



MARITTIMO - IT FR - MARITIME
TOSCANA - SICILIA - SARDEGNA - CORSICA

GIONHA

GOVERNANCE AND INTEGRATED OBSERVATION
OF MARINE NATURAL HABITAT



Programma cofinanziato con il Fondo
Europeo per lo Sviluppo Regionale
Programme cofinancé par le Fonds
Européen de Développement Régional

Phase 2.2.Élaboration des données sur la présence et la distribution du grand dauphin (*Tursiops truncatus*) dans les eaux de l'Archipel toscan, des Bouches de Bonifacio et de la mer Ligure

Rapport final
décembre 2011

Contrat ARPAT – Université de Gênes - Département d'étude du territoire et de ses ressources (Dip.Te.Ris)

Département d'étude du territoire et de ses ressources (Dip.Te.Ris)

**GIONHA
Governance and Integrated Observation of marine Natural Habitat.**

Contrat Arpat – Dip.Te.Ris.

Élaboration des données sur la présence et la distribution du grand dauphin (*Tursiops truncatus*) dans les eaux de l'Archipel toscan, des Bouches de Bonifacio et de la mer Ligure

**Rapport final
décembre 2011**

*
* *

Objet : Contrat ARPAT-Dip.Te.Ris. (ex DIBIO) du 15 mai 2011 : Élaboration des données sur la présence et la distribution de certaines espèces de mammifères marins, projet GIONHA. Montant : 16 000,00 € (taxe sur la valeur ajoutée non comprise).

Cofinancement de l'association de promotion sociale « MENKAB: il respiro del mare » d'un montant de 10 000 € (taxe sur la valeur ajoutée comprise), égal à 30 % du coût total engagé.

Rapport final, 20 décembre 2011

Sous la direction de Mmes Cristina Fiori et Jessica Alessi (Dip.Te.Ris) et de MM. Maurizio Würtz (Dip.Te.Ris) et Mehdi Aissi (APS MENKAB)

Photographies de Jessica Alessi, Cristina Fiori et Mehdi Aissi.

Le présent rapport de 96 pages est un document à usage interne de l'ARPAT et du Département de biologie de l'Université de Gênes. Son utilisation et sa diffusion doivent être au préalable concordées avec ses auteurs.

*
* *

1. Prémisses

2. Campagne Gionha – Collecte des données

2.1 Coopérative Pelagos

2.2 Office de l'Environnement de la Corse (OEC)

2.3 A.P.S. MENKAB: il respiro del mare

2.3.1 Campagne A

2.3.2 Campagne B

2.3.3 Campagne C

3. Données complémentaires

3.1 Données complémentaires des campagnes de recherche menées par le Dip.Te.Ris au cours de la période 2005-2009

4. Estimation de la population de grands dauphins

4.1 Techniques de capture-recapture au moyen de la photo-identification

4.1.1 Estimation de la population totale

4.1.2 Modèles de population fermée

- 4.1.3 Photo-identification
- 4.1.4 Changements des marques naturelles au cours du temps
- 4.1.5 Caractère unique des marques naturelles
- 4.1.6 Reconnaissance des marques naturelles
- 4.1.7 Réponses comportementales et hétérogénéité
- 4.1.8 Comparaisons (Matching)
- 4.2 Résultats**
 - 4.2.1 Estimation de l'abondance de la population (aire Archipel toscan-Ligure)
 - 4.2.2 Estimation de l'abondance de la population (aire Sud Corse-Sardaigne Nord-Est)
- 4.3 Conclusions**

5. Structure de la population et analyse sociale

5.1 Analyse de réseaux (Network Analysis)

- 5.1.1 Relation entre les individus
- 5.1.2 Structure de la population

5.2 Résultats

- 5.2.1 Indices d'association et analyse de partitionnement de données (cluster)
- 5.2.2 Structure sociale
- 5.2.3 Analyse temporelle

5.3 Conclusions

7. Trawlers e Non Trawlers. Comparaison entre l'aire Archipel toscan-mer Ligure et l'aire des Bouches de Bonifacio

7.1 Résultats

8. Distribution spatiale

8.1 La géostatistique

- 8.1.2 Modèles pour l'analyse des données spatiales
- 8.1.3 L'approche probabiliste : le variogramme
- 8.1.4 Reconstruction spatiale des phénomènes au moyen d'estimations

8.2 Krigeage (Kriging)

8.3 SURFER ®

8.4 Résultats

8.5 Conclusions

9. Bibliographie

Annexe 1

*
* *

1. Prémisses

Le Département d'étude du territoire et de ses ressources (Dip.Te.Ris) a mis au point, pour le compte de l'ARPAT, des données relatives à la présence et à la répartition du grand dauphin (*Tursiops truncatus* Montagu, 1821) dans les eaux de l'Archipel toscan et de la mer Ligure dans le cadre du projet GIONHA.

Conformément à l'art. 2 du contrat en objet, le Département a été chargé :

- d'analyser la population des cétacés, en particulier celle du grand dauphin (*Tursiops truncatus*), et d'estimer leur abondance dans l'aire transfrontalière qui intéresse le projet GIONHA ; d'analyser leurs déplacements et leur structure sociale afin d'évaluer les associations temporaires et/ou permanentes entre individus.
- d'élaborer une cartographie par habitat mapping et de définir d'éventuelles zones spéciales de conservation (ZSC).

L'activité a duré six mois, de juin à décembre 2011.

Comme prévu, le Dip.Te.Ris met à disposition ses données chronologiques (2005-2009), décrites dans le présent rapport, pour de futures élaborations. En particulier, les données qui concernent la population du grand dauphin (*Tursiops truncatus* Montagu, 1821) dans les eaux de l'Archipel toscan et de la mer Ligure seront utilisées pour :

- estimer l'abondance de la population (chapitre 4).
- définir des zones spéciales de conservation (ZSC) en appliquant des techniques géostatistiques (chapitre 8).

*
* *

2. Campagne Gionha – Collecte des données

2.1 Coopérative Pelagos

Au total, **36** sorties quotidiennes ont été effectuées, au cours desquelles **1 500** milles nautiques environ ont été parcourus et **20** observations effectuées.

Les Figures 1 et 2 illustrent, de façon synthétique, la route suivie pendant les échantillonnages et la distribution des observations du grand dauphin au cours de l'ensemble des campagnes GIONHA.

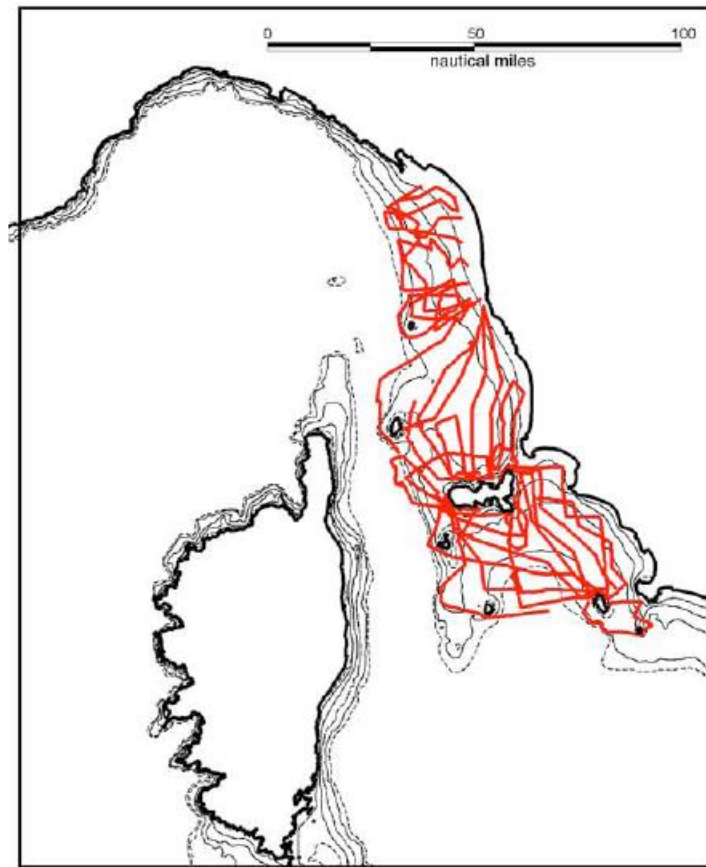


Figure 1. Route suivie pendant les échantillonnages effectués par la Coopérative Pelagos.

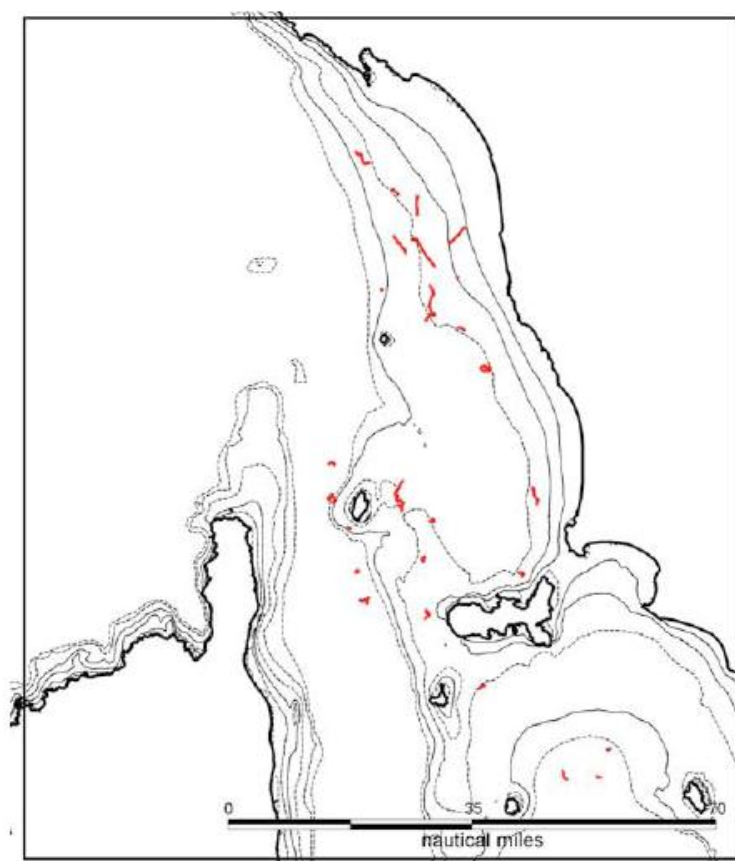


Figure 2. Position des observations du grand dauphin pendant les échantillonnages effectués par la Coopérative.

2.2 Office de l'Environnement de la Corse (OEC)

L'OEC a mené trois campagnes annuelles (Tab. 1) dans le détroit de Bonifacio et le long de la côte nord orientale de la Sardaigne. Au total, **34** sorties quotidiennes ont été effectuées, au cours desquelles **1 000** milles nautiques ont été parcourus. On a réalisé **38** observations au cours desquelles **95** individus ont été photo-identifiés et **65** recaptures relevées (Tab. 2).

ID de la sortie	Date	Nombre d'observations
1	25/04/09	1
2	05/05/09	1
3	16/06/09	2
4	17/06/09	1
5	30/06/09	1
6	01/07/09	1
7	15/07/09	1
8	16/07/09	2
9	30/07/09	1
10	10/08/09	1
11	12/08/09	1
12	13/08/09	1
13	14/08/09	1

14	17/08/09	1
15	18/08/09	1
16	26/08/09	1
17	02/09/09	1
18	15/09/09	1
19	28/09/09	2
20	30/09/09	1
21	09/10/09	1
22	28/10/09	1
23	29/10/09	1
24	30/10/09	2
25	27/04/10	1
26	24/06/10	1
27	30/06/10	1
28	13/07/10	1
29	17/07/10	1
30	12/08/10	1
31	14/04/10	1
32	18/05/10	1
33	15/06/09	1
34	07/07/10	1
Total		38

Tableau 1. – OEC, détail du nombre d’observations par sortie quotidienne.

Date - Sortie	Nombre d’individus photo-identifiés	Nombre de recaptures
25/04/09	4	
05/05/09	6	
16/06/09	11	
17/06/09	4	
30/06/09	0	
01/07/09	1	
15/07/09	0	1
16/07/09	11	5
30/07/09	0	
10/08/09	2	
12/08/09	5	2
13/08/09	5	
14/08/09	0	3
17/08/09	3	
18/08/09	0	1
26/08/09	1	
02/09/09	3	2
15/09/09	2	1
28/09/09	9	3
30/09/09	4	12
09/10/09	0	
28/10/09	0	2
29/10/09	7	3
30/10/09	1	2
27/04/10	6	1
24/06/10	0	7
30/06/10	0	3
13/07/10	1	5
17/07/10	0	0
12/08/10	2	5

14/04/10	1	
18/05/10	2	3
15/06/09	0	2
07/07/10	0	2
Total	95	65

Tableau 2. OEC, nombre d'animaux photo-identifiés par sortie quotidienne (Corse-Sardaigne).

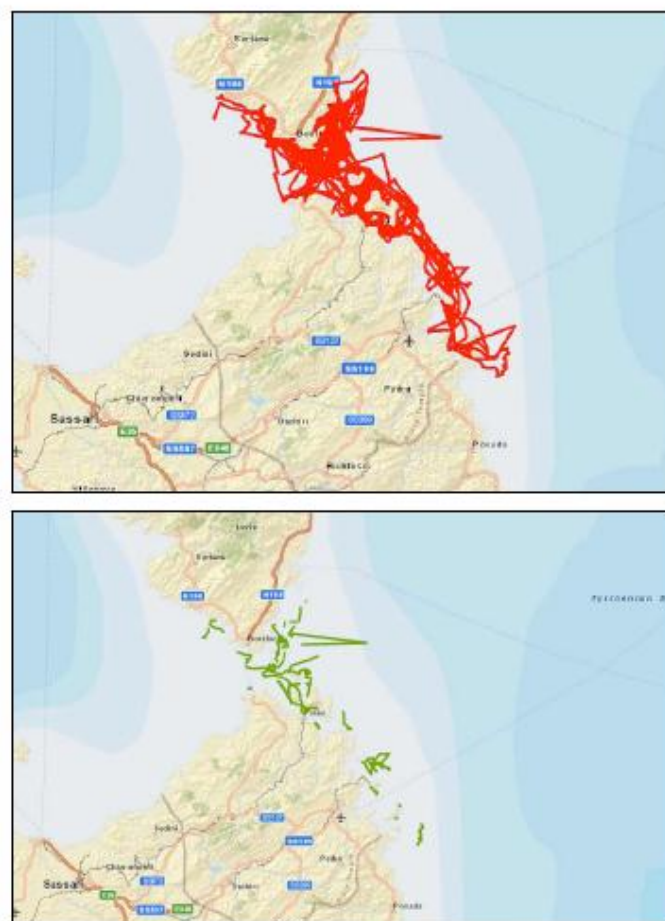


Figure 3. En haut: Tracés des routes suivies par l'OEC au cours de la période 2009-2011. En bas: Position des observations.

*
* *

2.3 A.P.S. MENKAB: il respiro del mare

Trois campagnes ont été menées dans les eaux de l'Archipel toscan et de la mer Ligure. Elles sont respectivement désignées dans les lignes qui suivent **A**, **B** et **C**. Au total, **12** sorties quotidiennes ont été effectuées, au cours desquelles **1 696** milles ont été parcourus, ce qui correspond à une superficie couverte de **2 544** milles nautiques carrés. Au total, on a réalisé **27** observations, **159** individus ont été photo-identifiés et on a relevé **31** recaptures.

Les Figures 4 et 5 illustrent, de façon synthétique, la route suivie pendant les échantillonnages et la distribution des observations du grand dauphin au cours de l'ensemble des campagnes GIONHA.

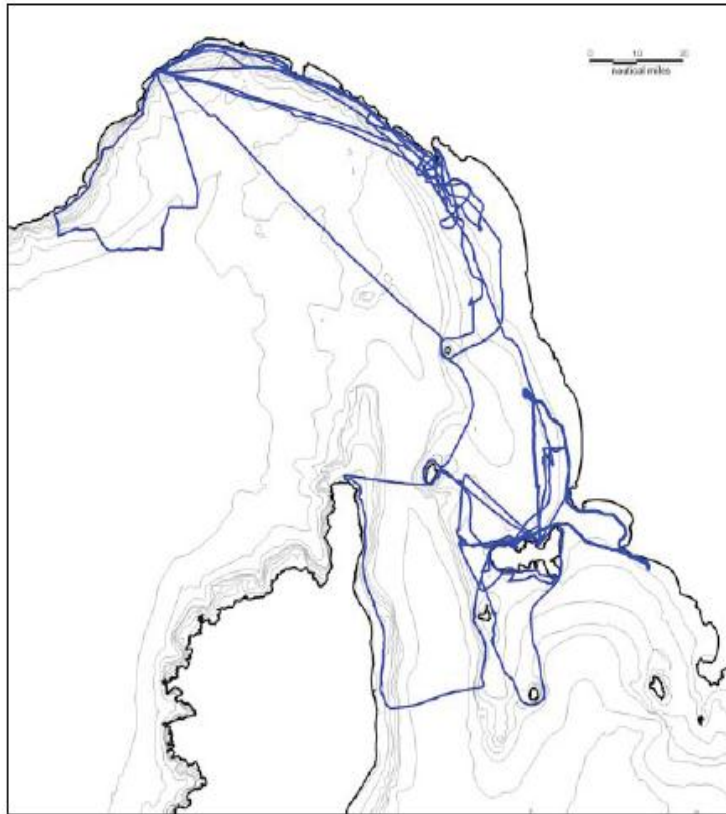


Figure 4. Campagne GIONHA 2010-2011. Routes suivies d'octobre 2010 à avril 2011 (1 696 milles au total).

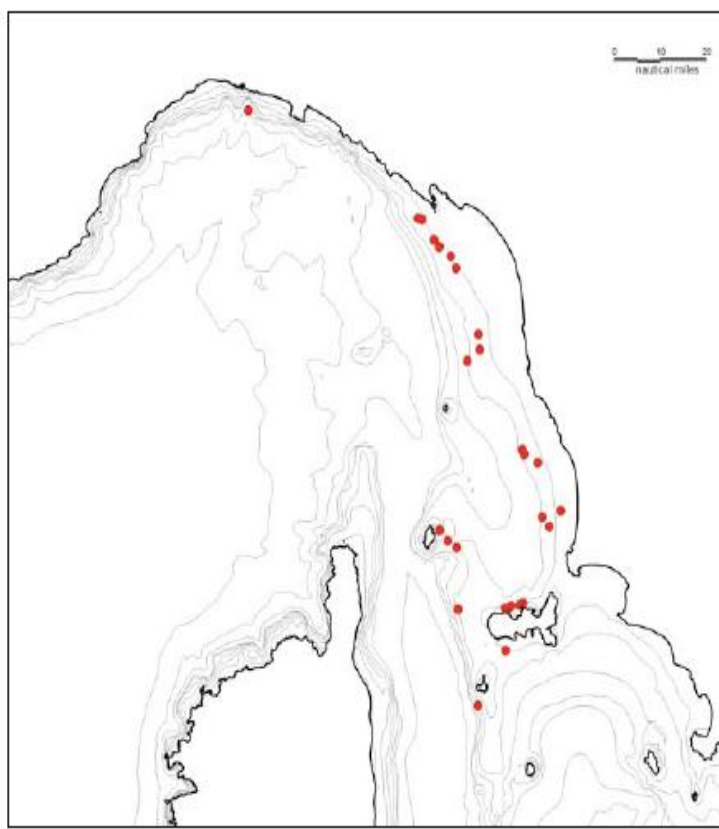


Figure 5. Campagne GIONHA 2010-2011. Observations d'octobre 2010 à avril 2011 (27 observations et 159 individus photo-identifiés au total).

2.3.1 Campagne A

La campagne A a été réalisée les 22 et 23 octobre 2010. Le Tableau 3 reporte les valeurs d'effort (en milles nautiques) et le nombre d'observations par sortie quotidienne. Le Tableau 4 présente les coordonnées géographiques (en degrés) de chaque observation, le nombre d'animaux identifiés au moyen des techniques de photo-identification et le nombre d'animaux observés (estimations minimale et maximale).

Les Figures 6 et 7 illustrent en détail le parcours quotidien et la position des observations.

ID de la sortie	Date	Effort (milles)	Nombre d'observations
1	22/10/10	54	3
1	23/10/10	46	2

Tableau 3. Campagne A. Détail des valeurs d'effort et nombre d'observations par sortie quotidienne.

ID de la sortie	ID de l'observation	Coordonnées		Nb d'individus photo-identifiés	Nb d'individus (est. min.-max.)	Nb de recaptures
1	20101022_F_A001	43,11733° N	10,45535° E	2	3	0
1	20101022_F_A002	43,06803° N	10,40015° E	4	3-5	0
1	20101022_F_A003	43,09781° N	10,36606° E	5	4-8	0

2	20101022_F_A004	42,82073° N	10,18430° E	1	1	0
2	20101022_F_A005	42,82491° N	9,959533° E	15	10-30	2

Tableau 4. Campagne A. Coordonnées géographiques en degrés, nombre d’animaux photo-identifiés et estimations du nombre d’individus (min.-max.) par observation et sortie quotidienne.

