites par Gannier (1998)).

En hiver, le cachalot n'a été vu qu'une seule fois (en hélicoptère) à l'extrême Ouest de la zone d'étude, sur le talus du Golfe du Lion. Ces animaux ont cependant été observés par d'autres auteurs (Laran et Gannier, 2005) dans le secteur ligure entre 2001 et 2004 avec une abondance maximale de 0,022 ind.km^{-1} en décembre où de grands groupes sociaux incluant de très jeunes individus ont été observés (7 ind.groupe^{-1}).

La seule observation de dauphins de Risso faite en hiver l'a été sur le haut du talus dans la zone des îles d'Hyères. Cela confirme d'une part la présence de cette espèce durant la

saison hivernale dans le secteur provençal comme cela avait été mis en évidence par Bompar (1997b) et d'autre part son affinité en période hivernale pour le talus. Gannier (1998) rapporte ainsi que ce dauphin a une plus grande affinité pour le talus profond (48% des observation) que pour la zone du large (36,6 %) en hiver dans le bassin liguro-provençal.

Enfin, si aucune étude actuelle ne rapporte d'observation de grands dauphins en hiver dans le secteur du bassin liguro-provençal, il semble cependant que celui-ci soit signalé à l'heure actuelle en hiver dans le Golfe du Lion comme l'attestent diverses observations (Dhermain, *comm. pers.*) et qu'il ait été rencontré à plusieurs reprises en hiver le long des côtes provençales entre 1992 et 1995 (Dhermain, 1996).

4. Peuplement printanier

Le peuplement printanier se caractérise par la présence de quatre espèces de cétacés : le rorqual commun, le dauphin bleu et blanc, le cachalot et le dauphin de Risso. Quelle que soit l'étude considérée (tableau 15) on remarque que le dauphin bleu et blanc est l'espèce qui prédomine et ce dans des proportions semblables pour toutes les missions réalisées en bateau : 69 à 79,2 % des rencontres avec les cétacés. Dans les années 90, aucune étude ne note la présence de cachalot au printemps dans le bassin liguro-provençal (Gannier, 1999 ; Gannier & Gannier, 1997) alors que les études plus récentes mettent en évidence sa présence et ce, dans des proportions très semblables : 1,8 % (Laran, 2005) et 1,9 % (présente étude). Le rorqual commun quant à lui a toujours été observé au printemps, mais semble t-il dans des proportions légèrement inférieures dans les années 90 : 16,7 % des observations (Gannier, 1999) contre actuellement 18,9 à 22,5 % des observations (présente étude ; Laran, 2005). Enfin, le dauphin de Risso apparaît moins présent actuellement que dans les années 90, Selon les études et les secteurs, sa proportion fluctue entre 0 et 0,9 % (présente étude ; Laran, 2005) alors qu'elle était de 14,3 % dans le bassin liguro-provençal (Gannier, 1999). Cependant, il est utile de signaler que si nous n'avons aucune observation de dauphin de Risso dans notre jeu de données bateau à cette saison, cette espèce a cependant été observée lors des missions en hélicoptère (6,3 % des observations faites en hélicoptère). Enfin, le grand dauphin n'a pas été rencontré dans notre secteur d'étude mais il semble cependant possible de l'y rencontrer comme l'atteste l'étude de Laran (2005) qui entre 2001 et 2003 a observé cette espèce, dans des proportions faibles toutefois (1,8 %).

Tableau 19. Synthèse des peuplements de cétacés printaniers en Méditerranée nord-occidentale (en % d'observations) issus de la littérature.

% nombre d'observations	**Rorqual**	**Cachalot**	**Globicéphale**	**D. de Risso**	**Grand dauphin**	**D. bleu & blanc**
Présente étude Centre Méditerranée nord-occidentale *n = 53 obs.*	**18,9**	**1,9**	**-**	**-**	**-**	**79,2**
Présente étude (b) Centre Méditerranée nord-occidentale *n = obs.*	6,3	6,3	-	6,3	-	81,3
Mer Ligure (1) n = 42 obs.	16,7	-	-	14,3	-	69,0
Mer Ligure (2) n = 107 obs.	22,5	1,8	-	0,9	1,8	72,9

Présente étude (bateau) : mars à mai 2005-2009 (1414 km)
Présente étude (b) (Hélicoptère) : mars à mai 2005-2009 (4 212 km)
(1) mars à mai 1988-1998 (1545 Km) (Gannier, 1999)
(2) mars à mai 2001-2003 (2043 km) (Laran, 2005)

Si l'on considère l'ensemble des prospections faites en bateau et en hélicoptère au printemps, on note que le dauphin bleu et blanc est rencontré dans tous les secteurs de la côte vers le large avec un maximum d'observation sur les fonds de plus de 2000 m. Cette affinité pour le domaine pélagique est confirmée par Laran (2005) qui rapporte que cette espèce se distribue au printemps à des profondeurs moyennes de 2272 m dans le secteur centre ligure. De même, Gannier (1998) remarque que ces animaux désertent la zone côtière au profit du talus profond et du large où 73 % des observations ont été vues. Dans ce secteur Laran & Drouot (2007) rapportent que les groupes de ces dauphins atteignent une taille maximale de 25,7 ind.groupe^{-1} en mai, ce qui est tout à fait différent de ce que nous observons dans notre zone d'étude (7,2 ind.groupe^{-1}). De plus, contrairement à ces auteurs, les tailles maximales de ces groupes l'ont été en été et plus particulièrement en juillet (12,5 ind.groupe^{-1}). Par ailleurs, les tailles de groupes semblent varier selon les secteurs considérés car Laran (2005) et Gannier (1999) obtiennent des valeurs très semblables dans la zone ligure que ce soit dans les années 90 ou actuellement (respectivement 16 et 14,3 ind.groupe^{-1}), alors que dans le centre de la Méditerranée nord-occidentale, nous obtenons des valeurs moindres de 2005 à 2009. Concernant les abondances relatives, elles varient surtout en fonction du secteur considéré et non de la période. On observe ainsi dans les années 90 : 7,6 ind.km^{-1} dans le bassin liguro-provençal et 19 ind.km^{-1} dans le secteur ligure. En revanche, les valeurs obtenues par ces auteurs dans le bassin liguro-provençal sont proches de ce que nous obtenons actuellement dans notre zone d'étude : secteur qui englobe l'ensemble de ces zones.

Au printemps, le rorqual commun se distribue exclusivement au Sud-Ouest des îles d'Hyères : aucune observation n'a été faite à l'Est de la zone, ni en hélicoptère ni en bateau. Ceci pourrait être le reflet de certains mouvements saisonniers. En effet, d'après plusieurs auteurs, le rorqual commun arriverait dans le secteur ligure au printemps non seulement par la mer Tyrrhénienne (Arcangelli *et al.*, 2008 ; Marini *et al.*, 1996) mais aussi par l'Ouest du bassin occidental comme l'ont mis en évidence Di-Méglio (1999) et David *et al.* (2001). Ceci est confirmé par les différentes abondances relatives notées dans les divers secteurs de Méditerranée nord-occidentale à cette saison. Ainsi, Di-Méglio (1999) donne une abondance printanière de 0,29 ind.km^{-1} dans le Golfe du Lion alors qu'à la même période elle obtient des abondances de 0,09 ind.km^{-1} dans le secteur corse et 0,013 ind.km^{-1} dans la zone liguro-provençale. Cette faible abondance printanière en zone ligure (Nord et Est ligure) a aussi été observée par divers auteurs aussi bien dans les années 90 (0,005 ind.km^{-1} ; Gannier 1999) qu'actuellement (0,002 ind.km^{-1} ; Aissi *et al*, 2008). De même, les études englobant la zone provençale (secteur situé plus à l'Ouest), montrent toutes des valeurs légèrement supérieures à celles de la zone Nord ou centre ligure : 0,01 ind.km^{-1} (présente étude) 0,006 ind.km^{-1} (Gannier & Gannier, 1997). A cette saison, le rorqual semble affectionner particulièrement le domaine pélagique comme l'attestent nos observations toutes situées sur des fonds de plus de 2000 m. De même Laran (2005) donne une profondeur moyenne de 2555 m en zone ligure et Gannier (1998) démontre que cette espèce a une grande affinité pour le domaine pélagique car 63 % des observations printanières ont été vus sur des fonds de plus de 2000 m. Enfin, quelle que soit l'étude considérée, les tailles de groupe de rorqual commun sont toutes comprises entre 1,1 et 1,5 ind.groupe^{-1} au printemps (présente étude ; Laran, 2005 ; Aissi *et al.*, 2008 ; Gannier, 1999).

Le cachalot a été observé a deux reprises (1 en bateau et 1 en hélicoptère) au printemps ce qui nous donne une abondance relative très faible de 0,0007 ind.km^{-1}. Cette valeur est bien inférieure à ce qu'obtient Praca (2008) pour cette saison dans le bassin liguro-provençal à partir de données visuelles et acoustiques (0,0048 ind.km^{-1}). Ces individus ont tous été vus au Sud du secteur Cannes-Nice, dans une zone où il est régulièrement observé (Di-Méglio, 1993 ; Laran & Gannier, 2005). Un de ces animaux se situait sur le talus inférieur et l'autre sur des fonds de plus de 2000 m ce qui est tout à fait cohérent avec la distribution de cette espèce dans la zone ligure (Delacourtie *et al.* 2009 ; Drouot, 2003 ; Gannier *et al,* 2002 ; Gordon *et al.*, 2000).

Un seul groupe de 6 dauphins de Risso a été observé au printemps (en hélicoptère) au Sud des îles d'Hyères, sur des fonds importants situés à environ 50 km de la côte. Plusieurs études attestent de la présente de cette espèce à cette saison dans le bassin liguro-provençal (Bompar 1997 ; Gannier, 1999 ; Laran, 2005), et tous la signalent en petit nombre comme nous avons pu le constater. Gannier (1999) donne ainsi une abondance relative printanière de 0,01 ind.km^{-1} dans le bassin liguro-provençal, tandis que Laran (2005) donne une abondance de 0,098 ind.km^{-1} et une taille moyenne de groupe de 2 ind.groupe^{-1} dans le secteur centre ligure. Par contre, Bompar (1997) rapporte la présence de grands groupes sur le secteur des îles d'Hyères au printemps : soit entre 11 et 40 individus. Enfin, notre observation était réalisée sur

des fonds de plus de 2000 m alors que Laran (2005) donne une profondeur moyenne de 1407 m pour ces animaux et que Gannier (1998) rapporte que les dauphins de Risso se répartissent à 98 % sur le talus supérieur au printemps dans le bassin liguro-provançal.

Aucune observation de globicéphale noir et de grand dauphin n'a été faite au printemps dans notre étude. Cela n'est pas surprenant pour le globicéphale noir qui arrive normalement plus tardivement dans le nord de la Méditerranée nord occidentale. En revanche, le grand dauphin peu être rencontré dans notre secteur à cette saison, comme l'attestent différentes études menées dans le secteur provençal (Dhermain, 1996 ; Labach et al., 2009 ; Laran, 2005).

5. En résumé

Globalement nous pouvons dire que le centre de la Méditerranée nord-occidentale est le siège de mouvements de cétacés tout au long de l'année. Certaines espèces n'y séjournent que temporairement (rorqual commun, globicéphale noir) et d'autres y restent tout au long de l'année en plus ou moins grands nombres (dauphin bleu et blanc, grand dauphin, dauphin de Risso, cachalot). Une analyse plus précise pour chacune des espèces montre que :

Le rorqual commun se distribue dans le centre de la Méditerranée nord-occidentale de façon irrégulière tant au niveau spatial que temporel. Globalement ces animaux semblent présents toute l'année, mais dans des proportions différentes. Les observations hivernales ont confirmé que cette espèce ne quittait jamais complètement cette zone durant la saison hivernale, mais que la majorité des rorquals communs migraient hors de ce secteur à la fin de l'automne. Ces animaux se disperseraient ainsi dans d'autres secteurs situés plus au Sud comme le montrent des études récentes (Canese *et al*., 2006 ; Castellote *et al*., 2008 ; Cotté, 2009 ; Guinet *et al*., 2005). Le rorqual reviendrait dans la zone à partir du printemps (mars à mai) à la fois par l'Ouest, comme le montrent nos observations et certaines études (Di-Méglio, 1999 ; David *et al.,* 2001), mais aussi par l'Est de la Méditerranée nord-occidentale comme cela a été mis en évidence par plusieurs auteurs (Arcangelli *et al*., 2008 ; Marini *et al*., 1996). L'attrait pour le centre de la Méditerranée nord-occidentale serait maximal en été où l'on note les plus fortes abondances relatives. En automne, le rorqual commencerait à se disperser dans d'autres zones et en particulier à l'Ouest de la Méditerranée nord-occidentale (Di-Méglio, 1993 ; David *et al.,* 2001 ; Guinet *et al.,* 2005). Enfin, il apparaît clairement, dans cette étude comme dans d'autres (Delacourtie *et al*., 2009 ; Laran & Gannier, 2006 ; Monestiez *et al.,* 2006 ; Panigada *et al.,* 2005), que les abondances relatives des rorquals communs peuvent varier d'une année sur l'autre. Certains auteurs (Panigada *et al.,* 2005) montrent par ailleurs que ces variations pourraient être le reflet de tendances dans la population de rorquals communs de Méditerranée nord occidentale. D'après eux, la population de rorquals de la zone centre ligure serait en décroissance de 1995 à 1999, après une phase de croissance régulière dans le début des années 90, 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 ; Delacourtie *et al.,* 2009 ; Laran & Gannier, 2006). Cependant, il semble que cette tendance à la diminution ne soit plus de mise ces dernières années, si l'on se réfère à une étude récente (Monestiez *et al*., 2009). En effet, depuis 2005 les abondances relatives annuelles observées par ces auteurs montreraient une légère augmentation.

Le dauphin bleu et blanc est l'espèce la plus fréquemment rencontrée dans le centre de la Méditerranée nord-occidentale. On le trouve dans tous les secteurs de notre zone d'étude avec un gradient de la côte vers le large, comme cela a déjà été observé par divers auteurs (Delacourtie *et al.,* 2009, Di-Méglio, 1999 ; Gannier, 2005b ; Moulin *et al.,* 2008 ; Reeves et Notarbartolo di Sciara, 2006). Globalement, cette espèce pélagique devient de plus en plus présente dans notre zone d'étude à partir du printemps pour atteindre une abondance relative maximale en automne, avant de diminuer et d'aboutir à un minimum en hiver. Il apparaît donc qu'une partie de ces animaux n'est pas sédentaire dans ce secteur. Ceci est certainement le reflet de mouvements printaniers et automnaux entre la Méditerranée nord-occidentale et des zones situées plus au Sud comme le proposent Di-Méglio (1999) et Laran & Drouot (2007). En effet, ces auteurs s'appuient sur le fait qu'à l'opposé de ce que nous avons vu, les abondances maximales des dauphins bleus et blancs en mer Tyrrhénienne sont maximales en janvier et juillet (Marini *et al.,* 1996). De même, Gomez de Segura *et al.* (2006) observent au centre de la

Méditerranée espagnole un pic d'abondance entre mars et octobre. Ces animaux migreraient donc vers le Sud par l'Est et par l'Ouest de la Méditerranée nord-occidentale.

De la même manière que pour le rorqual commun, nous avons pu noter des variations interannuelles et, en particulier avec les années 90, qui semblaient moins riches en dauphins bleus et blancs par rapport aux années les plus récentes. Ces variations ont été observées par d'autres auteurs en Méditerranée nord occidentale (Delacourtie *et al.*, 2009 ; Laran et Drouot, 2007). Cette augmentation pourrait être le reflet de l'accroissement de la population de dauphins bleus et blancs après l'épidémie à Morbillivirus qui a affecté cette espèce dans les années 90 (Aguilar & Raga, 1993), et qui a entraîné une forte mortalité. Cette hypothèse de l'accroissement de la population a aussi été suggérée par divers auteurs dont Gomez de Segura *et al.* (2006) le long des côtes espagnoles. A l'opposé Panigada *et al.* (2009) trouvent en 2008, suite à une campagne estivale de recensement similaire à celle faite en 1991 dans le Sanctuaire, des abondances de dauphins beus et blancs plus faibles qu'il y a 20 ans. Cette information n'est cependant qu'indicative car la campagne n'a duré que quelques semaines et le mauvais temps a limité l'effort prévu. De plus, nous avons montré que 2008 était une année de faible présence de cette espèce dans le Sanctuaire (chapitre 3) par rapport aux autres années analysées. Enfin les résultats sont 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 comme Monestiez *et al.* (2009) l'ont montré.

Le cachalot a pu être observé tout au long de l'année dans notre secteur, ce qui confirme les observations faites par Laran & Drouot (2007) en mer Ligure entre 2001 et 2003. Ces animaux ne semblent cependant pas aussi fréquents à toutes les saisons. Ainsi, le cachalot serait surtout abondant en été et en automne avec un maximum en automne. Toutefois, nos abondances étant calculées uniquement à partir de données visuelles (aucun suivi acoustique n'a été fait), ces variations sont à prendre avec précaution d'autant plus que nous observons une abondance minimale en hiver alors que Moulin & Wurtz (2005) rapportent la présence occasionnelle de grands groupes sociaux en mer Ligure en décembre et que Laran & Gannier (2005) observent certaines années une abondance relative maximale (0,023 ind.km^{-1}) ce même mois sur un trajet situé entre Antibes et calvi. Cependant, quelle que soit l'étude considérée, toutes notent un pic d'abondance de cachalots en automne dans le secteur Ligure et une présence moindre durant les autres saisons, et ce bien que certains aient constaté des variations annuelles d'abondance (Laran & Gannier, 2005 ; présente étude). Ces petites variations saisonnières d'abondance pourraient être le reflet de mouvements à travers la Méditerranée occidentale aux différentes saisons. Une étude récente se basant sur la photo-identification (Drouot & Gannier, 2007) a ainsi mis en évidence qu'il existait en période estivale des mouvements de cachalots (mâles adultes) entre la mer Ligure vers le secteur des Baléares. Ces animaux feraient ces déplacements afin de se reproduire avec des femelles présentes dans cette partie de la Méditerranée en été. La reproduction et la recherche de nourriture pourraient être le moteur de ces mouvements, mais cela n'a pas encore pu être clairement démontré en Méditerranée comme cela a pu se faire dans d'autres régions du monde. Les cachalots semblent par ailleurs former en automne des groupes de taille maximale et en particulier en septembre où différents auteurs rapportent la présence de groupes sociaux avec de très jeunes individus pouvant aller jusqu'à 7 animaux (Di-Méglio & David, 2008 ; Laran & Gannier, 2005). Enfin, cette espèce affectionne particulièrement, dans notre secteur, la zone du talus inférieur et le large conformément à ce qui a été observé dans diverses études menées en Méditerranée nord-occidentale (Delacourtie *et al.*, 2009 ; Drouot, 2003 ; Gannier *et al.*, 2002).

Le dauphin de Risso est une espèce qui a été observée toute l'année dans notre zone d'étude. Ce dauphin semble exploiter différents domaines en fonction de la saison. Ainsi, au cours de l'été, la grande majorité des animaux se localise sur le talus continental, alors qu'ils se distribuent plus au large en automne. De même, la seule observation de dauphin de Risso faite en hiver l'a été sur le haut du talus tandis que celle réalisée au printemps l'a été dans le domaine pélagique. Par ailleurs, il est intéressant de noter que le secteur situé autour ou au large des îles d'Hyères est une zone importante pour ces animaux car des individus y sont régulièrement rencontrés tout au long de l'année comme cela a pu être observé plusieurs fois (Bompar, 1997 ; Labach *et al.,* 2009 ; présente étude). Cependant, la fréquentation de ce secteur, comme celle de l'ensemble des zones de la Méditerranée nord-occidentale semble varier tout au long de l'année. Ainsi, certains auteurs (Bompar, 1997 ; Laran, 2005 ; Marini *et*

al., 1996 ; présente étude) 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. Di-Méglio *et al.,* (1999) précisent l'importance de la zone provençale pour cette espèce fin d'été – début d'automne : période durant laquelle nous avons noté les plus fortes abondances relatives de même que Bompar (1997). Azzelino *et al*. (2008) remarquent quant à eux que cette espèce est statistiquement présente chaque année à la même période (de fin juin à fin juillet) dans le Nord-Est du Sanctuaire PELAGOS et que ces animaux se distribuent plus à l'Ouest en septembre qu'en juillet. 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 sont fréquentées qu'entre mi juillet et mi août. Ces variations de distribution semblent donc être le reflet de mouvements. Ceci est confirmé par différentes études sur la photo-identification qui montrent que ces animaux ne sont pas résidents tout au long de l'année et qu'ils reviennent d'une année sur l'autre dans les mêmes secteurs de Méditerranée nord-occidentale (Airoldi *et al*, 2005 ; Bompar, 1997 ; Cañadas et Sagarminaga, 1996 ; David et Di-Méglio, 1999 ; Polo *et al*., 2009). Ces cétacés pourraient se déplacer sur de grandes distances durant l'été : près de 130 km ont ainsi été réalisés durant le même été entre le Golfe du Lion et la Côte d'Azur par un individu, tandis qu'un autre effectuait plus de 100 km entre la Corse et le continent (David et Di-Méglio, 1999). Enfin, 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.

Le globicéphale noir a été vu dans notre zone uniquement en été et en automne où il atteint son abondance maximale. Ceci est en adéquation avec les observations faites par divers scientifiques dans le secteur Ligure (Di-Méglio, 1993 ; Gannier, 1999 ; Laran, 2005 Podestà & Magnahi, 1988) qui mentionnent la présence de ces animaux de début juin jusqu'à fin septembre avec un maximum durant la première quinzaine de septembre. Ceci semble donc être le reflet d'une tendance migratoire très prononcée qui pourrait être confirmée par le fait qu'en mer Tyrrhénienne Marini *et al.* (1996) rapportent des observations entre mars et mai, et que Mussi *et al.* (2000) ont mis en évidence dans ce secteur, par la photo-identification, la fidélité au site d'un groupe de globicéphale durant cinq années. En revanche il apparaît peu probable que les animaux que nous voyons en mer Ligure proviennent de la mer d'Alboran car les abondances maximales sont aussi enregistrés en juillet dans cette zones (Caňadas & Sagarminaga, 2000). Une étude en cours montre d'ailleurs une relative différenciation des populations de globicéphales noirs au sein du bassin méditerranéen (P. Verborgh, *in* Delacourtie *et al*., 2009). Enfin, ce cétacé affectionne particulièrement les eaux du large de plus de 2000 m de profondeur où la quasi-totalité des observations ont été faites. Il semble par ailleurs apprécier tout particulièrement la zone provençale et les abords du Golfe du Lion où la majorité des individus ont été observés aussi bien en été qu'en automne. Ceci est confirmé par l'étude de Di-Méglio (1993) en Méditerranée nord-occidentale qui montre qu'entre 1994 et 1996, 85 % des individus observés entre mai et septembre l'ont été au large des côtes provençales.

Comme le globicéphale noir, le grand dauphin n'a été vu dans notre secteur d'étude qu'en été et en automne alors que l'espèce peut être observée le long des côtes provençales et corses à d'autres saisons (Baril *et al*., 2001 ; Dhermain, 1996 ; Dhermain, 2006 ; Labach *et al*., 2009). Cette espèce est connue en Méditerranée nord-occidentale pour fréquenter préférentiellement le plateau continental. Cependant, toutes les observations de grands dauphins que nous avons faites se localisent au-delà de fonds de 1500 mètres, et majoritairement au large sur des fonds de plus de 2000 m. Ceci est très surprenant car bien que les individus méditerranéens se rapprochent morphologiquement de l'écotype « offshore » (grande taille, coloration sombre, appendices courts), aucun groupe strictement pélagique n'a pas été rapporté en Méditerranée, contrairement à d'autres régions du monde (Notarbartolo di Sciara *et al*., 1993 ; Bearzi *et al*., 2004; Ben Naceur *et al*., 2004; Gomez de Segura, Tomas & Raga, 2004 ; Gannier, 2005 ; Gnone et al., 2006 ; Azzellino *et al*., 2008). Par ailleurs, une étude en cours (Gnone *et al*., *in prep.*), qui regroupe une grande quantité de données françaises et italiennes, montre que dans la mer Ligure et jusqu'aux côtes provençales, les grands dauphins se distribuent essentiellement au niveau côtier. Il s'agirait donc probablement, comme le propose Bearzi *et al.* (2008), d'individus en déplacement entre deux secteurs côtiers. Hypothèse qui est confirmée par plusieurs études (Dhermain *et al.,* 1999 ; Gnone *et al*, *in*

prep) qui montrent que ces animaux réalisent des déplacements aussi bien entre la Corse et le continent qu'entre la zone ligure et le Golfe du lion. Enfin, ces animaux semblent affectionner particulièrement la zone provençale où les deux tiers des observations faites en été et en automne ont été réalisées.

Comme nous venons de le voir, le centre de la Méditerranée nord-occidentale est un secteur attractif pour les cétacés de Méditerranée et en particulier en été. Globalement l'intérêt des cétacés pour une zone peut-être de plusieurs ordres : reproduction et alimentation. Au total quatre espèces sont connues avec certitude pour mettre bas en Méditerranée nord-occidentale : le dauphin bleu et blanc, le grand dauphin, le dauphin de Risso et le globicéphale noir. Des observations récentes de groupes sociaux de cachalots avec de très jeunes individus que ce soit à la fin de l'été, à l'automne ou en hiver dans le bassin liguro-provençal (Di-Méglio & David, 2008 ; Moulin & Wurtz, 2005) laissent supposer que cette espèce aussi se reproduirait actuellement dans ce secteur.

Par ailleurs, il semble que la présence de ces animaux aux différentes saisons semble varier d'une année sur l'autre, tant au niveau de la distribution, des abondances relatives que des périodes de pics de présence. Ceci pourrait s'expliquer pour certaines années par des conditions environnementales particulières qui modifieraient la distribution des proies ou comme le laissent supposer certains auteurs, par une tendance plus globale initiée par les changements climatiques (Azzelino *et al.*, 2008 ; Gambaiani *et al.*, 2009 ; Di-Méglio & David, 2008). Nous discuterons d'ailleurs plus avant cet aspect dans le prochain paragraphe (II.B) où nous essayerons de caractériser notre zone d'étude par divers paramètres environnementaux.

II.B. Evolutions saisonnières et paramètres environnementaux

Dans cette partie nous avons essayé d'expliquer les mouvements de cétacés observés dans notre zone d'étude (cf. §II.A.5) par l'évolution de l'environnement physique et biologique de cette zone. Cette évolution a été restreinte à deux paramètres que nous considérons indicatifs : la température de surface (SST) et la concentration en chlorophylle *a* (*Chl a*). Afin d'avoir une vision plus globale de ce qui s'est passé dans notre zone entre 2005 et 2009, nous avons comparé ces années avec l'évolution de ces paramètres dans la dernière décennie (1999-2009). Nous avons ainsi pu mettre en évidence que l'évolution mensuelle de ces paramètres sur un an peut varier d'une année sur l'autre, même si globalement on retrouve un patron de tendance annuel similaire. Ainsi, chaque année, on note un pic important de *Chl a* au printemps et un pic secondaire beaucoup plus réduit à l'automne. De même, la température de cette zone est généralement froide en hiver, augmente progressivement en avril pour atteindre une valeur maximale en août (> 22°C), puis diminue régulièrement entre septembre et février.

Si l'on s'intéresse plus précisément aux années qui concernent notre étude (2005-2009), deux grands types de tendances apparaissent. Des années où le pic de production de *Chl a* est faible et précoce (en mars au lieu d'avril) : par exemple 2007 et 2009, et des années où le pic de production primaire est important et se situe en avril (2005, 2006 et 2008). De même, deux années se montrent particulièrement atypiques au niveau de la température : 2006 détient ainsi un pic exceptionnel de température en juillet (+ 3,5°C par rapport à la moyenne annuelle), tandis que 2007 se caractérise par un hiver (2006-2007) très doux (+ 1°C par rapport à la moyenne annuelle) et un printemps plus chaud que les autres années.

Dans cette analyse nous avons pu montrer une corrélation négative entre la température de surface d'un mois donné et la concentration en *Chl a* trois mois après. Le facteur qui semble contrôler le développement progressif de la *Chl a* est un écart de température par rapport à la moyenne annuelle supérieur à – 4 °C. Ainsi, dès que l'on obtient un écart de plus de - 4°C sur notre zone, on remarque systématiquement que la production de *Chl a* commence à augmenter pour atteindre son maximum trois mois après. De plus, certaines années particulières comme 2007, où l'hiver et le printemps ont été très doux, on note que l'écart de température par rapport à la moyenne oscille autour de cette valeur seuil de – 4°C, passant tantôt au-dessus tantôt en dessous, ce qui entraîne alternativement une activation ou un arrêt de la production de *Chl a* et globalement une production primaire faible au printemps. On remarque par ailleurs que plus la période de froid (écart de température < - 4°C) a été longue et plus le pic de *Chl a* est important. C'est le cas notamment de 2005, 2006 et 2008 où l'on note les concentrations de *Chl*

a printanières les plus élevées. A l'opposé, une courte période de froid entraîne une faible production primaire et souvent précoce comme en 2007 et 2009.

Il est intéressant de noter que 2007 et 2009 sont des années où les abondances relatives estivales des cétacés ont souvent été les plus faibles et en particulier pour les espèces comme le rorqual commun où une corrélation positive a été montrée entre l'abondance de rorqual et la concentration de *Chl a pour* un mois donné. Pour d'autres espèces comme le dauphin bleu et blanc ou le globicéphale noir, il semble que la précocité du pic de *Chl a* observé ces années soit à mettre en relation avec une arrivée précoce de ces animaux dans la zone. Toutefois si cette corrélation apparaît visuellement sur les graphiques, elle n'a cependant pas été significative d'un point de vue statistique : seule une corrélation négative a été observée entre l'abondance de ces deux espèces et la concentration en *Chl a* du même mois ou du mois précédent (uniquement pour le dauphin bleu et blanc). Ceci est peut-être dû en partie au fait que peu de prospections ont été faites en avril et mai. En effet, si nous n'avons pas pu mettre en évidence statistiquement cette relation, d'autres auteurs ont pu le faire. Ainsi, (Murrisson & Gaskin, 1989) ont montré que la densité et la qualité des concentrations de proies (copépodes) au printemps affecte la période d'arrivée, le nombre d'individus et la durée de résidence des baleines franches dans leur zone d'alimentation (baie de Fundy, Canada). De plus, ces mysticètes arriveraient et quitteraient leur zone d'alimentation en fonction de la concentration des proies : il existerait un seuil. Le même type de phénomène existerait chez les rorquals communs dans la baie de Witless à Terre-neuve où ces animaux ne seraient présents dans la zone que les jours où l'abondance de Capelan est maximale selon Piatt *et al.* (1989). En Méditerranée, plusieurs auteurs ont pu relier de fort regroupements de rorquals communs en alimentation avec la présence de biomasses importantes (David, 2000 ; Di-Méglio, 1999 ; Viale & frontier, 1994).

Tous ces mouvements et regroupements sont certainement induits par des raisons de rentabilité énergétique. En effet, les prédateurs comme les cétacés ne peuvent survivre que lorsque leurs proies sont faciles à capturer, c'est-à-dire abondantes dans le milieu, car sinon l'effort pour capturer les proies est trop important par rapport au gain énergétique apporté par ces proies (Certain, 2007). Ce phénomène pourrait expliquer les variations saisonnières et annuelles d'abondance relative des cétacés et les mouvements que nous observons dans la zone : les animaux arriveraient dans la zone quand leurs proies seraient suffisamment abondantes et en repartiraient quand les proies sont trop dispersées ou que leur concentration n'est pas assez élevée. Ces animaux se distribueraient préférentiellement dans des zones de forte concentration de nourriture et pourrait effectuer des mouvements pour suivre la distribution des proies. Par ailleurs, les variations annuelles d'abondance de cétacés dans notre zone pourraient s'expliquer aussi par les variations annuelles de la production primaire printanière en fonction des conditions environnementales comme nous avons pu le voir précédemment. Ainsi, les années 2007 et 2009, durant lesquelles le bloom phytoplanctonique a été faible au printemps, nous avons pu constater que les rorquals communs étaient peu présents dans notre zone et/ou que les animaux étaient très dispersés et toujours en recherche de nourriture (Di-Méglio & David, 2008). En revanche les années de forte productivité printanière comme 2006 et 2008, ont induit des abondances relatives de rorqual importantes dans notre zone d'étude ainsi que des tailles moyennes de groupes pouvant être supérieures à 2007 et 2009.

Cette relation entre l'abondance des rorquals et le bloom phytoplanctonique printanier est d'autant plus facile à faire que cet animal se nourrit à un niveau trophique faible, d'une Euphausiacée (*Meganyctyphanes norvegica)* qui selon son stade de maturité se nourrit elle-même de zoo- ou phytoplancton. Laran (2005) a d'ailleurs mis en évidence une relation significative entre la présence des rorquals dans le secteur ligure et la concentration en chlorophylle *a* et la production primaire dans cette zone trois mois avant. En ce qui concerne les autres cétacés, ceci est moins direct car ils sont au dernier maillon de chaînes alimentaires plus longues et souvent plus complexes. Astruc (2005) montre ainsi que le cachalot et le dauphin de Risso sont des teuthophages exclusifs se nourrissant essentiellement de céphalopodes océaniques ammoniacaux de la famille des Histioteuthidae. Le globicéphale noir a, pour sa part, un régime alimentaire principalement basé sur l'ingestion de céphalopodes et occasionnellement de poissons. De la même manière, le dauphin bleu et blanc et le grand dauphin ont un régime alimentaire à base de céphalopodes et de poissons, mais le premier est teutophage préférentiel alors que le second est ichtyophage préférentiel. Les corrélations avec les paramètres de démarrage de la chaîne alimentaire (SST et Chl a) sont donc plus difficiles à mettre en évidence avec ces espèces. Laran (2005) ne trouve d'ailleurs pas de corrélation entre la présence des cachalots en été en mer Ligure et la concentration en chlorophylle *a* trois mois avant. De même, elle ne trouve pas de corrélation entre la présence des dauphins bleus et

blancs en été et la concentration en chlorophylle a, mais en revanche en trouve une avec la production primaire moyenne de mars. Cependant, il est difficile de comparer ces résultats avec les nôtres car nous ne travaillons pas à la même échelle spatiale : Laran (2005) travaille à une échelle beaucoup plus fine de l'ordre d'un pixel de 14 km x 12 km environ, alors que nous testons dans cette étude une moyenne de chlorophylle ou de température sur l'ensemble de notre zone. La plupart des études cherchent à mettre en évidence des relations cétacés-paramètres environnementaux dans l'espace en comparant les paramètres dans différents secteurs et ce pour un instant T, alors que nous avons cherché à mettre en évidence une relation temporelle sur une zone globale sans prendre en compte la variabilité spatiale des paramètres dans cette zone.

Enfin, d'autres mécanismes peuvent influencer plus localement la distribution des proies. C'est le cas notamment du vent ou des structures frontales riches en production primaire. Dans cette étude il nous est impossible, pour les raisons que nous venons de voir, de mettre en évidence un lien entre la présence des animaux et la variabilité de la température, qui permet de mettre en évidence des structures frontales caractérisées par un changement brutal de la température de l'eau sur une courte distance. Cependant, plusieurs auteurs travaillant à une échelle plus fine ont pu le montrer en Méditerranée nord-occidentale. Cotté (2009) a ainsi observé que les rorquals affectionnaient particulièrement en été les eaux froides en bordure des tourbillons anticycloniques. De même, Gannier & Praca (2007) et Laran (2005) ont montré pour le cachalot et le globicéphale noir le même type d'affinité pour ce type de structure. Enfin, Di-Méglio (1999) a mis en évidence que les dauphins bleus et blancs se nourrissent statistiquement plus dans les fronts qu'en dehors. Concernant l'influence du vent sur la distribution des proies, Azzelino *et al.* (2008) et Macquart-Moulin & Pratriti (1996) ont ainsi montré dans le secteur Ligure que de forts coups de vents prolongés pouvaient induire des upwellings côtiers riches en biomasse ou encore de forts courants de surface au large vers la côte qui induiraient des accumulations périodiques de zooplancton sur le talus.

Au vu de tous ces résultats, il apparaît intéressant, et complémentaire, de travailler à plusieurs échelles de temps et d'espace pour préciser l'influence des facteurs environnementaux sur la présence des cétacés, en terme de période et d'abondance. Notre approche a permis d'apporter des informations sur l'évolution et l'attractivité globale de la zone centrale de la Méditerranée nord-occidentale au cours des saisons et en fonction des années. Il serait judicieux, toujours à cette échelle de temps et d'espace, de poursuivre cette approche macro-écologique en comparant ces variations avec celles d'autres prédateurs marins comme le thon rouge. En parallèle, l'analyse des secteurs exploités par les animaux lors de ces différentes années « typiques » et « atypiques » permettrait de confirmer les hot-spots identifiés.

CHAPITRE 3 – PLACE DU SANCTUAIRE POUR LA PROTECTION DES CETACES

Créer un Sanctuaire pour protéger les cétacés est un challenge, du fait de la mobilité des cétacés en général. Par ailleurs, du fait des changements actuels de climat, des paramètres environnementaux et des pressions anthropiques, il est possible que des modifications dans la distribution des cétacés se fasse sur le long terme : les zones de prédilection pouvant ainsi se déplacer. Dans ce chapitre nous avons donc cherché à identifier quelle pouvait être actuellement la « place » du Sanctuaire PELAGOS par rapport aux zones préférentielles de fréquentation des populations de cétacés de Méditerranée nord-occidentale. Pour cela nous avons comparé les données collectées en bateau dans la zone du Sanctuaire à celle obtenues dans le secteur situé à l'Ouest du Sanctuaire. Nous avons analysé les peuplements et les abondances relatives des cétacés présents dans ces deux zones entre 2005 et 2009 et mis en évidence les fluctuations qu'il pouvait exister dans ces deux secteurs tant au niveau annuel que saisonnier.