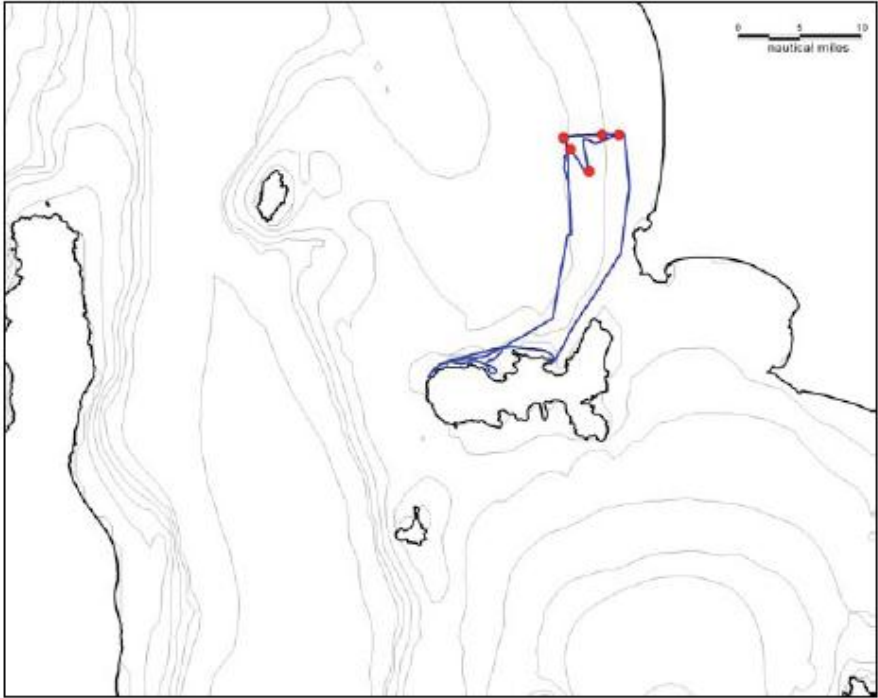


Figure 6. Campagne A. Sortie n° 1 du 22/10/10. Parcours et position des observations.

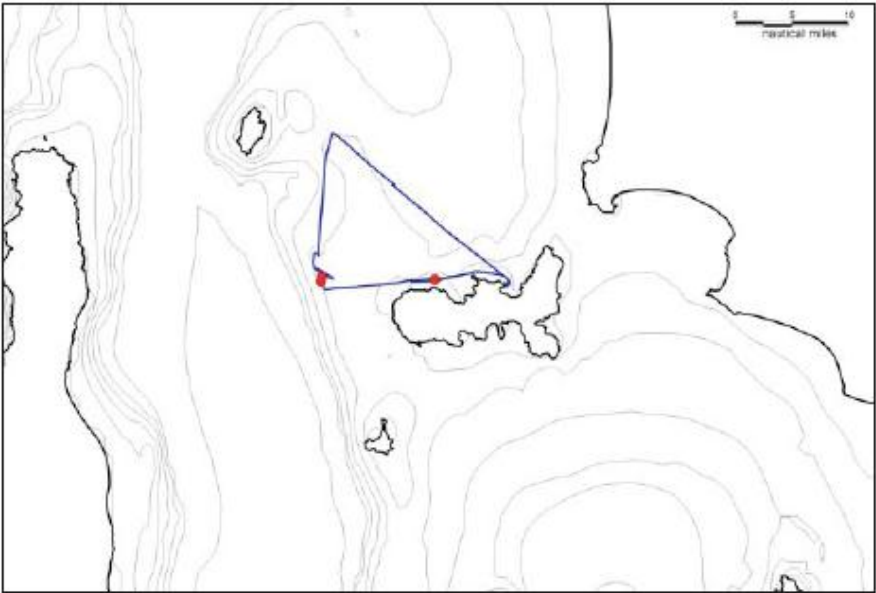


Figure 7. Campagne A. Sortie n° 2 du 23/10/10. Parcours et position des observations.

*
* *

2.3.2. Campagne B

La campagne B a été réalisée entre le 14 janvier et le 11 mars 2011. Le Tableau 5 reporte les valeurs d'effort (en milles nautiques) et le nombre d'observations par sortie quotidienne. Le Tableau 6 présente les coordonnées géographiques de chaque observation, le nombre d'animaux identifiés au moyen des techniques de photo-identification et le nombre d'animaux observés (estimations minimale et maximale).

Les Figures 8 à 13 illustrent en détail le parcours quotidien et la position des observations.

ID de la sortie	Date	Effort (milles)	Nombre d'observations
3	14/01/11	134	1
4	09/03/11	116	2
5	10/03/11	113	3
6	11/03/11	116	2
3/b	24/01/11	110	0
4/b	24/02/11	137	0

Tableau 5. Campagne B. Détail des valeurs d'effort et nombre d'observations, par sortie quotidienne.

ID de la sortie	ID de l'observation	Coordonnées		Nb d'individus photo-identifiés	Nb d'individus (est. min.-max.)	Nb de recaptures
3	20110114_F_A006	44,00163° N	9,78328° E	6	7-10	0
4	20110114_F_A007	44,00408° N	9,76433° E	10	10-15	1
4	20110114_F_A008	43,88213° N	9,93651° E	3	4-6	0
5	20110114_F_A009	43,65276° N	10,0560° E	1	1	0
5	20110114_F_A010	43,60806° N	10,0613° E	2	3	0
5	20110114_F_A011	43,57293° N	10,0029° E	3	4	0
6	20110114_F_A012	43,93913° N	9,84231° E	4	5-10	2
6	20110114_F_A013	43,88966° N	9,92510° E	11	5-15	6

Tableau 6. Campagne B. Coordonnées, nombre d'animaux photo-identifiés et estimations du nombre d'individus (min.-max.) par observation et sortie quotidienne.

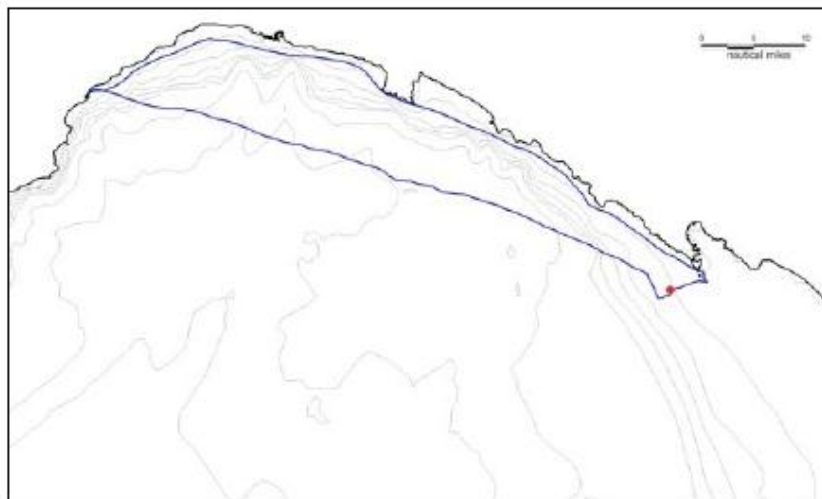


Figure 8. Campagne B. Sortie n° 3 du 14/01/11. Parcours et position des observations.

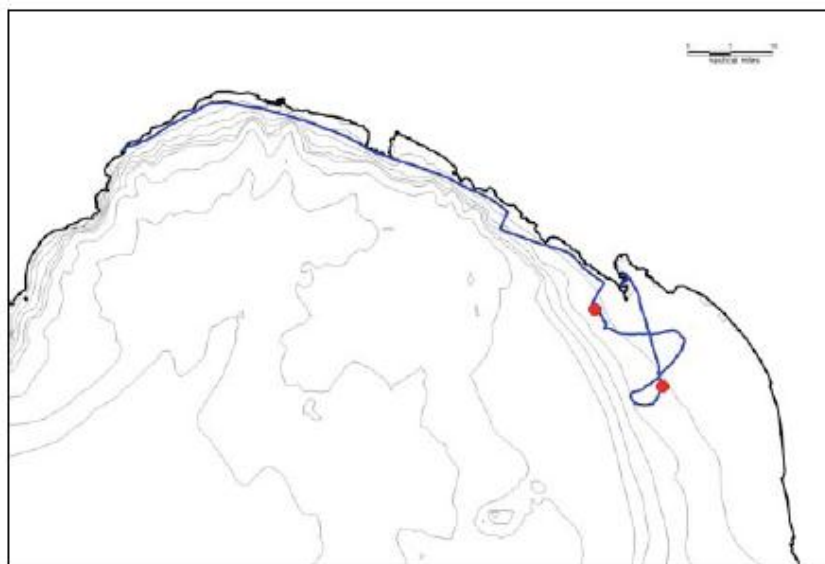


Figure 9. Campagne B. Sortie n° 4 du 09/03/11. Parcours et position des observations.

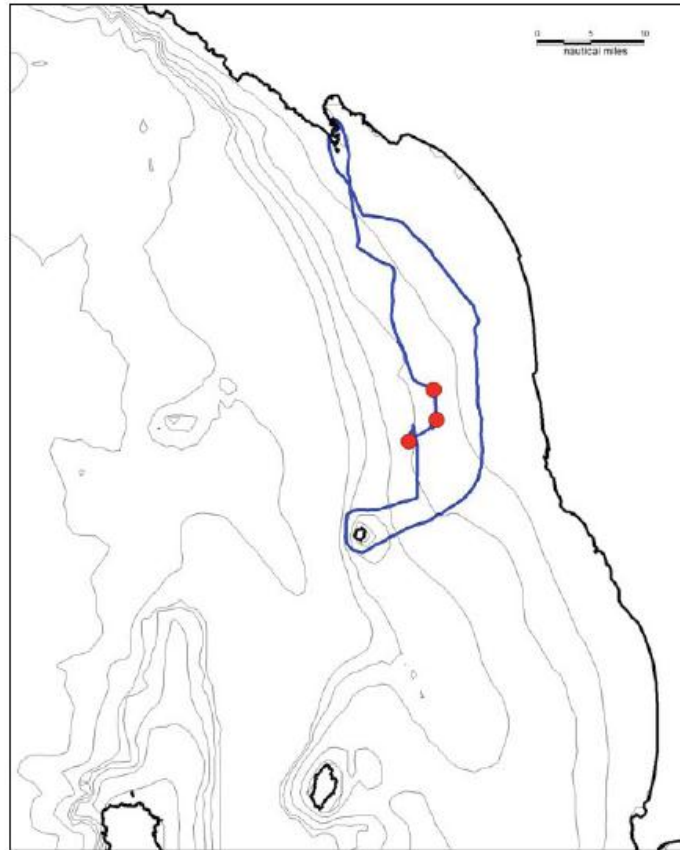


Figure 10. Campagne B. Sortie n° 5 du 10/03/11. Parcours et position des observations.

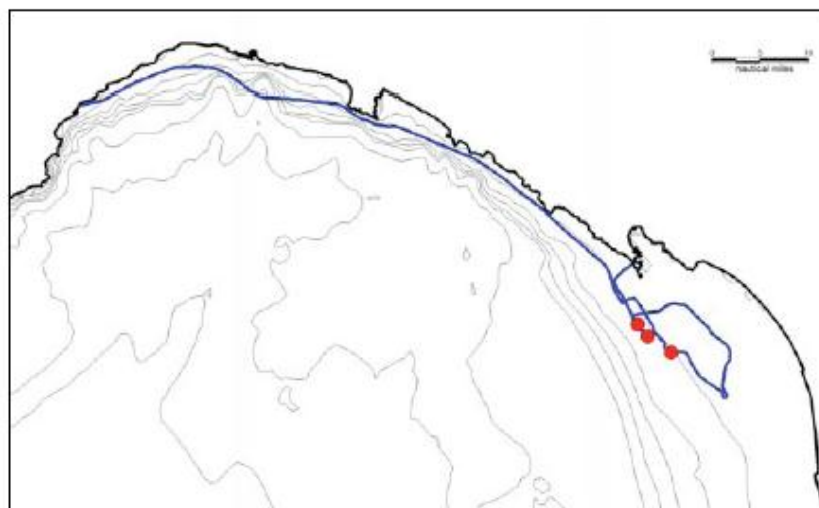


Figure 11. Campagne B. Sortie n° 6 du 11/03/11. Parcours et position des observations.

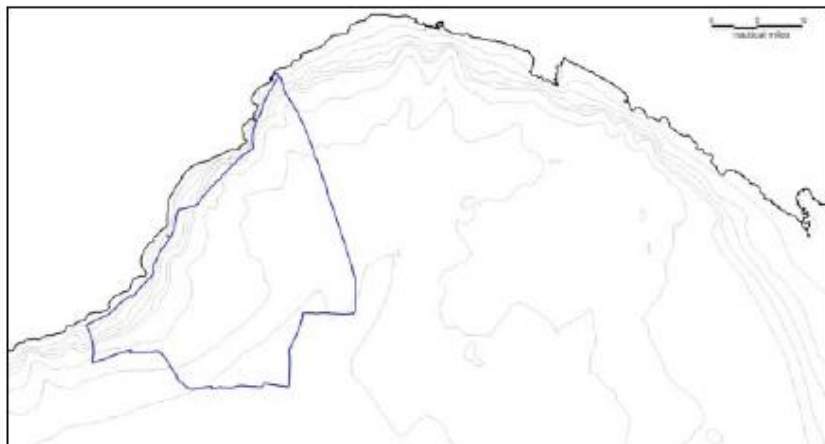


Figure 12. Campagne B. Sortie n° 3/b du 24/01/11. Le parcours effectué pour le relevé des grands dauphins est réalisé sur le plateau continental (bathymétrie 0-150 m).

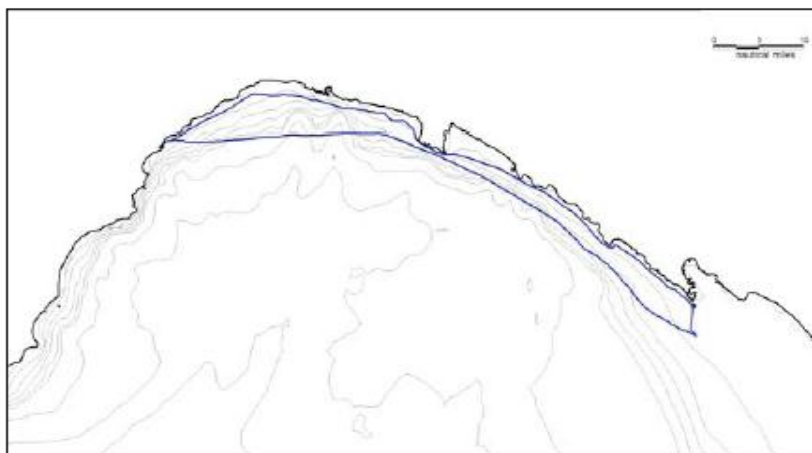


Figure 13. Campagne B. Sortie n° 4/b du 24/02/11. Le parcours effectué pour le relevé des grands dauphins est réalisé sur le plateau continental (bathymétrie 0-150 m).

*
* *

2.3.3 Campagne C

La campagne C a été réalisée entre le 4 et le 9 avril 2011. Le Tableau 7 reporte les valeurs d'effort (en milles nautiques) et le nombre d'observations par sortie quotidienne. Le Tableau 8 présente les coordonnées géographiques de chaque observation, le nombre d'animaux identifiés au moyen des techniques de photo-identification (voir Annexe II) et le nombre d'animaux observés (estimations minimale et maximale). Les Figures 14 à 19 illustrent en détail les parcours quotidiens et les positions des observations.

ID de la sortie	Date	Effort (milles)	Nombre d'observations
7	04/04/11	166	2
8	05/04/11	75	2
9	06/04/11	179	4
10	07/04/11	130	3
11	08/04/11	98	2
12	09/04/11	217	1

Tableau 7. Campagne C. Détail des valeurs d'effort et nombre d'observations, par sortie quotidienne.

ID de la sortie	ID de l'observation	Coordonnées		Nb d'individus photo-identifiés	Nb d'individus (est. min.-max.)	Nb de recaptures
7	20110404_F_A014	43,05750° N	9,86825° E	15	10-20	3
7	20110404_F_A015	42,83551° N	10,27461° E	9	10-15	0
8	20110404_F_A016	42,69216° N	10,18938° E	2	2	0
8	20110404_F_A017	42,81614° N	10,19598° E	5	4-8	0
9	20110404_F_A018	42,82728° N	10,21558° E	5	5-10	2
9	20110404_F_A019	43,02488° N	9,90751° E	2	4	2
9	20110404_F_A020	43,00481° N	9,95148° E	5	5-10	3
9	20110404_F_A021	42,82985° N	10,25715° E	5	4-6	2
10	20110404_F_A022	43,26246° N	10,34521° E	2	2	1
10	20110404_F_A023	43,30228° N	10,26893° E	8	5-10	0
10	20110404_F_A024	43,28800° N	10,27990° E	11	10-15	3
11	20110404_F_A025	42,58631° N	10,11685° E	7	5-10	0
11	20110404_F_A026	42,54256° N	10,11650° E	10	5-15	2
12	20110404_F_A027	43,17356° N	10,36223° E	6	5-10	1

Tableau 8. Campagne C. Coordonnées, nombre d'animaux photo-identifiés et estimations du nombre d'individus (min.-max.) par observation et sortie quotidienne.

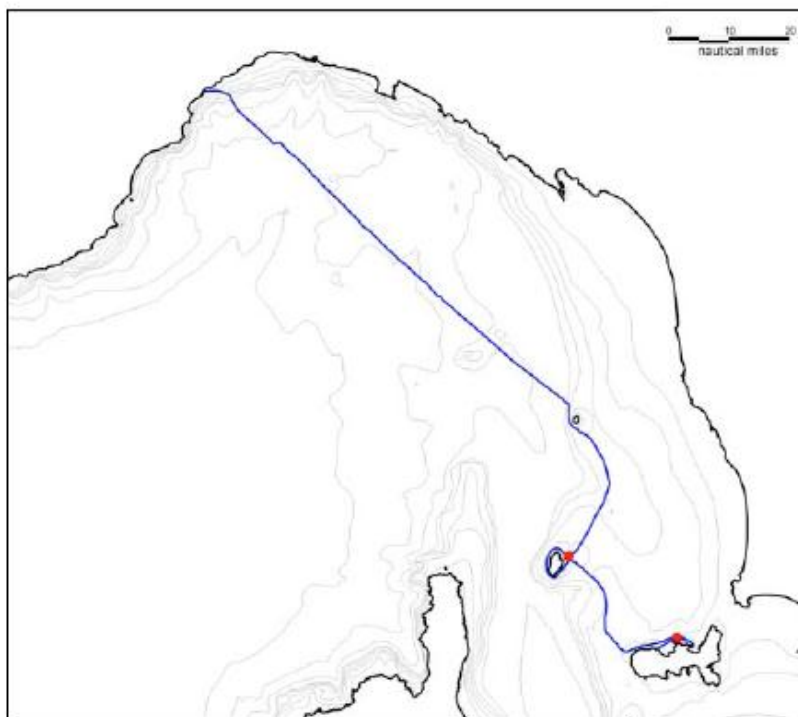


Figure 14. Campagne C. Sortie n° 7 du 04/04/11. Le parcours effectué pour le relevé des grands dauphins est réalisé sur le plateau continental (bathymétrie 0-150 m). Les observations sont indiquées en rouge.

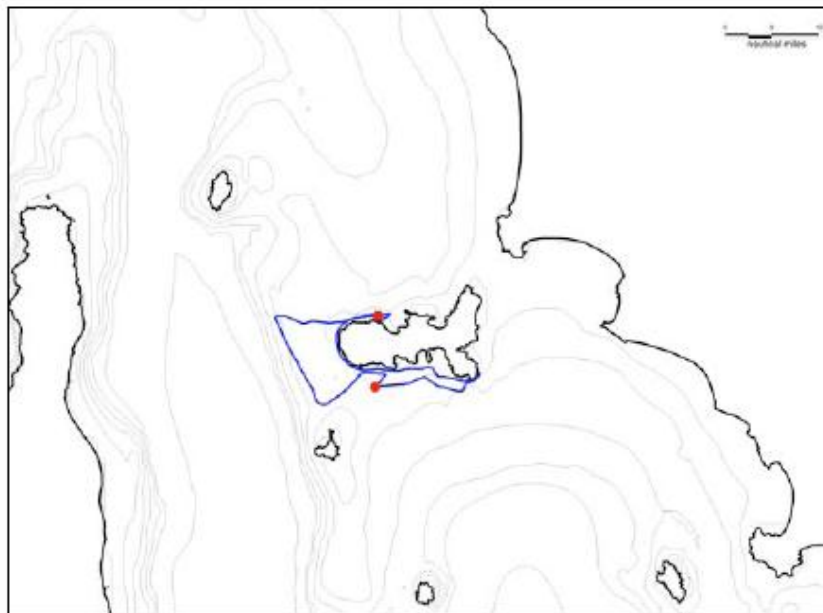


Figure 15. Campagne C. Sortie n° 8 du 05/04/11. Parcours et position des observations.

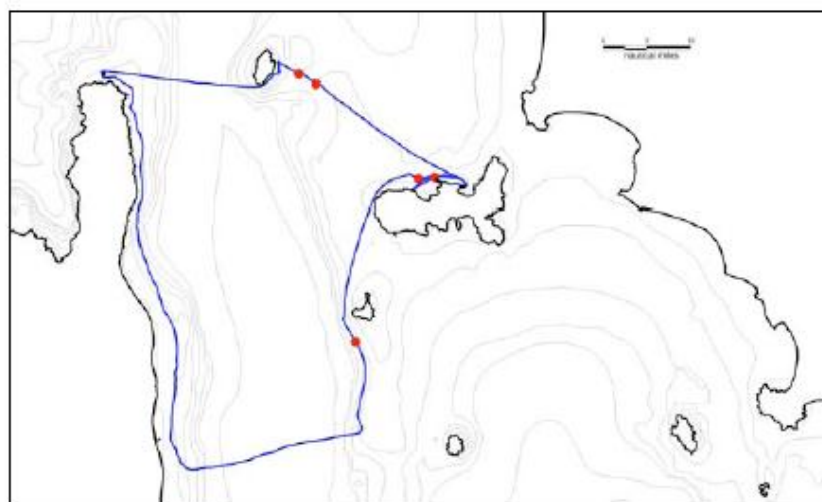


Figure 16. Campagne C. Sortie n° 9 du 06/04/11. Parcours et position des observations.

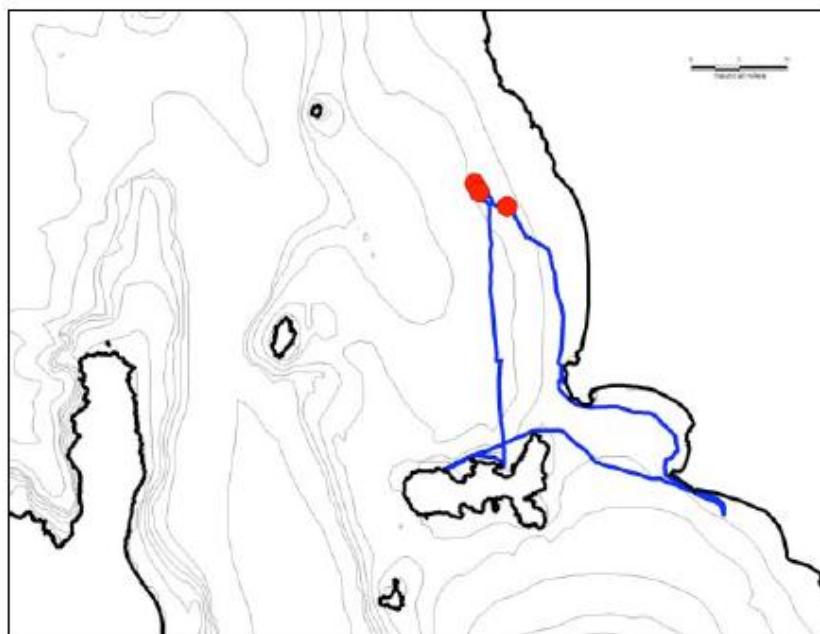


Figure 17. Campagne C. Sortie n° 10 du 07/04/11. Parcours et position des observations.



Figure 18. Campagne C. Sortie n° 11 du 08/04/11. Parcours et position des observations.

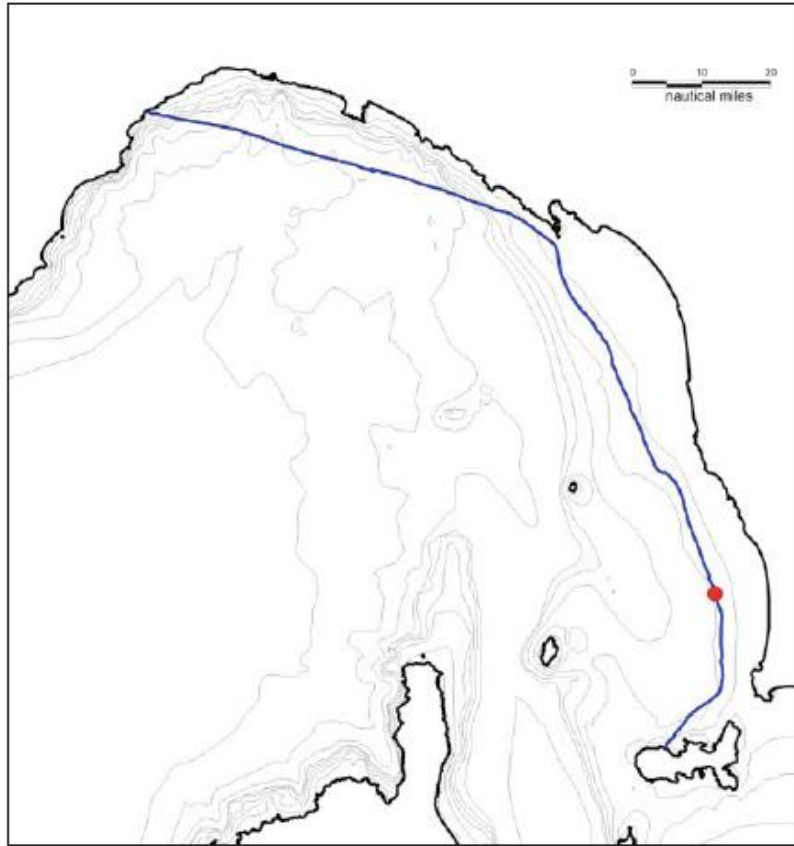


Figure 19. Campagne C. Sortie n° 12 du 09/04/11. Parcours et position des observations.

*
* *

3. Données complémentaires

Les données complémentaires, dont la liste est présentée ci-après, sont mises à disposition par le Dip.Te.Ris pour de futures élaborations. Elles pourront être utilisées avec les données obtenues à partir des campagnes GIONHA, pour les applications prévues par le contrat.

3.1 Données complémentaires des campagnes de recherche menées par le Dip.Te.Ris au cours de la période 2005-2009

Au total, la base de données du Dip.Te.Ris relative aux années 2005-2009 comprend **251** individus photo-identifiés du côté gauche et **240** du côté droit. Parmi eux, **205** individus ont été identifiés des deux côtés.

Au cours de la période considérée, on a effectué **162** recaptures d'exemplaires identifiés du côté gauche, avec un minimum de 2 recaptures et un maximum de 8 recaptures par exemplaire. En ce qui concerne les exemplaires identifiés du côté droit, les recaptures s'élèvent à 150, avec un minimum de 2 recaptures et un maximum de 7 recaptures par exemplaire.

Année	Nb. de sorties	Effort (milles)
2005	8	754
2006	73	3567
2007	8	582
2008	3	257
2009	2	156

Tableau 9. Base de données Dip.Te.Ris. Effort d'échantillonnage annuel des campagnes consacrées à l'étude du grand dauphin.

Année	Nb. d'observations	Estimation du nb. d'exemplaires
2005	9	251
2006	49	228
2007	17	180
2008	3	52
2009	2	15

Tableau 10. Base de données Dip.Te.Ris. Grand dauphin, nombre d'observations et nombre d'exemplaires observés chaque année.

Année	Nb. d'exemplaires photo-identifiés (côté gauche)	Nb. d'exemplaires photo-identifiés (côté droit)
2005	54	51
2006	118	111
2007	59	60
2008	18	16
2009	2	2

Tableau 11. Base de données Dip.Te.Ris. Grand dauphin, nombre d'exemplaires photo-identifiés chaque année.

Les Figures 20 à 24 illustrent de façon synthétique la route suivie pendant les échantillonnages menés entre 2005 et 2009.

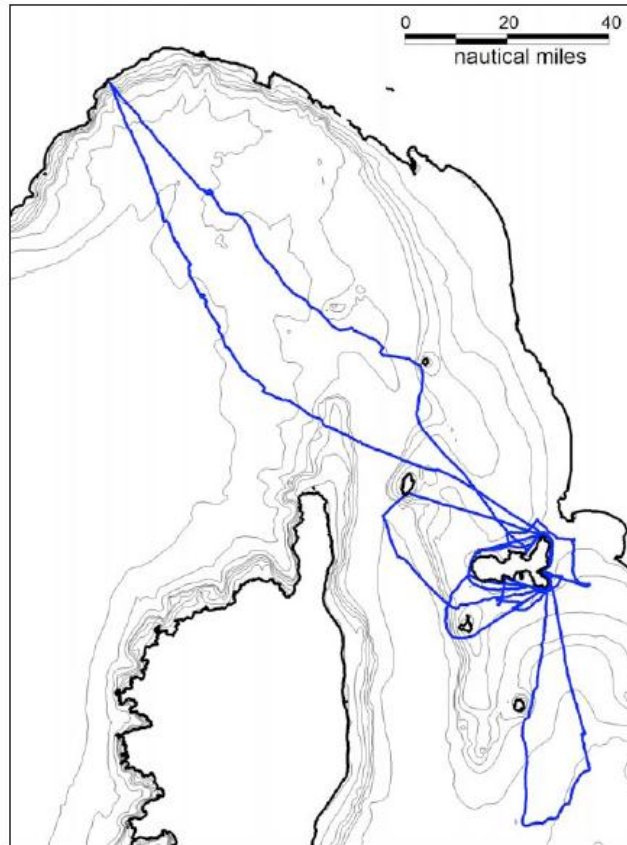


Figure 20. Base de données Dip.Te.Ris. Grand dauphin, parcours effectués au cours de l'année 2005.

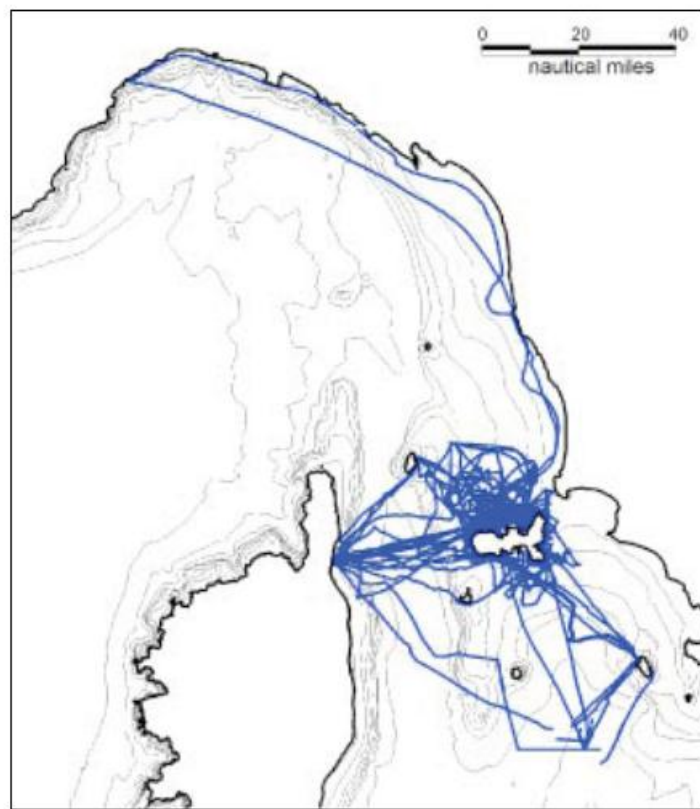


Figure 21. Base de données Dip.Te.Ris. Grand dauphin, parcours effectués au cours de l'année 2006.

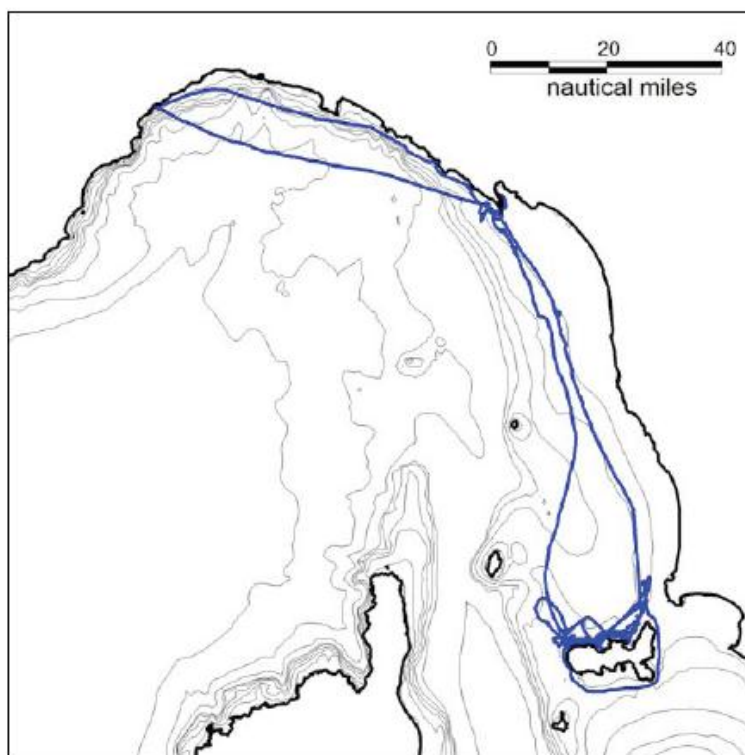


Figure 22. Base de données Dip.Te.Ris. Grand dauphin, parcours effectués au cours de l'année 2007.

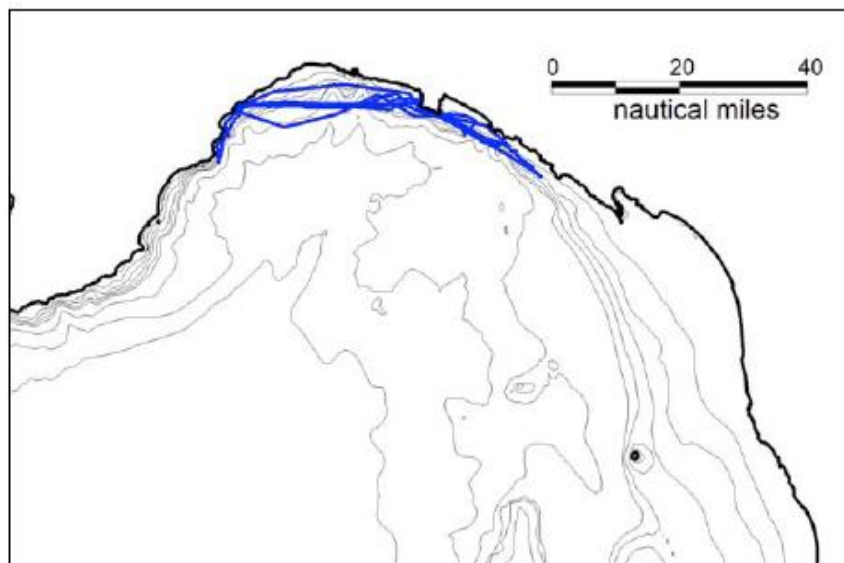


Figure 23. Base de données Dip.Te.Ris. Grand dauphin, parcours effectués au cours de l'année 2008.

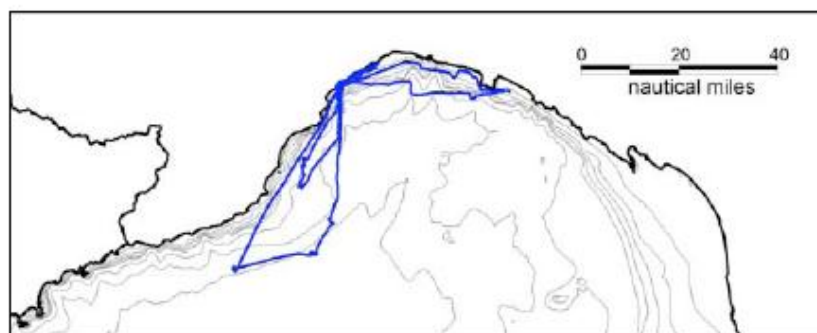


Figure 24. Base de données Dip.Te.Ris. Grand dauphin, parcours effectués au cours de l'année 2009.

Les Figures 25 à 29 illustrent la répartition des observations effectuées chaque année pendant les campagnes menées entre 2005 et 2009.

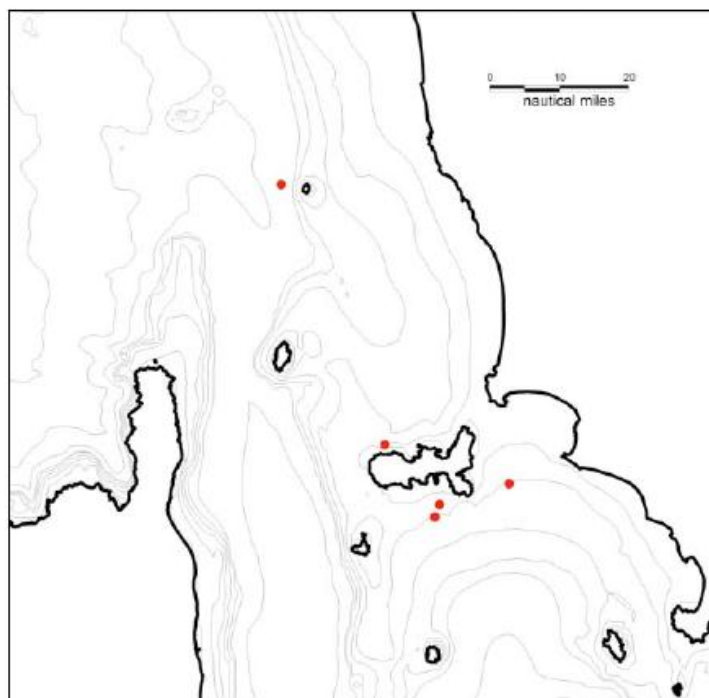


Figure 25. Base de données Dip.Te.Ris. Grand dauphin, observations effectuées au cours de l'année 2005.

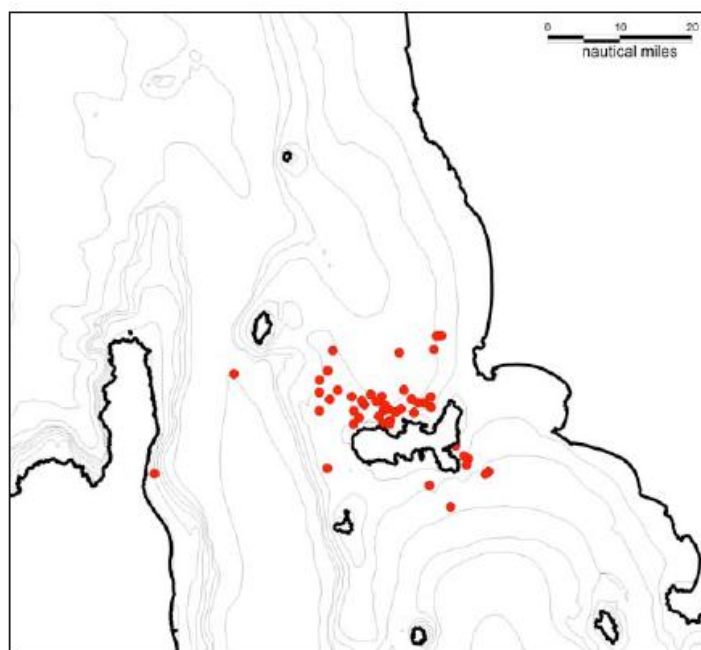


Figure 26. Base de données Dip.Te.Ris. Grand dauphin, observations effectuées au cours de l'année 2006.

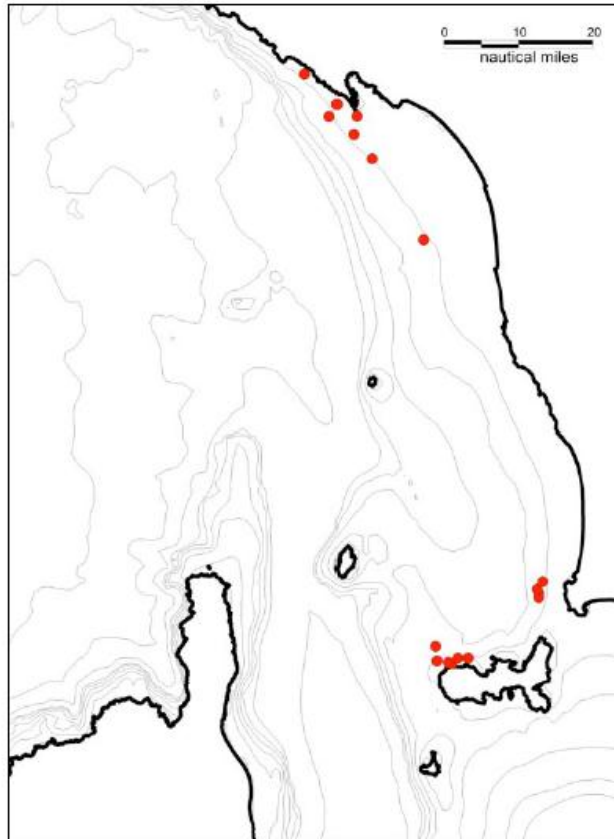


Figure 27. Base de données Dip.Te.Ris. Grand dauphin, observations effectuées au cours de l'année 2007.

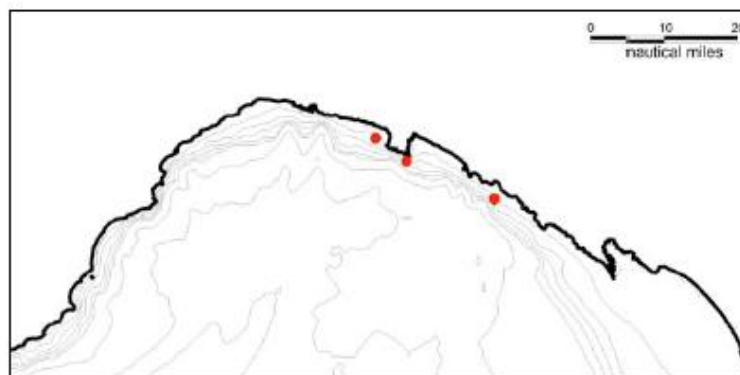


Figure 28. Base de données Dip.Te.Ris. Grand dauphin, observations effectuées au cours de l'année 2008.