I. RESULTATS

Rappelons que, comme décrit dans le paragraphe III.C.2.b, la plupart des résultats présentés ici sont difficiles à tester statistiquement, du fait même de la nature de la donnée (une seule valeur moyennée ou une multitude de valeurs nulles pour une seule valeur positive) mais surtout du faible nombre de données sur lesquelles nous travaillons, malgré un effort de prospection important.

Dans la majorité des cas les différences observées entre les deux jeux de données (dans et hors Sanctuaire) au niveau des résultats n'ont pas pu être validées par les tests statistiques couramment utilisés à l'heure actuelle. En effet ces tests ne sont pas assez puissants pour détecter une différence entre les valeurs, ce qui ne veut pas dire qu'il n'y a pas de différences non plus, mais on ne peut pas les mettre en évidence.

Il nous semble donc intéressant de présenter ici l'ensemble des résultats obtenus car ils donnent une indication de ce qui se passe en mer et qui devra être confirmé dans l'avenir par un échantillonnage plus grand.

I.A. Effort de prospection

1. Variations annuelles

Les efforts de prospection faits en bateau ont été variables d'une année sur l'autre (figure 100), mais ont globalement toujours été conséquents chaque année. L'effort a été porté avant tout sur la zone du Sanctuaire, avec un minimum de 2 713 km dans le Sanctuaire PELAGOS en 2005 et plus de 5 000 km en 2008 et 2009. Hors du Sanctuaire, et à l'exception de 2005 où seuls 122 km ont été parcourus dans ce secteur, l'effort de prospection a toujours été compris entre 1 011 et 1850 km entre 2006 et 2009.

En hélicoptère, l'effort (figure 100) est là aussi plus important dans PELAGOS (entre 1816 et 3724 km de 2006 à 2009) qu'en dehors (entre 236 et 1801 km de 2005 à 2009). En 2006 de nombreux vols ont permis un effort maximal pouvant atteindre de 2 à 7,6 fois le nombre de kilomètres parcourus les autres années dans chaque secteur. En 2005, en revanche, du fait du démarrage de la collaboration avec la Marine Nationale, les vols ont été moins nombreux (environ 800 km) et uniquement en-dehors du Sanctuaire. Cette année-là sera donc peu utile pour la comparaison dans et en-dehors du Sanctuaire mais nous laisserons les résultats de façon indicative.

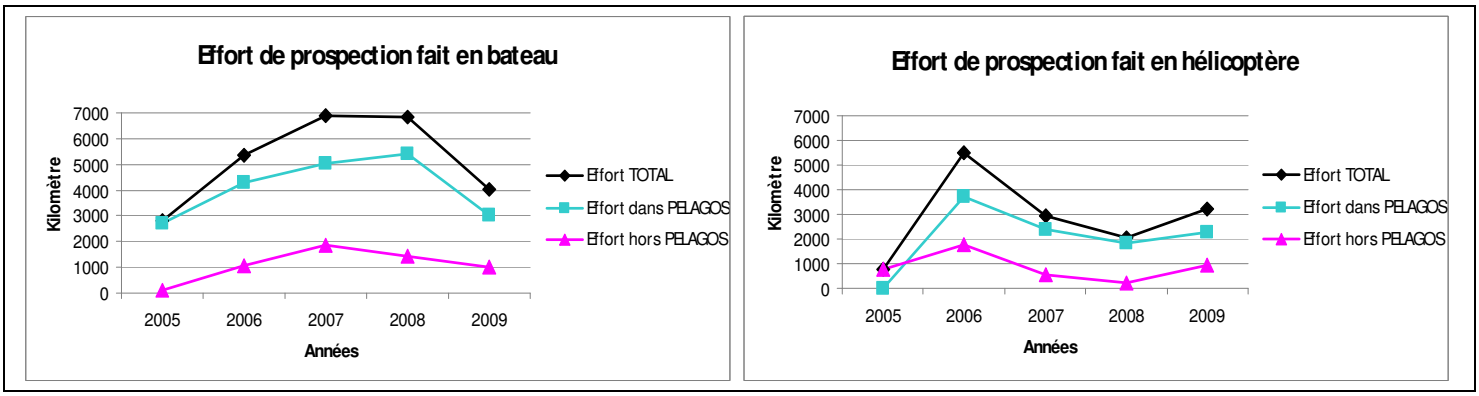


Figure 100. Effort de prospection annuel fait dans et hors du Sanctuaire PELAGOS en bateau et en hélicoptère.

2. Variations saisonnières

La période estivale, propice au travail en mer en bateau du fait de bonnes conditions météorologiques, est la saison où l'effort a été le plus important : plus de 16 000 km de prospection dans le Sanctuaire et près de 4 000 km en dehors (figure 101). Arrive ensuite l'automne avec un effort compris entre 1600 et 2500 km, respectivement en-dehors et dans le Sanctuaire, et le printemps dans une moindre mesure : moins de 1 000 km quelle que soit la zone. Enfin, vient l'hiver où seuls 106 km ont pu être effectués uniquement dans le Sanctuaire. Les résultats concernant cette dernière saison ne sont probablement pas représentatifs mais nous les avons laissés à titre indicatif.

En hélicoptère, les sorties furent plus régulières tout au long de l'année et là encore les survols du Sanctuaire ont été plus fréquents : autour de 2 000 km en hiver et en été et plus de 3 000 km au printemps et en automne (figure 92). En dehors du Sanctuaire, le nombre de kilomètres prospectés est compris entre 840 et 1320 km en fonction de la saison considérée.

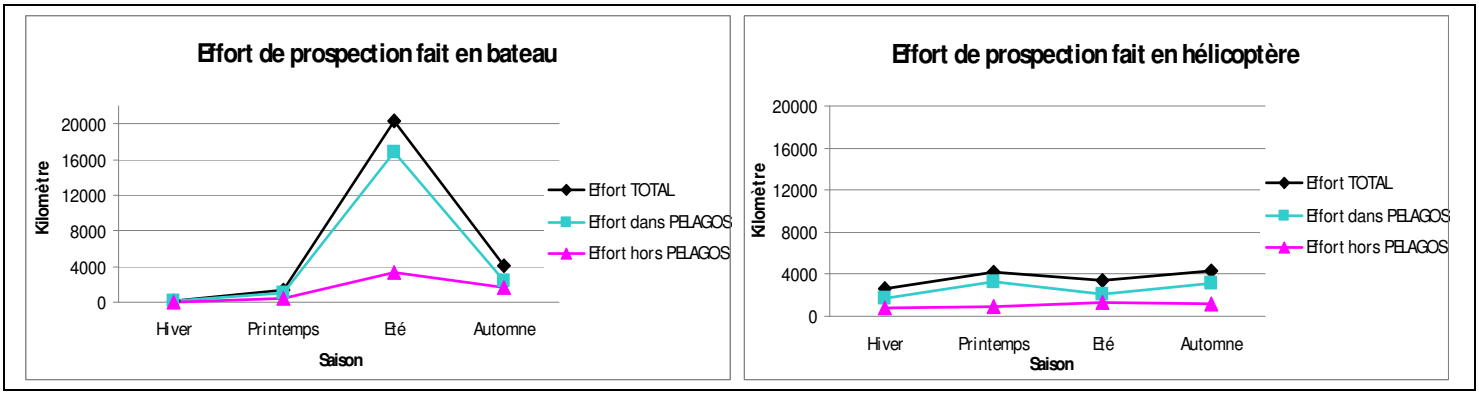


Figure 101. Effort de prospection saisonnier fait dans et hors du Sanctuaire PELAGOS en bateau et en hélicoptère entre 2005 et 2009.

I.B. Peuplement

Les données collectées en bateau (figure 102) montrent que le peuplement est globalement identique dans les deux entités géographiques (dans et hors Sanctuaire PELAGOS) considérées (T test apparié, p>0,999, différence non significative). Six espèces sont présentes dans le peuplement (rorqual commun, dauphin bleu, blanc, dauphin de Risso,

cachalot, globicéphale noir et grand dauphin) et le dauphin bleu et blanc est l'espèce qui est la plus présente : environ 80 à 90% des individus.

Les dauphins de Risso (environ 1,3 % des individus) et les cachalots (0,9% des individus) ont été vus aussi souvent dans les limites du Sanctuaire qu'en dehors. En revanche les globicéphales noirs et dans une moindre mesure les rorquals communs sembleraient plus fréquents en-dehors du Sanctuaire où le nombre d'individus est respectivement 2,3 et 1,6 fois plus important que dans le Sanctuaire lui-même.

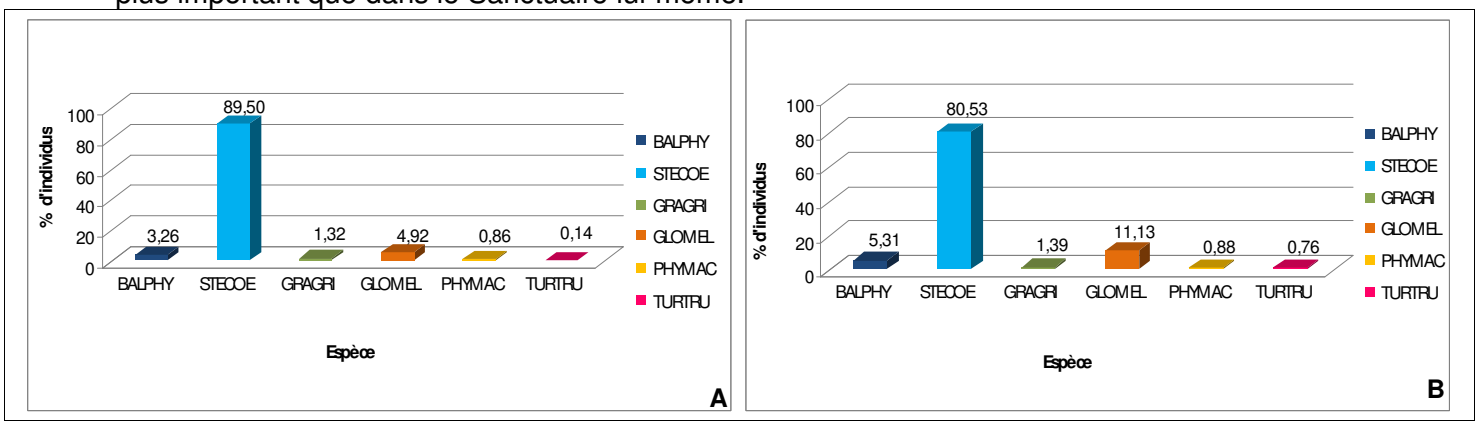


Figure 102. Composition spécifique du peuplement de cétacés (en % d'individus) observés en bateau dans (A) et hors (B) du Sanctuaire PELAGOS de 2005 à 2009

Les données collectées en hélicoptère (figure 103) montrent quant à elles un peuplement différent dans les deux secteurs comparés. Certes le peuplement est composé des mêmes six espèces et les dauphins bleus et blancs restent les animaux les plus fréquents quel que soit le secteur considéré. Cependant, les proportions sont variables d'un secteur à l'autre. Les dauphins bleus et blancs représentent ainsi 92 % des individus dans le Sanctuaire et seulement 63% des individus en-dehors. A l'opposé, toutes les autres espèces sont plus fréquentes hors du Sanctuaire, et en particulier le rorqual commun qui représente 20 % du peuplement hors du Sanctuaire contre seulement 2,4 % dans le Sanctuaire. Malgré ces différences constatées, le test statistique rejette la différence entre les deux jeux de données (T test apparié, p>0,999, différence non significative).

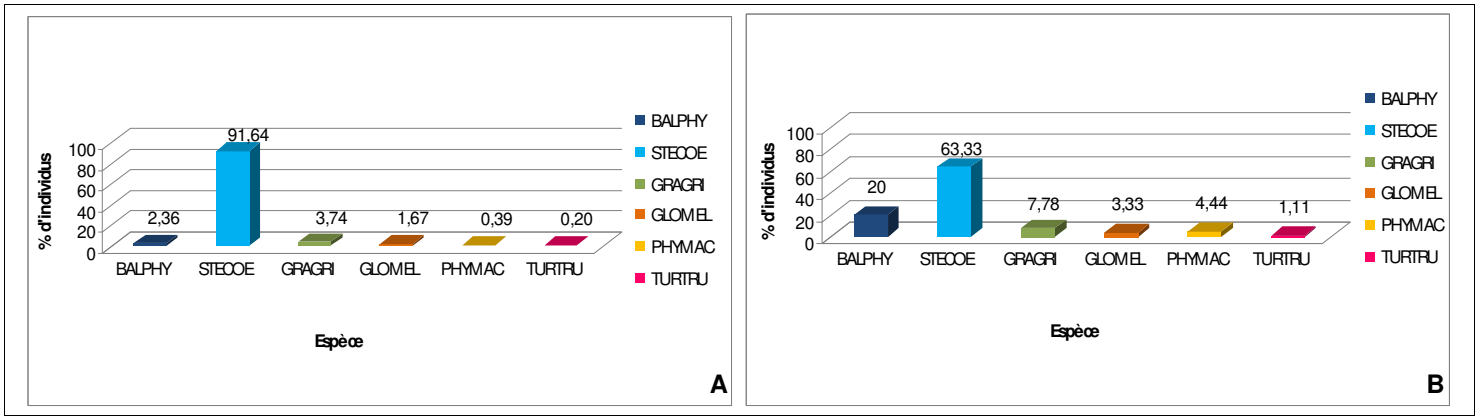


Figure 103. Composition spécifique du peuplement de cétacés (en % d'individus) observés en hélicoptère dans (A) et hors (B) du Sanctuaire PELAGOS de 2005 à 2009

I.C. Abondance relative

1. Variations annuelles

D'une façon globale deux résultats importants ressortent des analyses des données « bateau » (figure 104) : les rorquals communs sont généralement plus fréquents hors du Sanctuaire que dedans (respectivement en moyenne 0,009 ind.km^{-1} et 0,015 ind.km^{-1} entre 2005 et 2009), et les fluctuations annuelles sont similaires dans les deux secteurs. Ainsi 2005, 2007 et 2009 furent des années relativement pauvre en rorquals (max 0,008 et 0,015 ind.km^{-1} respectivement dans et hors Sanctuaire) tandis que 2006 et 2008 ont été des années où les abondances relatives ont été les plus importantes (max 0,014 et 0,024 ind.km^{-1} respectivement dans et hors Sanctuaire).

Les résultats issus des données collectées par hélicoptère (figure 104) montrent plus de différences : en fonction des années, les animaux sont plus fréquents dans l'un ou l'autre des secteurs. Ainsi en 2005, 2006 et 2009 les rorquals ont été plutôt observés en-dehors du Sanctuaire et avec des abondances relatives les plus élevées de ces cinq dernières années (0,004 et 0,006 ind.km^{-1} respectivement en 2005 et 2006). A l'opposé, en 2007 et 2008 les quelques individus rencontrés l'ont tous été dans le Sanctuaire (respectivement 0,0008 et 0,0017 ind.km^{-1}).

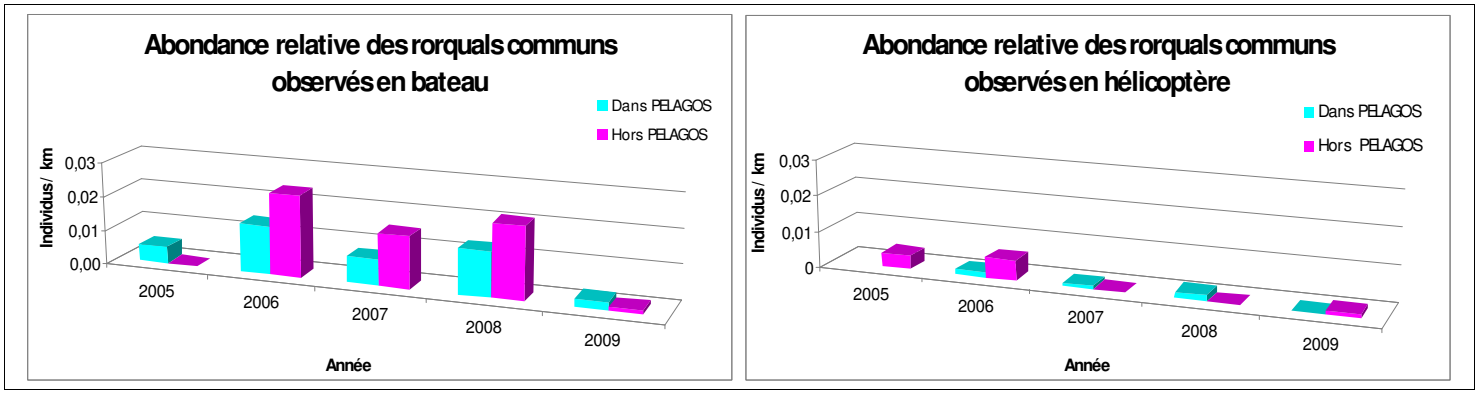


Figure 104. Abondances relatives (ind.km-1) dans et hors du Sanctuaire PELAGOS pour les rorquals communs rencontrés en bateau et en hélicoptère entre 2005 et 2009.

D'après les données collectées en bateau (figure 105), les dauphins bleus et blancs se répartissaient de 2007 à 2009 de façon similaire et avec des abondances relatives très proches (0,20 à 0,26 ind.km^{-1}), dans et en-dehors du Sanctuaire PELAGOS. En 2005 et 2006 le Sanctuaire a en revanche été plus fréquenté par cette espèce que ses abords.

Concernant les données hélicoptère, les différences entre les deux secteurs comparés sont plus nettes qu'avec le jeu de données bateau. Notamment en 2008, les dauphins ont été bien plus souvent rencontrés hors du Sanctuaire que dans ses limites (0,21 contre 0,05 ind.km^{-1}), alors qu'en 2007 et 2009 c'est l'inverse (respectivement 0,056 et 0,17 ind.km^{-1} dans le Sanctuaire contre 0,02 et 0,08 ind.km^{-1} hors Sanctuaire). En revanche en 2006, les abondances relatives de cette espèce ont été faibles et similaires dans les deux secteurs considérés (0,026 et 0,027 ind.km^{-1}).

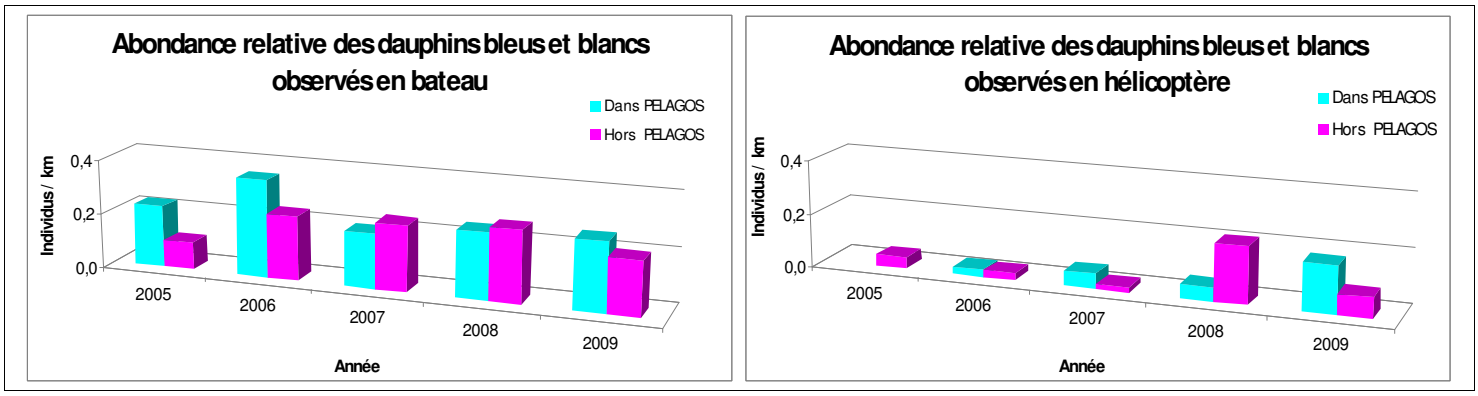


Figure 105. Abondances relatives (ind.km-1) dans et hors du Sanctuaire PELAGOS pour les dauphins bleus et blancs rencontrés en bateau et en hélicoptère entre 2005 et 2009.

Les dauphins de Risso observés lors des missions en bateau (Figure 106) semblent globalement fréquenter plus souvent le Sanctuaire que ses abords : c'est le cas notamment en 2005, 2006, 2008 et 2009. En 2007, par contre, ils semblent avoir préféré les abords du Sanctuaire à celui-ci. Enfin, 2008 a été l'année où ces animaux ont été le plus observés aussi bien dans que en dehors de PELAGOS (respectivement 0,011 contre 0,009 ind.km^{-1}).

Les résultats issus des données collectées par hélicoptère diffèrent de ceux observés en bateau. En effet, cette espèce n'a été vue par hélicoptère que en 2006 et 2007 et avec des abondances relatives similaires dans les deux secteurs en 2006 (0,003 ind.km^{-1}) et des abondances supérieures en-dehors de PELAGOS en 2007 (0,011 contre 0,007 ind.km^{-1}).

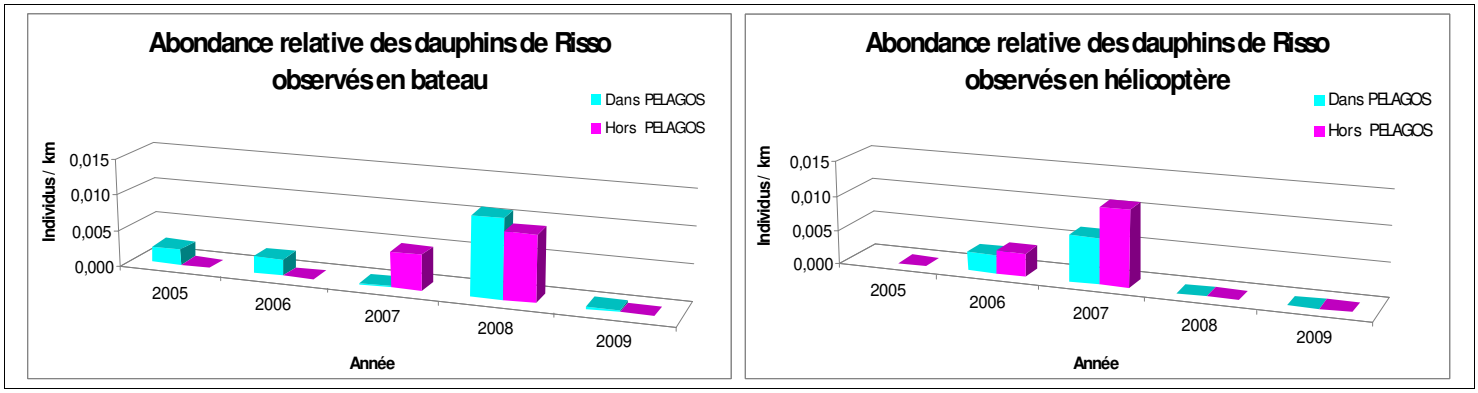


Figure 106. Abondances relatives (ind.km-1) dans et hors du Sanctuaire PELAGOS pour les dauphins de Risso rencontrés en bateau et en hélicoptère entre 2005 et 2009.

Les globicéphales ont été vus par bateau tous les ans dans les deux secteurs (Figure 107) et de façon plus importante systématiquement en dehors du Sanctuaire, même si les abondances relatives étaient parfois peu différentes certaines années dans les deux secteurs : c'est le cas notamment de 2006, 2007 et 2008. Enfin, 2005 reste l'année où ces animaux ont été les plus présents dans notre zone d'étude, atteignant une abondance relative de 0,16 ind.km^{-1}.

En hélicoptère, les globicéphales noirs n'ont été vus qu'au cours de deux années : 2007 et 2008. Les animaux ont été rencontrés uniquement dans le Sanctuaire en 2007, et dans les deux secteurs en 2008 avec de plus fortes valeurs d'abondances relatives en-dehors du Sanctuaire cette année-là (0,013 contre 0,003 ind.km^{-1} dans le Sanctuaire). Globalement, ces résultats sont différents de ceux obtenus par le jeu de données bateau.

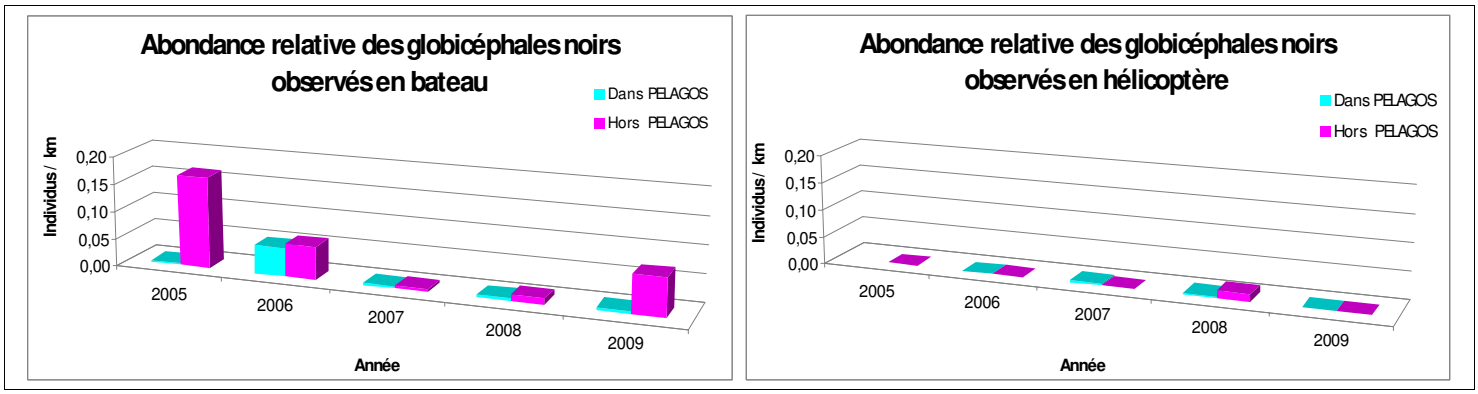


Figure 107. Abondances relatives (ind.km-1) dans et hors du Sanctuaire PELAGOS pour les globicéphales noirs rencontrés en bateau et en hélicoptère entre 2005 et 2009.

Le Sanctuaire est un secteur fréquenté tous les ans par le cachalot, avec des abondances relatives variant peu : de 0,001 à 0,004 ind.km^{-1} (Figure 108). En dehors du Sanctuaire, l'espèce n'a été rencontrée en bateau qu'en 2007, 2008 et 2009. Durant ces cinq années, les abondances relatives de cachalots ont été plus souvent élevées dans le Sanctuaire qu'en dehors : seules 2007 et 2009 ont montré des abondances relatives supérieures en dehors du Sanctuaire (0,004 ind.km^{-1} contre respectivement 0,001 ind.km^{-1} et 0,002 ind.km^{-1} dans le Sanctuaire en 2007 et 2009)

Concernant les données collectées en hélicoptère, leur faible nombre donne des résultats différents des précédents. Des cachalots ont été rencontrés uniquement dans le Sanctuaire en 2007 et 2008 et uniquement en-dehors en 2009, et ce avec des abondances relatives très proches (0,0006 à 0,001 ind.km^{-1}).

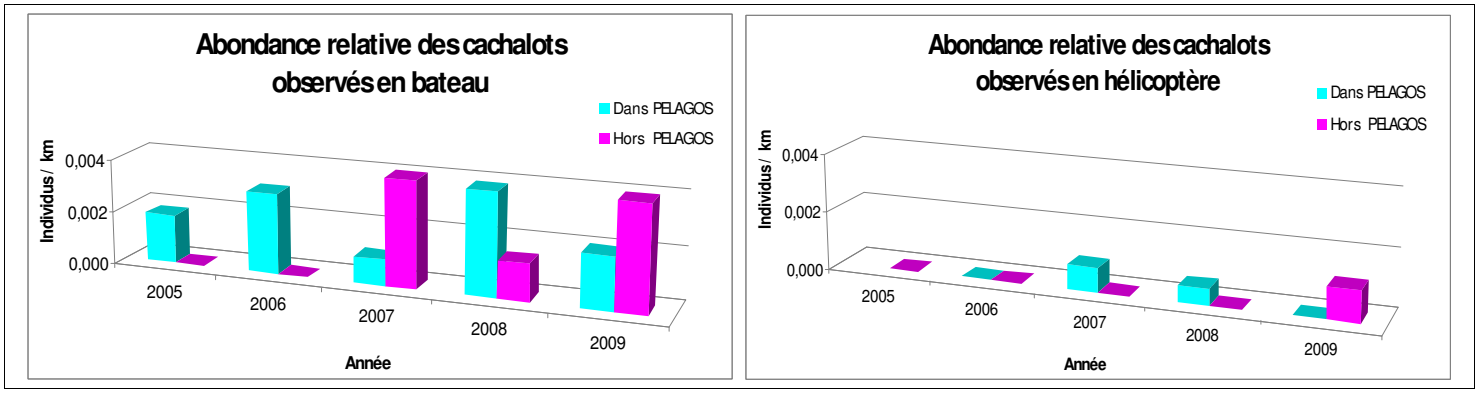


Figure 108. Abondances relatives (ind.km-1) dans et hors du Sanctuaire PELAGOS pour les cachalots rencontrés en bateau et en hélicoptère entre 2005 et 2009.

Pour les trois années où le grand dauphin a été observé à partir des bateaux (Figure 109), cette espèce fréquentait pareillement les deux secteurs en 2006 (0,0014 à 0,002 ind.km^{-1}), uniquement les abords du Sanctuaire en 2008 et uniquement le Sanctuaire en 2009. Durant ces trois années, 2008 fût l'année où les plus fortes abondances relatives ont été notées (0,007 ind.km^{-1}) et 2007 où elles ont été les plus faibles (0,0007 ind.km^{-1}).

Le grand dauphin n'a été vu qu'en 2006 à partir de l'hélicoptère et uniquement dans le Sanctuaire.

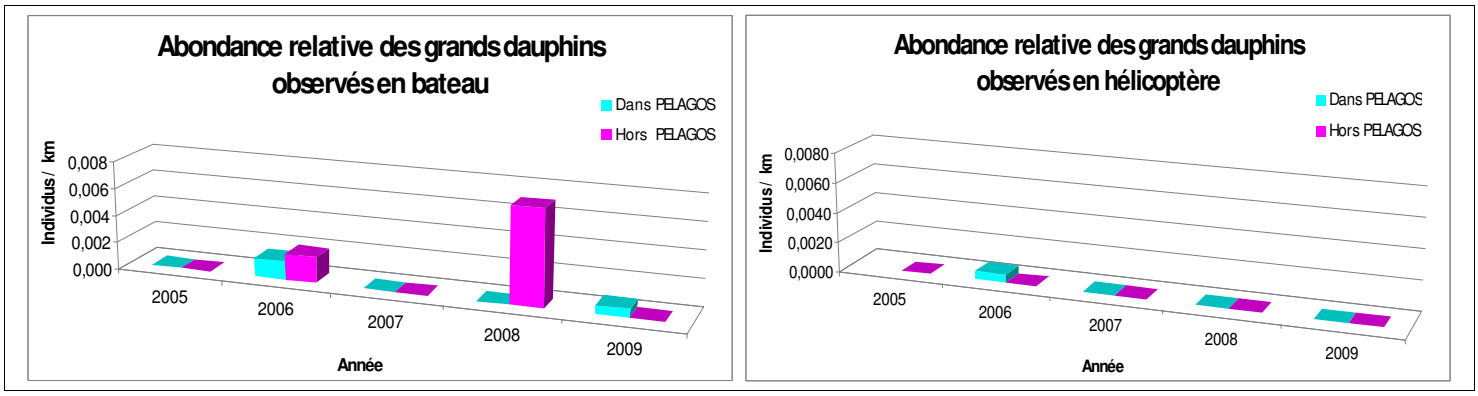


Figure 109. Abondances relatives (ind.km-1) dans et hors du Sanctuaire PELAGOS pour les grands dauphins rencontrés en bateau et en hélicoptère entre 2005 et 2009.

2. Variations saisonnières

D'après les données recueillies en bateau (Figure 110), le rorqual commun fréquente du printemps à l'automne aussi bien les eaux du Sanctuaire que celles situées en-dehors et avec des abondances relatives toujours plus importantes en dehors du Sanctuaire (de 0,012 à 0,029 ind.km^{-1} contre 0,002 à 0,015 ind.km^{-1} hors Sanctuaire). En hiver, seul le secteur du Sanctuaire a été prospecté et aucune observation de rorqual n'a été faite. Globalement, les abondances relatives dans le secteur situé à l'Ouest du Sanctuaire sont plus importantes au printemps et en automne alors que la zone du Sanctuaire semble de plus en plus fréquentée du printemps à l'automne.

En hélicoptère, les rencontres avec les rorquals ont été faites tout au long de l'année et de façon plus importante en dehors du Sanctuaire que dedans, ce qui corrobore ce qui a été décrit précédemment. Les animaux se localisent en hiver et au printemps uniquement en-dehors du Sanctuaire. Par contre, dès l'été et aussi en automne les animaux fréquentent également le Sanctuaire.

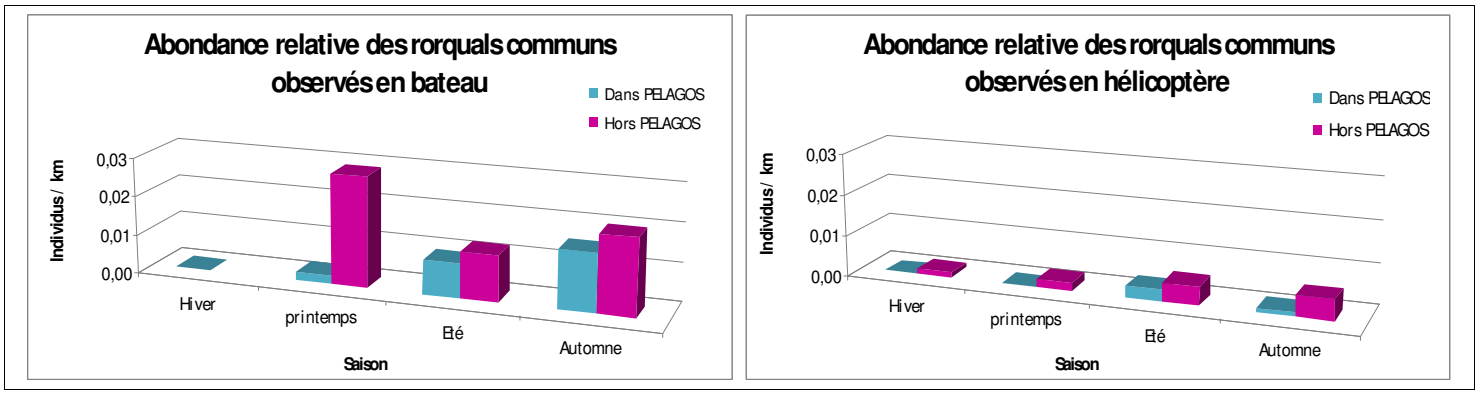


Figure 110. Abondances relatives (ind.km-1) saisonnières dans et hors du Sanctuaire PELAGOS pour les rorquals communs rencontrés en bateau et en hélicoptère entre 2005 et 2009.

Les dauphins bleus et blancs (Figure 111) semblent fréquenter notre zone d'étude tout au long de l'année et avec des abondances relatives assez similaire dans et en dehors du Sanctuaire du printemps à l'été (de 0,2 à 0,3 ind.km^{-1}). En été et en automne les abondances sont cependant légèrement supérieures dans le Sanctuaire tandis qu'au printemps c'est l'inverse. En hiver, les missions bateau n'ont pu être faites que dans le Sanctuaire, montrant la présence de ces animaux à cette période mais en des quantités moindres que lors des autres saisons.

Les données collectées par hélicoptère montrent que cette espèce est présente toute l'année dans et hors Sanctuaire. Les dauphins bleus et blancs vus par hélicoptère se répartissent en hiver et au printemps avec des quantités similaires dans les deux secteurs (0,01 ind.km^{-1} en hiver et 0,06 ind.km^{-1} au printemps). En revanche en été, ils se montrent nettement plus abondants dans le Sanctuaire (0,19 ind.km^{-1}) qu'en dehors (0,04 ind.km^{-1}). Cette tendance s'inverse en automne où les abondances relatives dans le Sanctuaire sont plus faibles (0,04 ind.km^{-1}) que celles hors du Sanctuaire (0,07 ind.km^{-1}). Enfin, les abondances relatives saisonnières des dauphins bleus et blancs en-dehors du Sanctuaire fluctuent moins tout au long de l'année que dans le Sanctuaire : respectivement 0,01 à 0,07 ind.km^{-1} contre 0,01 à 0,19 ind.km^{-1}.