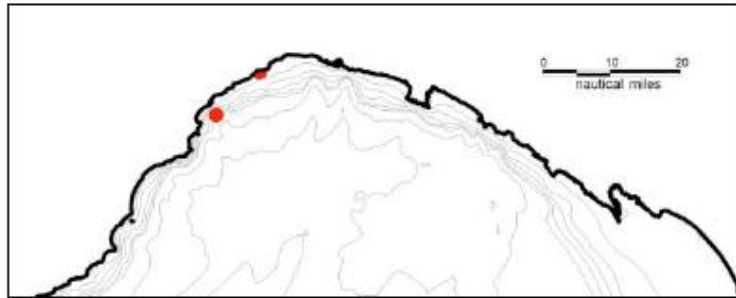


Figure 29. Base de données Dip.Te.Ris. Grand dauphin, observations effectuées au cours de l'année 2009.

*
* *

4. Estimation de la population de grands dauphins

4.1 Techniques de capture-recapture au moyen de la photo-identification

Toutes les stratégies de gestion supposent la connaissance des stocks et, en particulier, celle du nombre d'individus de la population et celle des variations au cours du temps. Il existe différentes techniques qui permettent d'estimer l'abondance d'une population et sa tendance. La technique méthodique de capture-marquage-recapture est très utilisée pour différentes espèces.

Elle permet d'estimer l'abondance de la population à partir du nombre d'animaux marqués qui sont ensuite recapturés au cours des échantillonnages suivants.

La technique de capture-recapture comporte deux phases principales :

1. Réalisation de l'échantillonnage.
2. Marquage des animaux.

Dans une population de dimension inconnue N , un nombre M d'animaux est capturé et marqué. Il reste un nombre inconnu U d'individus non marqués. Dans un échantillonnage ultérieur effectué sur n animaux, m seront marqués et un nombre u d'individus ne le sera pas.

On obtient donc :

$$N = M + U$$

et

$$n = m + u$$

Le nombre d'individus marqués lors du second échantillonnage est représentatif de la proportion d'individus marqués présents dans toute la population, suivant le rapport :

$$M : n = M : N$$

Étant donné que le nombre d'animaux capturés et marqués au cours de chaque échantillonnage est connu, on pourra estimer l'abondance de la population d'animaux marqués comme suit :

$$N = nM/m$$

Il existe deux méthodes principales pour estimer la population totale. Elles sont déterminées par le caractère « fermé » ou « ouvert » de la population. On a donc des modèles de population ouverte et des modèles de population fermée.

Dans une population fermée, on considère que l'abondance ne varie pas pendant la période d'étude. En adoptant le modèle de population ouverte, on laisse au contraire celle-ci libre de varier suite à différents événements (naissances, morts, migration et immigration d'individus).

Comme toutes les méthodes statistiques, la méthode de capture-recapture n'est valide que si les données respectent une série de principes fondamentaux, que la population soit fermée ou ouverte.

1. Les individus ne doivent pas perdre leur marque au cours de l'étude.
2. Le marquage ne doit pas menacer les possibilités de survie de l'individu.
3. On doit pouvoir reconnaître les marques avec certitude et pouvoir les enregistrer lors de chaque capture.
4. Les individus doivent être capturés de façon indépendante.
5. Les individus doivent se mêler au reste de la population de façon aléatoire entre un échantillonnage et le suivant.

4.1.1 Estimation de la population totale

L'estimation de l'abondance totale de la population est calculée comme suit:

$$N_{tot} = N / \Theta$$

où :

N_{tot} est l'estimation de la population totale

N est l'estimation du nombre d'animaux marqués présents dans la population

Θ est l'estimation de la proportion d'animaux marqués dans la population. Θ représente la valeur moyenne obtenue par les différents Θ calculés à chaque observation, selon la formule suivante :

$$\Theta = \text{Nb ind. marqués} / \text{Nb total d'individus}$$

L'estimation de la population totale est toujours associée au calcul de la variance.

4.1.2 Modèles de population fermée

Quand on adopte les modèles de population fermée, on suppose qu'il n'y a pas ni naissances ni morts, et d'avantage d'immigration ou d'émigration permanentes parmi les individus qui forment la population étudiée au cours de l'échantillonnage. Les modèles de population ouverte décrivent et quantifient au contraire ces paramètres.

Pour pouvoir appliquer correctement le modèle de population fermée à une série de données, il faut respecter quatre suppositions. L'une d'entre elle est justement la fermeture démographique.

Si une ou plusieurs hypothèses sont mauvaises, l'estimation comporte des erreurs (sous-estimation ou surestimation) car, dans ce cas, le nombre de captures d'animaux marqués n'est pas représentatif de la population. Si on enregistre un nombre de captures d'exemplaires marqués supérieur (proportionnellement) à la population réelle d'animaux marqués, l'abondance sera sous-estimée. Dans le cas contraire, on aura une surestimation de la population.

Les hypothèses fondamentales sont les suivantes:

- Les individus marqués et non marqués doivent avoir la même probabilité de survie : si le taux de survie diminue après la capture, la population sera sous-estimée.
- Le nombre d'individus rencontrés au cours du second échantillonnage dépend de deux probabilités :

1. probabilité de survie des individus > il s'agit de la survie réelle des exemplaires, dont les modèles de population fermée ne tiennent pas compte en présupposant un taux de survie réelle égal à 1 en l'absence de naissances, de morts, de migrations et d'immigrations.

2. probabilité que les individus ayant survécu soient recapturés > il s'agit de la probabilité de recapture.

Le fait qu'un individu soit vivant et se trouve dans l'aire d'échantillonnage n'est pas une garantie de recapture.

La proportion d'individus rencontrés pendant l'échantillonnage dépendra donc de ce que l'on appelle la « survie apparente », résultat du produit :

$$\Phi * p$$

où :

Φ = probabilité de survie réelle

p = probabilité d'être rencontré, qui dépend du taux de rencontre, à son tour conditionné par la présence dans l'aire d'échantillonnage.

3. On doit pouvoir reconnaître les animaux marqués avec certitude s'ils sont recapturés.

Les animaux ne sont pas reconnus essentiellement à cause de deux types d'erreurs :

Faux positif = erreur qui se produit quand deux individus différents sont identifiés pendant l'échantillonnage comme étant d'un même individu. Cette erreur entraîne une sous-estimation de l'abondance de la population.

Faux négatif = erreur qui se produit quand le même exemplaire est catalogué au cours de recaptures différentes comme représentant 2 exemplaires différents. Cette erreur provoque une surestimation de l'abondance de la population.

4. La capture et le marquage ne doivent pas avoir d'influence sur la probabilité de recapture des animaux. Les individus marqués ne doivent pas apprendre à éviter les pièges (trap shyness) ou au contraire être attirés par ces derniers (trap happiness). Dans le premier cas, on obtient une surestimation car la probabilité de capture diminue ; dans le second, où la probabilité de capture augmente, on obtient une sous-estimation de l'abondance.

5. Pendant chaque échantillonnage, tous les individus de la population doivent avoir la même probabilité d'être capturés : l'hétérogénéité dans la probabilité de capture provoque la sous-estimation de l'abondance de la population.

Il existe différents modèles de population fermée. On applique le « Petersen estimator » quand on n'a que deux échantillonnages et par conséquent seulement deux échantillonnages, respectivement de dimension n_1 et n_2 . En indiquant au moyen de m_2 le nombre de « recaptures », la dimension totale de la population (N) sera estimée comme suit :

$$N = n_1 n_2 / m_2$$

Quand il y a plus de deux échantillonnages, les animaux seront capturés, marqués et relâchés lors des suivants. Ce processus sera répété pour chaque individu au cours de chaque échantillonnage. On aura donc, d'après le modèle de Seber :

- n_1 nombre d'animaux capturés, marqués et relâchés lors du premier échantillonnage.
- n_2 nombre d'animaux capturés lors du deuxième échantillonnage.

- **m_2** nombre d'animaux capturés lors du deuxième échantillonnage, qui avaient déjà été capturés pendant le premier.
- **n_3** nombre d'animaux capturés lors du troisième échantillonnage.
- **m_3** nombre d'animaux recapturés lors du troisième échantillonnage, qui avaient déjà été capturés lors des échantillonnages précédents (lors du premier, du deuxième ou des deux échantillonnages).
- **n_n** nombre d'animaux capturés lors de l' n ème échantillonnage.
- **m_n** nombre d'animaux recapturés de l' n ème échantillonnage, qui avaient déjà été capturés lors des échantillonnages précédents.

Après avoir défini les valeurs précédentes, on procède au calcul de l'estimation d'abondance comme suit :

$$N_{1-2} = (n_1 * n_2) / m_2$$

$$N_3 = \{[(n_1 * n_2) - m_2] * n_3\}$$

$$N_n = \{[(\sum n_{i-1}) - m_{i-1}] * n_i\}$$

L'estimation de la population des individus marqués sera obtenue par la moyenne arithmétique :

$$Nb_{\text{ tot ind. marqués }} = (N_1 + N_2 + N_i) / I$$

À la fin de l'expérience, chaque animal sera associé à une documentation relative aux captures fondée, par convention, sur un système binaire : on indiquera 1 chaque fois que l'individu sera recapturé pendant les échantillonnages et 0 si ce n'est pas le cas. L'estimation de population doit toutefois respecter les principes de base de la méthode pour être valide, qu'il y ait deux échantillonnages ou plus.

*
* *

4.1.3 Photo-identification

La photo-identification suppose l'utilisation de signes appelés marques (mark) qui se trouvent sur le corps de nombreuses espèces de cétacés.

Comme des empreintes digitales, les marques permettent de reconnaître chaque individu de façon univoque.

La collecte des données est dans ce cas réalisée grâce à des « captures photographiques » : pendant chaque échantillonnage, on photographie la partie du corps la plus marquée des animaux. Un individu facile à reconnaître est un individu qui présente non pas une seule caractéristique mais un ensemble de signes distinctifs et univoques dans leur ensemble (Würsig & Jefferson, 1990).

La photo-identification et l'utilisation des marques naturelles présentent des avantages évidents par rapport aux techniques traditionnelles de capture-recapture. Le premier avantage est évidemment que les animaux ne sont pas capturés physiquement pour être marqués (Evans & Hammond, 2004). L'impact sur leur comportement et leur survie est ainsi réduit au minimum.

Cette technique n'a donc pas d'influence significative sur la probabilité de recapture (capture et recapture présentent les mêmes probabilités). Elle s'est largement répandue dans l'étude des cétacés. Les espèces qui peuvent être étudiées au moyen de la photo-identification se caractérisent par différents types de marques, qui peuvent être localisées dans différentes parties du corps.

Il est important de repérer les marques les plus caractéristiques sur chaque partie du corps des animaux.

Même si toutes les espèces de cétacés ne présentent pas communément des marques utiles à l'identification des individus, toutes peuvent porter des cicatrices dues à des interactions particulières, souvent négatives, avec des embarcations ou des engins de pêche. Il n'est pas rare en effet que

soient signalés des animaux avec des marques d'hélices ou bien des excoriations dues aux filets de pêche (formées de lignes parallèles et perpendiculaires) ou aux palangres (longue ligne de fond) dans lesquels ils ont été pris. Dans les cas les plus graves, on a relevé des blessures plus profondes, par exemple des portions manquantes de nageoire caudale ou la rognure de la nageoire dorsale. D'autres types de cicatrices peuvent être dus à des attaques de prédateurs comme les requins ou les orques. Dans ce cas aussi, on peut remonter à l'origine des marques sur le corps : les dents des prédateurs laissent en effet souvent des cicatrices assez faciles à reconnaître.

Les marques les plus communément présentes chez les cétacés sont les suivantes :

- entaille (notch) : parties manquantes du tissu le long du bord postérieur de la nageoire dorsale ou caudale ;
- portion en relief (protruding piece) : morceaux de tissu en relief à partir de la marge postérieure de la nageoire dorsale ;
- tache dorsale (saddle patch) : bande caractérisée par une pigmentation claire, située sur le dos, généralement dans la partie postérieure de la nageoire dorsale ;
- écorchure (scrape) : de diverses couleurs, elles peuvent être d'épaisseurs et de longueurs différentes, sous forme d'une ligne unique ou de lignes parallèles entre elles ou croisées ;
- marques de dents (tough rake) : excoriations multiples et parallèles entre elles, marques laissées par les dents au cours des interactions sociales (agressives ou non) au sein de la même espèce ou bien entre individus d'espèces différentes ;
- échancrure postérieure (back indentation) : portions manquantes de tissu à la base arrière de la nageoire dorsale.

Le protocole prévoit de photographier toutes les espèces avec un appareil, photographique reflex numérique muni d'un téléobjectif 70-300 mm de façon aléatoire (random), perpendiculairement à l'axe de l'animal et indépendamment du degré de marquage des animaux rencontrés.

On essaie de photographier les individus de façon séquentielle. La méthode la plus efficace consiste à anticiper l'émersion de l'animal pour réussir à photographier toute la séquence de l'acte respiratoire, qui correspond à 3-6 photogrammes par individu.

Il est fondamental de réussir à photographier les animaux des deux côtés (droit et gauche) afin de permettre l'identification complète de l'exemplaire.

Photo-identification de l'espèce *Tursiops truncatus*

Le recours à la technique de la photo-identification est très répandu dans l'étude du grand dauphin car cette espèce présente des marques naturelles faciles à reconnaître. On photographie la nageoire et les flancs de l'animal.

Il est important de photographier chaque individu des deux côtés car les marques sont très souvent différentes à gauche et à droite.

Les principaux types de marques sont les suivants (Wilson et al., 1999) :

- entaille (notch) : morceau de tissu manquant sur le profil de la nageoire dorsale ;
- grosses éraflures (major scratches) : écorchures de grandes dimensions ;
- blancheur (white fin-fringe) : zone blanche (dépigmentée) de la nageoire dorsale ;
- singularité (unusually) : formes insolites de la nageoire dorsale ;
- difformité (deformity) : difformité de la nageoire dorsale ou du dos.

*
* *

4.1.4 Changements des marques naturelles au cours du temps

Les marques naturelles choisies pour reconnaître les individus d'une population devraient être permanentes. Elles ne devraient donc pas changer pendant toute la durée de l'échantillonnage. Si ce

n'est pas le cas, un animal marqué qui a été photographié et catalogué ne serait plus reconnu s'il est recapturé.

L'effet du changement des marques au fil du temps entraîne la sous-estimation de la population car on enregistre alors un nombre de recaptures inférieur à celles effectivement réalisées. Si de tels signes changent rapidement et radicalement, ils deviennent inutilisables dans une étude de capture-recapture. Il est possible d'estimer le taux de perte (ou changement) pour en tester la durabilité. Le changement des différents types de marques peut être étudié et quantifier si l'on possède plusieurs photos du même exemplaire à différents moments.

*
* *

4.1.5 Caractère unique des marques naturelles

L'utilisation des marques naturelles prévoit que deux individus puissent avoir des signes si semblables qu'il est impossible de les distinguer. La probabilité qu'une combinaison de marques très semblables se répète de la même façon chez d'autres individus de la population peut être estimée si on connaît la quantité d'informations contenue dans une combinaison de marques combinée à l'abondance de la population.

*
* *

4.1.6 Reconnaissance des marques naturelles

L'une des hypothèses de base de la capture-recapture est qu'un animal marqué doit être reconnu avec certitude en cas de recapture.

Si ce n'est pas le cas, l'abondance de la population est surestimée. Pour l'éviter, il ne faut utiliser pour l'analyse photographique que des photos d'une grande qualité, sur lesquelles toutes les marques sont clairement visibles et faciles à distinguer (Wilson et al., 1999).

On peut attribuer un niveau de qualité à chaque photo, en attribuant une valeur aux signes factuels dont celle-ci dépend :

- mise au point : définition de la netteté de la photo ;
- pourcentage occupé : angle entre l'axe du corps (ou d'une partie de celui-ci) du sujet photographié et la surface de l'eau. Quand la partie à photographier (queue, nageoire dorsale, etc.) est perpendiculaire à l'eau, l'inclinaison est de 0 degré ;
- exposition : définition du niveau de luminosité de la photographie. Il s'agit de la combinaison de trois facteurs : ouverture du diaphragme, durée d'exposition et sensibilité ISO. Le diaphragme est le trou situé entre les lentilles de l'objectif. En modifiant le diamètre de son ouverture, on augmente ou on diminue la quantité de lumière qui traverse l'objectif et atteint la pellicule ou le capteur (dans le cas des appareils numériques). Quand on photographie une action ou des sujets en mouvement, comme c'est le cas avec les cétacés, il est fondamental de choisir le temps de pose et puis, en s'aidant du posemètre, de définir le diaphragme adapté. Un temps d'exposition approprié (au moins 1/1000 de seconde) fixe le mouvement. Le dernier facteur qui détermine l'exposition est la sensibilité qui représente la sensibilité à la lumière. Elle se mesure en ISO, valeur qui indique le nombre de surfaces sensibles.
- orientation : angle entre la surface photographiée et le plan perpendiculaire à l'axe de l'objectif ;
- pourcentage visible : pourcentage de l'aire d'intérêt photographiée. Par exemple, si la nageoire dorsale est complètement visible (totalement émergée), cette valeur sera de 100 %.

*
* *

4.1.7 Réponses comportementales et hétérogénéité

La technique de la photo-identification ne prévoit aucun contact avec les animaux. Leur comportement est ainsi bien moins affecté que lors des captures réalisées pour le marquage traditionnel. On a toutefois remarqué chez certaines espèces des comportements particuliers à la suite de la capture, appelés « trap shy » et « trap happy » (Wilson et al., 1999). Ils modifient les probabilités futures de recapture et entraînent une erreur dans l'estimation de la population. Le comportement « trap shy » se produit quand, à la suite d'une capture, les animaux apprennent à éviter la recapture par la suite. Dans ce cas, la probabilité de recapture sera plus basse et provoque une surestimation de la population. Chez les cétacés, on vérifie ce comportement chez des espèces au caractère particulièrement fuyant, qui ne tendent donc pas à s'approcher de l'embarcation, ou bien dans des situations particulières (présence de petits, traumatismes particuliers liés à l'histoire de l'animal). Le « trap happy » est le comportement opposé : après une première capture photographique, l'animal est attiré par la recapture et augmente ainsi sa probabilité. La population est alors sous-estimée. Chez certaines baleines, on a par exemple enregistré un changement dans le comportement après la première capture photographique : certains exemplaires sont devenus plus « amicaux » et ainsi plus faciles à photographier. La technique de la photo-identification n'a donc pas d'influence sur la probabilité de survie des individus mais celle d'être recapturée peut toutefois ne pas être la même pour tous. Cette hétérogénéité dans la probabilité de capture est généralement liée au comportement individuel de chaque exemplaire. La préférence d'un individu pour certaines aires peut par exemple avoir une influence sur la probabilité de rencontrer l'animal. La durée plus ou moins longue d'émersion ou un comportement prudent par rapport aux bateaux peuvent avoir une influence sur la probabilité d'obtenir des photos utilisables. L'hétérogénéité de la probabilité de capture entraîne la sous-estimation de la population (Wilson et al., 1999). Le comportement du photographe n'est pas non plus anodin. Pour éviter que certains individus soient plus souvent « recapturés » que d'autres, il faut photographier tous les individus présents, des deux côtés, ou au moins photographier de façon aléatoire sans s'arrêter par exemple sur celui qui présente le plus de marque ou sur celui qui est le plus proche de l'embarcation.

*
* *

4.1.8 Comparaisons (*Matching*)

Les exemplaires sont reconnus à partir du profil de leur nageoire dorsale et de la présence de marques naturelles sur celle-ci et sur les flancs.

Chaque photographie est examinée et comparée avec celles de la base de données pour y être ensuite insérée. Si l'exemplaire n'a pas été vu auparavant, on lui assigne un nouveau code d'identification. Ce dernier est composé des données suivantes :

- date de la première observation.
- côté du corps observé, noté L (*left*) pour le côté gauche et R (*right*) pour le côté droit.
- nombre d'exemplaires aperçus lors de l'observation.
- nombre de fois où l'individu en question a été vu.
- en plus, si on possède des photographies des deux côtés de l'individu, on lui attribue un nom qui lui est propre et un numéro progressif.

Si l'exemplaire analysé s'avère être une recapture, son nom particulier, son numéro progressif et son code d'identification restent inchangés. La seule exception est fournie par la valeur relative au nombre d'observation, qui progresse.

*
* *

4.2 Résultats

4.2.1 Estimation de l'abondance de la population dans l'aire Ligure-Archipel toscan

Les estimations d'abondance ont été calculées en utilisant l'ensemble des séries de données présentes dans la base de données du Dip.Te.Ris (Menkab : Campagnes GIONHA 2010-2011 ; Données complémentaires 2005-2009).

Les estimations ont été faites séparément pour les côtés droit et gauche.

CÔTÉS DROITS

On trouvera ci-après les résultats obtenus en appliquant le modèle de population fermée (Petersen et Schnabel).