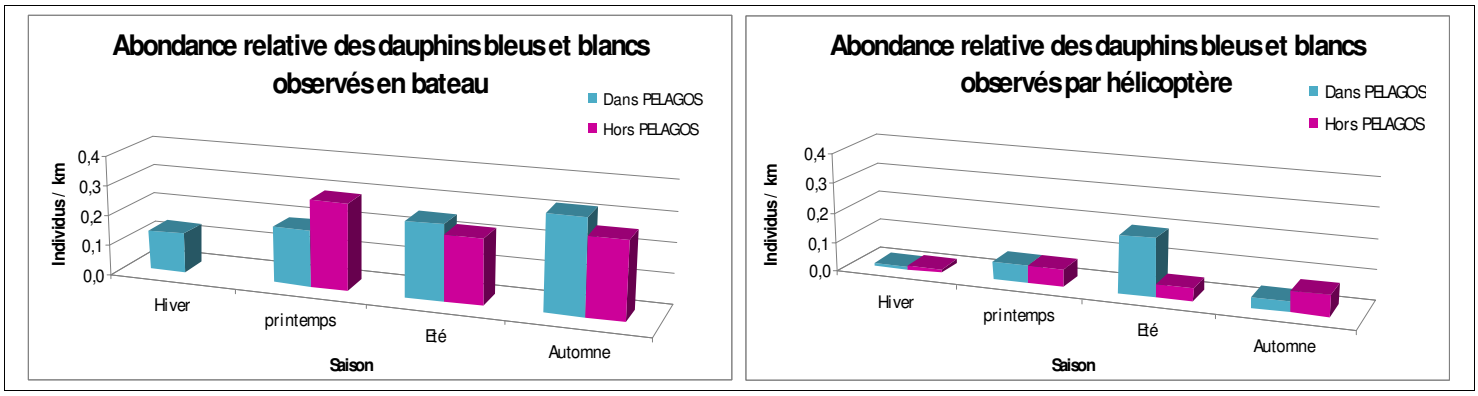


Figure 111. Abondances relatives (ind.km-1) saisonnières dans et hors du Sanctuaire PELAGOS pour les dauphins bleus et blancs rencontrés en bateau et en hélicoptère entre 2005 et 2009.

Le dauphin de Risso n'a été vu qu'en été et en automne à partir des bateaux (Figure 112). En été il est présent dans les deux secteurs mais semble fréquenter d'avantage les abords du Sanctuaire que ce dernier. En automne, par contre, cette espèce n'a été observée que dans les limites du Sanctuaire.

Les résultats obtenus à l'aide des missions en hélicoptère diffèrent complètement de ceux obtenus en bateau. En effet, les dauphins de Risso ont été rencontrés dans la zone d'étude tout au long de l'année avec des abondances relatives quasiment similaires d'une saison à l'autre (entre 0,005 et 0,007 ind.km^{-1}). Cependant, malgré un effort conséquent dans les deux zones comparées, ces animaux n'ont été vus dans le Sanctuaire PELAGOS qu'en automne alors qu'ils ont été présents hors du Sanctuaire de l'hiver à l'été.

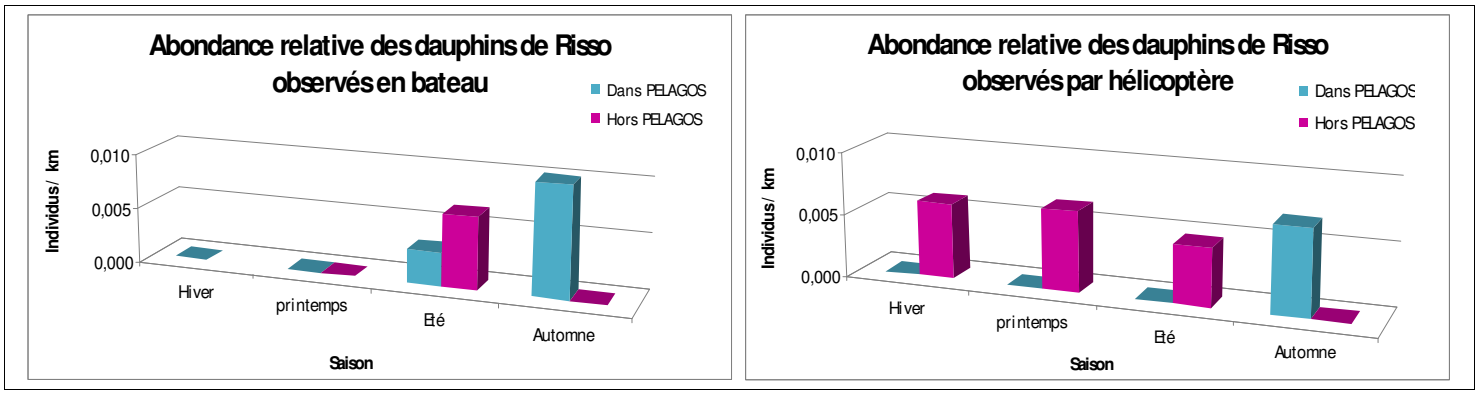


Figure 112. Abondances relatives (ind.km-1) saisonnières dans et hors du Sanctuaire PELAGOS pour les dauphins de Risso rencontrés en bateau et en hélicoptère entre 2005 et 2009.

C'est en été qu'apparaît le globicéphale noir dans les deux secteurs étudiés et il y reste jusqu'en automne : saison où les abondances relatives sont les plus fortes (Figure 113). Cette espèce s'avère cependant toujours légèrement plus abondante en-dehors qu'à l'intérieur du Sanctuaire, quelle que soit la saison considérée.

Les résultats obtenus à l'aide des observations faites depuis l'hélicoptère ont des similitudes avec celles notées en bateau. En effet, les globicéphales ont été observés dans la zone d'étude uniquement en été et en automne. Cependant, ces cétacés n'ont été rencontrés hors du Sanctuaire qu'en automne et durant cette saison, les abondances relatives dans et hors du Sanctuaire ont été identiques (0,0025 et 0,0026 ind.km^{-1}).

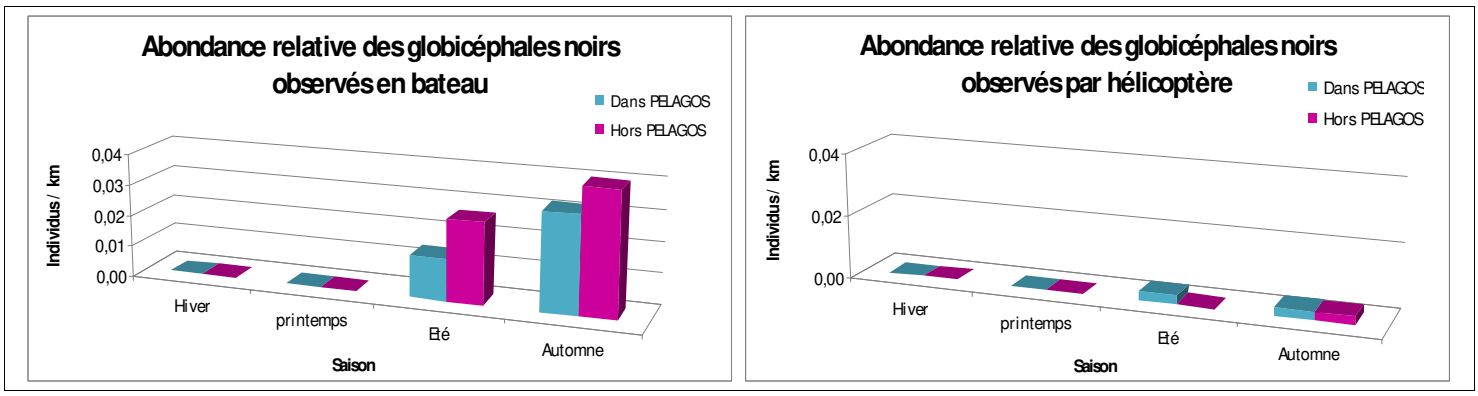


Figure 113. Abondances relatives (ind.km-1) saisonnières dans et hors du Sanctuaire PELAGOS pour les globicéphales noirs rencontrés en bateau et en hélicoptère entre 2005 et 2009.

Les observations de cachalots faites par bateau (Figure 114) montrent que les animaux sont présents dans le Sanctuaire dès le printemps et jusqu'à l'automne avec des abondances relatives de plus en plus importantes. A partir de l'été ils sont également vus en-dehors du Sanctuaire, avec des abondances relatives similaires durant les deux saisons (0,003 ind.km^{-1}). Enfin, ces animaux semblent plus présents hors du Sanctuaire qu'en dedans en été, alors qu'en automne cette tendance s'inverse.

Les observations faites en hélicoptère, donnent des tendances parfois différentes de celles obtenues en bateau. Ainsi, le cachalot a aussi été rencontré en hiver (en-dehors de PELAGOS), mais contrairement aux résultats précédents il n'a jamais été vu en été dans aucun des secteurs, et n'a été observé au printemps et en automne que dans le Sanctuaire.

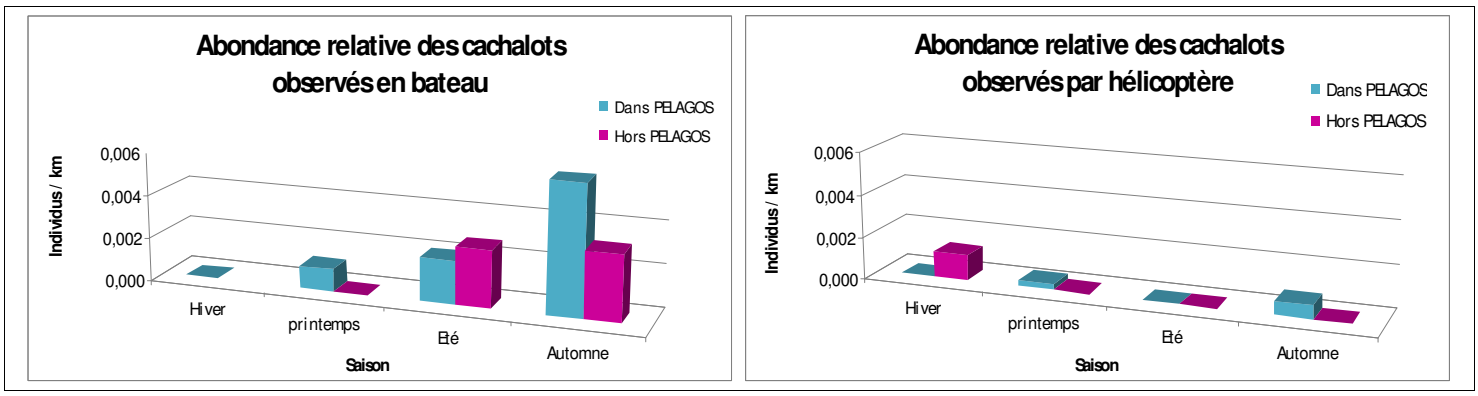


Figure 114. Abondances relatives (ind.km-1) saisonnières dans et hors du Sanctuaire PELAGOS pour les cachalots rencontrés en bateau et en hélicoptère entre 2005 et 2009.

C'est en été et en automne que le grand dauphin est aperçu lors des missions en bateau dans les eaux du Sanctuaire (Figure 115), et en automne également qu'il a été rencontré en-dehors du Sanctuaire. Cette dernière saison, les abondances relatives de l'espèce sont plus élevées dans le Sanctuaire qu'en dehors (respectivement 0,0032 contre 0,0012 ind.km^{-1}).

Les observations de grands dauphins sont rares lors des missions hélicoptère, et ont eu lieu uniquement en période estivale et dans le Sanctuaire.

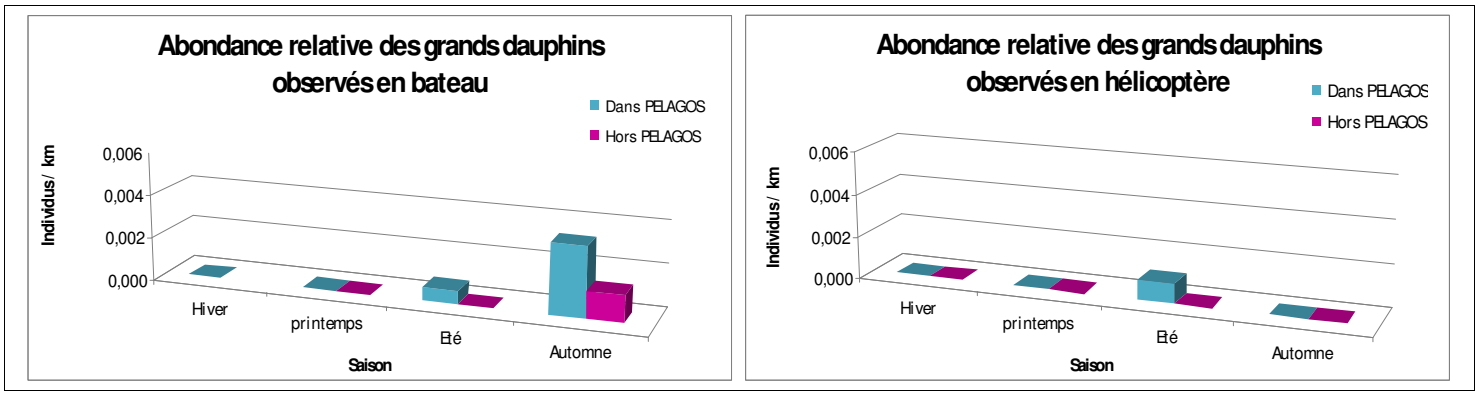
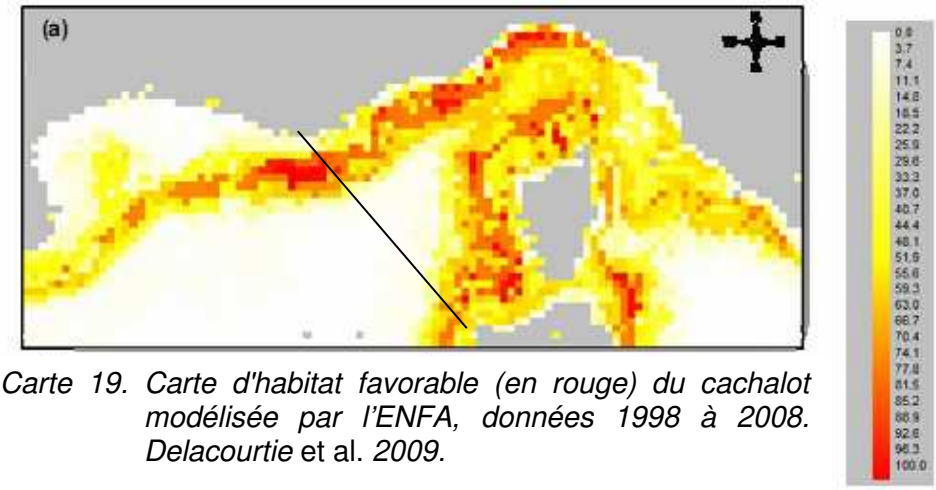


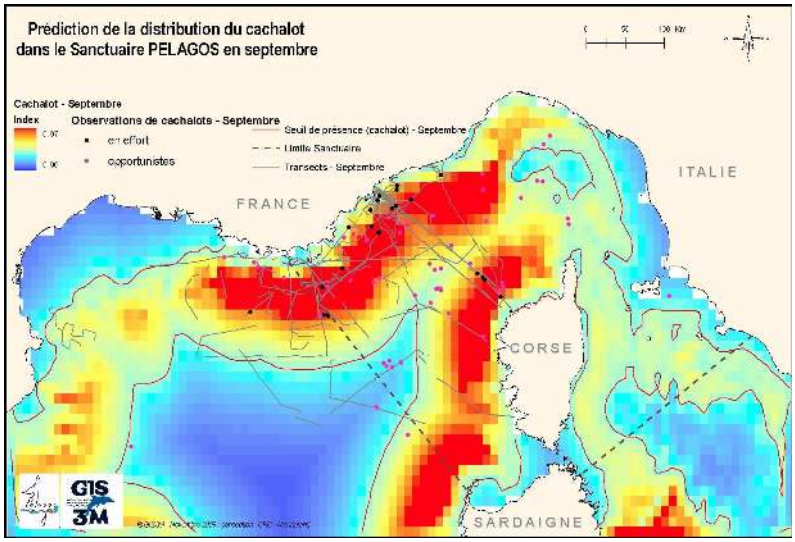
Figure 115. Abondances relatives (ind.km-1) saisonnières dans et hors du Sanctuaire PELAGOS pour les grands dauphins rencontrés en bateau et en hélicoptère entre 2005 et 2009.

I.D. Discussion

Historiquement le Sanctuaire PELAGOS a été mis en place dans une zone connue alors (années 90) par les scientifiques pour être une zone riche en cétacés en période estivale et importante pour eux pour des raisons trophiques (Notarbartolo *et al.,* 2008 ; Relini *et al.* 1992). Le processus de création d'une zone de protection pour les cétacés démarre alors, mais le Sanctuaire ne verra le jour qu'en 2002. Entre temps, le développement des équipes, des moyens et par conséquent des connaissances sur les cétacés en Méditerranée nord occidentale montrent que les abords ouest du Sanctuaire sont également très fréquentés par les animaux (Gannier, 1995 ; Di-Méglio, 1999 ; Delacourtie *et al.,* 2009). Dans notre étude, la comparaison des abondances relatives annuelles et saisonnières dans le Sanctuaire et hors du Sanctuaire (zone ouest adjacente) a permis de mettre en évidence les périodes et les espèces pour lesquelles le Sanctuaire peut jouer un rôle de protection important. Ainsi globalement nous montrons que le cachalot et le grand dauphin présentent des abondances relatives supérieures dans le Sanctuaire qu'en dehors, et que le dauphin bleu et blanc et le dauphin de Risso sont aussi fréquent dans les limites du Sanctuaire qu'en dehors. Le Sanctuaire inclurait donc dans sa surface une grande part de l'aire de fréquentation préférentielle de ces espèces. Cet aspect se confirme si l'on regarde des cartes de modélisation des habitats préférentiels du cachalot issues d'autres travaux scientifiques (carte 19 et 20). On observe ainsi que les secteurs favorables (en orange et rouge) à cette espèce en Méditerranée nord-occidentale se localisent en grande partie dans le Sanctuaire.



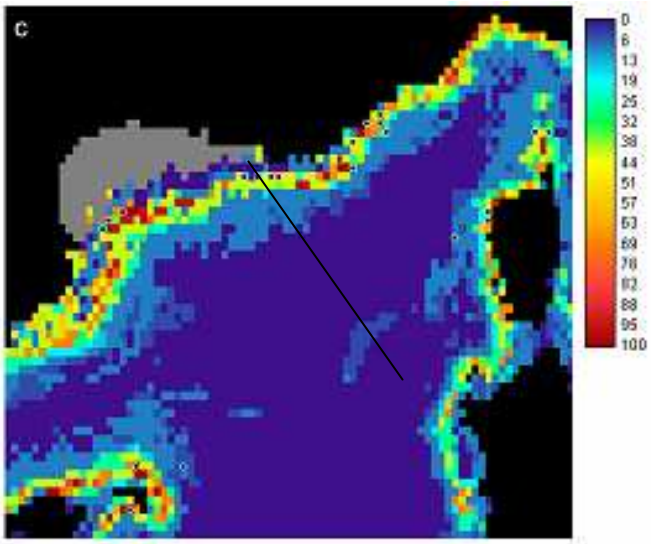
Carte 19. Carte d'habitat favorable (en rouge) du cachalot modélisée par l'ENFA, données 1998 à 2008. Delacourtie et al. *2009.*



Carte 20. Prédiction de présence du cachalot en septembre obtenue par modélisation (régression logistique). Delacourtie et al. 2009

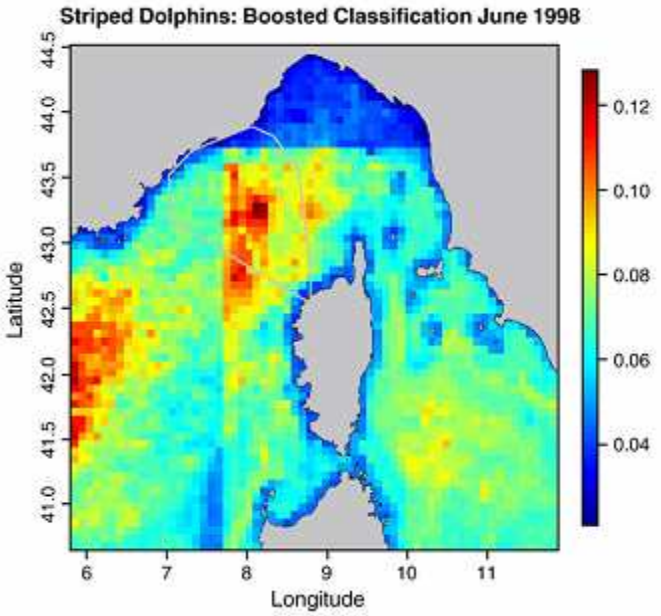
Concernant le grand dauphin, de nombreuses études ont montré sa prédilection pour la côte ligurienne, le pourtour des îles de Corse et de Sardaigne (Reeves et Notarbartolo di Sciara, 2006). Cette espèce serait par ailleurs de plus en plus présente sur les côtes provençales (Labach, 2009), ce qui augmente encore les secteurs favorables à cette espèce dans le Sanctuaire PELAGOS. Les plus récentes estimations indiqueraient que près de 650 individus fréquenteraient l'ensemble du Sanctuaire (Gnone et al., *in prep*). Ce qui est beaucoup plus que la population du Golfe du Lion (200 à 209 individus selon Ripoll *et al.,* 2001), même si celle-ci serait actuellement en expansion (Renaud 2001). En tout état de cause, le Sanctuaire offre donc de nombreux secteurs favorables au grand dauphin et comprend une part importante de la population de Méditerranée nord-occidentale en son sein.

Le dauphin de Risso, espèce plutôt inféodée au talus continental (Azzelino *et al*., 2008 ; Canadas *et al*., 2005 ; David 2000 ; Moulin *et al*., 2008) trouve également des secteurs favorables sur tout le pourtour du Sanctuaire, tel que le montre la carte 21. D'autres secteurs en-dehors du Sanctuaire lui sont autant favorables, d'où des abondances relatives importantes dans et en-dehors du Sanctuaire.



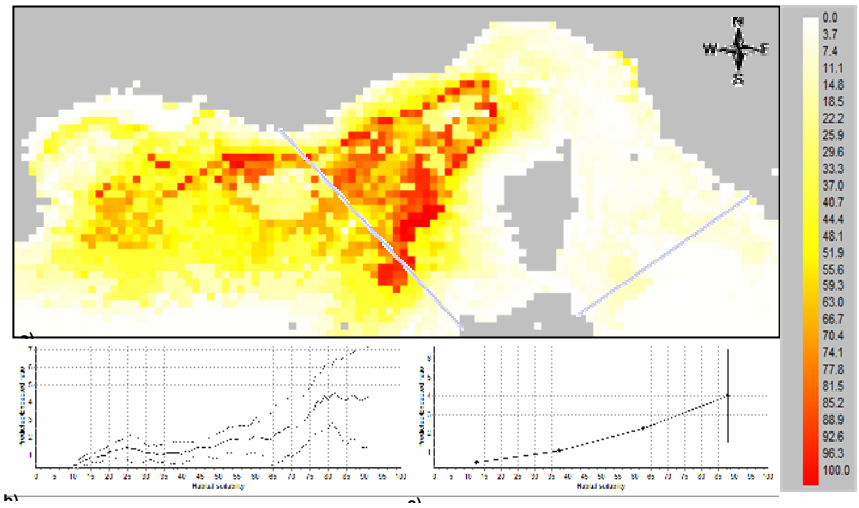
Carte 21. Carte d'habitat favorable (en rouge) du dauphin de Risso modélisée par l'ENFA. Les points noirs représentent la localisation des cellules de présence de l'espèce utilisée pour la modélisation. Praca et Gannier (*2008*)

Le dauphin bleu et blanc quant à lui reste l'espèce la plus commune dans notre zone d'étude. Ayant un régime alimentaire plutôt opportuniste (Astruc 2005), il exploite autant les habitats qui pourraient être sous couvert du Sanctuaire qu'ailleurs. Globalement il est difficile de lui définir un habitat spécifique, car il se répartit dans l'ensemble des habitats existant en Méditerranée nord-occidentale (Laran 2005, Panigada *et al.*, 2008). Ceci est confirmé par nos résultats qui montrent par l'extrapolation du taux de contact des dauphins bleus et blancs présents dans nos deux zones (carte 22), que ces animaux se distribuent autant dans le Sanctuaire qu'en dehors. Il est d'ailleurs intéressant de noter que les abondances relatives globales sont plutôt assez constantes chaque année dans notre zone d'étude, ce qui pourrait laisser supposer que la population est stable, mais se distriburait tantôt plus dans le Sanctuaire et tantôt plus en dehors en réponse à son environnement.

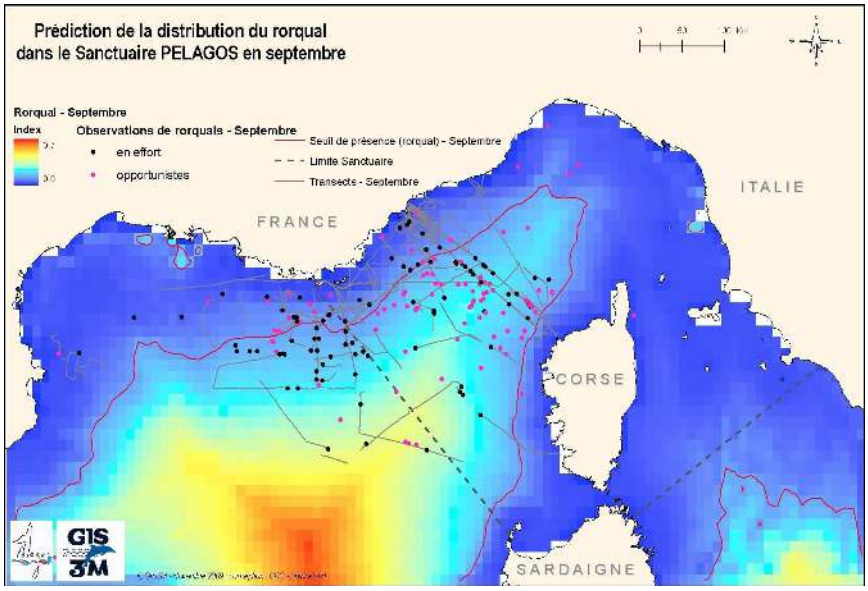


Carte 22. Probabilités prédites de présence des dauphins bleus et blancs basées sur l'interpolation et l'extrapolation à partir d'un modèle de classification (boosted classifier). Panigada et al. *(2008)*

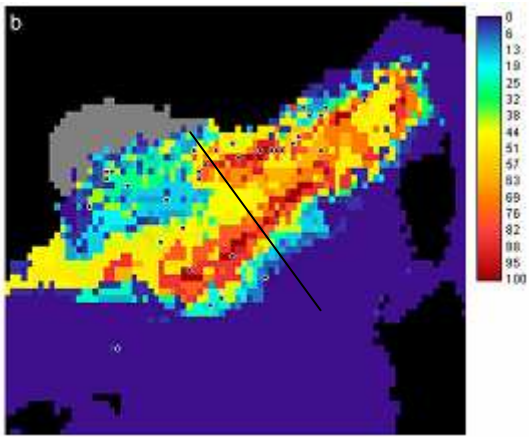
A l'opposé de ce que nous venons de voir deux espèces présentent globalement des abondances relatives moindres dans le Sanctuaire par rapport aux abords ouest de celui-ci : le rorqual commun et le globicéphale noir. Ces tendances peuvent s'expliquer par le fait que ces deux espèces sont pélagiques (Reeves et Notarbartolo di Sciara, 2006), et affectionnent des secteurs de Méditerranée nord-occidentale dont une partie seulement se trouve dans le Sanctuaire si l'on se base sur les cartes d'habitats préférentiels réalisées selon la méthode ENFA et GLM (cartes 23, 24 et 25, Delacourtie *et al.,* 2009 ; Praca et Gannier, 2008).



Carte 23. Carte d'habitat favorable (en rouge) du rorqual commun modélisée par l'ENFA, données 1998 à 2008. (Delacourtie et al., 2009).



Carte 24. Prédiction de présence du rorqual commun en septembre obtenue par modélisation (régression logistique) et estimée à partir des conditions environnementales moyennes (climatologie 1998-2008).(Delacourtie et al., 2009).



Carte 25. Carte d'habitat favorable (en rouge) du globicéphale noir modélisée par l'ENFA. Les points noirs représentent la localisation des cellules de présence de l'espèce utilisée pour la modélisation. (*Praca* & *Gannier*, *2008*)

Globalement, nous pouvons dire avec les connaissances que nous avons que dans le nord de la Méditerranée nord-occidentale le Sanctuaire joue un rôle important pour la conservation des cétacés et en particulier pour des espèces telles que le grand dauphin, le cachalot, le dauphin de Risso et le dauphin bleu et blanc qui montrent des abondances plus importantes dans le Sanctuaire qu'en dehors. Néanmoins ce constat est à modérer en fonction des années. En effet, d'après nos résultats les abondances relatives des différentes espèces varient d'une année sur l'autre, très certainement liées aux conditions environnementales. Il en résulte une fréquentation variable du Sanctuaire en fonction des années, voire peut-être une évolution des distributions typiques des espèces sur le long terme sous l'effet de changements plus globaux. Le tableau 20 synthétise, par espèce, les années où les abondances relatives dans le Sanctuaire ont été faibles, moyennes ou élevées. On remarque que deux années furent particulièrement propices à l'ensemble des cétacés, soit 2006 et 2008, tandis que 2009 fut globalement moins attractive. Les années 2007 et 2008 semblent avoir présenté des conditions plus favorables pour les dauphins de Risso que pour les globicéphales noirs tandis que c'est l'inverse en 2006. Cette complémentarité apparente entre ces deux espèces a déjà été notée par David (2000) et serait probablement liée aux variations des conditions trophiques favorisant soit les espèces proies du globicéphale soit celles du dauphin de Risso. Des études plus poussées sur les proies pourraient nous amener à expliciter ce phénomène.

Tableau 20. Synthèse par espèce et par année des abondances relatives faibles (blanc), moyennes (gris clair) et fortes (gris foncé) dans le Sanctuaire

	2005	2006	2007	2008	2009
Rorqual commun	*	**	*	**	
Dauphin bleu et blanc	*	**	*	*	**
Dauphin de Risso		*	**	**	
Globicéphale noir		**			
Cachalot	*	**	*	**	*
Grand dauphin		*			

Cette variabilité annuelle pose également la question de la pertinence de certaines campagnes en mer basées sur un seul échantillon ponctuel : une année « favorable » amènerait-elle à une sur-estimation des estimations d'abondances de cétacés ? A l'inverse une

année défavorable conduirait-elle à une sous-estimation ? La question reste posée en ce qui concerne notamment le dernier recensement effectué dans le Sanctuaire en août 2008 (Panigada *et al.* 2009) dont les résultats n'ont pas été probants pour le rorqual commun faute d'un nombre d'observations suffisant et dont les conclusions étaient alarmistes pour le dauphin bleu et blanc. Or d'après nos données, 2008 fut effectivement une année de forte présence en rorquals (dans le Sanctuaire et globalement), tandis que ce fut une année de faible présence en dauphins bleus et blancs (dans le Sanctuaire). Remis dans un contexte de plus long terme, une campagne ponctuelle de ce style prend toute son ampleur. En effet, la conclusion des auteurs sur la diminution alarmante des dauphins bleus et blancs entre 1992 (Forcada *et al.* 1995) et leur propre campagne a pu être quelque peu faussée par une année plutôt défavorable à la présence de l'espèce dans le Sanctuaire. S'ils avaient parcouru également la zone adjacente au Sanctuaire ils auraient eu plus d'observations de dauphins bleus et blancs? En tout état de cause, il pourrait s'agir plus d'un déplacement de la population que d'une diminution du nombre d'individus.

A cette échelle de quelques années, il est difficile de dire si les variations annuelles observées sont le fait d'années atypiques ou si elles s'inscrivent dans un schéma de changement plus global. L'étude des données environnementales du milieu et des cétacés sur le long terme (au moins des années quatre vingt dix à nos jours) permettrait d'élucider une partie de la question.

Evaluer la pertinence d'une zone marine de protection globalement est une chose, mais souvent cette zone a pour objectif de protéger les zones vitales pour les espèces (alimentation, reproduction, couloir de migration). Or les cétacés ont une certaine phénologie saisonnière. Il est assuré actuellement que les cétacés viennent en mer liguro-provençale en période estivale pour des raisons trophiques (Reeves & Notarbartolo di Sciara, 2006). Le Sanctuaire, s'il concentre la plupart des animaux à cette période de l'année dans ses limites, remplirait de la sorte pleinement son rôle. Si l'on synthétise les abondances relatives faibles, moyennes et fortes par espèce aux quatre saisons (tableau 21), il apparaît clairement que l'été, et encore plus l'automne, sont effectivement favorables à toutes les espèces. Cela est d'autant plus important que plusieurs auteurs constatent ou soulignent la forte présomption que la Méditerranée nord occidentale, et donc le Sanctuaire, seraient des zones où différentes espèces de cétacés se reproduiraient à ces saisons. C'est le cas notamment pour le rorqual commun (Di-Méglio *et al.*, 2009 ; Reeves & Notarbartolo di Sciara, 2006), le cachalot (Di-Méglio & David, 2008 ; Laran & Gannier, 2006 ; Moulins & Würtz, 2005), le dauphin bleu et blanc (Di-Méglio, 1993), le grand dauphin (Papale *et al.,* 2009), le globicéphale (David, 2000 ; Gannier, 1995), et le dauphin de Risso (Bompar, 1997 ; Duguy *et al.*, 1980 ; David, 2000 ; David & Di-Méglio, 1999). Si cela se confirmait, le Sanctuaire remplirait donc pleinement son rôle en offrant à des animaux son cadre de protection lors de leur saison d'alimentation et de reproduction. De la sorte, même si certaines espèces comme le rorqual commun fréquentent globalement moins le Sanctuaire que ses abords, comme nous l'avons constaté, on note cependant qu'il le fréquente de façon plus abondante lors de leurs phases vitales d'alimentation et de reproduction.

Tableau 21. Synthèse par espèce et par saison des abondances relatives faibles (blanc), moyennes (gris clair), fortes (gris foncé) et maximales (noir) dans le Sanctuaire

	hiver	printemps	été	automne
Rorqual commun		*	**	**
Dauphin bleu et blanc	*	*	**	**
Dauphin de Risso			*	***
Globicéphale noir			*	**
Cachalot		*	*	***
Grand dauphin			*	*

Par ailleurs, nos résultats montrent également certains mouvements d'animaux dans le bassin. Ainsi, il apparaît que les rorquals communs arrivent aussi par l'Ouest dans le Sanctuaire. En effet, les abondances relatives du printemps sont plus élevées à l'Ouest du Sanctuaire qu'à l'intérieur, et inversement en été et en automne où elles sont plus importantes dans le Sanctuaire. Ce type de mouvement a déjà été mis en évidence par différents auteurs (Duguy & Vallon, 1976 ; Di-Méglio, 1999 ; David *et* al., 2001). De même, il est intéressant de voir que les dauphins de Risso ont été observés essentiellement hors du Sanctuaire de l'hiver à l'été et qu'en automne ils se concentrent plutôt dans le Sanctuaire. Ces mouvements saisonniers entre l'Ouest de la Méditerranée nord-occidentale en été et la Mer Ligure à l'automne ont déjà été mis en évidence par David & Di-Méglio (1999). Ils seraient certainement le reflet d'une réponse des prédateurs que sont les cétacés aux variations saisonnières des conditions trophiques du milieu.

D'après nos résultats, il ressort que les abords ouest du Sanctuaire sont importants en terme de fréquentation par les cétacés, en particulier pour le globicéphale noir et le rorqual commun, et plus saisonnièrement pour le dauphin de Risso. Quant au dauphin bleu et blanc et au cachalot, ils fréquentent de façon constante les deux secteurs.

Même s'il est compréhensible que la limite du Sanctuaire fut fixée à la presqu'île de Giens et au nord-ouest de la Sardaigne pour des raisons historiques de connaissances scientifiques et d'enjeux politico-économico-militaires, il est cependant important lors de l'instauration de mesures de protection, de prendre en compte les abords du Sanctuaire. En particulier en ce qui peut concerner les impacts potentiels d'émissions acoustiques néfastes pour les animaux (Bianchessi, 2007) ou encore les limitations de risques de collisions avec les grands navires (David, 2005). En effet, au-delà des espèces résidentes ou géographiquement restreintes, dont la protection peut être efficace via une aire marine protégée (AMP) classique, certaines espèces de cétacés se distribuent sur de vastes domaines et sans zone d'alimentation ou de reproduction clairement définies. Il est alors nécessaire d'agir sur la cause qui menace l'espèce plus que de prendre des mesures dans une aire définie.