File: **tt 2011 R**

Sampling period: Event

Restrictions: No restrictions

Association: Group association; Event; grouped in sampling period

Number of sampling periods = **88** Number of individuals = **307**

Model: Closed (**Petersen**)

1	2	11.0 (se	5.2)	95% c.i.	2.4 -	19.6
2	3	23.0 (se	9.6)	95% c.i.	7.2 -	38.8
3	4	25.7 (se	8.7)	95% c.i.	11.4 -	39.9
4	5	89.0 (se	56.6)	95% c.i.	-4.1 -	182.1
5	6	125.0 (se	80.6)	95% c.i.	-7.6 -	257.6
6	7	20.0 (se	6.3)	95% c.i.	9.6 -	30.4
7	8	23.0 (se	12.7)	95% c.i.	2.1 -	43.9
8	9	63.0 (se	39.3)	95% c.i.	-1.6 -	127.6
9	10	39.0 (se	23.4)	95% c.i.	0.6 -	77.4
10	11	24.0 (se	13.9)	95% c.i.	1.2 -	46.8
11	12	24.0 (se	13.9)	95% c.i.	1.2 -	46.8
12	13	14.0 (se	7.5)	95% c.i.	1.7 -	26.3
15	16	55.0 (se	32.7)	95% c.i.	1.1 -	108.9
16	17	15.0 (se	8.2)	95% c.i.	1.5 -	28.5
17	18	11.0 (se	5.7)	95% c.i.	1.6 -	20.4
18	19	5.0 (se	2.2)	95% c.i.	1.3 -	8.7
21	22	9.0 (se	4.2)	95% c.i.	2.0 -	16.0
24	25	65.0 (se	40.3)	95% c.i.	-1.3 -	131.3
25	26	11.0 (se	5.2)	95% c.i.	2.4 -	19.6
26	27	23.0 (se	11.2)	95% c.i.	4.5 -	41.5
27	28	23.0 (se	11.2)	95% c.i.	4.5 -	41.5
28	29	3.0 (se	1.2)	95% c.i.	1.0 -	5.0
29	30	1.0 (se	0.0)	95% c.i.	1.0 -	1.0
30	31	4.0 (se	0.0)	95% c.i.	4.0 -	4.0
31	32	5.7 (se	1.0)	95% c.i.	4.1 -	7.3
32	33	19.0 (se	10.7)	95% c.i.	1.4 -	36.6
33	34	29.0 (se	17.0)	95% c.i.	1.0 -	57.0
34	35	17.0 (se	9.2)	95% c.i.	1.8 -	32.2
35	36	50.0 (se	28.3)	95% c.i.	3.5 -	96.5
36	37	36.4 (se	9.3)	95% c.i.	21.0 -	51.8
37	38	65.0 (se	40.3)	95% c.i.	-1.3 -	131.3
38	39	83.0 (se	51.9)	95% c.i.	-2.4 -	168.4
41	42	24.0 (se	13.9)	95% c.i.	1.2 -	46.8
42	43	29.0 (se	17.0)	95% c.i.	1.0 -	57.0

43	44	65.0	(se	40.3)	95% c.i.	-1.3	-	131.3
44	45	54.0	(se	32.9)	95% c.i.	-0.1	-	108.1
45	46	24.0	(se	13.9)	95% c.i.	1.2	-	46.8
46	47	29.0	(se	17.0)	95% c.i.	1.0	-	57.0
47	48	101.0	(se	63.6)	95% c.i.	-3.5	-	205.5
48	49	135.0	(se	86.9)	95% c.i.	-8.0	-	278.0
49	50	63.0	(se	39.3)	95% c.i.	-1.6	-	127.6
50	51	95.0	(se	60.5)	95% c.i.	-4.5	-	194.5
51	52	47.0	(se	27.8)	95% c.i.	1.2	-	92.8
52	53	39.0	(se	22.9)	95% c.i.	1.3	-	76.7
53	54	89.0	(se	56.6)	95% c.i.	-4.1	-	182.1
54	55	8.0	(se	0.0)	95% c.i.	8.0	-	8.0
55	56	95.0	(se	60.5)	95% c.i.	-4.5	-	194.5
56	57	47.0	(se	27.8)	95% c.i.	1.2	-	92.8
57	58	7.0	(se	3.2)	95% c.i.	1.7	-	12.3
58	59	11.0	(se	5.2)	95% c.i.	2.4	-	19.6
59	60	19.0	(se	5.8)	95% c.i.	9.5	-	28.5
60	61	49.0	(se	29.7)	95% c.i.	0.2	-	97.8
61	62	59.0	(se	36.0)	95% c.i.	-0.3	-	118.3
62	63	23.0	(se	11.2)	95% c.i.	4.5	-	41.5
63	64	27.0	(se	13.2)	95% c.i.	5.2	-	48.8
64	65	92.3	(se	37.9)	95% c.i.	29.9	-	154.7
65	66	69.0	(se	32.2)	95% c.i.	16.1	-	121.9
66	67	48.0	(se	21.9)	95% c.i.	12.0	-	84.0
67	68	48.0	(se	21.9)	95% c.i.	12.0	-	84.0
72	73	27.0	(se	13.2)	95% c.i.	5.2	-	48.8
73	74	69.0	(se	42.4)	95% c.i.	-0.7	-	138.7
74	75	49.0	(se	29.7)	95% c.i.	0.2	-	97.8
75	76	19.0	(se	9.2)	95% c.i.	3.8	-	34.2
76	77	3.0	(se	1.2)	95% c.i.	1.0	-	5.0
77	78	5.0	(se	2.2)	95% c.i.	1.3	-	8.7
78	79	11.0	(se	5.7)	95% c.i.	1.6	-	20.4
79	80	7.0	(se	3.2)	95% c.i.	1.7	-	12.3
80	81	19.0	(se	9.2)	95% c.i.	3.8	-	34.2
81	82	109.0	(se	70.0)	95% c.i.	-6.2	-	224.2
82	83	98.0	(se	62.6)	95% c.i.	-5.0	-	201.0
83	84	26.0	(se	14.4)	95% c.i.	2.3	-	49.7
84	85	11.0	(se	5.7)	95% c.i.	1.6	-	20.4
85	86	5.7	(se	1.0)	95% c.i.	4.1	-	7.3
86	87	9.0	(se	4.2)	95% c.i.	2.0	-	16.0
87	88	9.0	(se	4.2)	95% c.i.	2.0	-	16.0
90	91	15.0	(se	7.2)	95% c.i.	3.1	-	26.9
91	92	21.0	(se	5.4)	95% c.i.	12.1	-	29.9
92	93	26.5	(se	10.9)	95% c.i.	8.5	-	44.5
93	94	8.0	(se	0.0)	95% c.i.	8.0	-	8.0
94	95	53.0	(se	32.6)	95% c.i.	-0.6	-	106.6

File: **tt 2011-R**

Sampling period: Event

Restrictions: No restrictions

Association: Group association; Event; grouped in sampling period

Number of sampling periods = **88** Number of individuals = **307**

Model: Closed (**Schnabel**)

Estimated population size = **419.5984**

(Likelihood 95% c.i. = **366.5 - 483.6**)

Log-likelihood = -1027.1229; Akaike Information Criterion (AIC) = 2056.2458

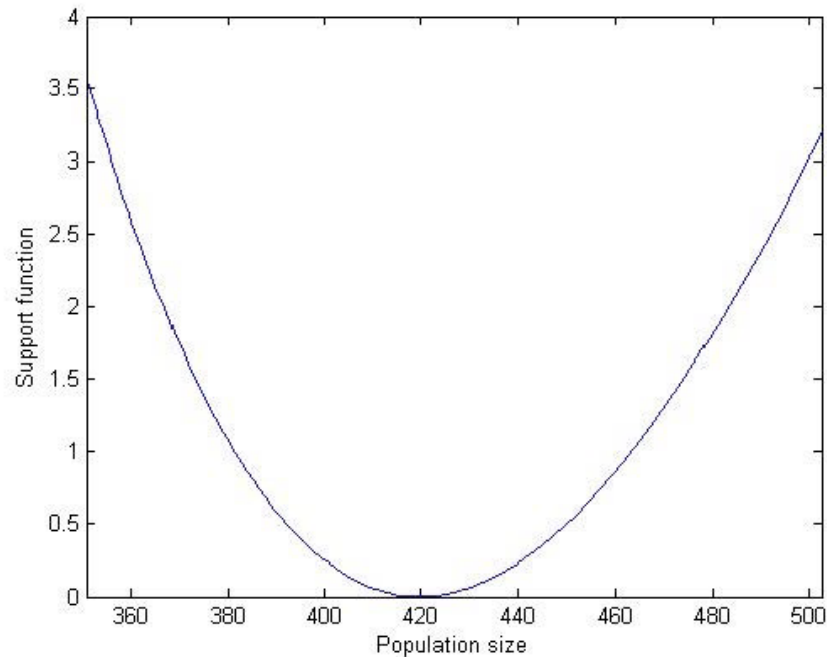


Figure 30. Graphique relatif à l'estimation de population obtenue en appliquant le modèle de population fermée (Petersen et Schnabel) aux côtés droits.

On trouvera ci-après les résultats obtenus en appliquant le modèle de population ouverte (Jolly-Seber et Mortality).

File: **tt 2011 R**

Sampling period: Event

Restrictions: No restrictions

Association: Group association; Event; grouped in sampling period

Number of sampling periods = **88** Number of individuals = **307**

Model: **Jolly-Seber**

Sample	N	Surv. Rate	Birth Nos
2	NaN	1.320	NaN
3	46.2	1.111	-26.1
4	25.2	1.778	Inf
5	Inf	0.406	NaN
6	Inf	Inf	NaN
7	Inf	0.000	NaN
8	203.0	1.000	Inf
9	Inf	1.119	-Inf
10	188.0	2.000	Inf
11	Inf	0.333	NaN
12	Inf	Inf	NaN
13	Inf	0.000	NaN
15	118.6	1.154	Inf
16	Inf	Inf	NaN
17	Inf	0.000	NaN
18	Inf	1.000	-Inf
19	38.0	1.000	Inf
21	Inf	1.000	-Inf
22	42.0	1.226	77.3
24	128.8	1.948	29.2
25	280.0	Inf	NaN
26	Inf	0.000	NaN
27	209.4	0.455	Inf
28	Inf	1.000	NaN
29	Inf	1.000	-Inf
30	48.0	1.306	-0.0
31	62.7	1.109	34.8
32	104.3	0.667	24.5
33	94.0	5.000	Inf
34	Inf	0.400	NaN
35	Inf	1.284	-Inf
36	698.7	0.875	-401.3
37	210.0	0.656	75.5
38	213.3	1.950	Inf
39	Inf	0.594	-Inf
41	110.0	0.973	35.7
42	142.7	2.500	Inf
43	Inf	0.624	-Inf
44	343.3	Inf	NaN
45	Inf	0.000	NaN
46	788.0	Inf	NaN
47	Inf	0.000	NaN
48	150.6	1.411	443.9
49	656.3	1.975	82.9
50	1379.0	1.505	-955.1
51	1120.2	0.271	-48.7
52	255.0	1.977	1043.9
53	1548.0	0.378	-448.8
54	136.0	0.875	-56.0
55	63.0	Inf	NaN

56	Inf	0.000	NaN
57	250.5	Inf	NaN
58	Inf	0.000	NaN
59	167.5	0.817	-26.5
60	110.3	1.751	579.0
61	772.0	0.821	-381.1
62	253.0	0.273	-24.0
63	45.0	2.850	80.2
64	208.4	0.648	70.0
65	205.1	1.202	-12.5
66	234.0	0.877	-80.9
67	124.4	Inf	NaN
68	Inf	0.000	NaN
70	54.0	Inf	NaN
72	Inf	0.000	NaN
73	322.8	Inf	NaN
74	Inf	0.000	NaN
75	189.0	0.333	Inf
76	Inf	Inf	NaN
77	Inf	0.000	NaN
78	Inf	Inf	NaN
79	Inf	NaN	NaN
80	Inf	NaN	NaN
81	Inf	0.000	NaN
82	310.0	0.756	733.6
83	968.0	Inf	NaN
84	Inf	0.000	NaN
85	21.0	Inf	NaN
86	Inf	NaN	NaN
87	Inf	NaN	NaN
88	Inf	NaN	NaN
90	Inf	0.000	NaN
91	34.2	2.357	29.3
92	110.0	0.100	9.0
93	20.0	Inf	NaN
94	Inf	NaN	0.0

File: **tt 2011 R**

Sampling period: Event

Restrictions: No restrictions

Association: Group association; Event; grouped in sampling period

Number of sampling periods = **88** Number of individuals = **307**

Model: **Mortality**

Estimated population size = **242.2598**

(Likelihood 95% c.i. = **201.9 - 293.5**)

Estimated mortality rate = **0.019924**

(Likelihood 95% c.i. = **0.0139 - 0.0266**)

Log-likelihood = -1000.4888; Akaike Information Criterion (AIC)= 2004.9777

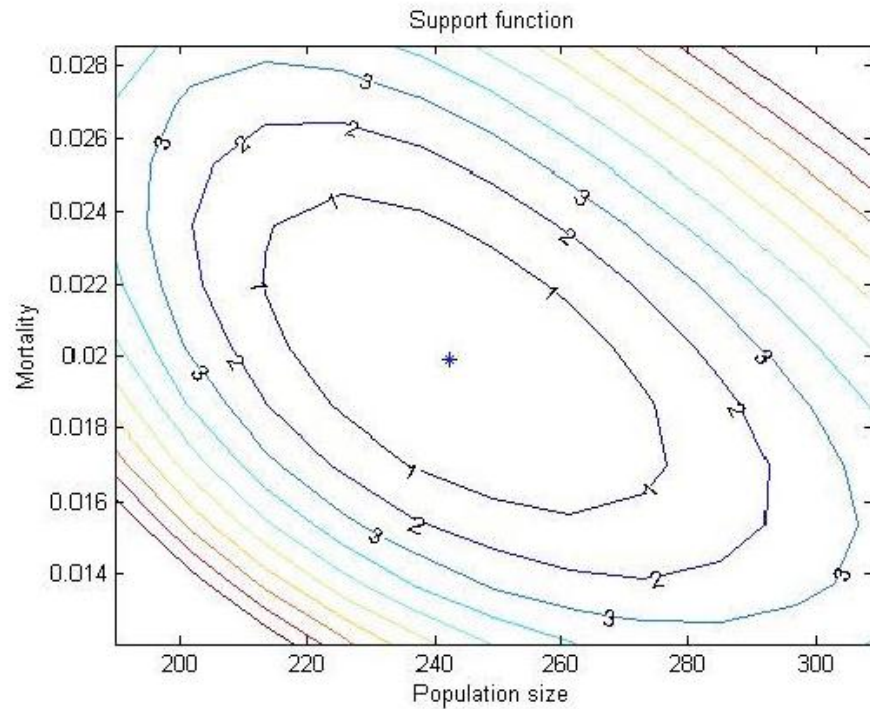


Figure 31. Graphique relatif à l'estimation de population obtenue en appliquant le modèle de population ouverte (Mortality) aux côtés droits.

CÔTÉS GAUCHES

On trouvera ci-après les résultats obtenus en appliquant le modèle de population fermée (Petersen et Schnabel).

File: **tt 2011 L**

Sampling period: Event

Restrictions: No restrictions

Association: Group association; Event; grouped in sampling period

Number of sampling periods = **93** Number of individuals = **322**

Model: Closed (**Petersen**)

1	2	83.0 (se	51.9)	95% c.i.	-2.4 -	168.4
2	3	8.0 (se	2.3)	95% c.i.	4.2 -	11.8
3	4	5.0 (se	2.2)	95% c.i.	1.3 -	8.7
4	5	13.0 (se	6.2)	95% c.i.	2.7 -	23.3
5	6	69.0 (se	43.2)	95% c.i.	-2.0 -	140.0
6	7	34.0 (se	15.1)	95% c.i.	9.2 -	58.8
7	8	48.0 (se	29.4)	95% c.i.	-0.3 -	96.3
8	9	83.0 (se	52.3)	95% c.i.	-3.1 -	169.1
9	10	59.0 (se	36.0)	95% c.i.	-0.3 -	118.3
10	11	39.0 (se	23.4)	95% c.i.	0.6 -	77.4
11	12	31.0 (se	18.0)	95% c.i.	1.3 -	60.7
12	13	11.0 (se	5.7)	95% c.i.	1.6 -	20.4
13	14	8.0 (se	4.0)	95% c.i.	1.4 -	14.6
14	15	32.0 (se	17.9)	95% c.i.	2.6 -	61.4
15	16	54.0 (se	32.9)	95% c.i.	-0.1 -	108.1
16	17	19.0 (se	10.7)	95% c.i.	1.4 -	36.6
17	18	31.0 (se	18.0)	95% c.i.	1.3 -	60.7
18	19	39.0 (se	23.4)	95% c.i.	0.6 -	77.4
19	20	9.0 (se	4.2)	95% c.i.	2.0 -	16.0
20	21	13.0 (se	6.2)	95% c.i.	2.7 -	23.3
21	22	20.0 (se	11.0)	95% c.i.	2.0 -	38.0
22	23	11.0 (se	5.7)	95% c.i.	1.6 -	20.4
23	24	31.0 (se	18.0)	95% c.i.	1.3 -	60.7
24	25	79.0 (se	49.9)	95% c.i.	-3.1 -	161.1
25	26	19.0 (se	7.1)	95% c.i.	7.3 -	30.7
26	27	11.0 (se	3.8)	95% c.i.	4.7 -	17.3
27	28	11.0 (se	5.2)	95% c.i.	2.4 -	19.6
30	31	5.7 (se	1.0)	95% c.i.	4.1 -	7.3
31	32	5.7 (se	1.0)	95% c.i.	4.1 -	7.3
32	33	9.0 (se	3.0)	95% c.i.	4.1 -	13.9
33	34	39.0 (se	23.4)	95% c.i.	0.6 -	77.4
34	35	23.0 (se	12.7)	95% c.i.	2.1 -	43.9
35	36	56.0 (se	31.7)	95% c.i.	3.8 -	108.2
36	37	40.2 (se	9.3)	95% c.i.	24.8 -	55.5
37	38	103.0 (se	65.8)	95% c.i.	-5.2 -	211.2
38	39	95.0 (se	60.5)	95% c.i.	-4.5 -	194.5
39	40	35.0 (se	19.6)	95% c.i.	2.7 -	67.3
40	41	11.0 (se	5.7)	95% c.i.	1.6 -	20.4
41	42	31.0 (se	18.0)	95% c.i.	1.3 -	60.7
42	43	31.0 (se	13.6)	95% c.i.	8.6 -	53.4
43	44	23.0 (se	12.7)	95% c.i.	2.1 -	43.9
44	45	8.0 (se	4.0)	95% c.i.	1.4 -	14.6
47	48	90.0 (se	56.9)	95% c.i.	-3.6 -	183.6
48	49	129.0 (se	83.5)	95% c.i.	-8.3 -	266.3
49	50	69.0 (se	43.2)	95% c.i.	-2.0 -	140.0
50	51	69.0 (se	43.2)	95% c.i.	-2.0 -	140.0
51	52	49.0 (se	29.7)	95% c.i.	0.2 -	97.8
52	53	26.5 (se	10.9)	95% c.i.	8.5 -	44.5

53	54	43.0 (se	19.7)	95% c.i.	10.6 -	75.4
54	55	7.0 (se	0.0)	95% c.i.	7.0 -	7.0
55	56	127.0 (se	81.7)	95% c.i.	-7.3 -	261.3
56	57	111.0 (se	70.7)	95% c.i.	-5.3 -	227.3
57	58	13.0 (se	6.2)	95% c.i.	2.7 -	23.3
58	59	15.0 (se	7.2)	95% c.i.	3.1 -	26.9
59	60	19.0 (se	4.8)	95% c.i.	11.1 -	26.9
60	61	69.0 (se	43.2)	95% c.i.	-2.0 -	140.0
61	62	62.0 (se	38.6)	95% c.i.	-1.4 -	125.4
62	63	17.0 (se	8.2)	95% c.i.	3.4 -	30.6
63	64	27.0 (se	13.2)	95% c.i.	5.2 -	48.8
64	65	57.3 (se	14.4)	95% c.i.	33.6 -	81.0
65	66	74.0 (se	28.5)	95% c.i.	27.1 -	120.9
66	67	30.5 (se	13.3)	95% c.i.	8.6 -	52.4
67	68	25.3 (se	6.5)	95% c.i.	14.6 -	35.9
68	69	29.0 (se	14.2)	95% c.i.	5.6 -	52.4
69	70	5.0 (se	2.2)	95% c.i.	1.3 -	8.7
70	71	11.0 (se	5.7)	95% c.i.	1.6 -	20.4
71	72	7.0 (se	3.2)	95% c.i.	1.7 -	12.3
72	73	25.0 (se	12.2)	95% c.i.	4.9 -	45.1
73	74	77.0 (se	48.1)	95% c.i.	-2.1 -	156.1
74	75	47.0 (se	28.7)	95% c.i.	-0.2 -	94.2
75	76	31.0 (se	18.0)	95% c.i.	1.3 -	60.7
76	77	7.0 (se	3.2)	95% c.i.	1.7 -	12.3
77	78	5.0 (se	2.2)	95% c.i.	1.3 -	8.7
78	79	8.0 (se	4.0)	95% c.i.	1.4 -	14.6
79	80	11.0 (se	5.7)	95% c.i.	1.6 -	20.4
80	81	35.0 (se	20.5)	95% c.i.	1.3 -	68.7
81	82	125.0 (se	80.6)	95% c.i.	-7.6 -	257.6
82	83	125.0 (se	80.6)	95% c.i.	-7.6 -	257.6
83	84	17.0 (se	8.2)	95% c.i.	3.4 -	30.6
84	85	11.0 (se	5.2)	95% c.i.	2.4 -	19.6
85	86	11.0 (se	2.9)	95% c.i.	6.3 -	15.7
86	87	17.0 (se	9.2)	95% c.i.	1.8 -	32.2
87	88	8.0 (se	4.0)	95% c.i.	1.4 -	14.6
88	89	17.0 (se	9.2)	95% c.i.	1.8 -	32.2
89	90	17.0 (se	9.2)	95% c.i.	1.8 -	32.2
90	91	20.0 (se	11.0)	95% c.i.	2.0 -	38.0
91	92	18.3 (se	4.4)	95% c.i.	11.0 -	25.5
92	93	32.0 (se	13.9)	95% c.i.	9.2 -	54.8
93	94	11.0 (se	2.1)	95% c.i.	7.5 -	14.5
94	95	39.0 (se	23.4)	95% c.i.	0.6 -	77.4