Plusieurs zones de protection de cétacés sont dans le même cas à travers le monde, et se pose actuellement la question de la pertinence des délimitations au regard des nouvelles découvertes scientifiques sur les animaux dans ces endroits (Evans & Pesante, 2007 ; Wilson, 2007). Ainsi en Ecosse, une AMP pour les grands dauphins s'avère aujourd'hui moins fonctionnelle par le simple fait que la population de dauphins locale a étendu sa zone de fréquentation préférentielle (Wilson *et al.*, 2004). La création de cette AMP a nécessité un processus long de plusieurs années et s'est basée sur les connaissances de l'époque. Or, il s'avère que les populations de dauphins côtiers qui semblaient résidentes, sont bien plus dynamiques (spatialement et temporellement) à des échelles de temps de l'ordre de la décennie voire du siècle. Ceci est d'autant plus vrai dans la perspective d'un changement climatique à grande échelle (MacLeod, 2009). De ce fait, l'établissement d'AMP devrait intégrer une certaine flexibilité spatiale pour s'adapter aux changements écologiques des espèces ou habitats qu'elles tendent à protéger, avec un temps de réponse autant que faire se peut « rapide » (Evans & Pesante, 2007). Parce qu'il est difficile d'envisager une réelle remise en question des limites actuelles du Sanctuaire, il serait cependant pertinent d'envisager une zone tampon franco-française qui s'étendrait sur les secteurs préférentiels de fréquentation des cétacés mis en évidence dans la zone à l'Ouest du Sanctuaire. Quoiqu'il en soit, cette zone devra de toutes façons être incluse dans le processus de monitoring, afin de comprendre la dynamique des mouvements des animaux sur le long terme. En effet, comme nous l'avons vu, les abondances relatives en-dehors du Sanctuaire nous aident à comprendre les variations saisonnières voire annuelles dans le Sanctuaire : les animaux restent en-dehors du Sanctuaire ou y pénétrent probablement en fonction des variations de conditions trophiques.

CHAPITRE 4 – COMPARAISON METHODOLOGIQUES

I. RESULTATS

Rappelons que, comme décrit dans le paragraphe III.C.2.b, la plupart des résultats présentés ici sont difficiles à tester statistiquement, du fait même de la nature de la donnée (une seule valeur moyennée ou une multitude de valeurs nulles pour une seule valeur positive) mais surtout du faible nombre de données sur lesquelles nous travaillons, malgré un effort de prospection important.

Dans la majorité des cas les différences observées entre les deux jeux de données (hélico versus bateau et TP versus TA) au niveau des résultats n'ont pas pu être validées par les tests statistiques couramment utilisés à l'heure actuelle. En effet ces tests ne sont pas assez puissants pour détecter une différence entre les valeurs, ce qui ne veut pas dire qu'il n'y a pas de différences non plus, mais on ne peut pas les mettre en évidence.

Il nous semble donc intéressant de présenter ici l'ensemble des résultats obtenus car ils donnent une indication de ce qui se passe en mer et qui devra être confirmé dans l'avenir par un échantillonnage plus grand.

I.A. Hélico versus bateau

Dans le but d'évaluer la pertinence de l'utilisation d'une plate-forme d'opportunité aérienne, tel que nous l'avons fait dans cette étude avec l'hélicoptère de la Marine Nationale lors de survols de la ZPE, nous allons comparer à présent les résultats « hélico » versus « bateau ».

Les comparaisons se baseront sur les deux espèces pour lesquelles nous avons le plus de données et le plus grand nombre d'observations : le dauphin bleu et blanc et le rorqual commun. Les autres espèces étant trop sporadiques et les observations peu nombreuses, ces dernières ne seront pas analysées dans ce chapitre.

La zone prise en compte est légèrement inférieure à celle utilisée dans les analyses précédents pour des raisons d'optimisation spatiale de la couverture par l'effort : de 41°30'N à 43°30'N et de 5°E à 8°30'E. Par ailleurs, pour les mêmes raisons et afin de pouvoir comparer des jeux de données conséquents et bien répartis spatialement, nous avons restreint la période traitée aux mois de juin à septembre de 2006, 2007 et 2008 (nous avons également gardé 2009 pour le dauphin bleu et blanc).

1. Le peuplement

Nous ne détaillerons pas ici les deux peuplements (hélicoptère et bateau) car cela a été fait précédemment dans le Chapitre II § I.B.1. Globalement toutes les espèces ont été vues à partir des deux types de plates-formes : il n'y aurait donc a priori aucun biais de détection ou d'identification, quels que soient la taille, la couleur ou l'habitat des animaux. Néanmoins on note que globalement moins de cétacés ont été vus en hélicoptère, quelle que soit l'espèce considérée.

2. Rorqual commun

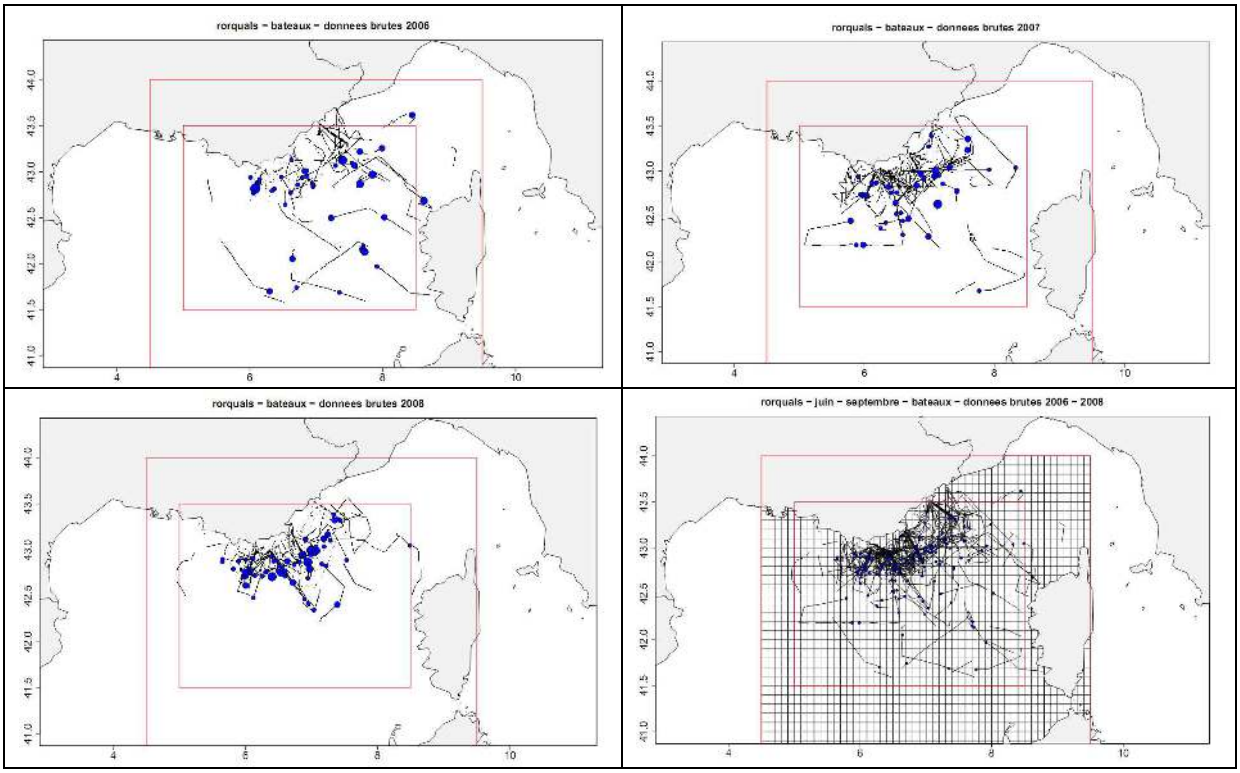
L'ensemble des paramètres concernant les jeux de données collectées par bateau et hélicoptère, et pris en compte dans cette analyse. Il est synthétisé dans le tableau 22 et représenté sur les cartes 26 et 27.

L'effort en bateau est conséquent, de l'ordre de quelques milliers de kilomètres chaque année, tandis qu'en hélicoptère l'effort annuel est très variable, dépassant rarement le millier de kilomètres. L'année 2007 est faiblement échantillonnée (349 km), et l'effort en 2006 est le triple de celui en 2008. Concernant les observations de rorquals, le constat est similaire : des données conséquentes et assez proches d'une année sur l'autre pour le bateau et des données plus variables et peu nombreuses pour l'hélicoptère. D'ailleurs les données hélicoptère de 2007 ne sont évoquées qu'à titre indicatif.

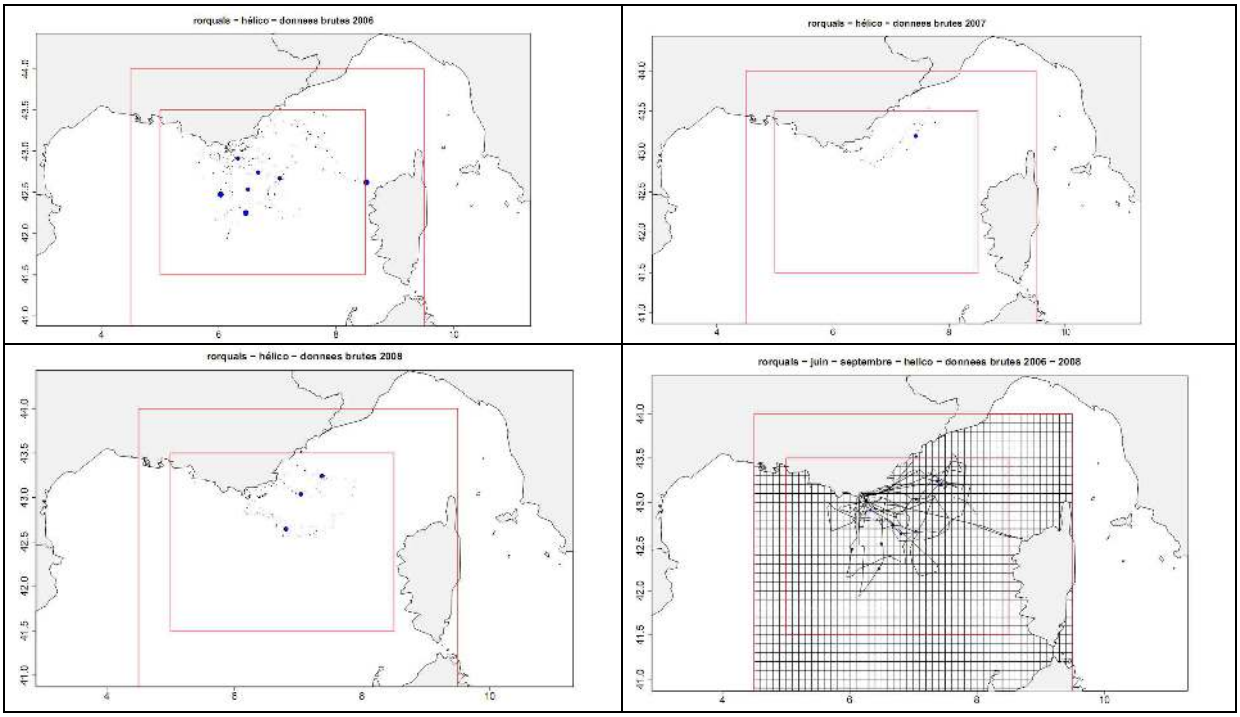
Tableau 22. Données d'effort et d'observations de rorquals utilisées pour la comparaison hélicoptère-bateau, de juin à septembre entre 2006 et 2008.

Plate-forme	Données	2006	2007	2008	Total
Bateau	*Distance (km)*	*4 035*	*5 544*	*5 010*	***14 590***
	Nb observations	44	42	66	**152**
	Nb individus	71	61	91	**223**
Hélicoptère	*Distance (km)*	*2 180*	*349*	*750*	***3 279***
	Nb observations	7	1	3	**11**
	Nb individus	10	1	3	**14**

En ce qui concerne la distribution des trajets, les deux plates-formes couvrent globalement le même secteur : plus étendu en 2006 et légèrement plus restreint en 2007 et 2008 vers le continent (cf. cartes 26 et 27).



Carte 26. trajets en effort « bateau » et observations de rorquals de juin à septembre en 2006, 2007 et 2008 et compilation des données sur les trois années. La zone analysée est circonscrite en rouge (petits rectangles).



Carte 27. Trajets en effort « hélicoptère » et observations de rorquals en 2006, 2007 et 2008 et compilation des données sur les trois années. La zone analysée est circonscrite en rouge (petits rectangles).

a) Abondance relative

Les calculs des tailles de groupes annuelles et globales pour les deux jeux de données (tableau 23) montrent des variations, mais ces différences ne sont pas significatives car toutes les valeurs des moyennes sont comprises dans la marge d'erreur. C'est en 2006 que les tailles de groupes sont maximales dans les deux jeux de données. Il n'y a donc pas de biais dans l'estimation de la taille de groupe de rorqual en fonction de la plate-forme.

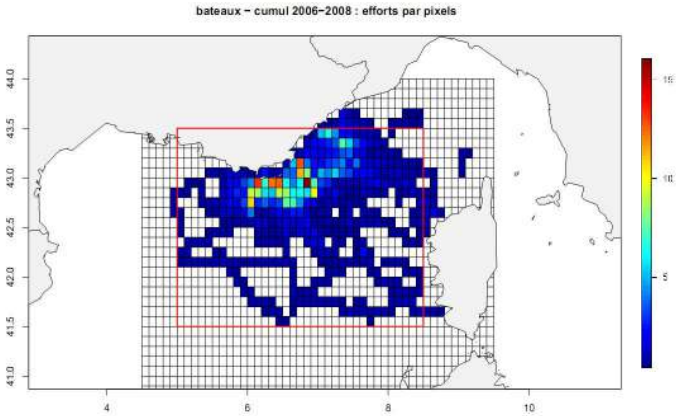
En revanche la densité de groupe observée par km (ou taux de contact) varie en fonction des années pour les deux plates-formes, mais les maxima et minima sont atteints les mêmes années : respectivement 2008 et 2007 (tableau 23). Les densités sont systématiquement moindres par hélicoptère (0,0033 contre 0,104 groupe.km^{-1}en bateau) et il faut globalement faire 298 km en hélicoptère pour contacter un groupe alors qu'il faut en faire 96 km en bateau. Le ratio des densités de groupe par kilomètre entre bateau et hélicoptère est globalement sur les trois ans de 0,32 (entre 0,29 et 0,30 si l'on ne considère pas 2007 peu fiable).

Tableau 23. Synthèse des calculs du nombre moyen de rorquals par groupe, du taux de contact (nb de groupe de rorquals par km) et du nombre de km entre chaque groupe, à partir des jeux de données « bateau » et « hélicoptère »

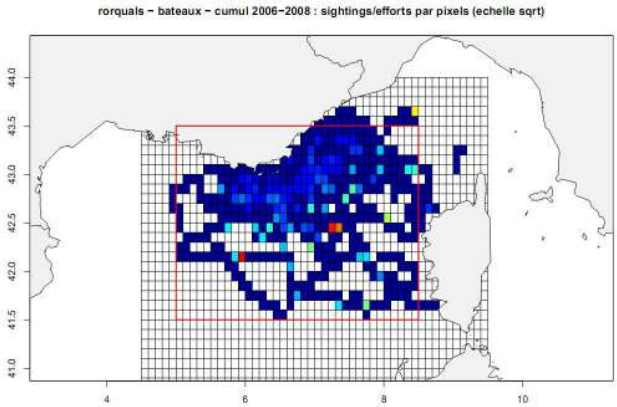
	Plate-forme	**2006**	**2007**	**2008**	**Total**
Nb Moyen par groupe	Bateau	1,61	1,45	1,38	**1,47**
	Hélicoptère	1,43	1	1	**1,27**
Taux de contacts groupe/km	Bateau	0,0109	0,0076	0,0132	**0,0104**
	Hélicoptère	0,0032	0,0029*	0,0040	**0,0033**
Nb moyen de km à parcourir entre chaque groupe	Bateau	92	132	76	**96**
	Hélicoptère	311	349*	250	**298**
Ratio des densités de groupe hélicoptère / bateaux		**0,29**	**0,37***	**0,30**	**0,32**

*valeurs peu fiables du fait du faible jeu de données en hélicoptère cette année là.

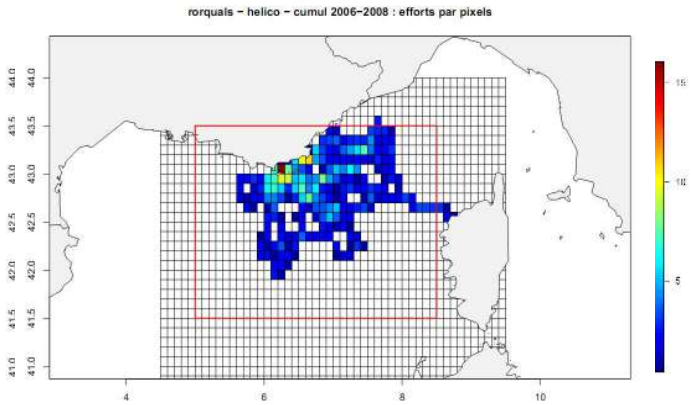
A côté des résultats chiffrés nous avons réalisé une analyse géostatistque par bloc (maille de 0,1°*0,1°). A partir des données brutes (cartes 26 et 27), une densité par bloc a été réalisée sur l'effort pour chacune des plates-formes (cartes 28 et 30) puis sur le nombre de groupes de rorquals par kilomètre (figures 29 et 31). La cartographie nous permet d'apprécier l'hétérogénéité de l'échantillonnage, avec une moitié nord sur-échantillonnée avec une couverture quasi complète et une moitié sud plus mitée et incomplètement couverte. Pour les données bateau, le taux de contact semble moyen et plus constant dans la moitié nord, tandis que dans la moitié sud il est plus variable. En hélicoptère les observations sont trop éparses donnant des densités ponctuelles et très variables.

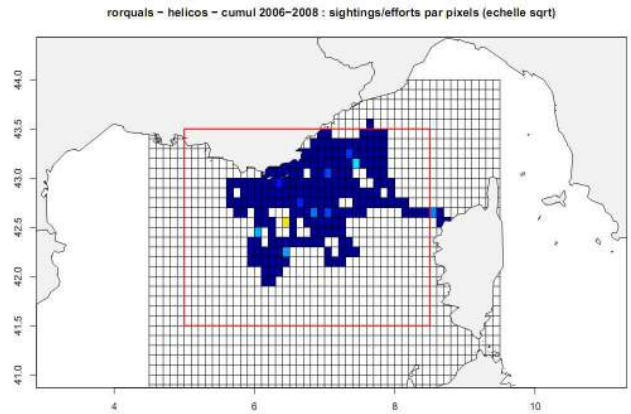


Carte 28. Densité de l'effort par pixel, jeu de données « bateau », juin à septembre 2006 à 2008. La zone analysée est circonscrite en rouge.



Carte 29. Taux de contact (nb de groupes de rorqual.km^{-1}) par pixel, jeu de données « bateau », juin à septembre 2006 à 2008. La zone analysée est circonscrite en rouge.

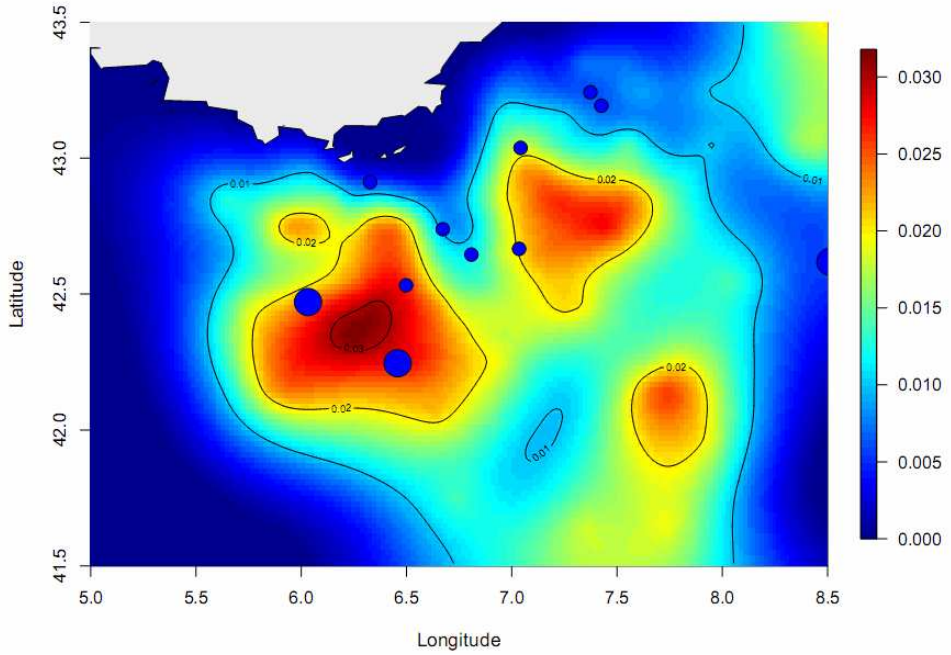




Carte 30. Densité de l'effort par pixel, jeu de données « hélicoptère », juin à septembre 2006 à 2008. La zone analysée est circonscrite en rouge.

Carte 31. Taux de contact (nb de groupes de rorqual.km^{-1}) par pixel, jeu de données « bateau », juin à septembre 2006 à 2008. La zone analysée est circonscrite en rouge.

A partir de la cartographie par bloc du taux de contact de rorquals, l'interpolation par la géostatistique permet de corriger l'hétérogénéité spatiale (carte 32). On obtient une image plus globale et complète de la distribution des animaux dans la zone ainsi qu'une information sur la structuration spatiale des groupes. Cette approche n'a pu être menée au bout que pour les données bateau. Aucune analyse de krigeage n'a pu être faite sur les données hélicoptère pour des raisons de manque de données.



Carte 32. Cartographie de l'espérance du nombre de groupes de rorquals par kilomètre parcouru en effort, en bateau de juin à septembre de 2006 à 2008, obtenue par la méthode de krigeage basée sur un modèle poissonnien développée par Monestiez et al. (2006).
Rond bleus =Nb d'observations de rorquals faites en hélicoptère durant la même période.

La population de rorqual commun semble se structurer à l'échelle de 50 à 100 km, les principales zones de prédilection (> 0,02 observations.km^{-1}) se localisant en particulier au Sud et Sud-Est des îles d'Hyères. On devine le début d'une autre zone importante de concentration au Nord-Est de notre zone, correspondant au centre de la mer Ligure. Des zones de faibles densités sont aussi constatées au milieu des structures de fortes densités (≈ 0,01 groupes.km^{-1})

dans le bassin liguro-corsico-provençal. Globalement les rorquals sont peu présents au niveau des côtes et semblent préférer le domaine pélagique.

Pour les données hélicoptère, la répartition spatiale des rorquals n'apparaît a priori pas différentiable d'une répartition totalement aléatoire, c'est-à-dire que les rorquals auraient la même chance d'apparaître quel que soit l'endroit. Mais cela ne veut pas dire non plus que les rorquals soient répartis au hasard. Simplement, les données sont trop rares pour pouvoir rejeter l'hypothèse d'une répartition au hasard et montrer une quelconque structuration spatiale. Ce résultat n'est pas non plus contradictoire avec ce qui est observé et interpolé depuis le jeu de données « bateau » puisque la majorité des observations faites en hélicoptère se localisent dans les zones de moyenne à forte densités détectées par bateau (carte 32).

b) Densité absolue

Cet outil d'interpolation qu'est le krigeage a l'avantage de prendre explicitement en compte la structure spatiale de la variable (modélisée par le variogramme ou par la covariance spatiale équivalente) pour prédire les valeurs de densité de groupe à une position non échantillonnée, et ce en combinant les observations pondérées par l'effort. Le krigeage prend donc aussi en compte la répartition spatiale des transects chaque année. Afin de calculer les densités absolues (groupe.km^{-2}) à partir des abondances relatives (groupe.km^{-1}), la demi-largeur effective retenue est de 750 m pour toutes les années (calculée d'après Paklepa, 2009). Le passage de densité de groupe par km² à une densité d'individus par km² se fait en multipliant la première par le nombre moyen d'individus par groupe estimé ci-dessus (tableau 24). La densité totale est calculée pour une surface de 59 170 km², côte non comprise, donc uniquement la surface marine (tableau 24).

Tableau 24. Densité absolue de rorquals calculée à l'aide de la géostatistique, données juin à septembre, 2006 à 2008.

GEOSTATISTIQUE	2006	2007	2008
Densité groupe/km²	0,01128	0,00880	0,00983
Densité individus/km²	0,01821	0,01278	0,01355
Nb total de rorquals sur la zone	1077	756	802
IC (Nb d'ind.)	656-1769	412-1387	374-1719
CV	0,26	0,32	0,40

Les précisions (CV) sur ces résultats se montrent variables d'une année sur l'autre. Cela vient surtout du positionnement des transects pour couvrir la zone : la couverture spatiale de notre zone étant moins bonne en 2008 qu'en 2006 ou 2007. Les valeurs de densité d'individus restent cependant quasi stables les deux dernières années et s'avèrent légèrement supérieures en 2006.

Un calcul indépendant se base sur les données traitées par Distance Sampling (tableau 25). La demi-largeur effective retenue, pour passer de l'abondance relative (groupe.km^{-1}) à la densité absolue (groupe.km^{-2}) est de 650 m pour toutes les années (d'après Monestiez *et al.* 2009).

Tableau 25. Densité absolue de rorquals calculée à l'aide de Distance Sampling, données juin à septembre, 2006 à 2008.

DISTANCE SAMPLING	2006	2007	2008
Densité groupe/km²	0,00839	0,00583	0,01013
Densité individus/km²	0,01354	0,00846	0,01397
Nb total de rorquals sur la zone	801	500	827
IC (Nb d'ind.)	292-2193	201-1241	425-1610
CV	0,55	0,49	0,35

On observe des variations inter-annuelles importantes (environ 40% d'animaux en moins en 2007) et des coefficients de variations (CV) assez importants au final pour le Distance Sampling. Les densités absolues calculées selon les deux méthodes, sans être très similaires (sauf en 2008), n'en restent pas moins du même ordre de grandeur. Les valeurs calculées par géostatistiques sont légèrement plus élevées (756 à 1077 individus) par rapport à celles calculées par Distance Sampling (500 à 827 individus). On observe également une inversion pour 2006 et 2007. Dans les deux calculs, c'est bien en 2007 que les animaux étaient le moins nombreux. Cependant, la différence est nettement plus marquée avec le résultat du Distance Sampling qu'avec celle de la méthode géostatistique. A l'inverse, en 2006 la géostatistique donne des valeurs bien supérieures. Il en résulte qu'avec la géostatistique les densités de rorquals en 2007 et 2008 semblent similaires (0,013 ind.km^{-2}), alors qu'elles sont supérieures en 2006 (0,018 ind.km^{-2}), tandis qu'avec Distance Sampling ce sont les densités de 2006 et 2008 (0,014 ind.km^{-2}) qui sont similaires alors qu'elles sont bien moindres en 2007 (0,0084 ind.km^{-2}).

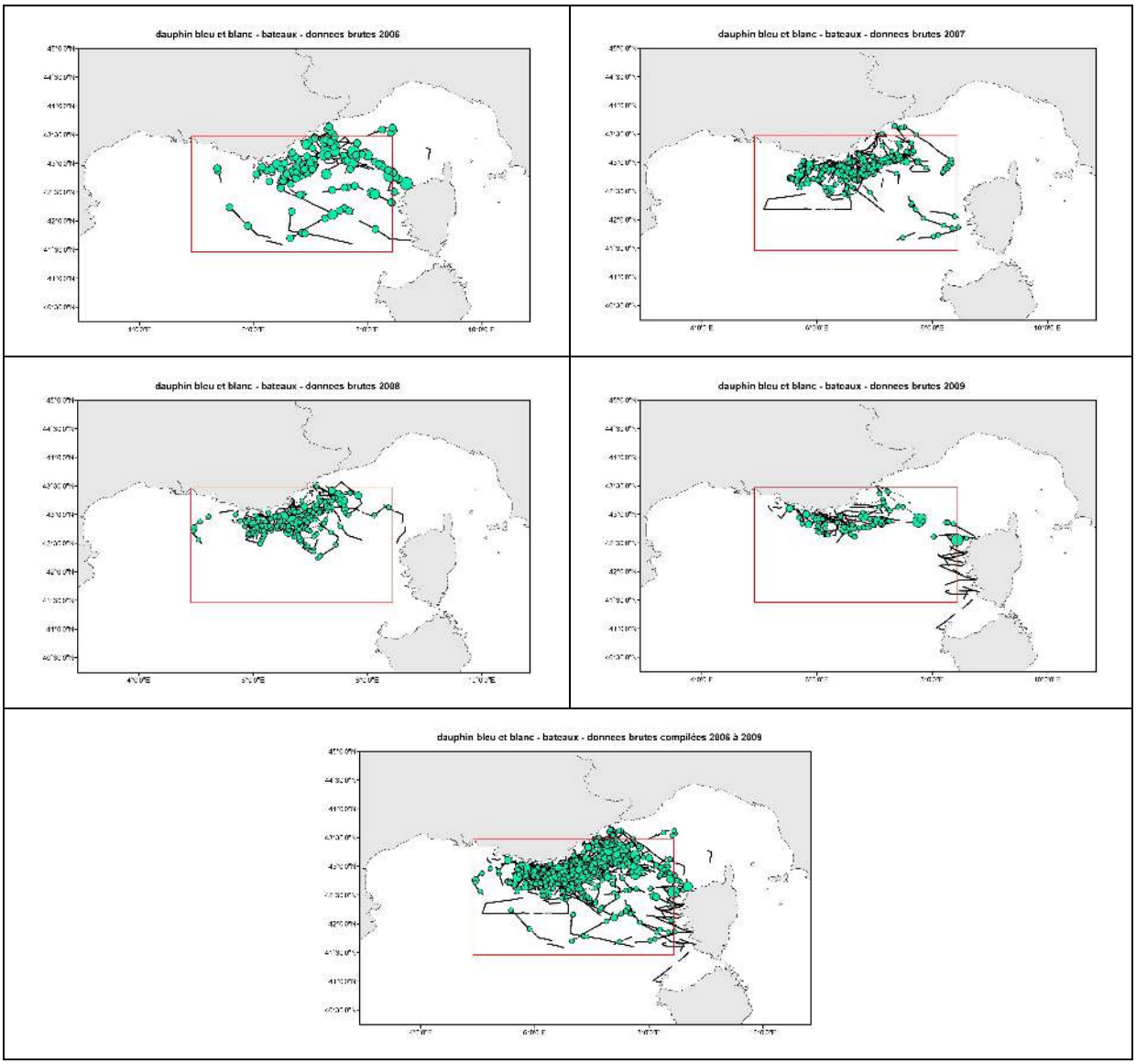
3. Dauphin bleu et blanc

L'ensemble des paramètres des jeux de données collectées par bateau et hélicoptère, est pris en compte dans cette analyse. Il est synthétisé dans le tableau 26 et représenté sur les cartes 33 et 34.

L'effort est identique à celui décrit pour le rorqual commun si ce n'est que l'on analyse également 2009 : effort deux fois moindre en bateau par rapport aux autres années et effort important en hélicoptère. Le nombre d'observations de dauphins bleus et blancs par hélicoptère est très faible par rapport à ce qui peut être vu à partir des bateaux.

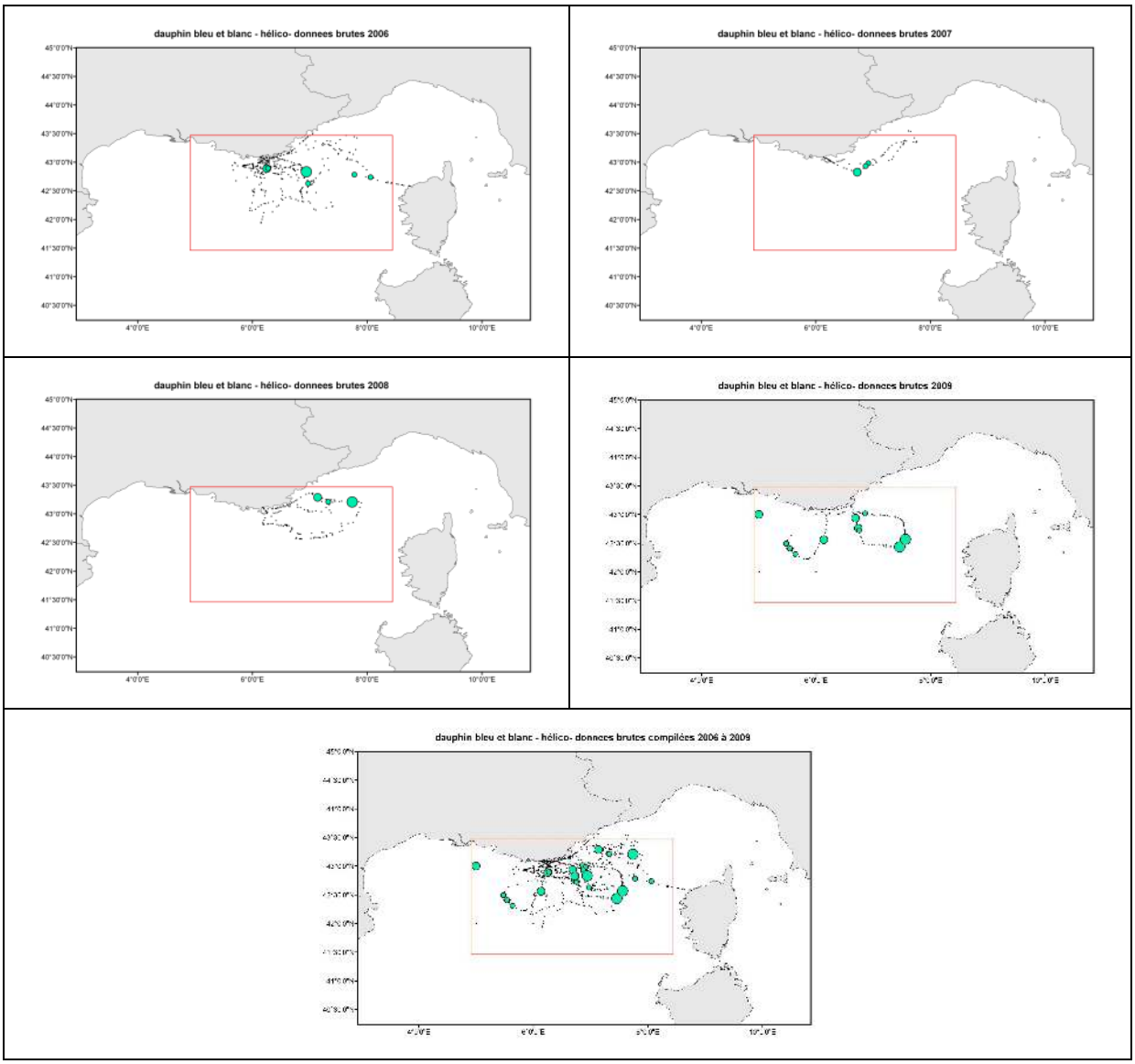
Tableau 26. Données d'effort et d'observations de dauphins bleus et blancs utilisées pour la comparaison hélico-bateau, de juin à septembre de 2006 à 2009

Plate-forme	Données	2006	2007	2008	2009	Total
Bateau	*Distance (km)*	4 035,3	5 544,2	5 010,5	2 862,6	17 452,2
	Nb observations	131	210	203	80	624
	Nb individus	1665	1410	1621	840	5536
Hélicoptère	*Distance (km)*	2 180,3	349,5	749,7	746,7	4 026,2
	Nb observations	6	3	3	12	24
	Nb individus	90	24	76	356	546



Carte 33. Trajets en effort « bateau » et observations de dauphins bleus et blancs de juin à septembre en 2006, 2007, 2008 et 2009 et compilation des données sur les trois années. La zone analysée est circonscrite en rouge.

L'effort (carte 33), couvrant une grande partie de la zone ciblée en 2006, se restreint au fil des ans et aboutit à une faible couverture en 2009. Les dauphins sont bien présents dans l'ensemble de la zone, avec a priori plus d'observations au Nord que dans le Sud de la zone.



Carte 34. Trajets en effort « hélicoptère » et observations de dauphins bleus et blancs de juin à septembre en 2006, 2007, 2008 et 2009 et compilation des données sur les trois années. La zone analysée est circonscrite en rouge.

Le nombre de vols en été n'est pas très élevé, en particulier en 2007 où l'effort est de ce fait insuffisant, ne couvrant de plus qu'une part infime de la zone (carte 34).

a) Abondance relative

Les tailles de groupes sont équivalentes dans les deux jeux de données les deux premières années. En revanche elles sont quasiment trois fois plus importantes vu d'hélicoptère les deux dernières années (tableau 27). Globalement les densités obtenues par les deux plates-formes sont différentes selon un ratio de 0,167 pour les groupes et 0,42 pour les individus. Ces ratios sont de plus très peu stables d'une année sur l'autre : ils varient de 0,099 à 0,575 pour les groupes et de 0,12 à 1,62 pour les individus.

Tableau 27. Calculs du nombre moyen de dauphins bleus et blancs par groupe, du taux de contact (nb de groupes de dauphins bleus et blancs par km) et du nombre de km entre chaque groupe, à partir des jeux de données « bateau » et « hélicoptère »

	Plate-forme	2006	2007	2008	2009	Total
Nb Moyen / groupe	Bateau	12,7	6,7	8,0	10,5	**8,9**
	Hélicoptère	15	8	25,3	29,7	**22,7**
Densité (groupe.km^{-1})	Bateau	0,03246	0,03788	0,04051	0,02795	**0,03575**
	Hélicoptère	0,00321	0,00858	0,00400	0,01607	**0,00596**
Nb moyen de km à parcourir entre chaque groupe	Bateau	31	26	24	36	**28**
	Hélicoptère	363	116	250	62	**121**
Ratio des densités de groupes helicoptère/bateau		0,099	0,226	0,099	0,575	**0,167**
Ratio des densités d'individus helicoptère/bateau		0,12	0,27	0,31	1,62	**0,42**

La grande variabilité annuelle du ratio hélicoptère/bateau des densités ne nous permet pas d'envisager d'aller plus loin dans les analyses. En effet, aucune tendance et aucun facteur correctif simple ne peut être dégagé. A priori plusieurs biais doivent influencer les données collectées par l'une et l'autre des plates-formes.

I.B. Transect prédéfini versus transect aléatoire

Dans cette partie nous travaillerons uniquement à partir des données collectées en bateau et pour lesquelles nous avions à la fois un jeu de données fait sur des transects prédéfinis (TP) et un jeu collecté à partir de transects aléatoires effectués dans la zone d'étude.

1. Effort de prospection

Globalement, l'effort de prospection par des transects aléatoires (TA) est plus important que celui réalisé sur des TP, et ce quelle que soit l'échelle de temps considérée (figure 116). Au niveau des années, l'effort sur le TP est assez similaire (en moyenne 992 km avec un minimum de 614 km en 2009 et un maximum de 1124 km en 2006), alors que celui sur les TA varie beaucoup plus : plus de 5 500 Km en 2007 et 2008, et entre 3 400 et 4 200 km en 2006 et 2009, et avec un minimum de 2046 km en 2005. Par ailleurs, c'est en été que les efforts, tant sur TA que sur TP, ont été les plus importants. L'automne a également été prospecté, mais dans une moindre mesure, alors que l'effort est minimum au printemps et en hiver.

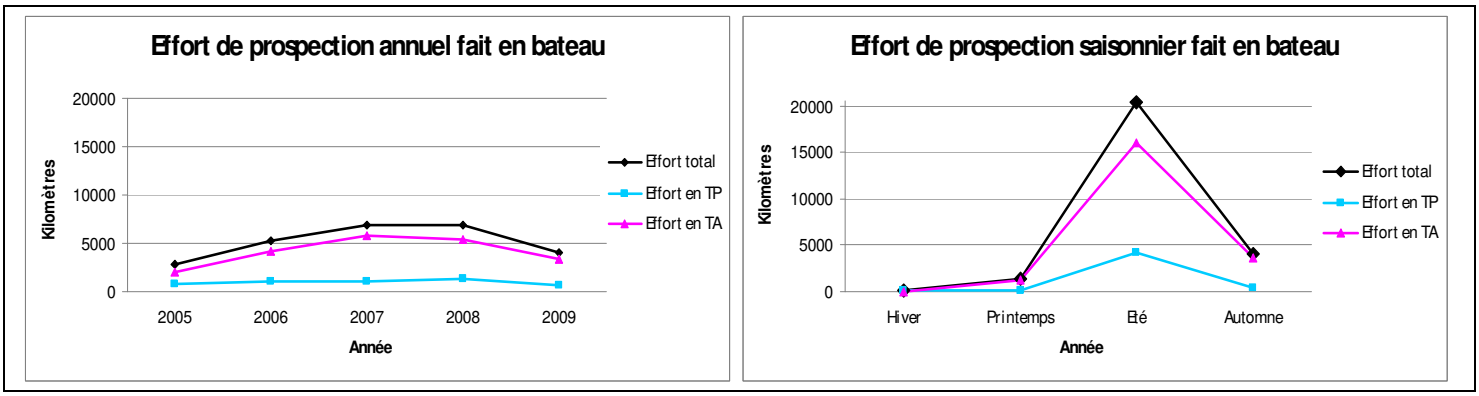


Figure 116. Efforts de prospection annuel et saisonnier faits en bateau en transect prédéfini (TP) et en transect aléatoire (TA) entre 2005 et 2009.

2. Peuplement

La composition du peuplement de cétacés est très similaire sur les TP et sur les TA (figure 117) : les mêmes espèces dominent (dauphin bleu et blanc puis rorqual commun), et les proportions de chacune sont quasiment identiques. Les quelques différences minimes correspondent aux dauphins de Risso légèrement moins rencontrés sur les TP que sur les TA (0,19 versus 1,53 % des individus). A l'inverse les rorquals communs et les grands dauphins sont à peine plus souvent vus lors des missions TP.

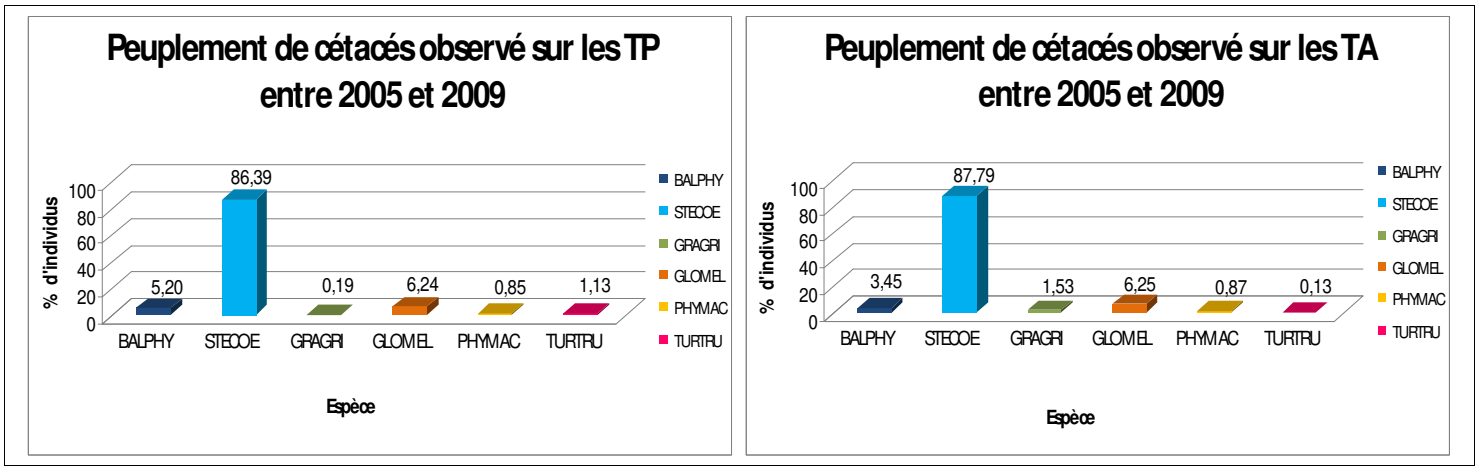


Figure 117. Composition spécifique du peuplement de cétacés (en % d'individus) observés en bateau à partir de transects prédéfinis (TP) et de transects aléatoire (TA) entre 2005 et 2009

3. Abondance relative

a) Variations annuelles

D'après les résultats, les abondances relatives annuelles de rorquals communs sont relativement similaires entre le jeu de données collectées sur les TP et celui collecté sur les TA (figure 118). On retrouve donc les mêmes variations annuelles dans les secteurs échantillonnés par les deux jeux de données.

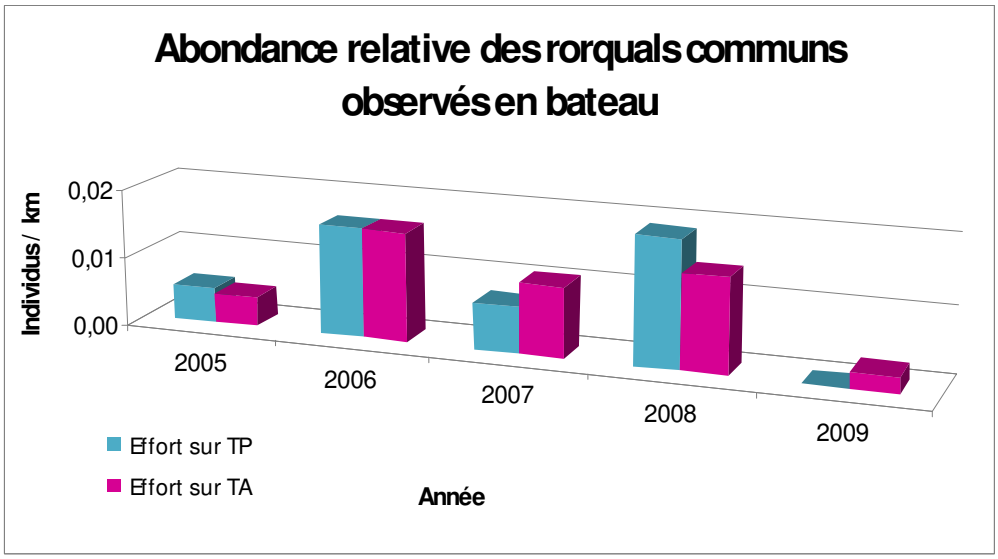


Figure 118. Abondances relatives annuelles (ind.km^{-1}) des rorquals communs rencontrés sur des transects prédéfinis (TP) et aléatoires (TA) en bateau entre 2005 et 2009.

En ce qui concerne les dauphins bleus et blancs (figure 119), les abondances relatives sont souvent supérieures sur les TA par rapport à celles sur les TP (2006, 2007 et 2009), voire égales (2008). Autant la variabilité inter-annuelle est faible sur les TA (mis à part 2006), autant elle est plus marquée sur les TP. Deux cas de figure apparaissent sur les TP : des valeurs moyennes (environ 0,1 ind.km^{-1}) en 2006, 2007 et 2009, ou des valeurs un peu plus fortes (0,2 ind.km^{-1}) en 2005 et 2008.

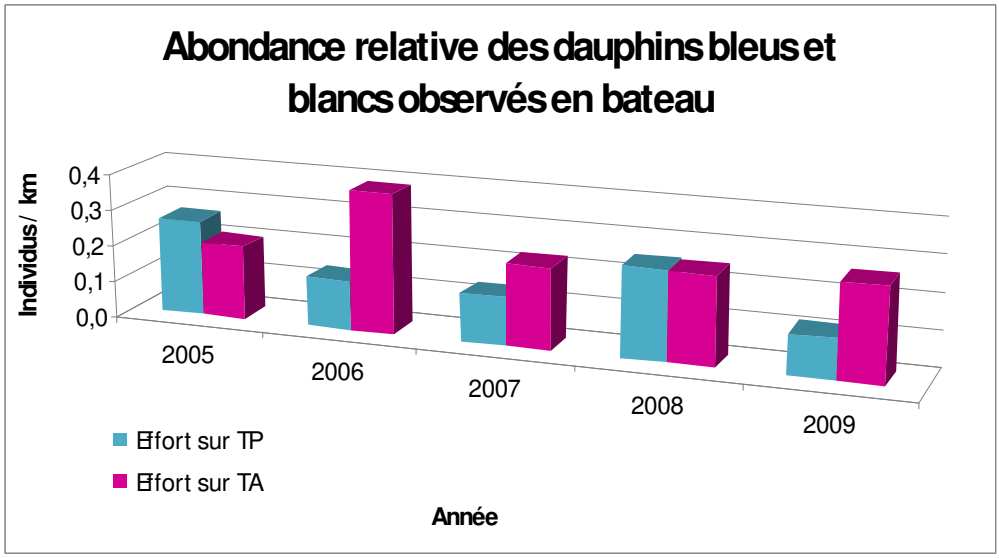


Figure 119. Abondances relatives annuelles (ind.km^{-1}) des dauphins bleus et blancs rencontrés sur des transects prédéfinis (TP) et aléatoires (TA) en bateau entre 2005 et 2009.

Les dauphins de Risso (figure 120) ont été rarement vus sur les TP. En revanche ils ont été rencontrés de façon régulière et quasi similaire (sauf 2008) sur les secteurs échantillonnés par les TA tous les ans. L'année 2009 semble l'exception puisque cette espèce a été rencontrée uniquement sur les TP avec une abondance similaire à celle obtenues sur les TA entre 2005 et 2007.

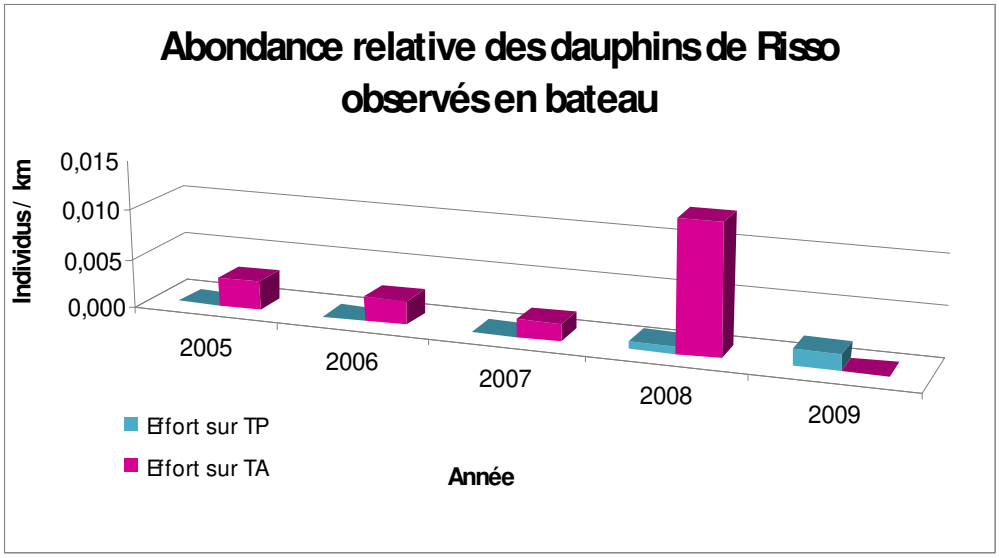


Figure 120. Abondances relatives annuelles (ind.km^{-1}) des dauphins de Risso rencontrés sur des transects prédéfinis (TP) et aléatoires (TA) en bateau entre 2005 et 2009.

Le globicéphale noir semble être moins constant que l'espèce analysée précédemment. Il est vu quasiment soit sur les TA (2006 et 2009) soit sur les TP (2005, 2008) en fonction de l'année (figure 121).

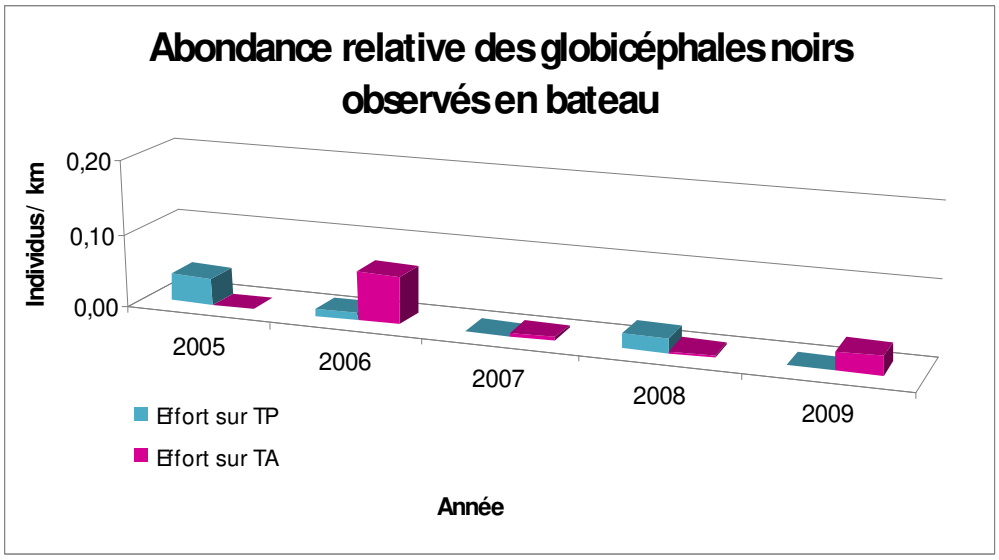


Figure 121. Abondances relatives annuelles (ind.km^{-1}) des globicéphales noirs rencontrés sur des transects prédéfinis (TP) et aléatoires (TA) en bateau entre 2005 et 2009.

Si le cachalot est rencontré quasiment chaque année sur les TP et sur les TA (figure 122), il n'en reste pas moins que les abondances relatives annuelles varient entre les deux jeux de données d'une même année. C'est uniquement en 2006 qu'il est plus fréquent sur le TP, sinon il a plus souvent été vu dans les secteurs échantillonnés par l'ensemble des TA. Les évolutions inter-annuelles des abondances relatives des deux jeux de données ne présentent pas les mêmes tendances d'évolution, les maximum et minimum n'étant pas les mêmes années.

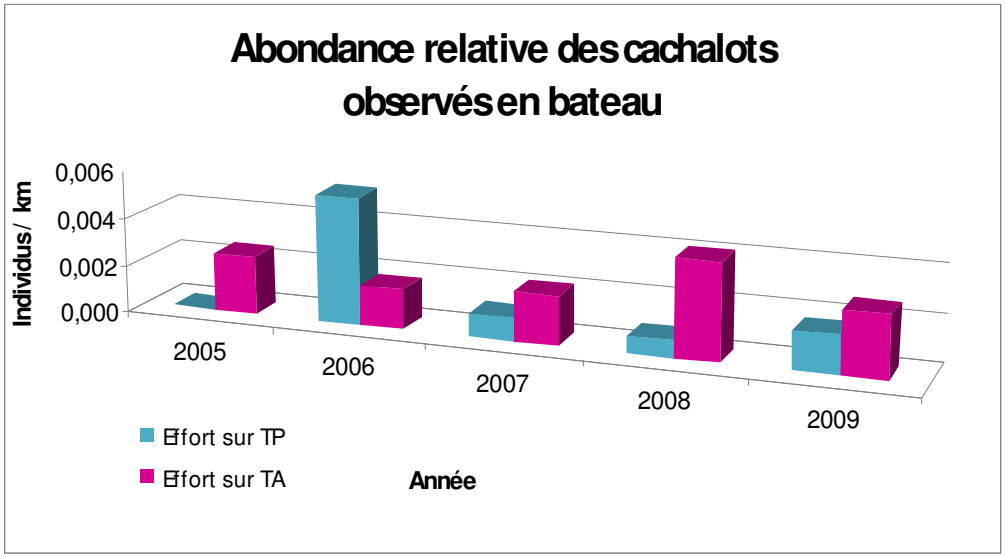


Figure 122. Abondances relatives annuelles (ind.km^{-1}) des cachalots rencontrés sur des transects prédéfinis (TP) et aléatoires (TA) en bateau entre 2005 et 2009.

Enfin les grands dauphins sont plus sporadiques (figure 123). Ils sont rencontrés parfois sur les TP (2008 et 2009) avec de fortes abondances relatives, sur les TA (2006), ou encore sont absents des secteurs échantillonnés (2005 et 2007).

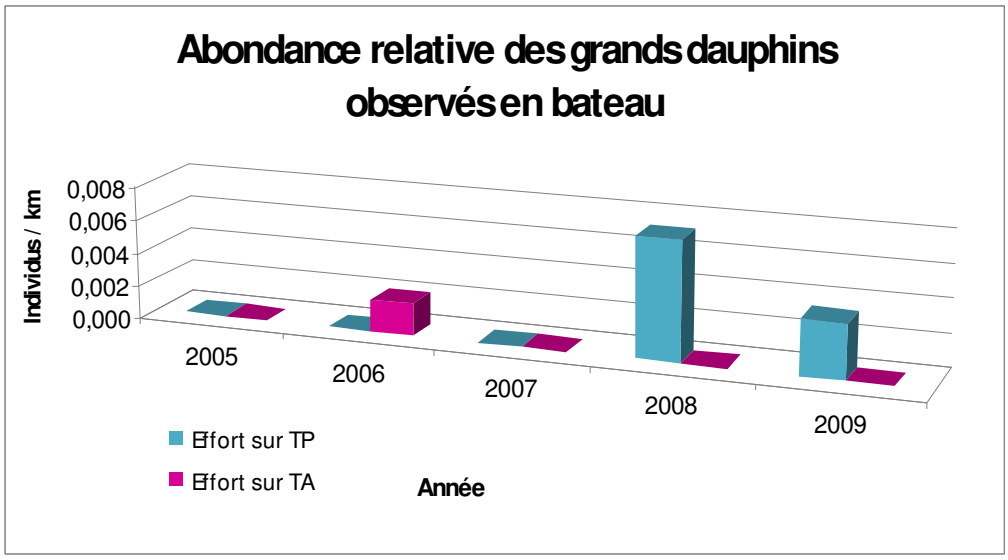


Figure 123. Abondances relatives annuelles (ind.km^{-1}) des grands dauphins rencontrés sur des transects prédéfinis (TP) et aléatoires (TA) en bateau entre 2005 et 2009.

b) Variations saisonnières

Les rorquals ont été observés dès le printemps dans les secteurs échantillonnés par les TA. En revanche, ils n'ont été rencontrés sur les TP qu'à partir de l'été et ont montré une abondance relative quasiment identique en été et en automne (figure 124). En revanche les abondances sont plus fluctuantes sur les TA, avec un minimum relatif en été et un maximum relatif en hiver. Les deux jeux de données ne semblent donc pas représenter tout à fait les mêmes choses à cette échelle de temps.

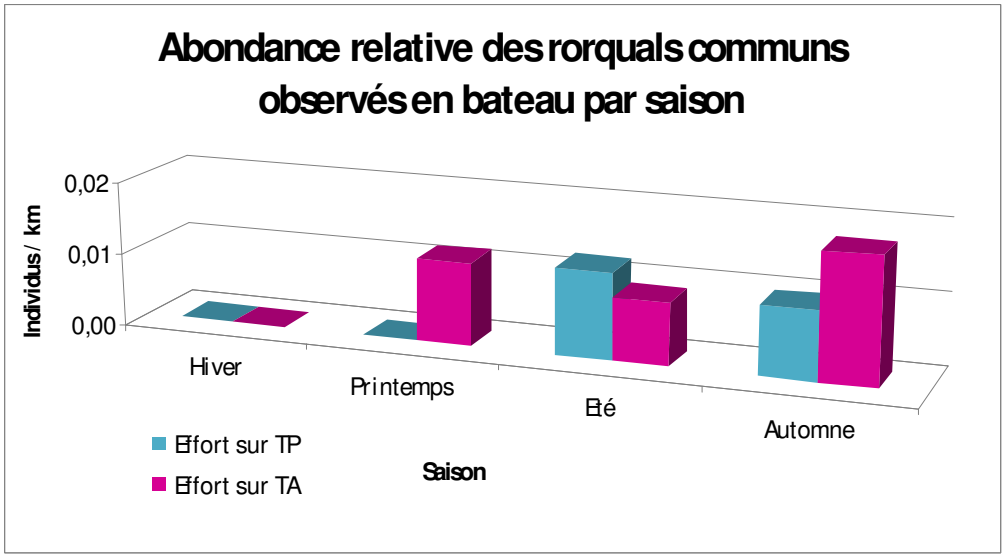


Figure 124. Abondances relatives saisonnières (ind.km^{-1}) des rorquals communs rencontrés sur des transects prédéfinis (TP) et aléatoires (TA) en bateau entre 2005 et 2009.

Les résultats pour les dauphins bleus et blancs (figure 125) donnent une image assez constante des abondances relatives de cette espèce au fil des saisons sur les deux jeux de données : les animaux sont toujours plus fréquents sur les TA (entre 0,22 et 0,31 ind.km^{-1}) que sur les TP (0,13 à 0,19 ind.km^{-1}), avec des écarts plus importants en hiver et en automne.

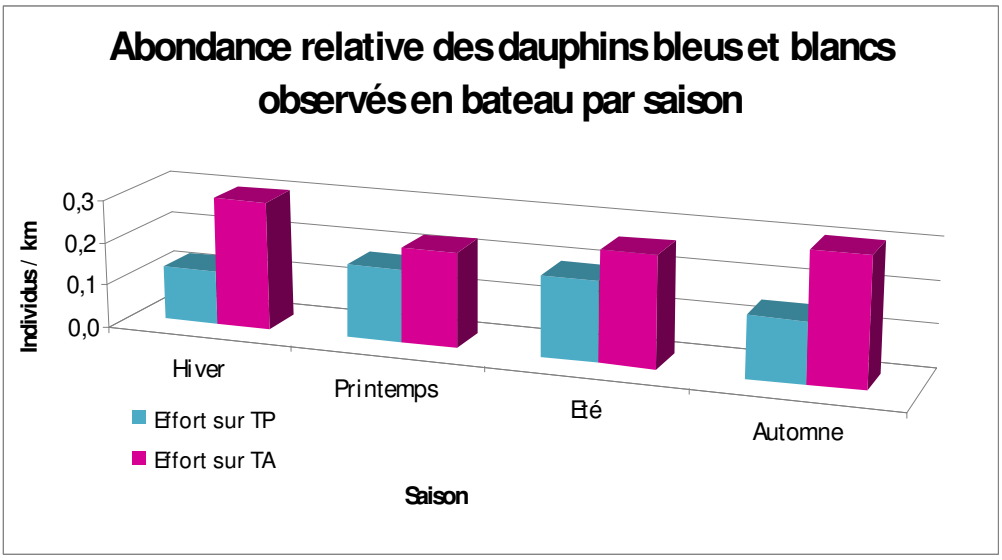


Figure 125. Abondances relatives saisonnières (ind.km^{-1}) des dauphins bleus et blancs rencontrés sur des transects prédéfinis (TP) et aléatoires (TA) en bateau entre 2005 et 2009.

Dans les secteurs échantillonnés par les TA, des dauphins de Risso ont été aperçus en été puis en plus grand nombre en automne (figure 126). On constate la même chose à partir des TP mais avec des abondances relatives inférieures à celles des TA dans les deux saisons.

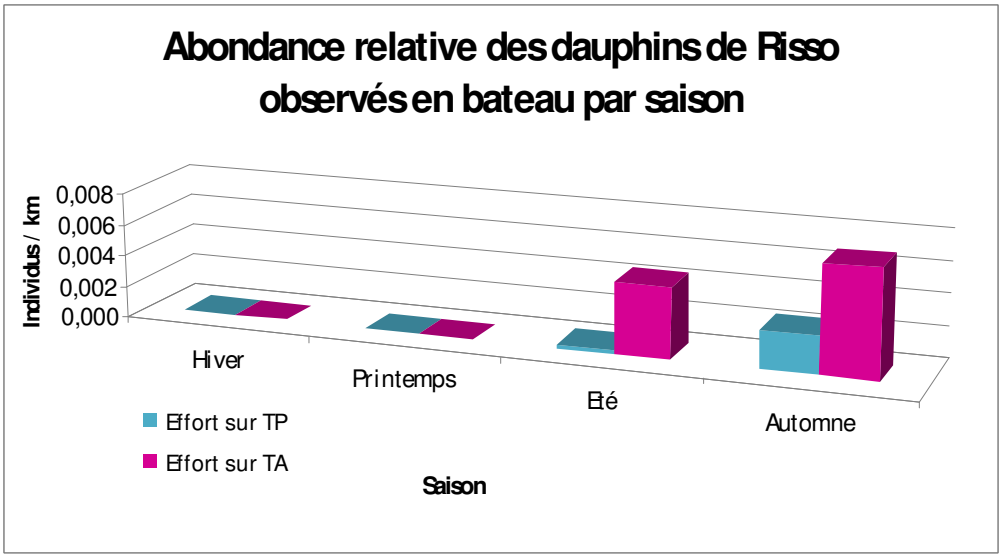


Figure 126. Abondances relatives saisonnières (ind.km^{-1}) des dauphins de Risso rencontrés sur des transects prédéfinis (TP) et aléatoires (TA) en bateau entre 2005 et 2009.

Les globicéphales ont eux aussi été rencontrés sur les TA et les TP en été et en plus grand nombre en automne sur les deux jeux de données (figure 127). En revanche, s'ils étaient légèrement plus fréquents sur les TA en été, ils sont plus fortement présents sur les TP en automne.

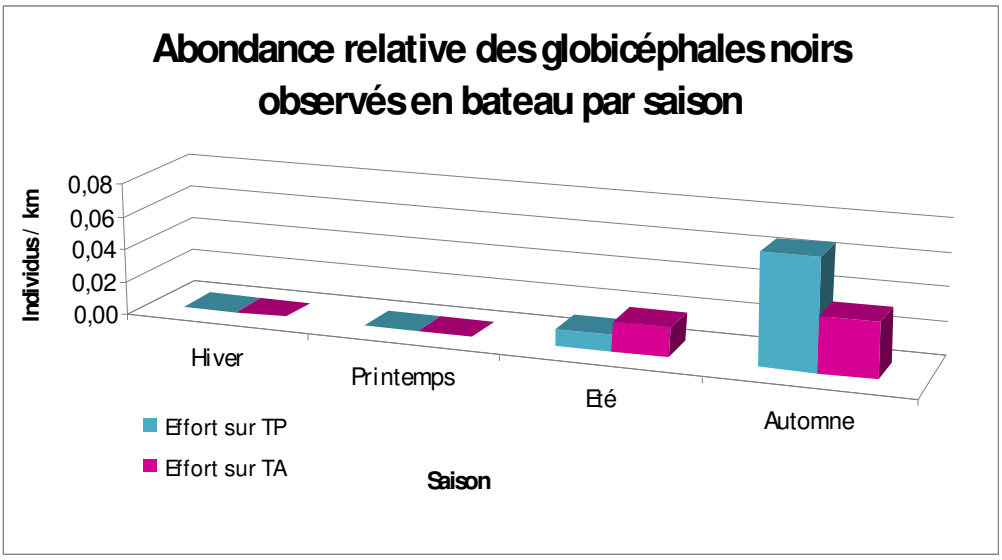


Figure 127. Abondances relatives saisonnières (ind.km^{-1}) des globicéphales noirs rencontrés sur des transects prédéfinis (TP) et aléatoires (TA) en bateau entre 2005 et 2009.

Il n'y a qu'en période estivale que les cachalots ont été vus sur les TP, avec des abondances relatives similaires (0,002 ind.km^{-1}) à celle du jeu de données TA (figure 128). Sinon, au printemps et à l'automne ils étaient uniquement dans des secteurs échantillonnés par les TA, avec des abondances relatives cinq fois supérieures lors de la dernière saison citée (0,001 contre 0,005 ind.km^{-1}).

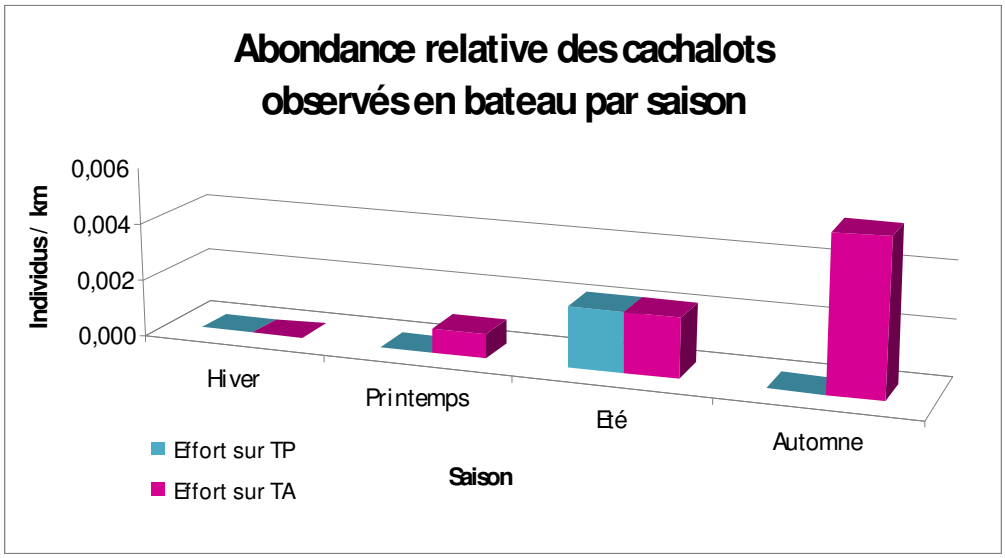


Figure 128. Abondances relatives saisonnières (ind.km^{-1}) des cachalots rencontrés sur des transects prédéfinis (TP) et aléatoires (TA) en bateau entre 2005 et 2009.

Les grands dauphins ont été observés sur les TP en été et encore plus fréquemment en automne (figure 129), alors qu'ils n'ont été aperçus qu'en automne sur les TA.

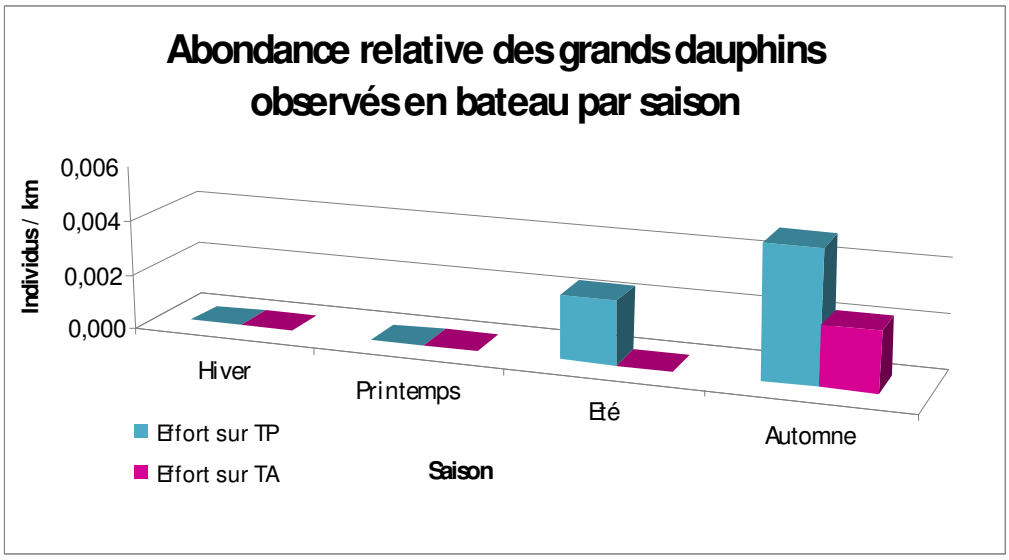


Figure 129. Abondances relatives saisonnières (ind.km-1) des grands dauphins rencontrés sur des transects prédéfinis (TP) et aléatoires (TA) en bateau entre 2005 et 2009.

c) Autre traitement statistique

Comme mentionné en début de chapitre, les tests classiques de comparaison de valeurs ne sont pas assez puissants pour mettre des différences en évidence. Aussi, afin de préciser les analyses précédentes nous allons utiliser une approche complémentaire pour aborder cette problématique. Nous avons testé l'hypothèse (H_0) que l'abondance relative moyenne obtenue par les TP d'un mois donné représente une des valeurs potentielles de n'importe quelle moyenne faite à partir des TA du même mois. Les résultats obtenus nous permettent de mieux cerner la distribution de nos données à l'aide de l'intervalle de confiance (IC) borné par les quantiles 0,025 et 0,975. Cette fonction sera réalisée pour les deux espèces les plus communes, le dauphin bleu et blanc et le rorqual commun, à l'échelle du mois pour une année particulière (figures 130 à 133). Puis nous avons affiché la moyenne des abondances relatives issues de nos TP (données terrain) sur le graphique afin de déterminer empiriquement si elle se trouve effectivement comprise dans l'I.C.

En ce qui concerne les deux espèces (figures 130 à 133) il est visible que la moyenne des TP est toujours comprise dans l'intervalle de confiance des TA. Ce résultat nous amène donc à accepter l'hypothèse H_0 et dire que les abondances relatives moyennes de nos TP sont aussi représentatives que n'importe quelle moyenne que l'on aurait obtenue avec autant de TA. En d'autres termes, ce que l'on voit sur le TP est dans la moyenne possible de ce qu'on obtient sur les TA.

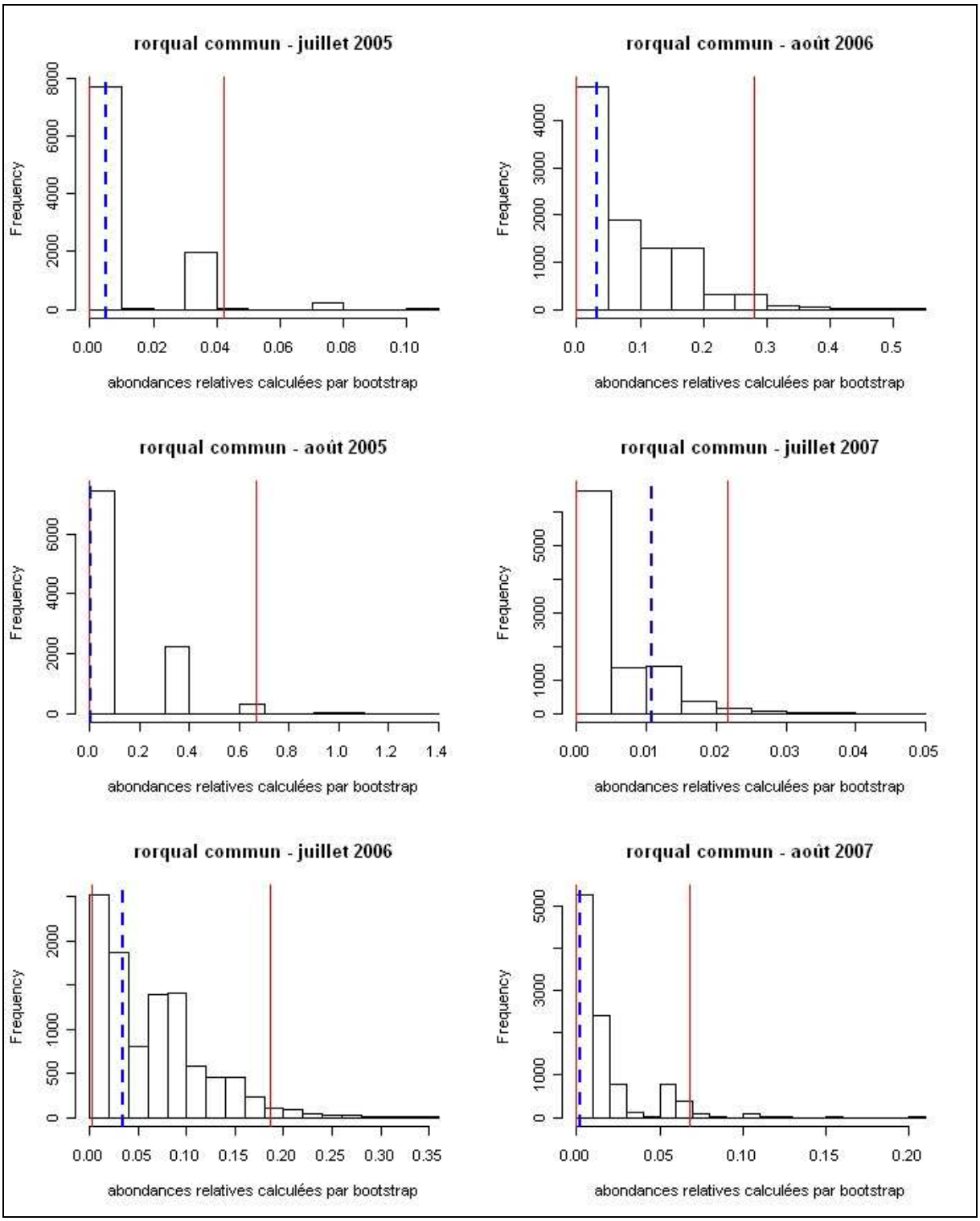


Figure 130. Distribution des fréquences des 10 000 moyennes d'abondances relatives (individus.km^{-1}) de rorquals communs générées par bootstrap à partir du jeu de données des transects aléatoires (TA), de juillet 2005 à août 2007. En rouge : bornes des quantiles 0,025 et 0,975, en bleu : l'abondance relative moyenne calculée à partir des transects prédéfinis (TP) pour le même mois.