File: **tt 2011 L**

Sampling period: Event

Restrictions: No restrictions

Association: Group association; Event; grouped in sampling period

Number of sampling periods = **93** Number of individuals = **322**

Model: Closed (**Schnabel**)

Estimated population size = **431.1371**

(Likelihood 95% c.i. = **379.2 -493.1**)

Log-likelihood = -1156.3929; Akaike Information Criterion (AIC)= 2314.7857

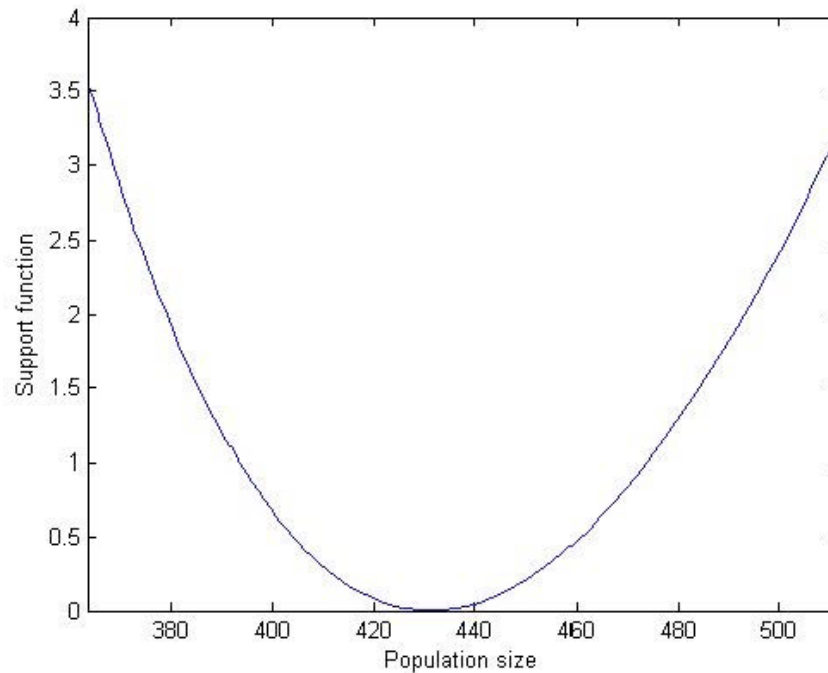


Figure 32. Graphique relatif à l'estimation de population obtenue en appliquant le modèle de population fermée (Petersen et Schnabel) aux côtés gauches.

On trouvera ci-après les résultats obtenus en appliquant le modèle de population ouverte (Jolly-Seber et Mortality).

File: **tt 2011 L**

Sampling period: Event

Restrictions: No restrictions

Association: Group association; Event; grouped in sampling period

Number of sampling periods = **93** Number of individuals = **322**

Model: **Jolly-Seber**

Sample	N	Surv. Rate	Birth Nos
2	Inf	1.500	-Inf
3	30.0	0.500	-7.0
4	8.0	3.000	Inf
5	Inf	0.600	NaN
6	Inf	1.074	-Inf
7	174.0	0.600	Inf
8	Inf	1.465	-Inf
9	212.7	1.070	-23.5
10	204.0	1.750	Inf
11	Inf	0.429	NaN

12	Inf	0.667	NaN
13	Inf	Inf	NaN
14	Inf	0.000	NaN
15	100.6	1.067	Inf
16	Inf	Inf	NaN
17	Inf	0.000	NaN
18	233.6	0.748	-103.2
19	71.6	0.750	-12.7
20	41.0	1.488	305.0
21	366.0	1.303	-390.9
22	86.0	0.733	0.0
23	63.0	0.927	350.4
24	408.8	1.261	-150.0
25	365.4	1.621	-377.9
26	214.5	0.546	79.5
27	196.7	0.600	Inf
28	Inf	1.480	-Inf
30	111.0	0.667	-24.0
31	50.0	1.480	37.0
32	111.0	0.667	26.0
33	100.0	3.404	279.1
34	619.5	Inf	NaN
35	Inf	0.000	NaN
36	450.0	2.693	-685.6
37	526.3	0.231	130.5
38	252.0	7.857	Inf
39	Inf	Inf	NaN
40	Inf	0.000	NaN
41	162.0	0.386	83.3
42	145.8	5.639	-166.1
43	656.3	0.283	28.2
44	214.0	Inf	NaN
45	Inf	NaN	NaN
47	Inf	0.000	NaN
48	380.0	2.223	622.4
49	1467.0	Inf	NaN
50	Inf	0.000	NaN
51	1062.0	0.222	-128.0
52	108.0	1.964	337.9
53	550.0	0.500	-192.4
54	82.6	1.000	-21.6
55	61.0	3.344	136.0
56	340.0	1.529	122.3
57	642.0	Inf	NaN
58	Inf	0.000	NaN
59	89.3	1.160	-0.0
60	103.5	1.314	680.0
61	816.0	1.270	-558.6
62	477.3	0.250	-73.3
63	46.0	1.745	93.7
64	174.0	0.999	-12.8
65	161.0	0.866	-3.3
66	136.0	0.966	38.6
67	170.0	Inf	NaN
68	Inf	NaN	NaN
69	Inf	NaN	NaN
70	Inf	NaN	NaN
71	Inf	NaN	NaN
72	Inf	0.000	NaN
73	246.0	Inf	NaN
74	Inf	0.000	NaN
75	85.4	2.094	76.2
76	255.0	Inf	NaN
77	Inf	NaN	NaN
78	Inf	NaN	NaN
79	Inf	NaN	NaN
80	Inf	NaN	NaN
81	Inf	0.000	NaN
82	182.0	0.449	198.3
83	280.0	Inf	NaN
84	Inf	0.000	NaN
85	45.0	Inf	NaN
86	Inf	NaN	NaN
87	Inf	NaN	NaN
88	Inf	0.000	NaN
89	80.0	Inf	NaN
90	Inf	0.000	NaN
91	30.0	2.500	15.0
92	90.0	0.140	4.9
93	17.5	Inf	NaN
94	Inf	NaN	0.0

File: **tt 2011 L**

Sampling period: Event

Restrictions: No restrictions

Association: Group association; Event; grouped in sampling period

Number of sampling periods = **93** Number of individuals = **322**

Model: **Mortality**

Estimated population size = **228.4906**

(Likelihood 95% c.i. = **192.7 - 273.2**)

Estimated mortality rate = **0.022912**

(Likelihood 95% c.i. = **0.0170 - 0.0294**)

Log-likelihood = -1116.8443; Akaike Information Criterion (AIC)= 2237.6885

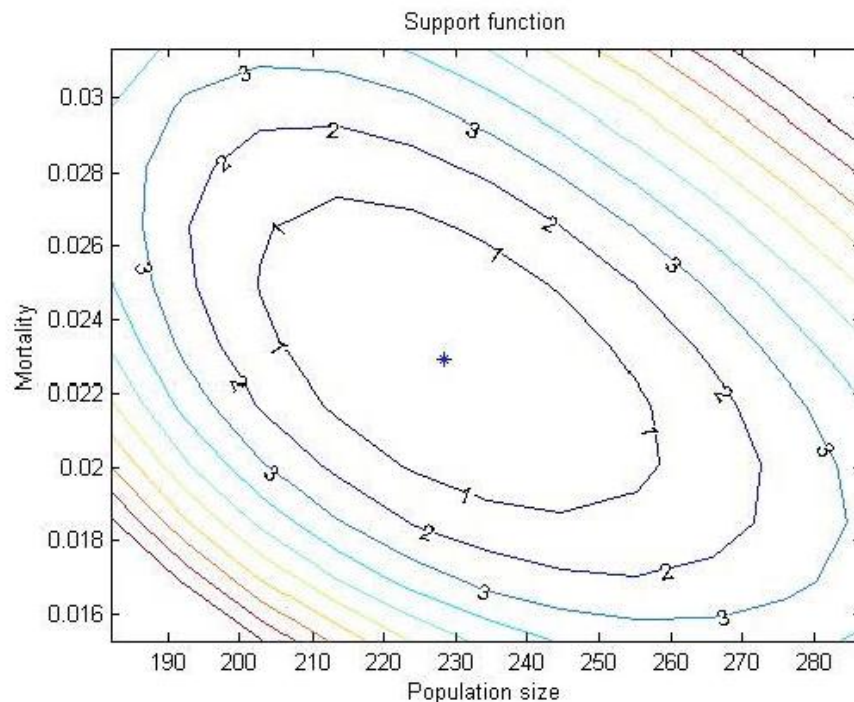


Figure 33. Graphique relatif à l'estimation de population obtenue en appliquant le modèle de population ouverte (Mortality) aux côtés gauches.

4.2.2 Estimation de l'abondance de la population dans l'aire Sud Corse-Sardaigne Nord-Est

Les estimations d'abondance reportées ci-après ont été obtenues à partir de l'ensemble de données présentes dans la base de données d'INTERCET, qui ont été collectées par le groupe d'étude de l'OEC. Les estimations ont été faites séparément pour les côtés droit et gauche.

CÔTÉS DROITS

On trouvera ci-après les résultats obtenus en appliquant le modèle de population fermée (Petersen et Schnabel).

File: Right OEC

Sampling period: Event

Restrictions: No restrictions

Association: Group association; Event; grouped in sampling period

Number of sampling periods = **34** Number of individuals = **79**

Model: Closed (**Petersen**)

267	268	5.0 (se	2.2)	95% c.i.	1.3 -	8.7
274	275	5.0 (se	2.2)	95% c.i.	1.3 -	8.7
287	288	5.0 (se	2.2)	95% c.i.	1.3 -	8.7
292	293	7.0 (se	3.2)	95% c.i.	1.7 -	12.3
311	312	5.0 (se	2.2)	95% c.i.	1.3 -	8.7
312	313	3.0 (se	1.2)	95% c.i.	1.0 -	5.0
313	314	5.0 (se	2.2)	95% c.i.	1.3 -	8.7
314	315	3.5 (se	0.8)	95% c.i.	2.2 -	4.8
317	318	17.0 (se	8.2)	95% c.i.	3.4 -	30.6
318	319	3.0 (se	1.2)	95% c.i.	1.0 -	5.0
319	320	13.0 (se	6.2)	95% c.i.	2.7 -	23.3
320	321	41.0 (se	24.8)	95% c.i.	0.2 -	81.8
321	322	29.0 (se	17.0)	95% c.i.	1.0 -	57.0
322	323	34.0 (se	20.2)	95% c.i.	0.8 -	67.2
323	324	41.0 (se	24.8)	95% c.i.	0.2 -	81.8
324	325	11.0 (se	5.2)	95% c.i.	2.4 -	19.6
325	326	25.0 (se	12.2)	95% c.i.	4.9 -	45.1
326	327	51.0 (se	30.3)	95% c.i.	1.2 -	100.8
327	328	13.0 (se	4.7)	95% c.i.	5.3 -	20.7
330	331	5.0 (se	0.0)	95% c.i.	5.0 -	5.0

File: Right OEC

Sampling period: Event

Restrictions: No restrictions

Association: Group association; Event; grouped in sampling period

Number of sampling periods = **34** Number of individuals = **79**

Model: Closed (**Schnabel**)

Estimated population size = **138.806**

(Likelihood 95% c.i. = **101.6 - 197.3**)

(Bootstrap s.e. = 28.5 95% c.i. = **109.3 - 218.1**)

(Jackknife s.e. = 28.4)

Log-likelihood = -153.7465; Akaike Information Criterion (AIC)= 309.4929

Too many sampling periods for residuals plot

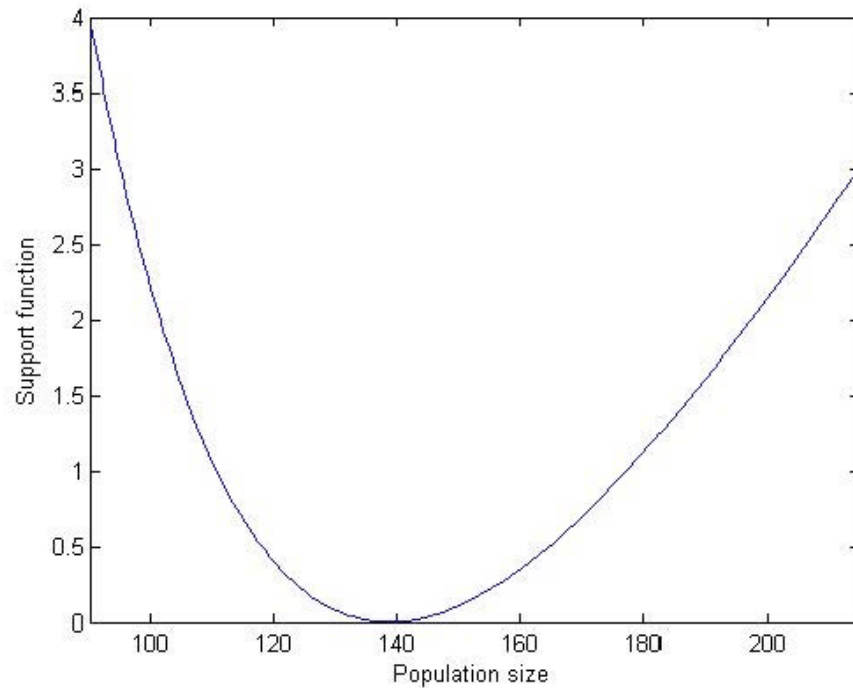


Figure 34. Graphique relatif à l'estimation de population obtenue en appliquant le modèle de population fermée (Petersen et Schnabel) aux côtés droits.

On trouvera ci-après les résultats obtenus en appliquant le modèle de population ouverte (Jolly-Seber et Mortality).

File: Right OEC

Sampling period: Event

Restrictions: No restrictions

Association: Group association; Event; grouped in sampling period

Number of sampling periods = **34** Number of individuals = **79**

Model: **Jolly-SebeSample**

Sample	N	Surv. Rate	Birth Nos
267	Inf	NaN	NaN
268	Inf	NaN	NaN
274	Inf	0.000	NaN
275	Inf	1.000	NaN

283	Inf	1.593	-Inf
285	71.7	Inf	NaN
287	Inf	0.000	NaN
288	Inf	Inf	NaN
292	Inf	0.000	NaN
293	102.0	0.542	13.0
295	68.3	Inf	NaN
298	Inf	NaN	NaN
311	Inf	NaN	NaN
312	Inf	0.000	NaN
313	Inf	1.933	-Inf
314	58.0	0.967	1.9
315	58.0	1.167	25.7
317	93.3	Inf	NaN
318	Inf	NaN	NaN
319	Inf	0.000	NaN
320	204.0	0.667	-56.0
321	80.0	Inf	NaN
322	Inf	0.000	NaN
323	330.0	0.417	Inf
324	Inf	Inf	NaN
325	Inf	0.000	NaN
326	112.8	0.389	-22.9
327	21.0	Inf	NaN
328	Inf	0.000	NaN
330	8.1	0.400	-0.3
331	3.0	Inf	NaN
336	Inf	NaN	0.0

File: Right OEC

Sampling period: Event

Restrictions: No restrictions

Association: Group association; Event; grouped in sampling period

Number of sampling periods = **34** Number of individuals = **79**

Model: **Mortality**

Estimated population size = **136.3518**

(Likelihood 95%c.i. = **88.1 - 197.2**)

(Bootstrap s.e. = 20.0 95%c.i. = 94.9 - 167.8)

(Jackknife s.e. = 37.1)

Estimated mortality rate = **0.00069343**

(Likelihood 95% c.i. = **0.0000 - 0.0151**)

(Bootstrap s.e. = 0.0039 95% c.i. = 0.0000 - 0.0134)

(Jackknife s.e. = 0.0089)

Log-likelihood = -153.7406; Akaike Information Criterion (AIC)= 311.4813

Too many sampling periods for residuals plot

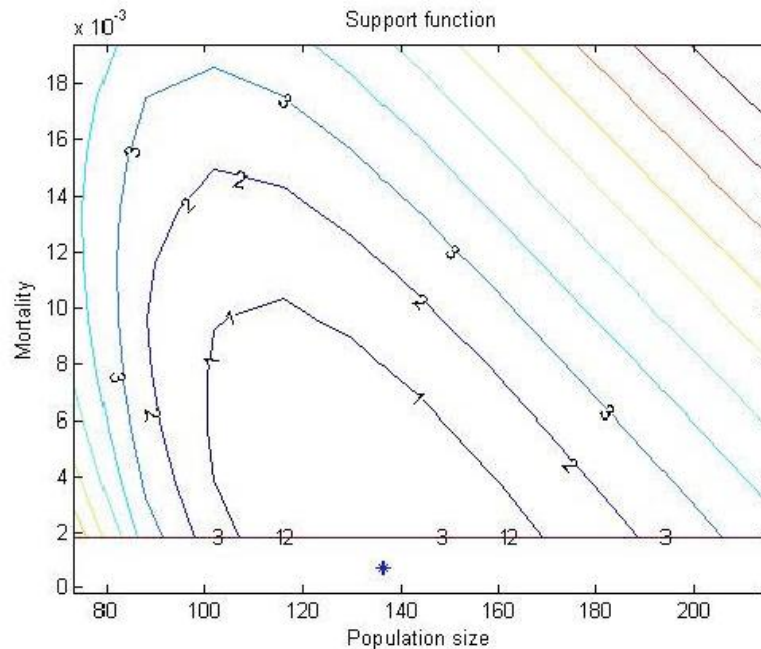


Figure 35. Graphique relatif à l'estimation de population obtenue en appliquant le modèle de population ouverte (Mortality) aux côtés droits.

CÔTÉS GAUCHES

On trouvera ci-après les résultats obtenus en appliquant le modèle de population fermée (Petersen et Schnabel).

File: Left OEC

Sampling period: Event

Restrictions: No restrictions

Association: Group association; Event; grouped in sampling period

Number of sampling periods = **30** Number of individuals = **75**

Model: Closed (**Petersen**)

267	268	3.0 (se	1.2)	95% c.i.	1.0 -	5.0
274	275	23.0 (se	13.1)	95% c.i.	1.4 -	44.6
287	288	15.0 (se	8.2)	95% c.i.	1.5 -	28.5
292	293	7.0 (se	3.2)	95% c.i.	1.7 -	12.3
311	312	32.0 (se	17.9)	95% c.i.	2.6 -	61.4
312	313	21.0 (se	10.2)	95% c.i.	4.1 -	37.9
313	314	5.0 (se	2.2)	95% c.i.	1.3 -	8.7
314	315	5.0 (se	2.2)	95% c.i.	1.3 -	8.7
319	320	29.0 (se	17.0)	95% c.i.	1.0 -	57.0
320	321	29.0 (se	17.0)	95% c.i.	1.0 -	57.0
323	324	24.0 (se	13.9)	95% c.i.	1.2 -	46.8
324	325	24.0 (se	13.9)	95% c.i.	1.2 -	46.8
325	326	34.0 (se	20.2)	95% c.i.	0.8 -	67.2

Inverse-variance-weighted population estimate = 4.8; s.e. = 1.1

File: Left OEC

Sampling period: Event

Restrictions: No restrictions

Association: Group association; Event; grouped in sampling period

Number of sampling periods = 30 Number of individuals = **75**
 Model: Closed (Schnabel)
 Estimated population size = **129.0255**
 (Likelihood 95% c.i. = **95.0 - 182.2**)
 Log-likelihood = -152.7025; Akaike Information Criterion (AIC)= 307.4049
 Too many sampling periods for residuals plot

On trouvera ci-après les résultats obtenus en appliquant le modèle de population ouverte (Jolly-Seber et Mortality).