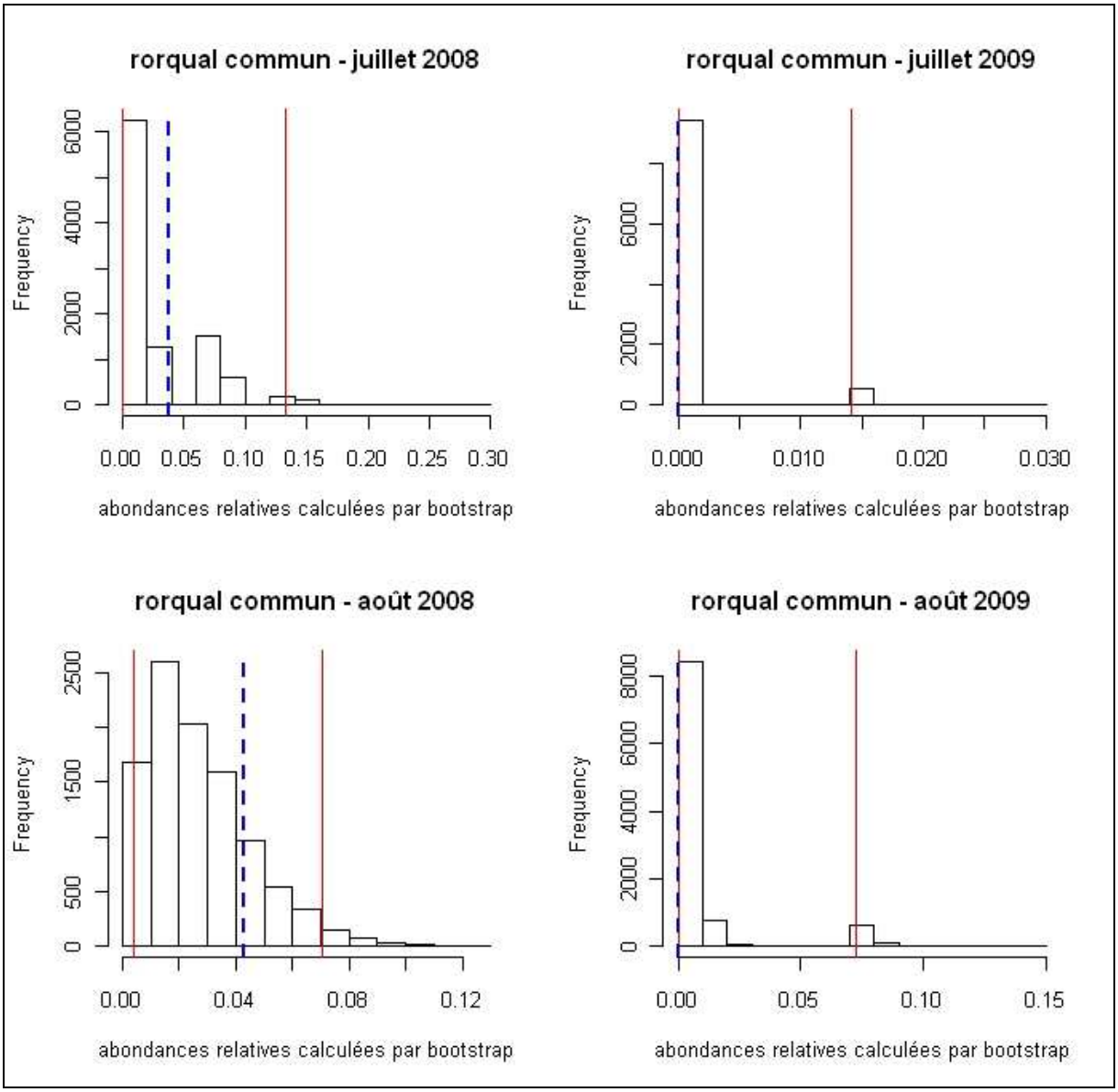


Figure 131. Distribution des fréquences des 10 000 moyennes d'abondances relatives (individus.km^{-1}) de rorquals communs générées par bootstrap à partir du jeu de données des transects aléatoires (TA), de juillet 2008 à août 2009. En rouge : bornes des quantiles 0,025 et 0,975, en bleu : l'abondance relative moyenne calculée à partir des transects prédéfinis (TP) pour le même mois.

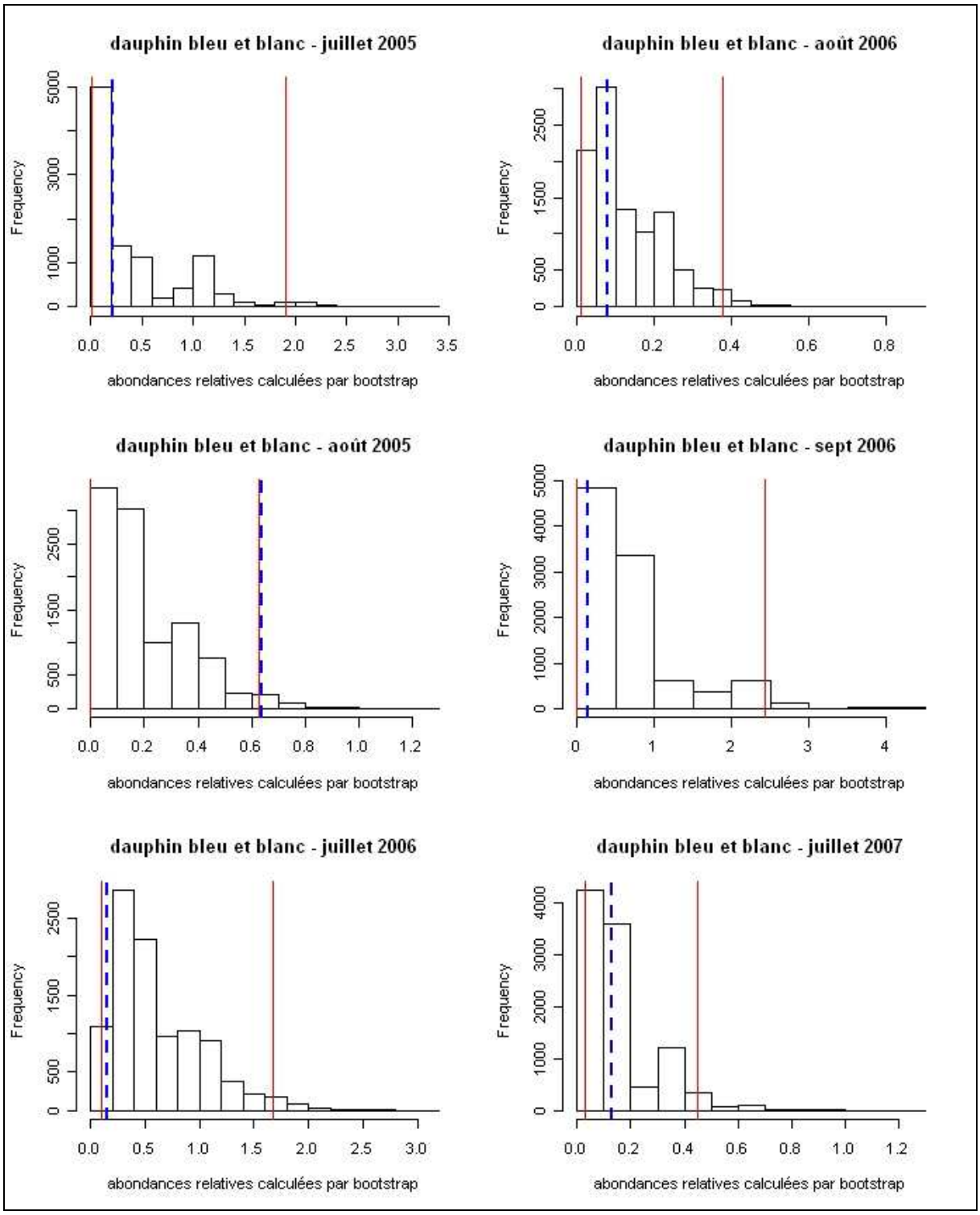


Figure 132. Distribution des fréquences des 10 000 moyennes d'abondances relatives (individus.km^{-1}) des dauphins bleus et blancs générées par bootstrap à partir du jeu de données des transects aléatoires (TA), de juillet 2005 à juillet 2007. En rouge : bornes des quantiles 0,025 et 0,975, en bleu : l'abondance relative moyenne calculée à partir des transects prédéfinis (TP) pour le même mois.

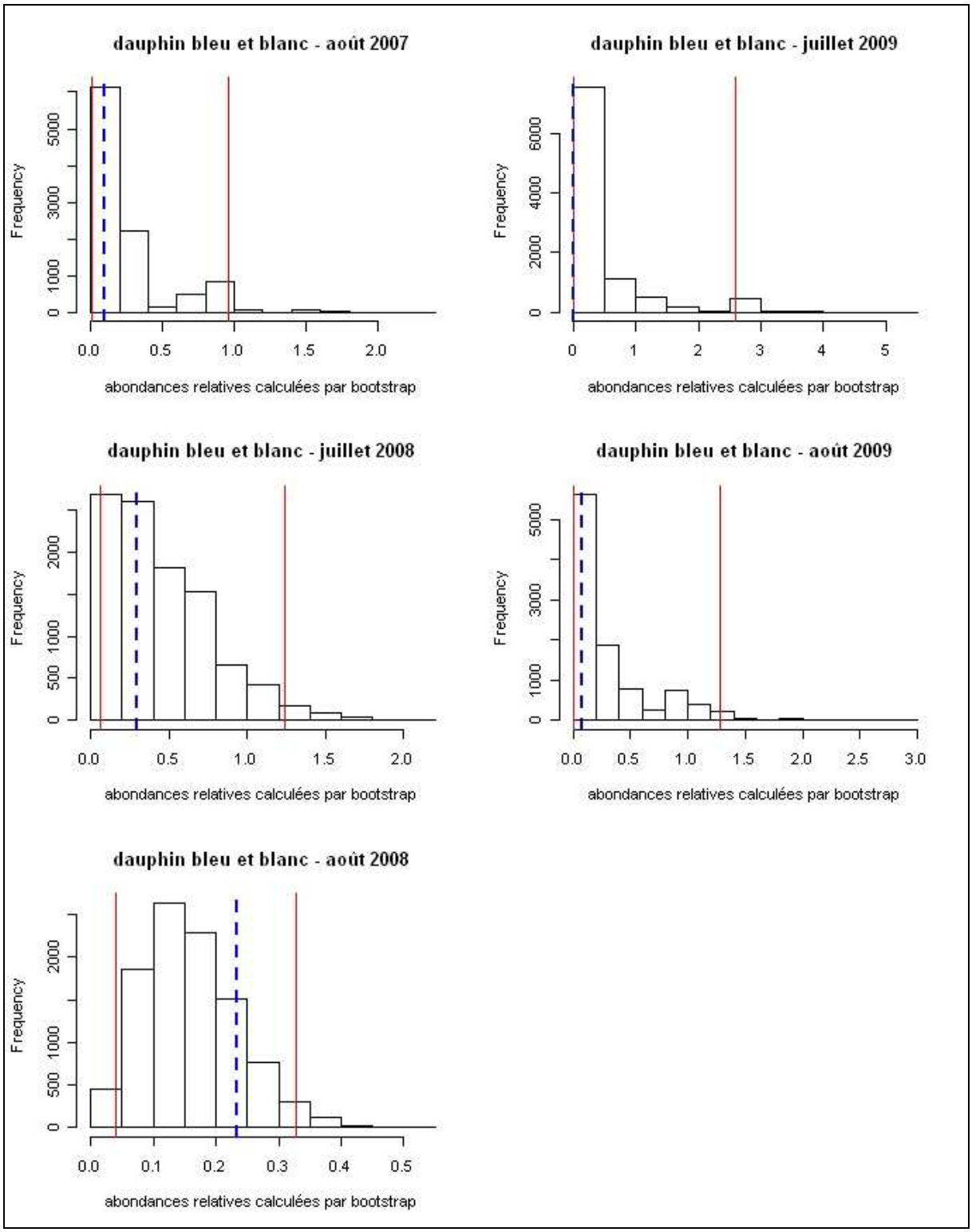


Figure 133. Distribution des fréquences des 10 000 moyennes d'abondances relatives (individus.km^{-1}) des dauphins bleus et blancs générées par bootstrap à partir du jeu de données des transects aléatoires (TA), de août 2007 à août 2009. En rouge : bornes des quantiles 0,025 et 0,975, en bleu : l'abondance relative moyenne calculée à partir des transects prédéfinis (TP) pour le même mois.

I.C. Coût et mise en œuvre

A côté des considérations purement scientifiques et statistiques pour définir le choix d'une méthode en fonction des objectifs ciblés, il est nécessaire également de prendre en compte le coût de la mise en œuvre. Pour comparer les coûts entre les différentes plates-formes de prospection, nous avons calculé un prix de revient à la journée.

Selon les plates-formes et les méthodes, la journée de prospection n'est pas la même, à commencer par la durée d'observation et la logistique qu'entraîne le moyen de transport.

Nous allons tout d'abord décrire l'organisation des journées d'observation d'après chaque méthode, pour calculer ensuite le coût de cette journée, d'après les références financières que nous avons recherchées.

Sachant la distance qu'il faut parcourir dans la zone d'étude (ici le Sanctuaire et zones adjacentes) pour une observation optimale des populations de cétacés, et sachant la distance qu'il est possible de parcourir par jour pour chaque moyen de transport, le coût global de la mission pourra être évalué.

Cette évaluation est théorique, pour une mission aux coûts réels et entièrement dédiée au travail de monitoring sur les cétacés, et sans aucun jour de mauvais temps (ce qui implique généralement que l'on augmente de 1/3 le nombre de jours de mise à disposition de l'ensemble des moyens dans certains cas).

1. Une journée de prospection en voilier

Les prospections en mer nécessitent au minimum 6 observateurs à bord.

Le temps d'observation est de 10 heures en moyenne (plus de 10h en été, moins de 10h en hiver).

Pour le confort de la manipulation, un voilier de 40 pieds est nécessaire, avec le carburant associé.

Sont prévus dans la journée 3 repas pour les observateurs et le skipper. Le couchage a été pris en compte si la mission dure plus d'une journée, mais le coût est nul si l'équipage dort sur le bateau loué.

Il est important de noter que les devis journaliers de location des agences sont des devis pour plusieurs jours ou à la semaine, ramenés à la journée, les locations ne se faisant pour la plupart du temps pas à la journée. Les devis par agences de location de voiliers contactées, dans la zone de Toulon-Hyères sont détaillés en annexe 1.

Le budget est détaillé dans le tableau ci-dessous :

Tableau 28. Détails des coûts pour un travail de prospection en voilier

Thèmes et sous thèmes	**Chiffres**	**Détails**
Bateau :		Pour un voilier de 40 pieds environ, en euro, Comprenant le bateau, le skipper, l'assurance.
Prix journalier de la location	629	En moyenne entre saison et agence de location
Carburant	37,95	Consommation 3 L/h selon Jeanneau, pour 1,15 Euro/L, pour 11 h de navigation
TOTAL bateau	666,95	
Repas :		
Repas à l'unité	15	en euro (en moyenne des 3 repas)
Nombre de repas	3	
Nombre de personnes à bord	7	6 observateurs + 1 skipper
TOTAL repas	315	en euro
Ressources humaines :		
Nombre d'observateurs mobilisés	6	
Salaire à l'heure pour un observateur	10	
Nombres d'heures mobilisées	10	
TOTAL Ressources humaines	600	en euro
Nuits :		
Prix de l'hébergement, à la nuit	0	en euro (hébergement sur la voilier)
Nombre de personnes à loger	7	6 observateurs + 1 skipper
TOTAL Nuits	0	en euro
TOTAL journalier	**1581,95**	

Au final le prix journalier d'une prospection par voilier revient à 1581,95 euros en moyenne sur l'année.

2. Une journée d'observation en hélicoptère

Les observations en hélicoptère nécessitent 3 observateurs.

L'appareil loué est un hélicoptère biturbine d'une autonomie de 2h45 en moyenne. Deux sessions d'observation de 2h45 peuvent être réalisées dans la journée soient 5h30 de vol ou 5h d'observation.

Le pilote n'étant pas forcément quelqu'un de la région, il faut compter son hébergement ainsi que son repas du soir.

Les devis par agences de location d'hélicoptère consultées sont détaillés en annexe 2.

Le budget est détaillé dans le tableau ci-dessous.

Tableau 29. Détails des coûts pour un travail de prospection en hélicoptère

Thèmes et sous thèmes	**Chiffres**	**Détails**
Hélicoptère :		Location de l'appareil avec pilote, carburant, assurance et taxe d'aéroport.
Location à l'heure	2083	Moyenne des 3 agences consultées
Nombre d'heure de vol	5,5	5h30 h de vol environ mais 5h d'observation
Taxes supplémentaires ou demande d'autorisation (par la ville d'Hyères par exemple)	100	
TOTAL hélicoptère	11456,5	
Repas :		
Repas à l'unité	15	en euro (en moyenne des 3 repas)
Nombre de repas	1,5	
Nombre de personnes à bord	4	3 observateurs et 1 pilote
TOTAL repas	90	
Ressources humaines :		
Nombre d'observateurs mobilisés	3	
Salaire à l'heure pour un observateur	10	
Nombres d'heures mobilisées	5,5	
TOTAL Ressources humaines	165	en euro
Nuits :		
Prix de l'hébergement, à la nuit	40	en euro (hébergement en hôtel)
Nombre de personnes à loger	1	le pilote de l'avion
Repas du soir pour le pilote	15	en euro (en moyenne des 3 repas)
TOTAL Nuits	55	en euro
TOTAL journalier	**11766,5**	en euro

Au final, le prix journalier d'une prospection par hélicoptère revient à 11766,50 euros en moyenne sur l'année.

3. Une journée d'observation en avion

Les observations en petit avion nécessitent 3 observateurs.

L'appareil loué est un avion bi-moteur d'une autonomie de 3h en moyenne. Deux sessions d'observation de 3h peuvent être réalisées dans la journée soit un total de 6h de vol mais 5h d'observation si l'on décompte les phases de décollage et d'atterrissage qui peuvent être plus longues qu'avec un hélicoptère.

Sont comptés dans cette journée, les déplacements des observateur et du matériel jusqu'à la zone d'embarquement et un voire deux repas dans le journée pour les observateurs et le pilote.

Le pilote n'étant pas forcément un local, il faut compter son hébergement ainsi que son repas du soir.

Les devis par agences de location de petits avions consultées sont détaillés en annexe 3.

Le budget est détaillé dans le tableau ci-dessous

Tableau 30. Détails des coûts pour un travail de prospection en avion

Thèmes et sous thèmes	**Chiffres**	**Détails**
Avion :		Location de l'avion, le pilote, le carburant, les taxes aéroportuaires : atterrissage, stationnement
Prix HT à l'heure	575	Moyenne sur x agences de location consultées
Nombre d'heure de vol	6	6 h de vol environ mais 5h d'observation
Taxe supplémentaires ou demande d'autorisation (par la ville d'Hyères par exemple)	100	
TOTAL avion	3450	
Repas :		
Repas à l'unité	15	en euro (en moyenne des 3 repas)
Nombre de repas	1,5	
Nombre de personnes à bord	4	3 observateurs et 1 pilote
TOTAL repas	90	
Ressources humaines :		
Nombre d'observateurs mobilisés	3	
Salaire à l'heure pour un observateur	10	
Nombres d'heures mobilisées	6	
TOTAL Ressources humaines	180	en euro
Nuits :		
Prix de l'hébergement, à la nuit	40	en euro (hébergement en hôtel)
Nombre de personnes à loger	1	le pilote de l'avion
Repas du soir pour le pilote	15	en euro (en moyenne des 3 repas)
TOTAL Nuits	55	en euro
TOTAL journalier	**3775**	en euro

Au final le prix journalier d'une prospection par avion revient à 3775 euros en moyenne sur l'année.

Pour finir, si les vols peuvent être effectués sur des plateformes opportunistes comme les hélicoptères « dauphin sp » de la Marine Nationale, le coût total de ces missions est considérablement réduit car seuls les frais de déplacements, de repas et de salaire de l'observateur sont à prendre en compte. En revanche, il n'est possible de voler que 2 heures par jour, avec un effort d'observation de 1h45 en moyenne.

4. Frais supplémentaires

Pour les méthodes par voies aériennes, il faut compter, en plus de ce que l'on vient de comptabiliser précédemment, le déplacement du pilote sur le point de départ ainsi que le prix de l'équipement de sécurité pour la mer qui est rarement prévu en avion ou hélicoptère.

Le déplacement du pilote est calculé selon la situation des agences de locations qui nous ont fait des devis et sur la base du billet de train SNCF (voir annexe 4). Le prix de revient aller-retour est donc de 67 euros en moyenne.

L'achat de l'équipement de sécurité est calculé selon les prix des magasins consultés (Voir annexe 5). Cela revient à 354,17 euros.

5. Coût de la mission selon les méthodes d'observation

En terme d'objectif scientifique, il est nécessaire de disposer d'au moins 50 à 60 observations primaires de cétacés pour que la modélisation ou tout test statistique soit fiable. Dans notre cas en bateau on rencontre 1 groupe de rorquals tous les 96 km. Il faudra donc prévoir de réaliser **au moins 4 800 km** lors d'une campagne pour collecter suffisamment d'observations. En hélicoptère c'est tous les 298 km en moyenne que l'on aperçoit un groupe de rorqual. Il faudra donc **au moins 15 000 km** pour atteindre notre objectif.

Le bateau allant à une vitesse de 11,1 Km/h (6 nœuds en moyenne), il lui faudra donc 432,5 heures pour parcourir la distance souhaitée ou 43,25 journées (10 heures par jour).

L'hélicoptère allant à une vitesse de 200 Km/h (110 nœuds en moyenne), il lui faudra donc 75 heures pour parcourir la distance souhaitée ou 15 journées (4 à 6 heures par jour).

L'avion allant à une vitesse de 150 Km/h (60 nœuds minimum et 100 nœuds maximum), il lui faudra donc 100 heures pour parcourir la distance souhaitée ou 20 journées (4 à 6 heures par jour).

Tableau 31. Synthèse des coûts potentiels pour des missions ayant pour objectif de collecter un nombre d'observations suffisant pour obtenir des résultats statistiquement et théoriquement robustes, par différentes plates-formes :

	Voilier	Hélicoptère	Petit avion
Frais brut			
Prix à la journée	1581,95	11766,5	3775
Nombre de journée consécutives d'observation	43,25	15	20
TOTAL Frais brut	68419,34	176497,5	75500
Frais supplémentaires :			
Equipement	/	354,17	354,17
Déplacement pilote	/	67	67
TOTAL Frais supplémentaires	0	421,17	421,17
TOTAL Mission	68419,34	176918,67	75921,17

Globalement, la prospection par voilier est la moins coûteuse, mais la plus longue.

II. DISCUSSION ET PROTOCOLE DE MONITORING

Les deux principaux outils du monitoring sont la distribution et les abondances : l'un permet de détecter des changements dans la répartition des animaux, l'autre permet de détecter des changements dans les effectifs (ou abondances relatives). Les données issues d'un échantillonnage sur le terrain, que ce soit par bateau ou moyen aérien, doivent donc permettre d'estimer ces deux paramètres, ce qui implique qu'elles ne doivent pas être l'objet de biais importants en termes de détection et de dénombrement des espèces. Or la probabilité de détecter un animal en mer dépend de deux composantes : 1) la probabilité que l'animal soit disponible ou visible pour être détecté, et ce faisant, 2) la probabilité que l'animal (étant visible) soit effectivement détecté par l'observateur. Nous allons discuter ces facteurs pour les deux types de plate-forme que nous avons utilisés.

A côté de cela, afin de produire des chiffres d'abondances fiables, nous devons nous assurer que les hypothèses liées aux méthodes appliquées soient respectées. Enfin nous avancerons des explications par rapport aux facteurs correctifs parfois nécessaires pour corriger les abondances obtenues.

II.A. Hélicoptère versus bateau

Nous allons entamé la comparaison des deux méthodes de monitoring : bateau et hélicoptère et ce pour deux espèces les plus fréquentes, à savoir le rorqual commun et le dauphin bleu et blanc. En ce qui concerne les autres espèces, elles furent observées de manière trop sporadique et la quantité de données n'est pas suffisante pour permettre de tirer des conclusions robustes.

1. Caractéristiques des vols et du plan d'échantillonnage aérien

Dans notre cas (transect de bande unique) la largeur de bande optimale est un compromis entre précision et surface échantillonnée. En effet, si la largeur de bande est faible, cela veut dire que nous volons bas, et que les espèces seront facilement identifiables, les individus bien discernables et que l'on différencie facilement l'objet à détecter de tout autre éléments (vagues, grands poissons, etc.). Mais il faudra certainement des milliers de kilomètres et d'heures de vols pour échantillonner une surface représentative du Sanctuaire. Si nous volons haut, la largeur de bande est étendue, la surface échantillonnée importante, le linéaire moins long. Mais il y a plus de risque de manquer des animaux ou de faire une mauvaise identification d'espèce.

Après plusieurs vols préliminaires en 2005 nous avons fixé les paramètres de nos vols avec l'hélicoptère « dauphin SP » à 400 pieds en moyenne (soit 132 mètres) et 100 nœuds (soit 185 km/h). A cette altitude et cette vitesse nous n'avons aucune espèce non identifiée sur 90 contacts. Cela veut dire que nous avons pu distinguer les dauphins bleus et blancs des grands dauphins (le dauphin commun, espèce la plus ressemblante au dauphin bleu et blanc, étant très rare dans les eaux survolées).

Pour sa part, à 150 km/heure et 150 mètres, Certain (2007) estime que quasiment 50% des observations faites à partir de l'avion étaient des petits delphinidés non identifiés. Dans leur zone quatre espèces de delphinidés peuvent être rencontrées : le dauphin bleu et blanc, le dauphin commun, le dauphin à flanc blanc de l'Atlantique (*Lagenorhynchus acutus*) et le grand dauphin. Néanmoins les deux dernières espèces sont plus facilement reconnaissables.

Enfin nous échantillonnons une bande de 717 mètres de largeur en mer. Cette largeur de bande permet en un seul survol d'échantillonner en moyenne 0,717*380 km, soit 272 km². A l'origine deux survols mensuels étaient planifiés, ce qui permettait donc de couvrir 544 km², soit environ 10% de la zone d'étude (59170 km²), ce qui est considéré comme un échantillonnage représentatif.

Nos caractéristiques de vols sont assez standards par rapport à d'autres recensements aériens de mammifères marins (tableau 28). En revanche dans notre cas un seul observateur scrute une bande plus large que dans les autres études, alors que les autres scrutent à deux une bande plus étroite. Aucune étude n'emploie d'hélicoptère. La plupart des recensements aériens se font à partir de petits avions, en particulier maintenant avec des « bubble window », embarquant trois ou cinq personnes, dont 2 à 4 observateurs et un secrétaire qui prend les notes (Herr *et al.,* 2009 ; Bretagnolles *et al.,* 2004 ; Pollock *et al.,* 2006). Dans le cas des transects de bandes, des marques visuelles scotchées sur les ailes ou la fenêtre permettent à l'observateur de disposer de repères. Ces éléments nous mettent donc dans une configuration qui n'est pas idéale, mais qui apporte néanmoins des données de qualité, même si elles pourraient ne pas être aussi précises que dans d'autres études.

Concernant le plan d'échantillonnage, bien souvent afin d'assurer une couverture complète de la zone d'étude, le plan d'échantillonnage comprend un grand nombre de transects parallèles entre eux, perpendiculaires à la côte et faiblement espacés (tableau 28). Mais les objectifs de ces études sont souvent d'obtenir une image complète de la distribution des animaux dans l'ensemble de la zone étudiée sur laquelle peu de choses sont connues. Ce sont souvent des études à caractère exploratoire, même si elles sont amenées à se poursuivre par la suite. Bien entendu, une couverture dense et régulière apporte de nombreux avantages, mais dans notre cas, nous n'avions pas le choix du trajet. Nous souhaitons évaluer la pertinence d'user de l'opportunité de faire ces vols pour un monitoring des populations. Nous travaillons dans un secteur où la distribution des cétacés est relativement bien connue entre juin et octobre (soit 5 mois sur 12) et apportons des informations intéressantes sur la distribution des animaux en dehors de cette période. Au vu des cartes d'effort par saison (voir Chap.2., §I.A.), notre échantillonnage se répartit de façon tout à fait satisfaisants dans la zone d'étude, couvrant la zone de façon relativement homogène. De plus il est souvent mentionné que les trajets doivent ou, en tous les cas, peuvent être placés de façon aléatoire dans la zone (Gannier, 1995 ; Buckland *et al.* 2001).

Au vu de tous les éléments que nous venons de voir, il apparaît que notre méthode s'avère bien adaptée et tout à fait comparable à ce que nous avons trouvé dans la littérature.

Tableau 32. Caractéristiques de plusieurs campagnes aériennes de recensement des mammifères marins

Type de plate-forme	Vitesse (km/h)	Altitude (mètres)	Groupe d'animaux ciblés	Nb observateurs	échantillonnage	Méthode (largeur en mètres)	Référence
Hélicoptère	185	132	Cétacés	1	aléatoire	Strip unique (717)	Présente étude
Avion	150	150	Cétacés oiseaux	2	transects prédéfinis, réguliers, parallèles et faiblement espacés	Strip unique (230*2)	Bretagnolles *et al.*, 2004
Avion	167-186	182	Pinnipèdes	2	aléatoire	Line transect	Herr *et al.*2009
Avion	185	137	Dugong	4	aléatoire stratifié	Strip (multiple bandes, jusqu'à 200*2)	Pollock *et al.* 2006
Avion			Cétacés et oiseaux			Strip (multiple bandes, jusqu'à 1456*2)	Anonymous, 2006
Avion	222	305 (91)	Cétacés	2	Transect prédéfinis	Strip (900*2)	Lowri *et al.*, 2008
Avion	185	183	Cétacés	2	Transect prédéfinis	Line transect	SCANS II

2. Probabilité de détection

a) Biais de disponibilités

Les biais de disponibilité sont de deux types. Les uns concernent les facteurs rendant un objet indétectable, bien qu'il soit présent (par exemple un animal en plongée) et les autres au contraire sont des facteurs faisant détecter des objets qui ne devraient pas être comptés dans la zone d'échantillonnage (attraction des animaux par la plate-forme). Ces biais dépendent donc majoritairement du comportement des animaux, de certaines conditions du milieu, et moins de la méthode choisie pour les échantillonner.

Ainsi Pollock *et al.* (2006) développent l'estimation de la non disponibilité des dugongs en Australie par un test avec un dugong artificiel de taille réelle qu'ils installent dans des eaux plus ou moins profondes, plus ou moins turbides, dans une mer plus ou moins calme et qu'ils font varier en profondeur. Après plusieurs passages en avion, ils calculent la probabilité de détection de la maquette en fonction des conditions hétérogènes de son environnement et intègrent ce facteur correctif dans leurs estimations d'abondances. Bien entendu la probabilité maximale étant en eaux claires, mer belle et fond visible entre autres. Elle chute quasiment de moitié lorsque les conditions se dégradent. En parallèle ils ont équipés plusieurs dugong d'enregistreurs de plongée et mesurent ainsi les temps en surface et en plongée.

Pour notre part, de 2006 à 2008 nous avons chronométré les temps de surface, les temps de plongées et les nombres de souffles de la plupart des rorquals rencontrés à partir des missions bateau. Nous obtenons en moyenne 5'36" en plongée et 2'08" en surface, soit 73% de temps passé en plongée versus 27% du temps en surface. De ces mesures nous en ressortons non seulement un chiffre correctif de non disponibilité de l'animal (correspondant au temps passé en plongée), mais aussi une information sur la variabilité annuelle des phases du cycle de plongée (*données corrigées de* Di-Méglio *et al.* 2009 *et données non publiées pour 2008*). En effet, entre 2006 et 2008 les durées en surface peuvent s'échelonner de 1'53" (σ =1'15") à 2'40" (σ = 2'53") et le ratio du temps passé en surface varie de 24 à 33%. Des valeurs existent également pour d'autres espèces, en particulier le cachalot : 49,8 min (SD = 6,7 min) en plongée versus 8,9 min (SD = 2,3 min) (Drouot, 2003). Aucun chiffre précis n'existe pour d'autres espèces. De plus, les autres espèces sont quasiment toutes grégaires, ce qui nécessiterait de connaître le temps de disparition du groupe entier à la surface de la mer, pour en tirer un ratio de visibilité, et non celui d'un seul individu.

La turbidité de l'eau n'est pas a priori un facteur très décisif dans notre cas, les cétacés étant de grands plongeurs ils deviennent forcément très rapidement, quelles que soient les conditions de turbidité, invisibles sous l'eau.

Par ailleurs les espèces que nous ciblons sont toutes de taille ≥ à 2 mètres de long, ce qui les rend facilement détectables. Enfin les espèces que nous avons rencontrées ne semblent pas particulièrement être attirées ni repoussées par nos plates-formes.

En ce qui concerne les bateaux, les biais de disponibilité peuvent être de deux ordres. Ils peuvent être dus au fait que les animaux plongent. Mais, à l'exception des cachalots qui effectuent de grandes plongées de près d'une heure, toutes les autres espèces pourront être détectées tôt ou tard le long du transect car le bateau ne se déplace qu'à une vitesse moyenne de 6 nds, ce qui nous laisse le temps de les observer à nouveau à la fin de leur plongée. Le deuxième biais peut-être dû au phénomène d'attractivité de la plate-forme. Cependant, il semble qu'en bateau, les rorquals et les dauphins bleus et blancs, d'après nos observations et d'autres publications (Gannier, 1995 ; Laran, 2005), soient globalement indifférents à une plate-forme de passage. Néanmoins pour les dauphins bleus et blancs il y a quelques cas d'animaux arrivant de loin pour profiter de l'étrave mais cela reste en proportion faible dans le jeu d'observations.

a) Biais de détection

Les biais de détection sont le fait de manquer une observation alors que celle-ci est présente et détectable. Ces biais sont donc surtout dépendants de la méthode d'échantillonnage. La plupart des protocoles actuels permettant de tenir compte de ces biais sont très coûteux car ils nécessitent l'utilisation de deux équipes d'observateurs indépendants (Marsh & Sinclair, 1989 ; Pollock *et al.* 2006 ; SCANS II). A partir des comparaisons de comptage d'une équipe « première » par rapport au comptage effectué par une équipe « secondaire », on estime ce que les « primaires » ont pu manquer, par la méthode de marque-recapture En bateau, la place permet de doubler les lieux et équipes, qui sont alors réellement indépendantes, alors qu'en avion un système de rideaux a été mis en place pour isoler les équipes à l'intérieur de la carlingue (Pollock *et al.* 2006).

Dans nos cas, les moyens, la place et les caractéristiques des plates-formes utilisées (bateau et hélicoptère) n'ont pas permis de mettre en œuvre de telles méthodes. Nous nous baserons donc sur la littérature pour estimer ces biais.

Parmi les biais identifiés pour l'aérien, il y a les variations des conditions de vols telles que l'altitude et la vitesse. Par exemple Bayliss (1986) rapporte que la probabilité de détection diminue avec l'augmentation de l'altitude et de la largeur de bande et qu'un doublement de ces deux paramètres a pour conséquence de réduire de 50% les densités observées des trois catégories d'animaux (dugong, tortue et dauphin). Pour notre part, l'altitude a été fixée, après plusieurs tests, à 400 pieds en moyenne (+/- 100 pieds), soit 132 mètres, (+/- 33 mètres) et comme nous l'avons déjà vu, cette altitude est assez standard dans la mise en œuvre de ce type de protocole.

Au niveau du bateau, la vitesse joue également un rôle important sur le taux de détection des animaux. Pour les ferries par exemple, naviguant entre 30 et 60 $km.h^{-1}$, on constate une perte de détection sur l'axe de la route et pour les espèces effectuant des sondes longues sous la surface. Si l'on compare la distance moyenne entre deux observations (soit l'effort total sur le nombre d'observations), à bord d'un ferry, cette distance augmente considérablement de 50 à 125 km (Marini *et al.,* 1996 ; Williams & Brereton, 2001). Même si ce paramètre dépend de l'abondance réelle de cétacés dans la zone étudiée, les protocoles peuvent avoir un impact considérable sur les résultats, à moins de pouvoir quantifier les biais. D'autre part, sur une plate-forme opportuniste de type ferry, les groupes indéterminés sont plus importants. Par exemple, sur l'étude de Marini *et al.* (1996) à bord d'un ferry en Mer Tyrrhénienne, le pourcentage d'observations non identifiées atteint 21%.

Par ailleurs, la constance des paramètres d'altitude et de vitesse dans notre étude nous permet d'estimer qu'il n'y a pas de biais induits par les paramètres de vols.

En ce qui concerne les échantillonnages en mer, ce sont les conditions météorologiques (houle, couverture nuageuse, éblouissement) qui peuvent le plus affecter la visibilité (Holt & Cologne, 1987). En mer, l'état de la surface influence grandement la détectabilité des animaux, et c'est la raison pour laquelle la méthode du transect de ligne n'est valable que lorsque la mer est ≤ 3 Beaufort (Buckland *et al.,* 2001), et que nous avons toujours travaillé dans les meilleures conditions possibles en bateau et en hélicoptère, soit par mer et vent ≤ 3 Beaufort. D'après Laran (2005), la largeur effective de détection des rorquals par Beaufort 2-3 est diminuée de 33% par rapport à celle par Beaufort 0-1. La correction permet une meilleure comparaison entre les estimations estivales et celles obtenues en saison froide, où les conditions météorologiques sont le plus souvent dégradées. Pour le rorqual commun, cette stratification corrige positivement les résultats de 7 à 10% pour la période de janvier à avril, et les réduit jusqu'à 14% en juillet-août. La correction est faible de septembre à décembre (+ 2%). Concernant les dauphins bleus et blancs, bien que Laran (2005) trouve une influence des conditions Beaufort sur les largeur effective de détections, la correction apportée sur les abondances s'avère très faible de mai à octobre (+1,6%). Or la très grande majorité de notre jeu de données bateau est comprise dans ces mois-là. Quant au jeu de données hélicoptère, nous n'avons pas assez d'observations pour tester cet effet sur les détections.

A partir de moyens aériens, certains auteurs rapportent que la couverture nuageuse peut influencer le comptage. Par exemple, Bayliss (1986) remarque que des conditions nuageuses

entraînent une diminution du nombre de dugongs et de tortues détectés par les observateurs. Pour Barlow *et al.* (1988), la covariable ayant la plus grande part explicative sur la détectabilité des marsouins était la couverture nuageuse, de par la limitation de la pénétration de la lumière dans la mer. Les nuages affectent également la couleur de l'eau et les contrastes, gênant la détection d'espèces plus petite et moins colorées que nos cétacés, comme les phoques (Herr *et al*. 2009). Plus problématique est la réverbération du soleil, générant des reflets qui peuvent gêner plus ou moins fortement l'observation. Dans notre cas les conditions de vols ont souvent pu se faire par beau temps, sans nuages. Par ailleurs la direction de vol étant variable car nous faisions du transect aléatoire (et non comme souvent c'est le cas de grands traits parallèles Nord-Sud ou Est-Ouest), si le reflet du soleil a pu gêner, ce fut rare et très ponctuel. Dans les cas où le reflet devenait gênant pour l'observation, nous avons retiré ce bout de transect de nos analyses.

A côté de ces biais potentiels exogènes, il y a également les biais inhérents aux observateurs : l'œil, l'entraînement, leur niveau de fatigue, l'heure, l'utilisation d'équipements spécifiques (jumelles, lunettes de soleil) entre autres qui sont susceptibles d'interagir avec la visibilité de telle ou telle espèce. Dans notre cas, les observateurs étaient formés, la plupart expérimentés, bien équipés et avec un roulement dans les équipes embarquées à bord des bateaux (toutes les deux heures) permettant le repos. Quant aux vols, seules 5 personnes identifiées préalablement pour leur qualité d'observateurs ont réalisé l'ensemble des vols, et ceux-ci duraient entre 1h30 et 2 heures, considérés comme faisables d'un trait sans souci pour l'observateur.

3. Hypothèses des méthodes appliquées

a) Cas du transect de bande

Mis à part les biais de disponibilités et de détection dont nous avons déjà discuté auparavant, il faut également envisager l'influence de ces biais sur les deux hypothèses principales de l'échantillonnage par « strip-transect » : homogénéité de la probabilité de détection (1) le long du transect et (2) au travers de la bande. En effet, tous les objets dans la bande doivent être détectés (probabilité de détection = 100%) selon Buckland *et al.* (2001). Pour la première hypothèse, cela revient à estimer les biais de détection que nous avons déjà évoqué. Pour la seconde, a priori et intuitivement la détection diminue avec la distance perpendiculaire à l'observateur. Une des solutions pour tester le respect de l'hypothèse est d'appliquer la méthode du line transect (Marques *et al*. 2006) ou par bandes multiples (Anonymous, 2006 ; Pollock *et al.* 2006). Mais cela n'est pas aisé à mettre en œuvre dans un avion, et à appliquer de façon précise comme l'affirment Certain (2007) ou Pollock *et al.* (2006), et encore moins dans notre cas où un seul observateur est censé faire tout le travail d'observation et de notation. De plus, les mêmes auteurs ayant testé la variabilité de la probabilité de détection dans leur bande ne trouvent pas de différence significative. En nous appuyant sur ces résultats, et du fait de notre observation, sans besoin de bouger la tête ni les yeux, directement sous l'appareil, nous assumons le respect de l'hypothèse par défaut.

b) Cas du transect de ligne

Même si nous ne visions pas au départ à obtenir des abondances absolues, nous avons cependant utilisé la méthode du transect de ligne car elle permet de valider le jeu de données et elle est également actuellement la méthode standard de prospection en mer. Les trois hypothèses associées à la méthode du transect de ligne impliquent :

1) que 100% des animaux sur la ligne devant le bateau sont détectés. Les modélisations à l'aide du logiciel Distance Sampling de nos jeux de données anciens (Di-Méglio, 1999) ou récents (Paklepa, 2009) prouvent que cette condition est respectée. Par ailleurs, comme vu précédemment (§ 2. biais de détection), nous estimons que le biais de réaction des animaux par rapport à la plate-forme est négligeable.

2) les mesures de distance et angle sont effectuées par rapport à la position initiale de l'animal, avant une quelconque réaction. Nos observateurs sont équipés en permanence de

jumelles paramétriques intégrant un compas ce qui permet de mesurer, dès la détection de l'animal, ces divers paramètres, et ce de façon précise (hypothèse 3).

4. Facteurs explicatifs pour le rorqual

Concernant les rorquals, les résultats que nous obtenons à partir du jeu de données bateau versus le jeu de données hélicoptère montrent que la taille du groupe n'est pas significativement différente. Ce qui voudrait dire que l'on détecte les animaux aussi bien à partir d'une plate-forme que de l'autre, quelle que soit la taille du groupe. En revanche, en hélicoptère il semble que l'on rate 1 groupe sur 3 environ (ratio présenté dans le tableau). Au vu des éléments discutés dans les paragraphes précédents, il nous semble que s'il existe des biais, du fait de la standardisation de nos protocoles, de la permanence des observateurs, de la mise en œuvre dans des conditions similaires de tous les transects, ces biais devraient être constants dans le temps. De ce fait, le facteur explicatif le plus probable nous apparaît être un biais de disponibilité, à savoir le temps passé en surface et en plongée. En effet, d'après nos données collectées sur trois ans, les rorquals restent en moyenne 5'36s en plongée et 2'08s en surface (*données non publiées*), soit respectivement 77% et 23% de leur temps (voir §« biais de visibilité »). Jahoda *et al.* (2003) rapportent des valeurs moindres, avec un durée de plongée moyenne de 3'47s (± 2'13s S.D.), tandis que Panigada *et al.,* (1999) mesurent des plongées de 7,1 minutes (SD = 2,5 min) entre 10h00 et 17h00, Après cette période, les animaux peuvent plonger plus longtemps (11,7 et 12,6 min). On voit bien que les différentes phases du cycle de plongée varient en fonction des études, souvent en fonction des années en fait. Ces temps de plongée suffisent pour que l'observateur en hélicoptère traverse une zone où un rorqual sonde sans avoir la possibilité de le voir ressortir à un moment donné du fait de la vitesse de déplacement. En revanche, la prospection en bateau, beaucoup plus lente, peut laisser le temps au rorqual de remonter dans la distance de détection et ainsi d'être vu.

Mais comme une grande partie de nos échantillons sur les phases de plongée ont été collectés sur des animaux suivis par un pneumatique et un gros navire plus loin, pour des raisons de biopsie et photo-identification (Campagne Cap Ligures du WWF et Objectif cétacés de la Fondation Nicolas Hulot/WWF-France), nous devons quelque peu corriger les effets de cette activité sur le temps passé en surface par les animaux. En effet, plusieurs études suggèrent que les réactions aux biopsies sont minimes et de très court terme (Weinrich *et al*., 1991 et 1992; Clapham & Mattila, 1993; Brown *et al*., 1994; Gauthier & Sears, 1999), négligeables par rapport au dérangement causé par l'approche répétée du pneumatique et le suivi même à distance respective d'un second bateau. Ainsi Jahoda *et al*. (2003) quantifient l'effet de ce type d'activité dans un contexte très similaire et montre que deux réactions d'évitement simultanées sont adoptées par l'animal suivi : l'augmentation de la vitesse de déplacement (+23%) et la réduction du temps passés en surface (-7,3%). En revanche aucun effet sur le temps de plongée n'a été identifié. Nous estimons de la sorte que le temps de surface que nous obtenons est légèrement sous-estimé par rapport à des animaux non dérangés et ajoutons 7,3 % de temps à celui mesuré (tableau 29).

En se basant sur ces données, il devient clair que les rorquals sont visibles seulement 25 à 34% du temps en surface. Les valeurs par année correspondraient bien au ratio des densités de groupe par km obtenus par hélicoptère versus celles obtenues par bateau.

Il nous est lors apparu intéressant de faire le test de corriger nos valeurs de densités obtenues en hélicoptère par ce facteur correctif, comme l'ont également fait Pollock *et al.* (2006) ou Herr *et al.* (2009). Etant donné que les temps de surface varient d'une année à l'autre, nos densités seront corrigées annuellement, soit :

Tableau 33. Synthèse des calculs des temps moyens de surface pour le rorqual commun et des taux de contacts (groupe.km^{-1}) obtenus à partir des jeux de données « bateau » et « hélicoptère ».

	2006	2007	2008	Total
Temps moyen de surface	1'45	2'40	1'53	**2'08**
Temps moyen de surface corrigé*	1'53	2'52	2'01	**2'17**
Temps moyen de sonde	3'35	8'35	4'41	**5'36**
Ratio annuel : Temps de surface corrigé / Temps total	0,34	0,25	0,30	**0,29**
Ratio des densités de groupe hélico / bateaux	0,29	0,37***	0,30	**0,32**
Taux de contacts hélico	**0,0032**	**0,0029****	**0,0040**	**0,0033**
Taux de contacts hélico corrigée**	**0,0093**	**0,0116*****	**0,0133**	**0,0114**
Taux de contacts bateau	**0,0109**	**0,0076**	**0,0132**	**0,0104**

* selon Jahoda *et al.* (2003) (+7,3%)
** = densité hélico / (ratio temps de surface corrigé / (temps de surface corrigé+temps de sonde))
*** peu fiable car peu de données hélicoptère

En corrigeant nos résultats de densités de groupe par kilomètre d'effort « hélico » à l'aide des temps moyens de surface du rorqual commun, on obtient des valeurs très proches (globalement et 2006) voire identiques (en 2008) aux densités obtenues par bateau, et ce annuellement ou globalement.

Dans cette étude les densités calculées par géostatistique sont légèrement plus élevées (de 0,013 ind.km^{-2} (CV=0,32) à 0,018 ind.km^{-2} (CV=0,26 en fonction des années) par rapport à celles calculées par Distance Sampling (de 0,0085 ind.km^{-2} (CV=0,49) à 0,0140 ind.km^{-2} (CV=0,35) selon l'année). Globalement, nos estimations de densité d'individus dans le bassin liguro-provençal sont du même ordre de grandeur que les estimations de densités obtenues par Forcada *et al.* (1995) pour l'année 1992 (0,0155 ind.km^{-2} ; CV% = 22%), Gannier (1997) pour l'année 1996 (0,0167 ind.km^{-2} ; CV% = 20,7%) ou Gannier (2006) pour l'année 2001 (0,0123 ind.km^{-2}; CV% = 26,9%). L'amplitude de l'erreur d'estimation rend difficile la détection de variations interannuelles de l'estimation d'abondance du rorqual commun. La planification de l'échantillonnage de la campagne de recensement joue un rôle important dans l'estimation d'abondance des populations (Buckland *et al.,* 2001). Ainsi, si l'on échantillonne majoritairement des zones où les rorquals sont fréquents on aura tendance à surestimer leur abondance, et à l'inverse, si on échantillonne des zones peu propices à l'espèce (plateau continental), on sous-évaluera le nombre d'individus. Le Distance Sampling part du principe que l'on planifie par avance l'échantillonnage de la campagne à venir afin de prendre en compte les différents secteurs et de répartir l'effort de façon homogène et adaptée sur tous. Dans le cas de l'utilisation de données opportunistes, comme pour la présente étude, Distance Sampling ne pourra pas donner d'estimation du nombre d'individus fiable car il ne prend pas en compte la position du transect dans des zones de prédilection ou non du rorqual. Le modèle de géostatistique développé par Monestiez *et al.* (2006), présente l'avantage de prendre en compte l'hétérogénéité spatiale de la distribution des animaux à travers l'intégration d'une dérive déterministe et ce *a postiori*. Ainsi, la méthode de Krigeage par bloc multiplicatif prend la liberté d'ajuster en rehaussant, ou au contraire en diminuant, l'estimation d'abondance en fonction de l'endroit où la prospection a été majoritairement faite. De ce fait, dans le cas de nombreux transects côtiers où l'espérance de rencontre avec un rorqual est faible, l'estimation sera diminuée. Cette méthode lisse non seulement l'hétérogénéité spatiale (ex. : en 2007) mais pondère également les estimations par la position de l'effort dans les zones de prédilection ou non de l'espèce ciblée. Ainsi, cette méthode nous semble d'une part plus adaptée aux données

opportunistes mais aussi, d'autre part, elle donne des abondances fiables et robustes (CV plus faible).

5. Facteurs explicatifs pour le dauphin bleu et blanc

En comparant les résultats des taux de contacts « bateau » versus « hélico » on montre que l'on voit seulement 1 groupe sur 5 voire sur 6 depuis l'hélicoptère. Cela est important et plusieurs explications potentielles peuvent être avancées.

Tout d'abord il est probable que l'on manque des animaux depuis l'hélicoptère. Le fait d'être seul à observer et noter les informations implique que nous quittions régulièrement bien que très brièvement les yeux de la surface de l'eau. En plus les dauphins sont bien plus petits que les rorquals, ils peuvent vite ne pas être détectés dans le cas où les conditions météorologiques se dégradent, sans qu'elles ne soient réellement mauvaises. La détectabilité de ce type de petits delphinidés est certainement plus sensible aux conditions environnementales que celle du rorqual.

A côté de cela la taille moyenne des groupes vus par hélico (22,7 ind.groupe^{-1}) est 2,5 fois plus grande qu'en bateau (8.9 ind.groupe^{-1}). Plusieurs explications peuvent être mises en avant. Tout d'abord il n'est pas exclu là aussi que les animaux en tout petit groupe restent indétectables, d'une part parce qu'ils sont plus difficiles à repérer dans un environnement plus ou moins hétérogène et bruité, d'autre part parce que les quelques individus nageant de concert peuvent plus facilement synchroniser leur plongée et disparaître de la surface en même temps. A l'opposé, lorsque l'on a à faire à de grands groupes, il y a souvent plusieurs individus à la fois en surface, ce qui rend le groupe plus détectable. L'ensemble de ces biais se combinant expliquerait que l'on puisse rater régulièrement des petits groupes de dauphins.

Une autre explication tout à fait plausible pourrait être le fait que les groupes soient sous-estimés à partir du bateau. En effet, il n'est pas évident de compter des petits dauphins disparaissant fréquemment et à tour de rôle de la surface. Les techniques stochastiques ou de suivis de groupes permettent de diminuer ce biais, mais la fourchette d'erreur est d'autant plus grande que le groupe est important. Malheureusement il n'existe pas d'étude pour quantifier la sous-estimation des comptages de cette espèce dans notre secteur et dans nos conditions d'observation. Enfin une dernière explication peut entrer en jeu, celle de la variation de la taille des groupes de dauphins en fonction de la période de la journée et de la zone prospectée. En effet plusieurs auteurs (David, 2000 ; Gannier & David, 1997 et Meissner, 2009) montrent que les dauphins bleus et blancs sont plus proches des côtes en début et fin de journée (soit entre 18h00 et 10h00 environ) et sont alors dispersés en petits groupes. A l'inverse au cœur de la journée (entre 10h00 et 18h00) ils se rassemblent en plus grands groupes et gagnent le large. Or en hélicoptère nous avons essentiellement effectué nos vols en milieu de journée et sur le secteur pélagique, alors que les bateaux ont également échantillonné à proximité des côtes et en début et fin de journée.

Des analyses plus poussées sur l'ensemble de ces hypothèses permettraient d'identifier les facteurs explicatifs les plus importants et de chercher à y remédier pour de futurs survols.

II.B. TP versus TA

D'après nos résultats, les données collectées par transect prédéfini fixe (TP) sont intéressantes car pourraient être représentatives de ce qui se passe dans la zone d'étude. En effet, statistiquement (test de Wilcoxon et calcul de l'IC par bootstrap) nous n'avons trouvé aucune différence significative entre les résultats obtenus à partir des TP et ceux estimés plutôt à partir des TA et que nous prendrons en référence. En premier lieu cela témoigne que les valeurs obtenues à partir des TP ne sont pas biaisées. Mais les tests utilisés ne sont peut-être pas assez puissants pour distinguer les différences, d'autant plus que nous n'avons pas pu tester la ressemblance à toutes les échelles de temps étudiées. On voit bien par exemple, à partir des histogrammes, qu'en fonction des espèces les valeurs des TP peuvent différer de celles des TA selon les années ou les saisons. Il en va ainsi pour le globicéphale, le dauphin de Risso, le grand dauphin, ou pour le dauphin bleu et blanc dans une moindre mesure. En

revanche le suivi par TP des rorquals et des cachalots semble donner des résultats probants au niveau annuel.

Il semblerait que les TP, tels qu'ils sont localisés actuellement, nous renvoient plus l'image des mouvements de cétacés se déplaçant d'une zone à l'autre et passant par le secteur des TP, plutôt que d'un instantané de ce qui se passe dans la zone d'étude. Sur les quatre TP analysés, un seul allait vraiment à 45 MN au large : les autres ne dépassaient pas 25 MN des côtes. Il est donc possible que nos données TA aient une représentativité plus importante de la zone pélagique que nos données TP. En ce qui concerne certaines espèces, nous sommes de toutes façons limités par leur fréquence dans la zone et leur mobilité. Ainsi, les globicéphales ont été rarement vus sur les TP car nous ne traversons pas leur zone de prédilection. Ce devrait être pareil pour le grand dauphin puisque, tracée vers le large, la route des bateaux (TP) n'échantillonne que très brièvement les fonds peu profonds, secteur de prédilection de cette espèce. Néanmoins nous avons croisé plus souvent des grands dauphins sur les TP par rapport au TA, mais ceux-ci ont été vus au large.

Le TP nous renseigne également sur les mouvements des animaux, sur ce qui se passe dans ses eaux environnantes. Ainsi, les rorquals peuvent être déjà arrivés dans la zone d'étude au printemps (données TA), mais pas encore dans le Nord de cette zone (où se localisent les TP) et où ils n'arriveront que la saison d'après. Pour ce qui est du cachalot on note, en plus des mouvements printaniers, des mouvements automnaux : un départ du Nord de la zone d'étude en automne où se trouvent les TP, alors qu'il est vu ailleurs à cette saison. Cependant, les variations d'abondances relatives de cachalots pourraient aussi s'expliquer par le fait que certaines espèces comme le cachalot réalisent de longues plongées (50 min en moyenne), ce qui nous empêche de les détecter à ce moment là, bien qu'il soit présent dans la zone. Enfin, les abondances relatives des dauphins bleus et blancs sont très similaires sur les TP et les TA d'une saison à l'autre, bien que l'on note une abondance relative légèrement plus faible sur les TP en hiver et en automne. Cela pourrait être dû là aussi à des mouvements Nord-Sud.

Ainsi il ressort que s'il s'agit d'espèces rares ou restreintes géographiquement (c'est-à-dire à forte structuration spatiale) ou encore à forte mobilité à l'échelle d'un mois, d'une saison ou d'une année, ces espèces seront difficiles à suivre avec nos TP. Il en est probablement ainsi pour le globicéphale, le dauphin de Risso et le grand dauphin. D'autres espèces comme le rorqual sont plus fréquentes et semblent moins structurées spatialement, et nos TP nous donnent de bonnes indications sur ce qui se passe dans la zone étendue. Quant aux dauphins bleus et blancs, si les abondances sont stables à l'échelle de la saison, elles varient à l'échelle de l'année. Cela laisse supposer là aussi des mouvements des animaux, en tous les cas une répartition spatiale différente en fonction des années (que l'on retrouve aussi dans le chapitre 3).

Ces résultats et constatations nous amènent à réfléchir sur l'importance du choix de la localisation de TP. Faut-il mettre le TP dans un « hotspot » d'une espèce pour avoir une indication représentative de la fréquentation de cette zone par l'espèce considérée : la fréquentation est-elle typique, faible ou importante ? Le TP peut servir de témoin du passage des animaux vers leurs hotspots ? Quelle longueur doit-il avoir et quel est le nombre de réplicats à faire ?

Laran (2005) a échantillonné, chaque mois pendant trois ans, une zone située en mer Ligure (au Nord de notre zone) à l'aide d'une radiale entre Antibes et Calvi. Les résultats qu'elle obtient sont parfois très similaires aux nôtres (voir chapitre 2), mais d'autres sont différents. Ces différences sont certainement en partie dues aux différences de secteurs prospectés et peut-être au fait que nous n'avons pas assez échantillonné certaines saisons (TP moins long et moins souvent dupliqué). Cependant, il est intéressant de voir que Laran (2005) a pu mettre en évidence que les abondances relatives obtenues sur la radiale sont, au moins pour l'été, représentatives de la situation à plus grande échelle.

Au vu de tous ces résultats, il apparaît que les TP sont envisageables dans certaines conditions et pour certaines espèces. En effet, échantillonner une zone par des transects fixes et prédéfinis comporte un certain nombre d'avantages que n'ont pas les TA. Mais il y a également des contraintes ou des inconvénients. Tout d'abord si le nombre de réplicats sur un TP est faible, il en résultera une moyenne imprécise associée à un I.C. important, qui ne permet peut-être pas de détecter quelque tendance que ce soit dans les variations d'abondances de la

population étudiée. De plus le jeu de données collecté sur les TP ne peut donner de bonnes estimations quand les populations d'animaux sont structurées spatialement ou très mobiles : on manque les populations en noyaux ou celles qui bougent beaucoup d'une année sur l'autre. Toutefois, si la population a un gradient défini, le TP peut donner de bons résultats à condition qu'il soit disposé dans le sens du gradient. En revanche l'approche par TP donne une faible hétérogénéité spatiale, donc ne nécessite pas de correction par modélisation géostatistique et ne dépend d'aucune hypothèse. Ce type d'approche est adapté notamment pour tout ce qui concerne les comparaisons dans le temps (mensuelle, annuelle) sur un transect donné.

Concernant l'approche par transects aléatoires, il est utile de rappeler que nos TA ne sont pas à proprement parler de l'aléatoire au sens statistique. Il s'agit plutôt de transects opportunistes, qui ne suivent pas un plan d'échantillonnage structuré et ne sont pas répartis de façon homogène dans l'espace. On constate par exemple un sur-échantillonnage de la zone côtière et un sous-échantillonnage de certains secteurs du large. Ce fait entraîne une certaine hétérogénéité spatiale. En revanche nos TA sont nombreux, l'intervalle de confiance est plus étroit, les résultats sont plus robustes. De plus, la large répartition dans l'espace de ces transects fait qu'on décèle les populations, même si elles se sont déplacées puisqu'on échantillonne de nombreux secteurs différents.

Afin de corriger les problèmes d'hétérogénéité inhérents à l'approche par transects opportunistes (TA), on peut utiliser la modélisation en géostatistique spatiale. Cette méthode permet de minimiser l'effet des trous dans l'échantillonnage, des mouvements des animaux, et obtenir des I.C. plus petits, car elle prend en compte la distribution de l'effort dans ses calculs entre autres. En revanche, tout est basé sur le modèle et les hypothèses sous-jacentes, pour lesquels il ne faut pas se tromper.

Au final l'idéal pourrait être un ensemble de transects fixes permanent et très dense, voire régulier, répété un grand nombre de fois. Ce choix permettrait de couvrir l'ensemble de la zone d'étude de façon homogène et assurerait l'obtention d'une estimation d'abondance non-biaisée pour cette zone (Fortin & Dale, 2005). Mais la mise en œuvre de ce type de planification, et ce à toutes les saisons dans une étude saisonnière nécessite des moyens importants, c'est pour cette raison que les plates-formes opportunistes sont souvent privilégiées, comme les ferries (Arcangelli *et al*. 2009 ; Marini *et al*., 1996 ; Williams & Brereton, 2001) ou les bateaux de whale-watching (MacLeod *et al*., 2004). Inhérent à ce type d'opportunisme le choix du trajet et de la vitesse est généralement limité voire impossible.

II.C. Stratégie de monitoring

La présente étude aborde une partie de la vaste discussion concernant les stratégies de suivi en routine (ou monitoring) des populations de mammifères marins, en particulier dans une Aire Marine Protégée. Nous avons testé l'utilité et la pertinence d'utiliser des plates-formes opportunistes pour collecter des données en mer sur les cétacés : en bateau via des associations d'écovolontariat (SCS, Cybelle Planète), ou lors de missions scientifiques non dédiées à du monitoring quantitatif (WWF/FNH/écoOcéan Institut), et en hélicoptère (via un appareil de la Marine Nationale lors de la surveillance de la ZPE). Une plate-forme opportuniste implique donc que les trajets ne s'intègrent pas dans une planification fixe d'échantillonnage. Les données s'accompagnent ainsi par définition d'une hétérogénéité spatiale potentielle. Néanmoins, comme nous l'avons vu, des méthodes d'analyse existent afin de corriger en partie cette hétérogénéité, notamment les méthodes géostatistiques. De plus, conscients des biais potentiels dans nos missions, nous pouvons d'ores et déjà chercher dans un proche avenir à améliorer leur fonctionnement. En effet, la qualité des données et leurs coûts minimes en font une stratégie de monitoring intéressante à envisager, nonobstant des améliorations ou manip complémentaires afin d'estimer les biais mis en avant.

En particulier il est nécessaire de chercher à estimer le nombre de groupes manqués par une manipulation de marque-recapture ou encore d'augmenter l'effort linéaire par l'hélicoptère pour atteindre un nombre d'observations nécessaire et suffisant en vu des analyses prévues (environ 50 à 60 observations). En effet, la distance parcourue en conditions de transect de

ligne (voire de bande) doit permettre de récolter un nombre d'observations satisfaisant. Il est nécessaire de disposer d'au moins 50 à 60 observations primaires pour que la modélisation par Distance Sampling (Buckland *et al.,* 2001), tout comme la géostatistique, soit fiable. Nous allons ici faire très rapidement le point sur les avantages et les inconvénients des différentes plates-formes et plans d'échantillonnage, et proposer une stratégie et les moyens associés pour suivre l'évolution de la distribution et de l'abondance des cétacés dans le Sanctuaire. Nous envisagerons le cas des données opportunistes ainsi que le cas des missions dédiées.

1. Hélico/avion ou bateau ?

La question des moyens et des plates-formes à mettre en œuvre se pose telle que : aérien ou par bateau ?

A première vue l'aérien a de gros avantages : logistique, rapport surface couverte et coût, optimisation de fenêtres météorologiques brèves. Indubitablement le grand avantage du moyen aérien est sa propension à pouvoir couvrir en un minimum de temps une vaste surface. On peut ainsi tirer profit d'une brève fenêtre météorologique lorsque les conditions générales sont mauvaises (hiver), et réaliser plusieurs répétitions d'un même échantillonnage. Cet échantillonnage rapide sur de vastes surfaces avec des répétitions permet de mener des analyses spatiales, et de fournir des estimations robustes d'abondances relatives et absolues (Certain, 2007 ; Panigada *comm. pers.*), de faire du suivi à toutes les saisons.

De plus, la grande superficie échantillonnée en une journée et le gain de temps considérable proposé par cette méthode sont des avantages non négligeables en terme d'optimisation du temps de travail pour les observateurs, et ce avec un minimum de logistique et de moyens.

L'avion est donc une plate-forme d'échantillonnage adaptée aux populations de cétacés présentant de grandes aires de distribution notamment situées dans des zones difficiles d'accès. De plus les réponses des animaux à la plate-forme sont négligeables de par la vitesse de la plate-forme bien plus grande que celle des animaux.

En revanche l'utilisation de l'avion présente également un certain nombre d'inconvénients, en particulier parce que sa vitesse réduit le temps disponible pour détecter, identifier et compter les animaux. Dans la plupart des cas, une estimation postérieure du nombre d'objets manqués est difficile à obtenir, ce qui conduit à une sous-estimation des abondances absolues. Pour être corrigées, ces variations de probabilité de détection (c'est à dire la probabilité de détecter un objet lorsque ce dernier est présent) doivent être quantifiées, ce qui nécessite des protocoles et/ou des modèles spécifiques. De plus, le moyen aérien n'est pas performant pour le cas des espèces plongeant longtemps sous l'eau (cachalot) ou des espèces rares.

Dans notre cas, il est évident que l'effort de prospection avec l'hélicoptère de la Marine Nationale devra être bien plus important (à la fois en nombre de kilomètres parcourus mais également si possible en terme de nombre d'observateurs embarqués) pour collecter un nombre de données suffisant. En effet, la bande de détection par hélicoptère est de l'ordre de 700 m, puisque l'observateur ne regarde que d'un coté, ce qui représente la moitié de la largeur de bande efficace modélisée par Distance Sampling sur les données bateau (Di-Méglio, 1999 ; Paklepa, 2009).

Dans l'idéal il faudrait envisager de travailler dans les conditions décrites par la plupart des études actuelles : un avion à bubble windows, avec quatre observateurs qui se relaient ou bien forment des binômes indépendants menant une étude de marque-recapture pour estimer le nombre de groupes manqués. Le plan d'échantillonnage régulier et dense couvrirait l'ensemble de la zone d'étude et au-delà, afin d'avoir une meilleure précision des analyses spatiales sur les bordures du Sanctuaire (diminution de la variance dans le Sanctuaire grâce aux données dans les eaux adjacentes au Sanctuaire), d'autant plus que le Sanctuaire ne couvre pas la totalité de l'habitat des populations de cétacés qui le fréquentent et que celles-ci sont mobiles. L'ensemble de l'échantillonnage doit pourvoir se répéter plusieurs fois dans l'année, au moins une fois par saison.

L'intérêt des missions bateaux est de plusieurs ordres : il permet notamment sur une même plate-forme de collecter des types de données complémentaires : visuelles, acoustiques et photographiques (photo-ID) par exemple. La précision de la détection, l'identification et le

comptage des animaux sont souvent meilleurs de par le temps disponible pour mener à bien ce travail. De plus les données sont bien adaptées à des analyses espèce-habitat plus fine (Certain 2007). Evidemment, le coût, la logistique et la lente vitesse de déplacement ne font pas de lui l'allié idéal pour un grand échantillonnage régulier et fréquent.

Dans notre cas une partie des missions en mer est d'un coût minime (écovolontariat), mais la couverture spatiale est également restreinte géographiquement ainsi que la période (essentiellement de juin à septembre). Ce type de mission peut être adapté à des secteurs clés à suivre chaque année à une saison donnée, avec valeur d'observatoire. Les missions peuvent également être destinées à collecter des informations sur les temps de plongée des animaux en vue de mesurer le facteur correctif pour les données aériennes.

Dans l'idéal la plate-forme à la surface de l'eau devrait prospecter à la fois la surface (visuel) et en-dessous (acoustique). Elle peut mener de façon ponctuelle des missions complémentaires sur la photo-ID (estimation de la précision des comptages, suivi des mouvements des animaux, etc.) ou sur les comportements de plongées. Un choix judicieux peut se porter sur des navires accueillant facilement 6 observateurs (voire 7 avec un secrétaire qui prend les notes lors des observations), naviguant à 8-10 nœuds afin d'optimiser le temps passé en mer et la surface prospectée.

Les deux types de plate-forme sont donc intéressants pour faire du monitoring, mais ils sont plutôt complémentaires, l'un apportant des données à grande échelle et sur un temps court, l'autre fournissant des données à des échelles plus fines.

2. Transect Prédéfini ou Transect Opportuniste ?

Concernant la planification de l'échantillonnage, celle-ci semble effectivement préférable aux trajets opportunistes. Les transects fixes offrent plusieurs avantages : s'ils sont facilement répétables au cours des mois, cela permet d'augmenter la précision des estimations d'abondances annuelles. De plus, le suivi annuel sur le long terme peut augmenter la puissance statistique en vue de détecter des tendances dans les populations plus rapidement. Enfin le fait de répéter plusieurs fois le même transect réduit l'hétérogénéité spatiale et permet d'analyser les relations cétacés-paramètres environnementaux dans le temps. En revanche les transects fixes doivent être nombreux et bien positionnés dans la zone d'étude afin de bien la quadriller.

Cela implique que l'on soit maître complètement de la navigation, ce qui n'est pas le cas lors de campagnes sous contraintes par bateau (retour au port d'attache régulièrement, mission non dédiée au monitoring, etc.) ou par hélicoptère (survols de surveillance des navires suspects et des risques de pollution dans la ZPE par la Marine Nationale). Néanmoins un grand nombre de trajets opportunistes de qualité dans une zone plus restreinte peut être indéniablement utile et intéressant pour un travail d'observatoire sur le long terme.

A priori un minimum de 6 réplicats devrait être réalisé au cours d'une année, et le même plan d'échantillonnage devrait être effectué tous les 4 à 5 ans (Easton *et al.* 2003). En parallèle des missions dédiées à l'estimation des facteurs correctifs (ratio des temps de plongée) devraient être menées. Il nous semblerait judicieux de poursuivre le suivi annuel de certaines zones clés, afin de mieux cerner la variabilité inter-annuelle et si nécessaire pouvoir corriger les estimations si la « grande » campagne a eu lieu lors d'une année atypique.

CONCLUSION - PERSPECTIVES

L'étude menée avec des données collectées de juin 2005 à octobre 2009 à partir de plates-formes opportunistes « bateau » et « hélicoptère » nous a permis de caractériser la fréquentation par les cétacés d'une zone particulière tout au long de l'année. Il apparaît des variations aux niveaux annuel et saisonnier de plusieurs indicateurs : distribution, taille de groupe et abondances relatives des différentes espèces de cétacés. La majorité des cétacés fréquente la zone d'étude abondamment en été et automne, la délaissant surtout en hiver. Cachalots, dauphins de Risso, grands dauphins et dauphins bleus et blancs restent encore présents à la saison froide, tandis que la plupart des rorquals et globicéphales noirs sont partis de la zone en hiver. Ils n'y reviendront qu'à partir du printemps, et atteindront les pics d'abondances de façon décalée. Les rorquals plus tôt dans la saison (car se nourrissant à un niveau inférieur de la chaîne trophique) et les autres espèces plus tardivement (car se nourrissant à des niveaux trophiques supérieurs qui mettent plus de temps pour se développer), certainement lorsque leurs proies respectives sont abondantes. Ces variations sembleraient en partie être reliées aux évolutions mensuelles de paramètres environnementaux tels que SST et *Chl* a sur l'ensemble de la zone. Ainsi on observe la précocité ou le retard de la venue estivale ou la diminution de l'abondance relative de certaines espèces (rorqual commun, dauphin bleu et blanc et globicéphale par exemple) dans la zone en fonction des températures hivernales ou encore en fonction du pic de chlorophylle printanier.

Ces indicateurs (distribution et abondance relative) analysés dans deux secteurs attenants, le Sanctuaire PELAGOS et les eaux adjacentes situées à l'Ouest de ce dernier, nous ont aussi permis de voir des mouvements d'animaux ou des changements à court terme (d'une année sur l'autre. Le Sanctuaire ne couvre pas l'ensemble de l'étendue des populations de cétacés du nord du bassin occidental, mais semble couvrir une grande partie des zones préférentielles du grand dauphin et du cachalot en particulier. Les autres espèces fréquentent aussi bien le Sanctuaire que les zones adjacentes, y compris lors de leur abondance estivale ou automnale maximale. Néanmoins, les animaux dans le Sanctuaire viendraient pour s'alimenter et se reproduire donc seraient potentiellement protégés lors de leurs phases vitales.