File: Left OEC
 Sampling period: Event
 Restrictions: No restrictions
 Association: Group association; Event; grouped in sampling period
 Number of sampling periods = **30** Number of individuals = **75**
 Model: **Jolly-Seber**

Sample	N	Surv. Rate	Birth Nos
267	Inf	Inf	NaN
268	Inf	0.000	NaN
274	13.3	0.600	Inf
275	Inf	2.000	NaN
283	Inf	0.750	NaN
285	Inf	2.000	NaN
287	Inf	0.500	NaN
288	Inf	Inf	NaN
292	Inf	0.000	NaN
293	111.0	0.803	36.2
295	125.3	Inf	NaN
311	Inf	0.000	NaN
312	Inf	0.200	NaN
313	Inf	2.000	NaN
314	Inf	0.500	NaN
315	Inf	1.832	-Inf
317	83.0	1.896	-27.4
319	130.0	Inf	NaN
320	Inf	0.000	NaN
321	73.8	Inf	NaN
323	Inf	NaN	NaN
324	Inf	0.000	NaN
325	76.0	0.875	-24.5
326	42.0	Inf	NaN
328	Inf	0.000	NaN
330	6.0	Inf	NaN
336	Inf	0.000	NaN
338	6.0	NaN	0.0

File: Left OEC
 Sampling period: Event
 Restrictions: No restrictions
 Association: Group association; Event; grouped in sampling period
 Number of sampling periods = **30** Number of individuals = **75**
 Model: **Mortality**
 Estimated population size = **129.0255**
 (Likelihood 95%c.i. = **95.0 - 182.2**)
 (Bootstrap s.e. = 17.7 95% c.i. = 93.6 - 165.6) (Jackknife s.e. = 34.0)
 Estimated mortality rate = **7.1603e-014**
 (Likelihood 95%c.i. = **0.0000 - 0.0128**)
 (Bootstrap s.e. = 0.0031 95% c.i. = 0.0000 - 0.0107) (Jackknife s.e. = 0.0023)
 Log-likelihood = -152.7025; Akaike Information Criterion (AIC)= 309.4049

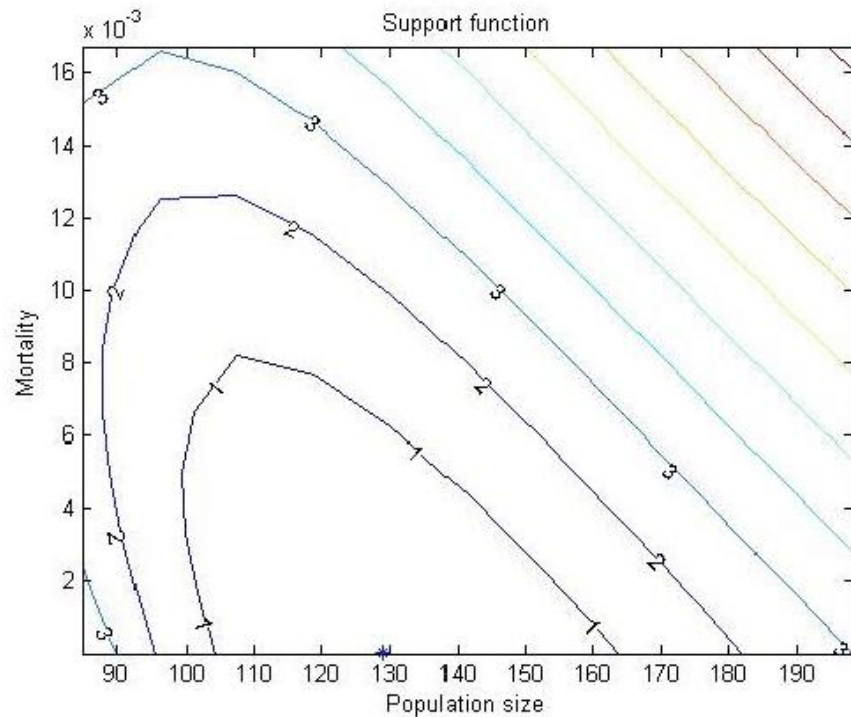


Figure 36. Graphique relatif à l'estimation de population obtenue en appliquant le modèle de population ouverte (Mortality) aux côtés gauches.

*
* *

4.3 Conclusions

L'estimation de l'abondance de la population de grands dauphins présents dans l'aire de l'Archipel toscan et de la mer Ligure, obtenue en élaborant les données collectées pendant les campagnes GIONHA et les données provenant des archives du Dip.Te.Ris., confirme substantiellement les estimations obtenues par d'autres auteurs (Gnone et al., 2011). En particulier, on a obtenu l'estimation la plus élevée dans cette aire (431 individus intervalle de confiance à 95 % 379,2–493,1) avec le modèle de population fermée en utilisant seulement les individus identifiés au moyen des marques présentes sur le côté gauche.

Dans la zone des Bouches de Bonifacio, l'estimation la plus élevée (environ 139 individus, intervalle de confiance à 95 % 101,6–197,3) a été obtenue avec le modèle de population fermée en utilisant seulement les individus identifiés au moyen des marques présentes sur le côté droit.

*
* *

5. Structure de la population et analyse sociale

5.1 Analyse de réseaux (Network Analysis)

Les animaux sociaux tendent à s'organiser en unités qui peuvent réagir différemment à divers facteurs qui dépendent ou non de la densité.

Ils font le choix d'appartenir à des groupes de congénères ou bien de les quitter pendant toute leur vie.

La modalité selon laquelle les individus interagissent entre eux dépend de facteurs intrinsèques comme la présence ou l'absence d'associations préférentielles (Lusseau et al., 2005).

Les facteurs intrinsèques sont liés à des caractéristiques extrinsèques de l'habitat, qui conditionnent aussi bien les facteurs qui dépendent de la densité et de la disponibilité des proies (Baird & Dill, 1996 ;

Fritz & de Garine Wichtitsky, 1996 ; Honer et al. 2002 ; Lusseau et al., 2004 ; Vucetich et al., 2004) que des pressions indépendantes de la densité comme la complexité du paysage.

La structure sociale d'une population est une composante essentielle de sa biologie. Elle influence en effet sa structure génétique, la diffusion des maladies et son mode d'exploitation de l'environnement. La définition de l'échantillonnage, du nombre et de la composition des groupes permet d'indiquer les associations préférentielles des individus. Il s'agit d'une condition importante en vue de caractériser la structure sociale de la population.

La définition de la structure d'une société est complexe car les relations qui s'instaurent entre les individus changent au cours du temps et dans l'espace.

L'analyse des réseaux (network analysis) est un instrument fiable qui permet de définir structurellement une société. Le rapport entre les couples d'animaux (dyades) est défini par le temps passé ensemble au moyen d'un indice d'association.

Le but de l'analyse de réseaux est de déterminer la structure spatiale et temporelle des interactions sociales des grands dauphins présents dans l'aire d'étude, c'est-à-dire la mer Tyrrhénienne septentrionale et la mer Ligure orientale.

*
* *

5.1.1 Relation entre les individus

Deux individus sont dits associés s'ils sont présents dans le même groupe. Pour définir l'association entre couples d'individus au sein de la population, on a utilisé le Half-Weight Index (HWI), indice qui mesure les associations au moyen d'une échelle composée de 0 et 1 suivant les définitions ci-après :

- 0 : les deux individus n'ont jamais été observés ensemble.
- 1 : les deux individus sont toujours vus ensemble.

L'indice HWI se calcule comme suit:

$$HWI = 2x / (A + B)$$

Où :

- X = nombre de fois où le dauphin A et le dauphin B ont été observés ensemble.
- A = nombre totale de fois où le dauphin A a été observé.
- B = nombre totale de fois où le dauphin B a été observé.

En utilisant le HWI, on réduit au minimum le biais dû à la technique d'échantillonnage.

On a réalisé deux analyses des données provenant de l'aire de l'Archipel toscan-mer Ligure ainsi que des données corso-sardes. L'HWI a été calculé au moyen de SOCPROG.

Les associations préférentielles sont définies comme des associations qui se vérifient plus fréquemment que celles auxquelles on s'attend si elles étaient le fruit du hasard (Lusseau et al., 2005).

Pour définir ce type d'association, on a éliminé de l'analyse tous les couples de grand dauphin avec un **HWI** inférieur à **HWI_{null}**, suivant la formule :

$$HWI_{null} = n_{associate} / (N - 1)$$

Où:

- n_{associate}** = dimension moyenne du groupe dans lequel l'individu se trouve.
- N** = abondance de la population.
- HWI_{null}** = indice d'association moyen obtenu si l'individu s'associe de façon aléatoire au sein de la population en examen.

*
* *

5.1.2 Structure de la population

Pour déterminer la structure de la population, on a utilisé l'algorithme de Girvan-Newman (Girvan & Newman, 2002 ; Newman, 2003) qui subdivise la population en groupes étroitement liés en cherchant les frontières entre eux.

Les couples d'exemplaires définis comme formant des associations préférentielles sont idéalement compris dans les marges (lignes de frontière entre les couples).

Les frontières entre les individus sont définies en utilisant une « betweenness measure » (mesure d'interposition) : en se déplaçant parmi l'ensemble des couples, on attribue une valeur de fréquence aux différentes marges en fonction du nombre de fois où elles sont traversées.

Plus une marge est fréquemment traversée et plus sa betweenness est grande.

On a dans un premier temps calculé la betweenness entre toutes les frontières qui existent dans le réseau.

Le bord qui présente la valeur la plus élevée de betweenness a été éliminé.

La betweenness de tous les bords touchés par la suppression a été recalculée.

Les points précédents ont été répétés jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de bords.

Les marges avec les valeurs les plus élevées de betweenness ont été éliminées afin de définir les différentes communautés de grand dauphin.

Le fait qu'il faille recalculer la betweenness seulement pour les marges qui subissent l'influence de la suppression peut réduire le temps d'exécution de la simulation du processus à l'ordinateur.

La suppression doit être recalculée à chaque étape ou bien si des erreurs se vérifient car le réseau s'adapte aux nouvelles conditions établies après chaque suppression des bords.

En d'autres termes, l'algorithme divise la population en un nombre de communautés qui va de 1 à n , où n est le nombre d'individus pris en compte dans l'analyse.

Afin de sélectionner la meilleure subdivision, c'est-à-dire celle qui présente le plus grand nombre de frontières au sein de la population et la plus petite betweenness, on a calculé le modularity index Q , indice de modularité (Newman, 2003).

Cet indice quantifie le nombre de frontières qui existent au sein des communautés et entre elles.

$$Q = \frac{1}{2m} \sum_i (e_i - a_i^2)$$

où :

i (lignes) = j (colonnes) → numéro de la communauté

$$a_i = \sum_j e_{ij}$$

e_{ij} = nombre de frontières entre la communauté i et la communauté j .

La valeur de Q a été calculée à partir de la matrice fournie par les valeurs de HWI attribuées à tous les individus qui forment une association préférentielle.

Cette matrice est donc construite avec toutes les valeurs de HWI, en éliminant celles avec un HWI inférieur à HWI_{null} (appelée « matrice e »). Dans le cas hypothétique où tous les individus sont toujours observés tous ensemble, Q serait égal à zéro.

Une communauté définie avec justesse devrait présenter de nombreuses marges au sein de la communauté et une faible betweenness, ce qui se traduit par une valeur élevée de Q .

On veut évaluer la présence des frontières au sein de la population et l'influence de l'aire de distribution des individus dans la définition de ces communautés.

Le réseau social a été représenté graphiquement en utilisant les programmes :

- UCINET6
- NETDRAW

*
* *

5.2 Résultats

Pour étudier quel facteur peut déterminer la subdivision en communauté, on a évalué deux hypothèses : a) différents domaines vitaux (home range) ; b) différentes techniques d'alimentation.

L'aire d'étude a été subdivisée en trois sous-aires (Fig. 37) en se basant principalement sur l'extension du plateau continental et sur les caractéristiques océanographiques. Les exemplaires ont ensuite été

subdivisés comme appartenant à la catégorie « résidents » ou « en transit » suivant les définitions ci-après :

- Résident : individu observé seulement dans une sous-aire pendant la période de l'échantillonnage.
- En transit : individu observé dans plusieurs sous-aires pendant la période de l'échantillonnage.

Afin d'étudier le rôle joué par les stratégies alimentaires dans la détermination de la structure sociale, les individus ont été subdivisés en 3 catégories, en utilisant comme discriminant les chalutiers. Les catégories suivantes ont ainsi pu être définies :

- Trawlers (chalutiers) : individus qui chassent en association avec des bateaux de pêche et se nourrissent des proies prises dans les filets ou qui s'échappent du chalut.
- No Trawlers (non chalutiers) : individus qui n'ont jamais été observés en train de chasser à proximité des chalutiers.
- Mixtes : individus qui adoptent une technique de chasse mixte ; on les voit dans certains cas chasser à proximité des chalutiers et d'autres fois chasser seuls ou en groupe mais sans aucune interaction avec les navires de pêche.

On a enfin repéré les individus qui jouent un rôle important pour la cohésion de la population en appliquant la centrality measure (mesure de la valeur centrale).

Les résultats concernent l'ensemble des données présentes dans la base de données Dip.Te.Ris (Menkab : Campagne GIONHA 2010-11 ; Données complémentaires 2005-09). Pour leur élaboration, on a utilisé 863 photographies de très bonne qualité insérées dans la base de données. Elles ont été obtenues à partir de 76 observations de grands dauphins au cours de la période 2005-2010 (Fig. 37). 212 exemplaires différents ont été photographiés des deux côtés. Pour ce travail, on a sélectionné 120 individus qui correspondaient aux critères préétablis. Cet échantillonnage correspond à 28 % de la population totale si on prend en compte l'estimation la plus récente présente dans la littérature sur le sujet (428 individus, Gnone et al. 2011).

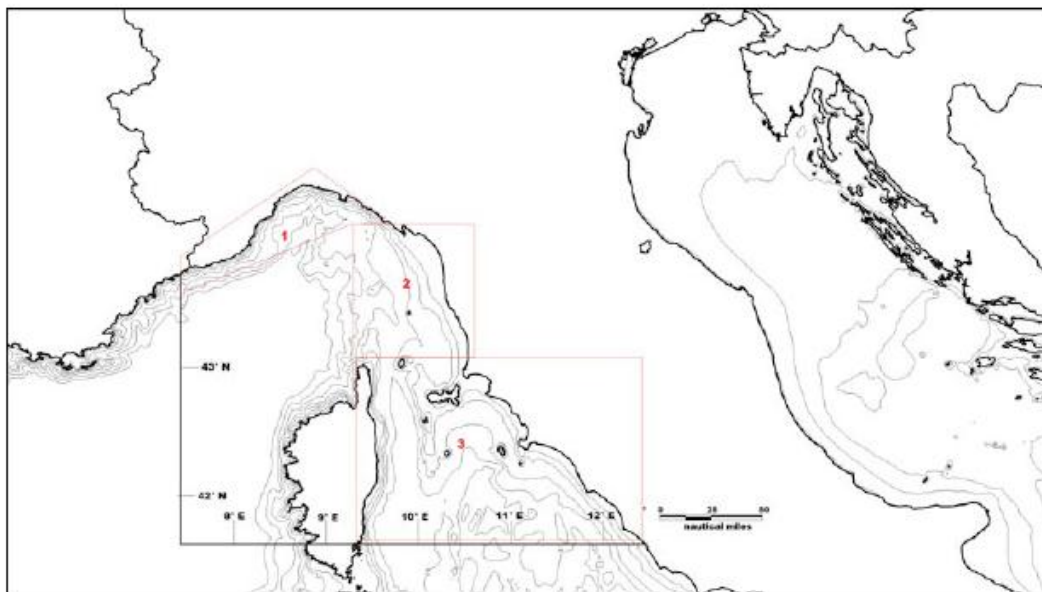


Figure 37. Subdivision de la zone d'étude en trois sous aires.

5.2.1 Indices d'association et analyse de partitionnement de données (cluster)

Le Half-Weight Index divise l'échantillon en 7 groupes principaux (Fig. 38) en considérant comme nulles toutes les associations dont le HWI est inférieur à 0,058 (Fig. 39).

On a reporté sur la Figure 40 les fréquences de l'indice d'association, Le plus grand nombre d'associations a une fréquence comprise entre 0,3 et 0,4. La même représentation a été réalisée pour le HWI au sein de chaque classe (Fig. 41) et entre elles (Fig. 42). À partir de ces graphiques, il apparaît qu'un plus grand nombre d'individus résidents en Ligure forme des associations « fortes » par rapport aux résidents en Toscane. (Tab. 32). Le HWI des données réelles a été largement supérieur aux données aléatoires, ce qui confirme l'existence d'associations préférentielles.

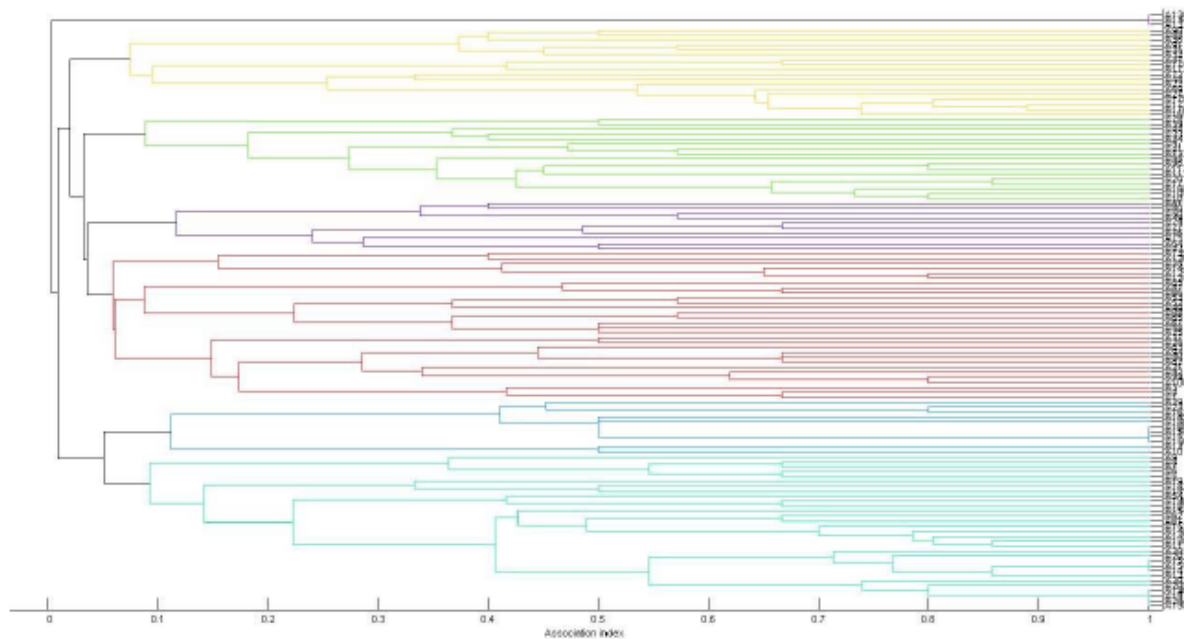


Figure 38. Analyse de partitionnement de données - Cluster analysis (HWI)

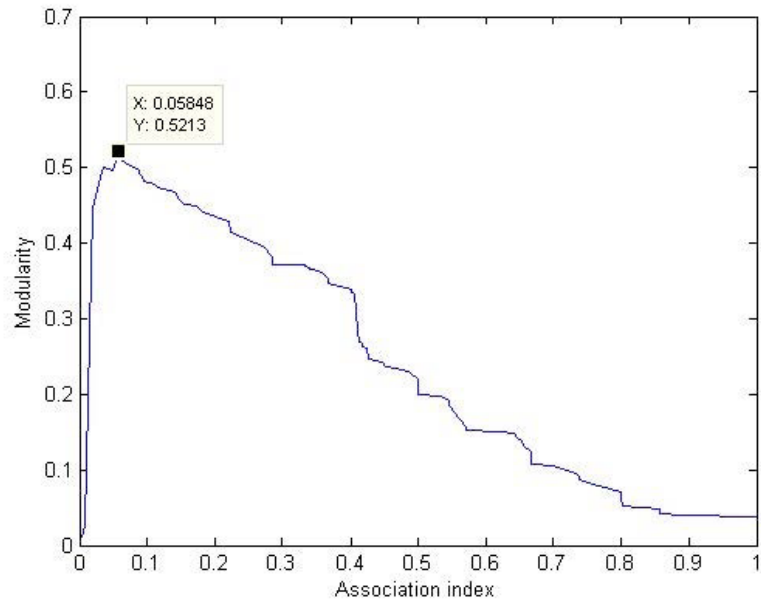


Figure 39. Modularité de grégarité

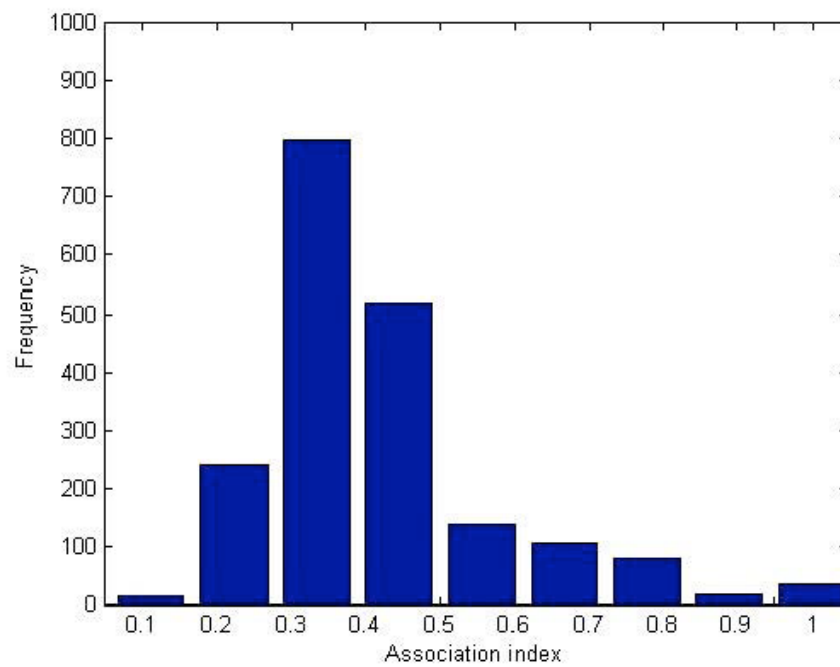


Figure 40. Fréquence des valeurs de HWI au sein de l'échantillon examiné.