Cet état de fait peut toutefois évoluer dans les années à venir, c'est la raison pour laquelle il est important de poursuivre les suivis des indicateurs chaque année. Pour ce faire nous estimons que les transects opportunistes de qualité scientifiques (écovolontariat encadré, participation aux survols de la Marine Nationale et des douanes) sont essentiels et apportent des informations fiables à moindre coût. Par ces méthodes, sous couvert d'un jeu suffisant de données, des suivis peuvent se faire chaque année dans des zones clés, restreintes géographiquement. Dans ce cas, un entrelacs dense de transects opportunistes couvrant bien la zone définie peut générer des résultats fiables. Dans l'idéal, un réseau de petites zones surveillées entre l'Italie et l'Espagne par différents organismes encadrés et formés scientifiquement ou par les scientifiques eux-mêmes (SCS, Cybelle Planète, Thétys Research Institute, écoOcéan Institut, etc.), assurerait un rôle d'observatoire annuel (David et Di-Méglio, 2008).

Des baisses d'abondances constatées dans un secteur pourraient être ainsi associées à une hausse dans un secteur voisin, asseyant l'hypothèse de déplacement des populations et non de diminution quantitative globale d'une espèce. A côté de ces suivis annuels, de grosses campagnes dédiées aux recensements pourraient être mises en œuvre, par moyens aériens ou par bateau, tous les 5 ans par exemple. Dans ces cas là l'échantillonnage devrait être effectivement planifié, prédéfini, régulier et dense, afin de limiter les biais d'hétérogénéité spatiale et d'obtenir des résultats robustes avec un faible CV.

Au vu de nos résultats il apparaît intéressant de poursuivre plus en avant certaines pistes dans des travaux futurs. Ainsi l'évolution des indicateurs de distribution et d'abondances relatives de plusieurs espèces de cétacés entre les années actuelles et les années 90 apporterait des éléments pertinents sur l'état et les variations des populations dans le nord de la Méditerranée occidentale. La comparaison de ces évolutions à la fois dans le

Sanctuaire et dans les secteurs adjacents permettrait de remettre le Sanctuaire dans un contexte plus global et de préciser d'autant plus sa pertinence passée, actuelle et à venir.

Couplée à cette analyse, la recherche de relations à grande échelle (macro-écologique) entre les cétacés et les paramètres environnementaux sur la décennie 1999-2009 permettrait de confirmer et préciser les grandes tendances que nous avons mises en avant. L'intégration d'autres paramètres (densités de structures frontales, production primaire, etc.) consoliderait la caractérisation mensuelle de la zone étudiée. Il serait même intéressant de superposer l'évolution d'autres prédateurs marins tels que le thon rouge sur la même période, pour une approche plus écosystémique. En parallèle, une campagne d'évaluation de la biomasse secondaire (euphausiacée, poissons, etc.) dans le Sanctuaire et ses abords par les instances compétentes (IFREMER, Station de recherche océanographique) fournirait des données explicatives précieuses pour nos études.

Enfin à côté du suivi par bateau tel que pratiqué actuellement, il serait envisageable de démarrer un programme de monitoring par ferry. En effet, les ferries naviguent toute l'année sur les mêmes trajets, avec plusieurs rotations par semaine. La couverture de toutes les lignes de ferry traversant le Sanctuaire donne un échantillonnage conséquent et relativement bien réparti. La méthodologie de ce type de travail est bien rôdée actuellement et s'avère fiable pour obtenir une bonne vision des variations saisonnières des indicateurs sur les cétacés. Par l'implication des compagnies maritimes, ce type de monitoring peut s'avérer de moindre coût.

BIBLIOGRAPHIE

Airoldi S., Bendinoni F., Azzellino A., Fadda V., Profice A., 2005. Abundance estimates of Risso's dolphins (Grampus griseus) in the western Ligurian Sea though photographic mark-recapture. European Research on Cetaceans 19.

Aguilar, A. & Raga, J.A., 1993. The striped dolphin epizootic in the Mediterranean Sea. *Ambio*, 22, 524–528.

Aissi, M., Celona, A., Comparetto, G., Mangano, R., Wurtz, M. & Moulins, A., 2008Large-scale seasonal distribution of fin whales (Balaenoptera physalus) in the central Mediterranean Sea. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 2008, 88(6), 1253–1261.

Arcangelli, A., Muzi, E., Tepsich, P., Carcassi, S., Castelli, A., Crosti, R., Di Vincenzo, M., Maggliozzi, C., Marini, L., Poggi, A., oldi, 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 *23nd 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.

Azzelino, 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.

Azzellino, A., Gaspari, S., Airoldi, S. & Lanfredi, C., 2008b. Biological consequences of global warming: does sea surface temperature affect cetacean distribution in the western Ligurian Sea? *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom***, 88, 114**5–1152.

Baillargeon, S., 2005. *Le krigeage: revue de la théorie et application à l'interpolation spatiale de données de précipitations*. Mémoire de maîtrise, Université Laval, Québec.

Bayliss P., 1986. Factors Affecting Aerial Surveys of Marine Fauna, and Their Relationship to a Census of Dugongs in the Coastal Waters of the Northern-Territory. *Australian Wildlife Research* 13(1) 27 – 37.

Baril D., Beaubrun P., Bonsignori B., David L., Dhermain F., Rippol 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,*

Barlow, J., Oliver, C., Jackson,T. D. & Taylor,B. L., 1988. Harbor porpoise,Phocoena phocoena, abundance esti-mation for California, Oregon. and Washington: II. Aerial surveys. Fish.Bull., U.S. 86:433-444.

Bearzi, G., Holcer, D. & Notarbartolo di Sciara, G., 2004. The role of historical dolphin takes and habitat degradation in shaping the present status of northern Adriatic cetaceans. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 14, 363–379.

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.

Bellier, E., Monestiez, P. (2008). Model based block kriging to estimate spatial abundance of wildlife populations from count data. In *Proceedings of the Eighth International Geostatistics Congress.* J. Ortiz & X. Emery (Eds.). GECAMIN, Santiago, pp 119-128. ISBN: 978-956-8504-18-2. (extended version submitted to Environmental and Ecological Statistics)

Ben Naceur, L., Gannier, A., Bradai, M.N., Drouot, V., Bourreau, S., Laran, S., Khalfallah, N., Mrabet, R. & Bdioui, M., 2004. Recensement du grand dauphin *Tursiops truncatus* dans les eaux tunisiennes. *Bulletin del l'Institute National des Sciences et Technologies de la Mer de Salammbô*, 31, 75–81.

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.

Bianchessi, A. Managing marine SACs: what can be learned from the Cardigan Bay experience? 2007. in : Proceedings of the ECS/ASCOBANS/ACCOBAMS workshop "Selection criteria for marine Protected Areas for cetaceans", E.C.S. special publication series n°. 48, Feb. 2008, 70-75.

Bompar J.M., 1997. Etude de la population de dauphins de Risso (Grampus griseus) fréquentant la corne nord-ouest du futur Sanctuaire de la Mer de Ligure. Rapport G.E.C.E.M./Parc National de Port-cros, 32p+11p d'annexes.

Bompar J.M., 1997b. Wintering presence of Risso's dolphins, *Grampus griseus*, in the western part of the ligurian Sanctuary. *European research of Cetacean*, 11 : 164-166.

Bretagnolle, V., Certain, G., Houte, S. & Métais, M., 2004. Distribution maps and minimum abundance estimates for wintering auks in the Bay of Biscay, based on aerial survey. *Aquatic living resource*. 17 :353-360,

Brown, M. R., Corkeron, P. J., Hale, P.T., Schultz, K.W. & Bryden. M. M., 1994. Behavioral responses of East Australian humpback whales *Megaptera novaeangliae* to biopsy sampling. *Marine Mammal Science* 10:391–400,

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, Oxford. 432 p.

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., 2000, The northeasthern Alboran Sea, an important breeding and feeding ground for the long-finned pilot whale (*Gobicephala melas*) in the Mediterranean Sea. *Mar. Mamm. Sci.*, 16 : 513-530,

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.

Castellote, M., Esteban, J.A., Clarck, C.W. & Raga, J.A., 2008. A new Mediterranean fin whale (Balaenoptera physalus) dispersion path and winter ground. 22nd Conference of the European Cetacean Society, Egmond aan Zee, the Netherlands, march 2008 : 36.

Certain, G., 2007. Distribution, abundance et stratégie de recherché alimentaire chez les prédateurs supérieurs du Golfe de Gascogne : une etude spatialisée. Thèse de doctorat, Université de La Rochelle, 211p + annexes.

Clapham,J.P. & Mattila, D. K., 1993. Reactions of humpback whales to skin biopsy sampling on a West Indies breeding ground. *Marine Mammal Science* 9:382–391.

Connor, R. C., Heithaus, R. M. & Barre, L. M. (1999) Super-alliance of bottlenose dolphins. *Nature*, 371, 571-572.

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 (2009) 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., 2005. 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.

Delacourtie, F., Laran, S., David, L. & Di-Méglio, N., 2009. Analyse spatio-temporelle de la distribution des cétacés en relation avec les paramètres environnementaux. Rapport Final du Programme de Recherche 2007/2009 de PELAGOS France. GIS 3M / CRC / EcoOcéan Institut, 221p + annexes.

Dhermain, F., 1996. Etude des grands dauphins Tursiops truncatus, de l'Ouest de la mer Ligure (archipel de Port-cros, côtes des Bouches-du-rhône et du Var). Rapport final GECEM poue le PNPC, 43p.

Dhermain, F., 2006. Suivi de la population du grand dauphin Tursiops truncatus en Corse. Rapport GECEM pour le PNPC.

Dhermain, F., Ripoll, T., Bompar, J-M., David, L. & Di-Méglio, 1999.First evidence of the movement of a bottle-nosed dolphin Tursiops truncatus between Corsica and hyeres archipelago, south-eastern France. European Research on Cetaceans, 13, 5p.

Di-Méglio, N., 1993. Etude de la croissance chez Stenella coeruleoalba (Cetacea, Delphinidae) : comparaison ostéologique et variabilité s biologiques entre les individus des côtes françaises atlantiques et méditerranéennes. Diplôme de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes, Montpellier, 143p.

Di-Méglio, N., 1999. Distribution comparée des cétacés et des oiseaux marins de méditerranée nord-occidentale en période estivale. Relation avec les conditions environnementales. Thèse de doctorat. 391p.

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-Meglio, N., David, L., Budzinski, H., Peluhet, L., Tapie, N., Ody D., Eynaudi, A. et Legavre, T., 2009. Fin Whale in Liguro-Provencal Mediterranean Sea: a point of the population state, the distribution and the habitat use. *Research on Cetacean* 23*, Istanbul (Turquie)*, 2-4 mars 2009

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*.

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., 2007. Movement of sperm whale in the western Mediterranean sea : preliminary photo-identification results. *J. Mar. Biol. Ass.*, 87 : 195 – 200,

Dubroca, L., André, J-M., Beaubrun , Bonin, E., David, L., P-C., Durbec J-P., Monestiez, P. & Guinet, C., 2004. Summer fin whale (*Balaenoptera physalus*) distrion in relation to oceanographic conditions : implication for the conservation. *In* : CIESM, 2004, *Investigation the roles of cetaceans in marine ecosystems*. CIESM Workshop Monograph nº25 : 77-84.

Duguy, R. & Vallon D., 1976.Le rorqual commun (Balaenoptera physalus) en Méditerranée nord-occidentale : état actuel des observations. XXVème congrès assemblée plénière de la C.I.E.S.M., Split, 22-30 octobre 1976, 4p.

Duguy R., Casinos A., Di Natale A., Filella S., Ktari-Chakroun F., Lloze R et Marchessaux D., 1980, repartition et fréquence des Mammifères marins en Méditerranée. XXVIIème Congrès-Assemblée plénière de la C.I.E.S.M., Cagliari, 9-18 oct. 1980, 9p.

Easton, D.E., Lefebvre, L.W. & Terry J. Doyle, T.J., 2003. Using Strip-transect Aerial Surveys to Estimate Manatee Abundance in the Ten Thousand Islands Region of Southwest Florida. Poster presented April 2003, at the Greater Everglades Ecosystem Restoration Conference.

Evans, P.G.H. and Pesante, G. Research for management: the Cardigan Bay experience. 2007. in : Proceedings of the ECS/ASCOBANS/ACCOBAMS workshop “Selection criteria for marine Protected Areas for cetaceans”, E.C.S. special publication sereies n°. 48, Feb. 2008, 61-69.

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.*

Forcada, J., Notarbartolo di Sciara, G. & Fabbri, F. ,1995. Abundance of fin whales and striped dolphins summering in the Corso-Ligurian Basin. *Mammalia*, 59, 127–140,

Fortin M. J., & Dale, M., 2005. Spatial Analysis: A Guide for Ecologists. Cambridge University Press, Cambridge.

Gambaiani, D.D., Mayol, P., Isaac, S.J. & Simmonds, M.P., 2009. Potential impacts of climate change and greenhouse gas emissions on Mediterranean marine ecosystems and cetaceans. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 89(1), 179–201.

Gannier, A. 1997. Estimation de l’abondance estivale du rorqual commun Balaenoptera physalus (Linné, 1758) dans le bassin liguro-provençal (Méditerranée occidentale). Rev. Ecol. (Terre et Vie), 52 : 69-87.

Gannier, A. 1998. Variation saisonnière de l'affinité bathymétrique des cétacés dans le basin Liguro-Provençal (Méditerranée occidentale). Vie et Milieu, 48(1): 25-34.

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., 1995. Les Cétacés de Méditerranée nord-occidentale: estimation de leur abondance et mise en relation de la variation saisonnière de leur distribution avec l’écologie du milieu. Thèse de Doctorat, Ecole Pratique des Hautes Etudes, Montpellier,437 pp.

Gannier, A., 2005b. - Summer activity pattern of fin whales (*Balaenoptera physalus*) in the northwestern mediterranean pelagos sanctuary. *Mésogée* Volume 61 : 35-41p.

Gannier, A., 2005c. Summer distribution and relative abundance of delphinids in the Mediterranean Sea. *Revue d'Ecologie (Terre et Vie), 60, 223-238*.

Gannier, A., 2006. Le peuplement estival de cétacés dans le Sanctuaire Marin Pelagos (Méditerranée nord-occidentale): distribution et abondance. Mammalia (2006) : 17-27.

Gannier, A. & Gannier, O., 1997. News results on the seasonal variation of cetaceans in the Liguro-provençal basin. European Resarch on Cetaceans, 11 : 91-94.

Gannier, A., Drouot, V. & Goold, J. C., 2002. Distribution and relative abundance of sperm whales inMediterranean Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 243, 281-293.

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.

Guthier,J., & SEARS, R., 1999. Behavioral response of four species of Balaenopterid whales to biopsy sampling. *Marine Mammal Science,* 15 : 85–101.

Gnone, G., Nuti, S., Bellingeri, M., Pannoncini, R. & Beddocchi, D., 2006. Spatial behaviour of *Tursiops truncatus* along the Ligurian sea coast: preliminary results. *Biologia Marina Mediterranea*, **13**, 272–273.

Gnone G., Bellingeri M., Dhermain F., Dupraz F., Nuti S., Bedocchi D., DIBIO, McCrea R., Azzellino A., Airoldi S, Portunato N., Laran S., David L., Di Meglio N., Bonelli P., Trucchi R., Fossa F., *in prep*. Ecological habits, spatial behaviour and abundance estimates of the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) in the Pelagos Sanctuary MPA (North-West Mediterranean Sea).

Gomez de Segura, A., Tomas, J. & Raga, J.A., 2004. Sector Centro (Comunidad Valenciana y Region de Murcia). In: *Proyecto Mediterraneo: zonas de especial interes para la conservation de los cetaceos en el Mediterraneo espanol*. (Ed. by J.A. Raga & J. Pantoja), pp. 67–131. Naturaleza y Parques Nacionales, Serie Tecnica, Ministero de Medio Ambiente, Organismo autonomo Parques Nacionales.

Gomez de Segura, A., Crespo, E.A., Pedraza, S.N., Hammond, P. & Raga, J.A., 2006. Abundance of small cetaceans in waters of the central Spanish Mediterranean. *Marine Biology*, 150, 149-160,

Gordon, J. C. D., Matthews, J. N., Panigada, S., Gannier, A., Borsani, F. J. & Notarbartolo di Sciara, 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.

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.

Hedley, S.L., 2000, Modelling heterogeneity in cetacean surveys. Ph.D. thesis, University of St Andrews, 132 pp.

Herr, H., Scheidat, M., Lehnert, K. & Siebert, U., 2009. Seals at sea: modelling seal distribution in the German bight based on aerial survey data. *Mar Biol* (2009) 156:811–820,

Holt, R. S., & Cologne, J., 1987. Factors affecting line transect estimates of dolphin school density. Journal of wildlife management 51:836-843.

Jahoda, M., C.L. Lafortuna, C.L., Biassoni, N., Almirante, C., Azzelino, A., Panigada, S., Zanardelli, M., Notarbartolo di Sciara, G., 2003. Mediterranean fin whale's (*Balaenoptera physalus*) response to small vessels and biopsy sampling assessed throught passive tracking and timing of respiration. Mar. Mamm. Sci., 19(1):96–110,

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.

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., 2006. 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.

Lowry, L.F., Frost, K. J., Zerbini, A., Demaster, D. & Reeves, R.R., 2008. Trend in aerial counts of beluga1 or white whales (Delphinapterus leucas) in Bristol Bay, Alaska, 1993-2005 J. CETACEAN RES. MANAGE. 10(3) : 201–207, 2008 201

MacLeod Colin D., Global climate change, range changes and potential implications for the conservation of marine cetaceans: a review and synthesis. Endang Species Res Vol. 7: 125–136, 2009

MacLeod, K., Fairbairns, R., Gill, A., Fairbairns, B., Gordon, J., Blair-Myers, C. & Parsons, E., 2004. Seasonal distribution of minke whales Balaenoptera acutorostrata in relation to physiography and prey off the Isle of Mull, Scotland. Mar. *Ecol. Prog. Ser.*, 277: 263-274.

Macquart-Moulin, C., Patriti, G., 1996. Accumulation of migratory macronekton crustaceans over the upper slope and submarine canyons of the northwestern Mediterranean. *Deep Sea Research* I 43 (5), 579–601.

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.

Marsh, H., and D. F. Sinclair. 1989. Correcting for visibility bias in strip transect aerial surveys of aquatic fauna. *Journal of wildlife management* **53**:1017-1024.

Marques, T.A., Andersen, M., Christensen-Dalsgaard, S., Belikov, S., Boltunov, A.,.Wiig, Ø., Buckland, S.T., & Aars, J., 2006. The Use of Global Positioning Systems to Record Distances in a Helicopter Line-Transect Survey. *Wildlife Society Bulletin*, Vol. 34, No. 3 (Oct. 1, 2006) : 759-763.

Meissner, A., 2009. Ecology of striped dolphins in the northwestern Mediterranean sea. Master of Philosophy at the University of Aberdeen, Scotland, 110p.

Millot C., 2004. The cetacean world as seen by physical and biological oceanographers. In: CIESM Workshop Monograph n°25,144p : 107-117.Monaco. www.ciesm.org/publications/Venise04.pdf

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. Occurence 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.

Murison, L.D. & Gaskin, D.E., 1989. The distribution of right whales and zooplancton in the Bay of Fundy, Canada. *Can. J. Zool.*, 67 : 1411-1420,

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., Venturino, M.C., Zanardelli, M., Bearzi, G., Borsani, J.F. & Cavalloni, B., 1993. Cetaceans in the central Mediterranean Sea: distribution and sighting frequencies. *Italian Journal of Zoology*, 60, 131–138.

Notarbartolo di Sciara, G., Zanardelli-Panigada, M.,Jahoda, M, Panigada, S & Airoldi, 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. & Van Klaveren, P., 2008. The PELAGOS Sanctuary for Mediterranean marine mammals. Aquatic Conser*v*: Mar. Freshw. Ecosyst. 18: 367–391 (2008)

Panigada, S., Zanardelli, M., Canese, S. and Jahoda, M. 1999. How deep can baleen whales dive? Marine Ecology Progress Series 187:309-311.

Panigada, S., Notarbartolo di Sciara, G., Zanardelli-Panigada, M., Airoldi, 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): pp. 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., Gianni A., Notarbartolo di Sciara G., Lauriano G., 2009. Abundance of striped dolphins in the Pelagos Sanctuary : insights through line transect surveys. *Research on Cetacean* 23*, Istanbul (Turquie)*, 2-4 mars 2009.

Paklepa, 2009. Monitoring à long terme de la distribution du rorqual commun en Méditerranée nord-occidentale : données multi-sources et aspects méthodologiques. Master 2 Mention Océanographie Option Biologie et Ecologie Marines, Université de la méditerranée Centre d'Océanologie de Marseille, 57p.

Papale H., Giacoma E. et Azzolin M., 2009. High percentage of bottlenosed dolphin (Tursiops truncatus) group with new-born calf during the early summer 2008 in southern Corsica and northern Sardinia. ECS

Piatt, F.F., Methven, D.A., Burger, A.E., Mc Logan, R.L., Mercer, V. & Creelman, E., 1989. Baleen whales and their prey in a coastal environment. *Can. J. Zoo*l., 67 : 1523-1530,

Praca, E. & Gannier, A., 2008. Ecological niches of three teuthophageous odontocetes in the northwestern Mediterranean Sea. Ocean Science, 4(1), 49-59.

Pollock, K. H., Marsh, H. D , Lawler, I. R. & Alldredge, M. W., 2006. Estimating Animal Abundance in Heterogeneous Environments: An Application to Aerial Surveys for Dugongs. *Journal of wildlife management,* 70 : 255-262.

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

Podesta, M. & Malgnaghi, L., 1988. Sigghtings of Pilot whales, *Globicephala melas* (Traill, 1809), in the Ligurian sea, 1981-1988. *Atti. Soc. Ital. Sci. Nat. Museo civ. Stor. Nat. Milano*, 129 (4) : 478-482.

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.

Relini, G., Orsi Relini, L., Cima, C., Fasciana, C., Fioentino, F., Palandri, G., Relini, M., Tartaglia, M.P., Torchia, G. & A., Z., 1992. Macroplancton, *Meganyctiphanes norvegica*, and Fin Whales, *Balenoptera 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.

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.

Ripoll T., Dhermain F., Barril D., Roussel E., David L. and Beaubrun P., 2001. First summer population estimate of Bottlenose dolphins along the Mediterranean french coasts. *Eur. Research on Cetacean* 15*,* Rome (Italie), 6-10 May 2001 : 393-396.

Shane, S.H., Wells, R.S. & Würsig, B. (1986) Ecology, behavior and social organisation of the bottlenose dolphin: a review. *Marine Mammal Science*, 2, 34–63.

Viale, D. & Frontier, S., 1994. Surface megafauna related to western Mediterranean circulation. *Aquat. Living Ressour.*, 7 : 105-126.

Webster, R. et Oliver, M. A., 2007. *Geostatistics for environmental scientists 2nd edition*. John Wiley & Sons, Ltd.

Weinrich, M.T., Lambertson, R. H, Baker, C.S., Schilling, M.R. & Belt, C. R., 1991. Behavioural responses of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in the Southern Gulf of Maine to biopsy sampling. *Report of the International Whaling Commission* (Special Issue 13):91–97.

Weinrich, M.T., Lambertson, R. H, Belt, C. R., Schilling, M.R., Iken, J.& Syrjala, S.E.,1992. Behavioral reactions of humpback whales Megaptera novaeangliae to biopsy procedures. *Fishery Bulletin*, U.S. 90:588–598.

Williams, A.D. & Brereton, T.M., 2001. Changing status of Minke Whale (*Balaenoptera acuturostrata*) in the western English Channel. In : Williams A. (Ed.). *Ecological Studies in the English Channel & Bay off Biscay, Biscay Dolphin Research Programme*, 3. 6 Manor

Way, Lee on Solent, Hants, PO13 9JH. Abstract in : *European Research on Cetaceans*, 15: 220,

Wilson, B., Reid, R.J., Grellier, K., Thompson, P.M. and Hammond, P.S. 2004. Considering the temporal when managing the spatial: a population range expansion impacts protected areas based management for bottlenose dolphins. Animal Conservation, 7: 331-338.

Wilson, B. The Moray Firth experience. 2007. in : Proceedings of the ECS/ASCOBANS/ACCOBAMS workshop "Selection criteria for marine Protected Areas for cetaceans", E.C.S. special publication series n°. 4 8, Feb. 2008 , 58-60,

Fait le 15 mars 2010
Par Nathalie Di-Méglio et Léa David

ANNEXES

Annexe 1

Détails des devis de location de voilier par agence consultée

Jeanneau LocaSail :
http://www.locasail.com/location-voiliers,%200,htm
(jeanneau@locasail.com) :

En haute et moyenne saison, il n'y a pas de location à la journée (sauf disponibilité exceptionnelle et alors une journée revient au prix du week-end soit 875 euros + 150 euros de skipper = 1025 euros) ou cela revient à 380 euros la journée (2650 euro les 7 jours) + 250 euros de skipper.
Soit en moyenne 777,5 euros la journée.

En basse saison la journée revient à 50% du week end soit 437,5 euros + 150 euros de skipper = 587,5 euros ou si la location se fait pour une semaine cela revient à 310 euros (2175 euros les 7 jours) + 150 euros de skipper = 460 euros soit 523,75 euros la journée en moyenne

Soit en moyenne 650,5 euros pour une journée en moyenne sur l'année.

B3A Location
http://www.1000-croisieres.com/index.php4
04 75 84 67 47

Voici une proposition de devis pour 3 jours avec skipper, pour un voilier de 40 pieds type Dufour 40 année 2006

du 10 au 12 mai Tarif : 2 250 € les 3 jours soient 750 euros la journée
du 12 au 19 juin Tarif : 4 090 € les 8 jours soient 511,25 euros la journée.
du 10 au 17 juillet Tarif : 4 490 € les 8 jours soient 561,25 euros la journée.
Soi une moyenne de 607,5 euros la journée sur l'année.

Annexe 2

Détails des devis de location d'hélicoptère par agence consultée

AVIAXESS Helicopter & Jet

www.aviaxess.com
Aéroport International de Toulon-Hyères
Boulevard de la Marine
83400 Hyères France
Standard : +33 (0)4 94 00 83 38 - Portable + 33 (0)6 31 80 64 95 Fax : +33 (0)4 94 00 83 39
toulon@aviaxess.com

Le tarif horaire pour un vol en hélicoptère Type : EC130 B4 (6 places + 1 pilote).
Prix horaire au départ de l'aéroport de Toulon Hyères : 1550,00 € HT / heure, tout compris ; pilote, carburant, assurance etc.

Global Heli Services

http://www.ghs13.com/ghs.php?page=tourisme
24, route d'Allauch13011 Marseille
Tél. : 04.91.44.18.87 Fax. : 04.91.27.03.10
contact@ghs13.com

Prix pour vols organisés en week end ou travaux ou prise de vue aérienne :
Appareil biturbine, 5 place avec pilote - 1 place pour équipement sécurité en mer : 2200 euros HT l'heure estimé pour le moment.

Blugeon helicopteres

http://www.blugeon-helicopteres.com/
Le Rocher – 74 110 Morzine (haute Savoie)
Tél. +33 (0)4 50 75 99 15 Fax. +33 (0)4 50 79 13 79 Port. +33 (0)6 11 18 18 74
info@blugeon-helicopteres.com

Pour lui, besoin d'un biturbine (3 observateurs peuvent monter dedans), autonomie de 2h45, possibilité de départ de Toulon (car Hyères obligation de demande de vol, etc.), vitesse Max de 110 nœuds soient 200 Km/h.
Et le devis est donc de 2500 euros par heure tout compris (pilote, carburant, assurances, taxes etc.)

Annexe 3

Détails des devis de location de petit avion par agence consultée

Petit avion : Société AIR DOLPHIN, la Rochelle
Ils disposent d'un avion Partenavia P68C F-GIEV, pour lequel les tarifs appliqués sont :
- Location de l'avion = 490€/HT de l'heure (avion, pilote, carburant, taxes aéroportuaires : atterrissage, stationnement)
- L'hébergement, les repas pour le pilote sont en supplément et pris en charge par le loueur.
- Immobilisation de l'avion par jour non volé du fait de la Météo, manque d'équipage, etc. = Forfait : 500€/HT par jour.

Location Avion de tourisme : RENT AIRCRAFT

Aéroport Valence Chabeuil http://www.airpark.fr/ Quartiers Les Simondins - Route de Parlanges26120 CHABEUIL - DROME - FRANCETél. : 04 75 41 50 50 - Fax : 04 75 41 41 45 Mobile : 06 85 90 64 33
contact@airpark.fr

CESSNA 172 H quadriplace 446,26 euros TTC pour une heure à partir de Valence, avec carburant, mais sans pilote.

Informations supplémentaires (contacts) :

Pour un ordre d'idée, il faut compter 500 (P68) à 800 (BN2) euros de l'heure pour un bimoteur bien équipé (bubble, radio HF etc.) et surtout pensez à l'achat d'équipement de sécurité pour la mer, rarement disponibles dans les avions.

Annexe 4

Détails des devis de déplacements des pilotes

Pour un départ de vol de Toulon, les déplacements des pilotes selon les tarif SNCF sont (selon une simulation sur le serveur internet http://www.voyages-sncf.com/) :

- Morzine (Haute Savoie – Blugeon helicoptère) – Toulon = 150 euro aller – retour
- Hyères (AVIAXESS Helicopter & Jet) – Toulon = 8 euro aller – retour
- Marseille (Global Heli Services) – Toulon = 24 euro aller – retour
- Valence (RENT AIRCRAFT) – Toulon = 85 euro aller – retour.

Soit une moyenne sur les 4 déplacements de environ 67 euro pour les agences de location d'hélicoptères ou de petits avions (on ne prend pas en compte le déplacement La Rochelle – Toulon car dans ce cas le pilote vient en avion de La Rochelle et compte un prix différent).

Annexe 5

Détails du devis de l'équipement de sécurité

Ce devis se fait à partir des prix que nous pouvons observer sur internet, notamment le site Nautipart.com (http://www.nautipart.com/materiel_securite_bateau/materiel-securite-bateau.html) : Une estimation de sac d'armement complet est faite contenant :

- 4 brassières 100 N adultes
- 1 rame
- 1 écope
- 1 miroir de signalisation
- 1 lot de pinoches en bois
- 1 corne de brume
- 1 lampe torche
- 1 lot drapeau national 30x40 cm.

Cela coûte 299 euros.

A cela il faut rajouter un engin flottant de 3-4 personnes coûtant 55,17 euros.
Le prix de revient de l'équipement de sécurité est de 354,17 euros.

RESUME

Cette étude a pour double objectif de 1) caractériser la fréquentation par les cétacés d'une zone en Méditerranée nord-occidentale tout au long de l'année et 2) déterminer les moyens à mettre en œuvre pour poursuivre de façon optimisée le monitoring de ces animaux dans le futur. Pour ce faire différentes missions en mer ont eu lieu entre juin 2005 et octobre 2009. Deux jeux de données ont été collectés en effort de prospection par deux type de plates-formes : par bateau selon le protocole du transect de ligne (en collaboration avec le WWF, la Fondation Nicolas Hulot, la Swiss Cetacean Society et Cybelle Planète) et par hélicoptère en suivant le protocole du transect de bande (en collaboration avec la Marine Nationale). Ce sont près de 25 938 km de prospection en bateau et 14 540 km en hélicoptère qui ont été réalisés sur les 5 années, répartis sur les quatre saisons, dans de bonnes conditions d'observation (vent et mer ≤ 3 Beaufort). Au total 993 observations de cétacés ont été collectées à partir des bateaux et 90 à partir de l'hélicoptère.

Des analyses du peuplement, des abondances relatives, des tailles de groupes et de la distribution (indicateurs) de chacune des 6 espèces rencontrées ont été menées à l'échelle de l'année, de la saison et du mois. Ainsi globalement nous pouvons dire que le centre de la Méditerranée nord-occidentale est le siège de mouvements de cétacés tout au long de l'année. Certaines espèces n'y séjournent que temporairement (rorqual commun, globicéphale noir) et d'autres y restent tout au long de l'année en plus ou moins grand nombre (dauphin bleu et blanc, grand dauphin, dauphin de Risso, cachalot). La zone d'étude est un secteur où se concentrent les cétacés de Méditerranée en particulier en été et en automne, mais des variations existent en fonction des années.

Ces variations dans les indicateurs ci-dessus sembleraient être reliées aux évolutions mensuelles de paramètres environnementaux tels que la température de surface de la mer (SST) et la chlorophylle *a* (*Chl a)* sur l'ensemble de la zone, à l'échelle de la macro-écologie. Ainsi, on observe la précocité ou le retard de la venue estivale ou la diminution de l'abondance relative de certaines espèces (rorqual commun, dauphin bleu et blanc et globicéphale par exemple) dans la zone est fonction des températures hivernales ou encore du pic de chlorophylle printanier. Parmi les années étudiées, nous voyons se dessiner deux tendances : des années où le pic de production de *Chl a* est faible et précoce en mars (ex. 2007 et 2009), et des années où le pic de production primaire est important et se situe en avril (2005, 2006 et 2008). De même, deux années se montrent particulièrement atypiques au niveau de la température : 2006 détient ainsi un pic exceptionnel de température en juillet (SST = + 3,5°C par rapport à la moyenne annuelle), tandis que 2007 se caractérise par un hiver (2006-2007) très doux (SST = + 1°C par rapport à la moyenne ann uelle) et un printemps plus chaud que les autres années. Il est intéressant de noter que 2007 et 2009 sont des années où les abondances relatives estivales des cétacés ont souvent été les plus faibles et en particulier pour les espèces comme le rorqual commun, alors qu'en 2006 les abondances relatives de plusieurs espèces étaient les plus élevées.

Les indicateurs concernant les cétacés (distribution et abondance relative) ont été analysés dans deux secteurs attenants : le Sanctuaire PELAGOS et les eaux adjacentes situées à l'Ouest de ce dernier. Les résultats montrent des mouvements d'animaux ou des changements à court terme (d'une année sur l'autre). Le Sanctuaire ne couvre pas l'ensemble de l'étendue des populations de cétacés du nord du bassin occidental, mais semble couvrir une grande partie des zones préférentielles du grand dauphin et du cachalot en particulier tout au long de l'année. Les autres espèces fréquentent aussi bien le Sanctuaire que les zones adjacentes, y compris lors de leur abondance estivale ou automnale maximale. Néanmoins, les animaux dans le Sanctuaire viendraient pour s'alimenter et se reproduire donc seraient potentiellement protégés lors de leurs phases vitales. En fonction des années, probablement en relation avec les conditions environnementales, les espèces viennent abondamment jusque dans le Sanctuaire, tandis que d'autres années elles restent plutôt dans les eaux adjacentes situées à l'Ouest et au Sud-Ouest de celui-ci. Les résultats montrent également au niveau saisonnier des différences entre les deux secteurs qui font penser à des mouvements :

plusieurs espèces viendraient par l'Ouest dans le Sanctuaire au printemps, y séjourneraient l'été et au début de l'automne puis repartiraient à nouveau par l'Ouest.

Cet état de fait peut toutefois évoluer dans les années à venir, c'est la raison pour laquelle il est important de poursuivre les suivis des indicateurs chaque année. Afin d'avancer dans cette thématique importante, nous avons comparé plusieurs options de monitoring en terme de résultats, choix de stratégie d'échantillonnage comme en terme de logistique. Notamment nous avons comparé les prospections faites en bateau par rapport aux prospections faites en hélicoptère sur la même zone aux mêmes périodes. Globalement le peuplement obtenu par les deux jeux de données est quasiment identique, avec une grande majorité de dauphins bleus et blancs, puis de rorquals communs. En fonction des années et des saisons, les deux jeux de données donnent des résultats relativement en accord pour le rorqual commun, plus variables pour le dauphin bleu et blanc et plus aléatoires pour les autres espèces dû fait de leur faible nombre dans les prospections aériennes. Une comparaison plus précise des données de la période estivale collectées par les deux plates-formes concernant les deux espèces les plus communes a été réalisée. Il en ressort que pour le rorqual commun les abondances relatives d'une part et les abondances absolues d'autre part sont similaires, moyennant un facteur correctif sur les données hélicoptère correspondant à la proportion annuelle de temps passé en surface par les rorquals. Pour le dauphin bleu et blanc, de grandes différences apparaissent entre les deux jeux de données, dues à des biais de visibilité, de détection ou d'échantillonnage.

Concernant l'échantillonnage nous avons comparé les résultats obtenus sur transects prédéfinis fixes (TP) par rapport aux transects opportunistes (TA) et ce pour le rorqual et le dauphin bleu et blanc au niveau de l'année et de la saison. Bien que des différences apparaissent, elles ne sont pas statistiquement significatives. Les résultats des TP seraient donc représentatifs de ce qui se passe potentiellement dans la zone globale et que l'on observe à partir des TA, car ils sont compris dans l'intervalle de confiance à 95% des TA.

Au final nous estimons que les transects opportunistes de qualité scientifiques (écovolontariat encadré, participation aux survols de la Marine Nationale) sont essentiels et apportent des informations fiables à moindre coût. Par ces méthodes, sous couvert d'un jeu suffisant de données, des suivis peuvent se faire chaque année dans des zones clés, restreintes géographiquement. Dans ce cas, un entrelacs dense de transects opportunistes couvrant bien la zone définie peut générer des résultats fiables. A côté de ces suivis annuels, de grosses campagnes dédiées aux recensements pourraient être mises en œuvre, par moyens aériens ou par bateaux, tous les 5 ans par exemple. Dans ces cas là l'échantillonnage devrait être effectivement planifié, prédéfini, régulier et dense (type TP), afin de limiter les biais d'hétérogénéité spatiale et d'obtenir des résultats robustes avec un faible CV.