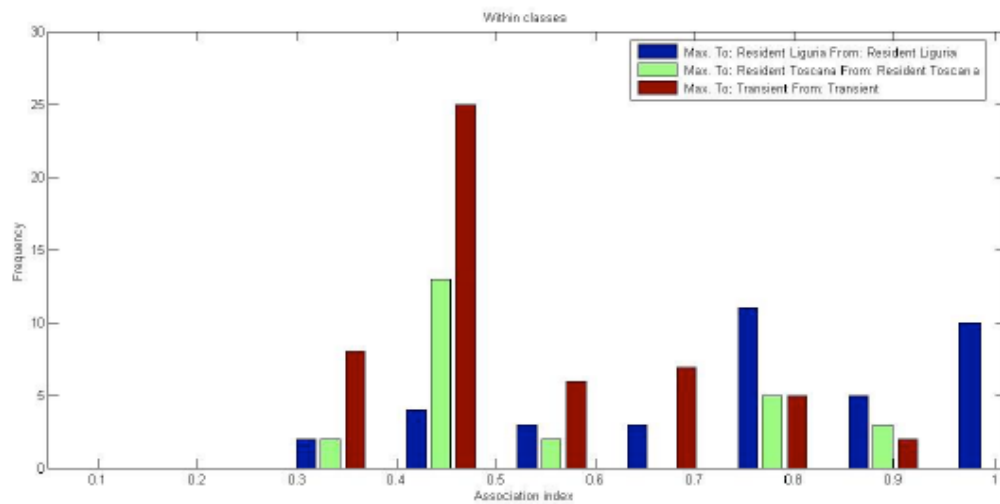


Figure 41. Valeurs maximales de HWI au sein des classes.

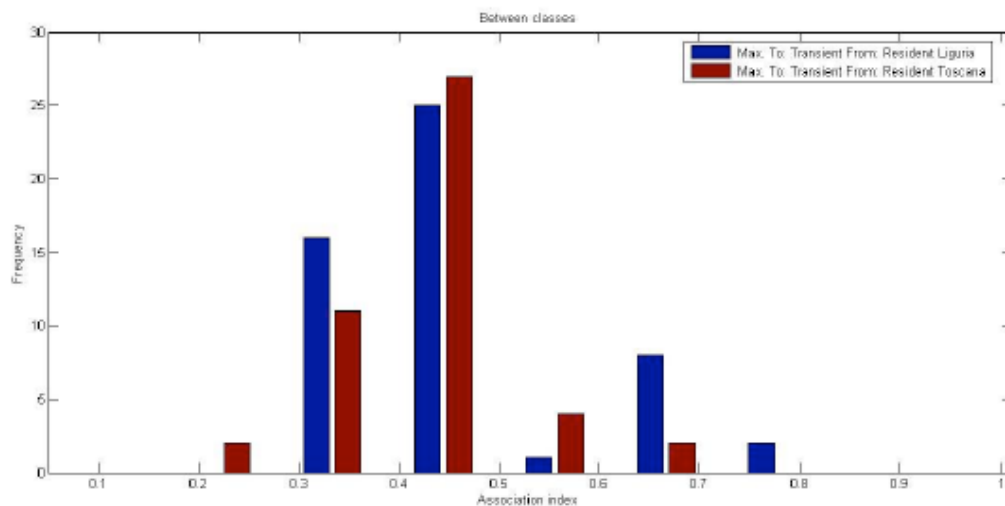


Figure 42. Valeurs maximales de HWI entre les classes.

	Mean association index	SD of mean association index
Real data	0.41275	0.17024
Random Data	0.00041	0.00017
<i>p</i> Value	0.00100	0.00100

Tableau 32. Résultat du test de permutation par association privilégiée-évitée

*
* *

5.2.2. Structure sociale

La Figure 43 présente le réseau social des 120 individus, qui a été élaborée à partir du HWI. Les données reportées sont les mêmes que celles du dendrogramme. Cette représentation ajoute toutefois des informations relatives à l'aire d'appartenance de chaque individu et aux techniques d'alimentation utilisées. L'algorithme de Girvan-Newman a permis de subdiviser l'échantillonnage en 3 communautés (Fig. 44), 2 de plus grande taille et un petit groupe isolé (1^{er} pic $Q = 0,494$). Les individus de l'aire 2 sont principalement « en transit ». On n'observe aucune influence de la technique de chasse dans la détermination de la subdivision en communautés. Il apparaît toutefois évident que ce sont principalement les animaux « en transit » qui utilisent les techniques de chasse mixtes. Le plus grand nombre de trawler est localisé dans l'aire 3. La mesure de la valeur centrale (Figure 45) reporte des valeurs plus élevées de betweenness pour les individus « en transit ». La taille des symboles est directement proportionnelle à la valeur de betweenness de l'individu.

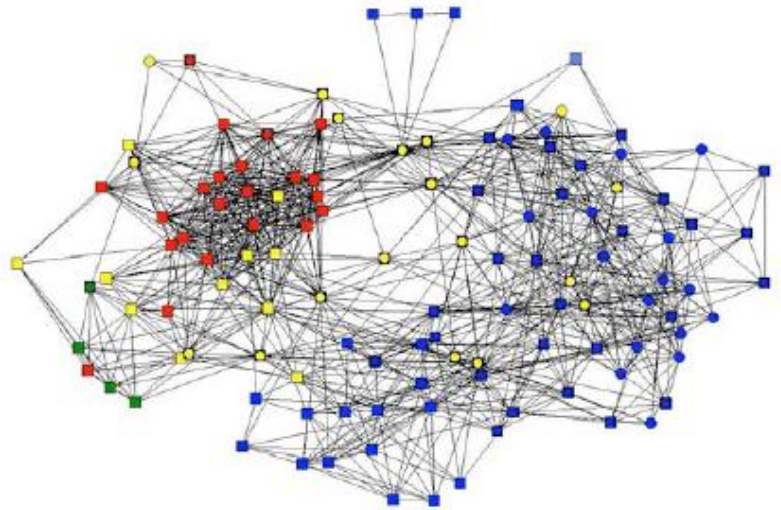
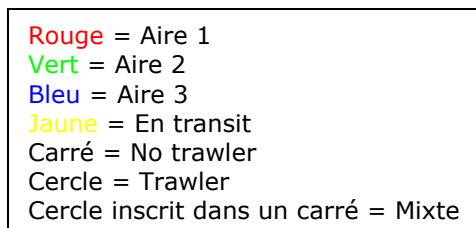


Figure 43. Réseau social de l'échantillon de grands dauphins.

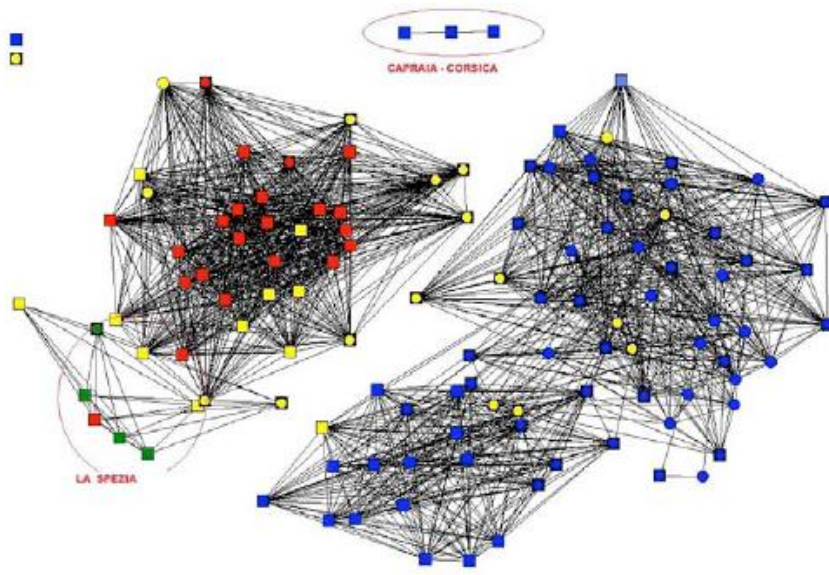


Figure 44. Subdivision en communautés au moyen de l'algorithme de Girvan-Newman.

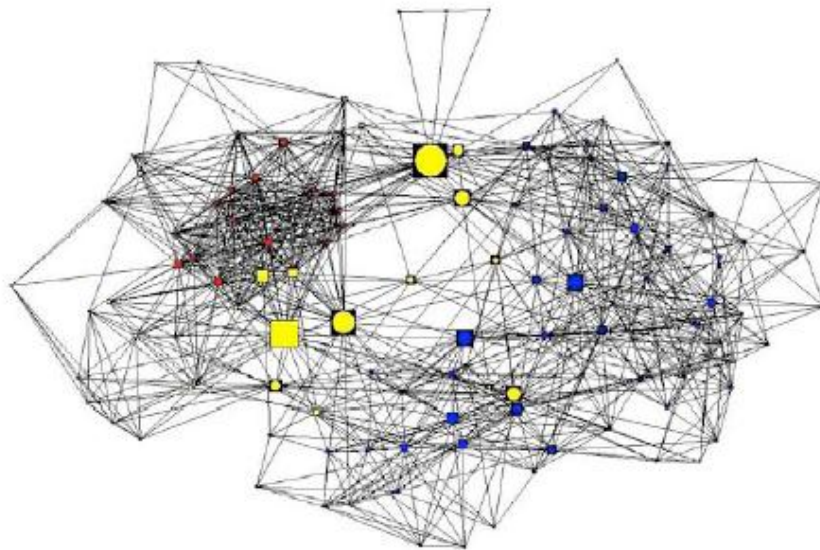


Figure 45. Mesure de la valeur centrale. La dimension des symboles est directement proportionnelle à la valeur correspondante de betweenness.

*
* *

6.2.3 Analyse temporelle

L'analyse temporelle de l'ensemble de l'échantillon (Fig. 46) résulte être composée de dissociations rapides avec un certain niveau d'associations casuelles. Pour les résidents tant ligures (Fig. 46) que toscans (Fig. 47), le modèle qui décrit le mieux leurs associations temporelles est le suivant : associations entre couples constants et dissociations rapides.

En résumé, la structure sociale apparaît guidée par des relations à court terme même si des couples de compagnons constants, avec de longues périodes d'associations, peuvent être trouvés parmi les individus définis comme résidents. Pour les résidents, les associations sont de l'ordre d'une dizaine de jours. Après cette période, les individus se séparent puis recommencent à s'associer.

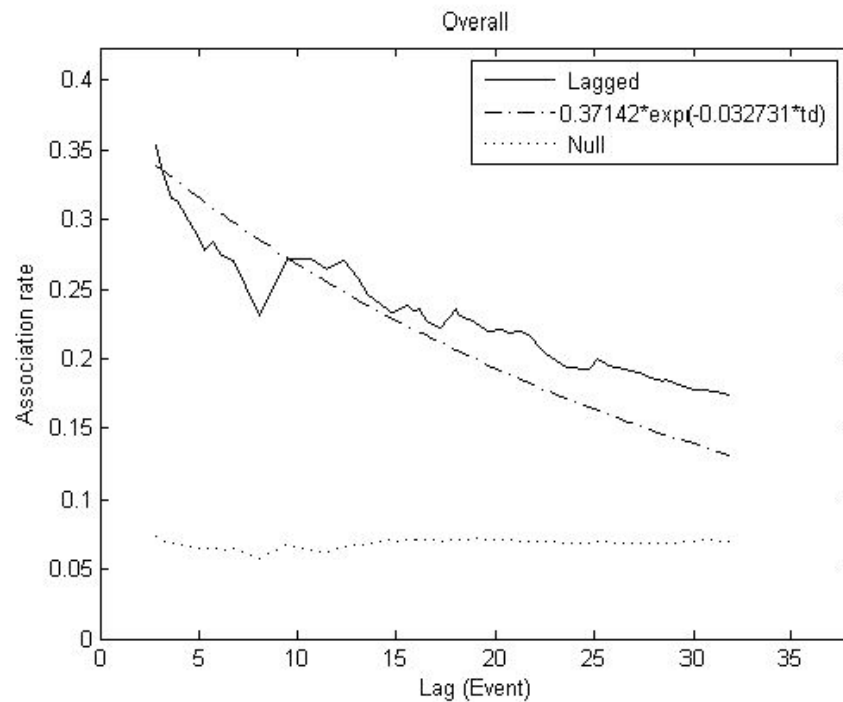


Figure 46 Analyse temporelle de l'ensemble de l'échantillonnage examiné.

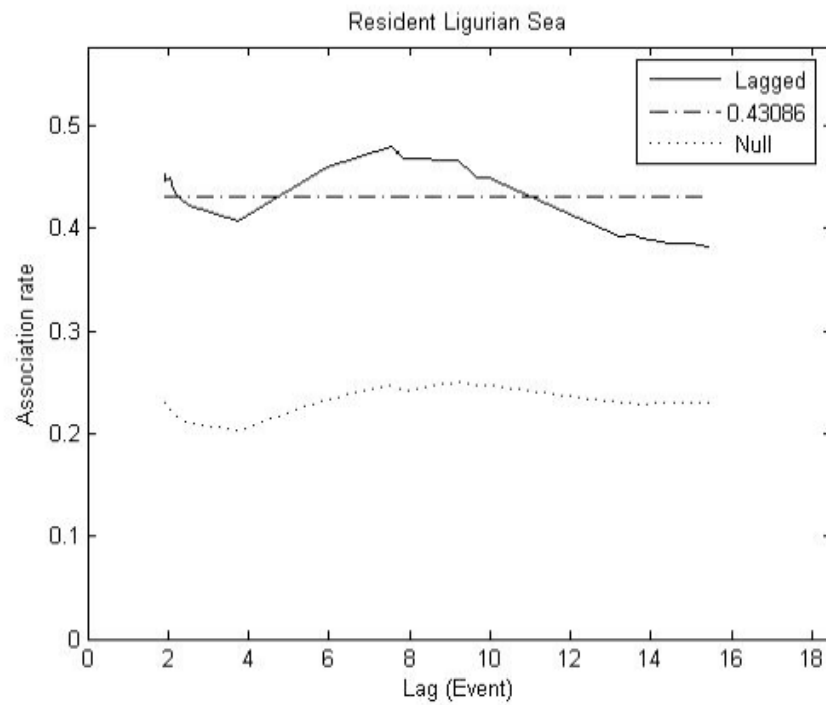


Figure 47. Analyse temporelle relative aux individus résidents en mer Ligure.

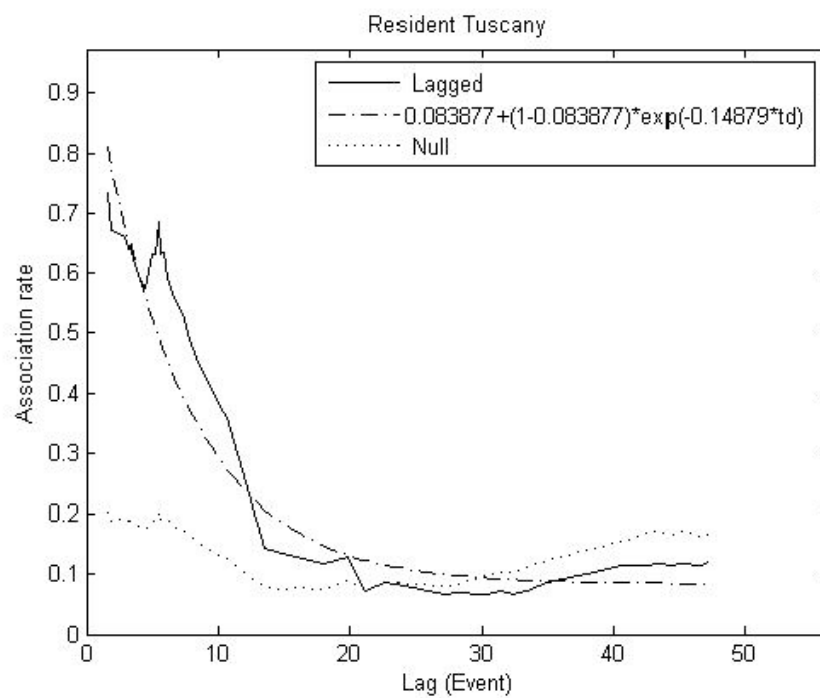


Figure 48. Analyse temporelle relative aux individus résidents dans l'Archipel toscan.

*
* *

5.3 Conclusions

À partir de la base de données photographique, on a sélectionné 120 individus qui correspondaient aux critères préétablis en termes de qualité, de degré de marquage et de nombre de recaptures. Cet échantillon correspond à 28 % de la population totale d'après les estimations les plus récentes.

La population étudiée semble être principalement composée d'individus « en transit ». Ils représentent 47,5 % de l'échantillon. Les résidents en mer Ligure en constituent 31,7 % et ceux présents dans les eaux de Toscane 20,8 %. La majorité des couples d'individus forment une association faible (0,3-0,4 HWI) et seuls quelques couples de résidents en mer Ligure présentent des associations supérieures à 0,5.

L'organisation sociale apparaît très dynamique et correspond à la caractéristique de l'espèce qui forme des sociétés de type « fission-fusion », c'est-à-dire des grandes communautés dont les membres changent fréquemment. Ce type de société se caractérise par de faibles indices d'association. Pour repérer les couples sur le long terme, on a réalisé la permutation de chaque individu pendant la période d'échantillonnage. La simulation qui utilise le HWI indique que, s'il existe des couples à association préférentielle, la SD des données réelles augmente remarquablement par rapport aux données aléatoires.

Les résultats précédents donnent une idée générale de la structure sociale mais ne décrivent pas la structure spatiale des associations. On a utilisé dans ce but l'algorithme de Girvan-Newman. Grâce à cette analyse, on a pu voir émerger deux grandes communautés et un petit groupe isolé. La séparation entre les individus de la mer Ligure et ceux de l'Archipel toscan, en particulier des îles, est évidente. Les individus de Toscane présentent comme les communautés de Ligure une association avec les chalutiers.

Au sein de la communauté ligure, ce sont principalement les dauphins « en transit » qui chassent en association avec les chalutiers. Ce constat semble mettre en évidence un transfert culturel de l'Archipel toscan à la Ligure. Ces deux communautés sont liées par un grand nombre d'individus « en transit » (également observés dans la sous-aire 2). Ces derniers présentent des techniques mixtes d'alimentation et certains d'entre eux peuvent être considérés comme des brokers (individus à plus grande betweenness) qui jouent un rôle fondamental pour maintenir la cohésion de la population.

La population étudiée vit en groupes composés d'individus qui forment des associations pendant peu de temps. Leur nombre diminue sensiblement au bout des dix premiers jours. Certains couples forment des associations stables mais la majorité d'entre eux est guidée par des interactions casuelles qui durent très peu de temps. La disponibilité des proies pourrait jouer un rôle fondamental dans la détermination ces changements brusques dans les groupes et dans leurs dimensions (Fig. 17). Les groupes deviennent denses en cas de grande disponibilité de proies. On a observé des grands groupes de plus de 30 exemplaires en correspondance des bancs de sable, qui chassaient de façon coordonnée en adoptant des techniques de coopération. L'association en groupe plus denses peut durer seulement quelques heures.

*
* *

7. Trawlers et Non Trawlers. Comparaison entre l'aire Archipel toscan-mer Ligure et l'aire des Bouches de Bonifacio

Afin d'étudier le rôle que jouent les stratégies d'alimentation dans la détermination de la structure sociale et afin de comparer la structure sociale entre les grands dauphins présents dans l'aire Archipel toscan-mer Ligure et ceux de la zone des Bouches de Bonifacio, on a subdivisé les exemplaires étudiés en 3 catégories, en utilisant comme discriminants les critères décrits précédemment quant à leur relation avec les chalutiers (Tab. 13).

	Trawlers	Non Trawlers	Mixtes
Archipel toscan et mer Ligure	41	81	5
Corse-Sardaigne	21	69	4
Totale	62	150	9

Tableau 13 – Interaction des grands dauphins avec le chalutage - Individus trawlers, non trawlers et mixtes

On a enfin repéré les exemplaires qui jouent un rôle important pour la cohésion de la population en appliquant la **mesure de la valeur centrale**.

Légende des Figures :

Activités de chalutage :

- *Individus trawlers* : couleur rouge
- *Individus non trawlers* : couleur bleue
- *Individus mixtes*: couleur noir

Aires d'observation:

- *De Sestri Levante à Massa* : cercle inscrit dans un carré
- *De Viareggio à Cecina* : signe +
- *San Vincenzo – Piombino – Capraia – Nord Elbe*: carré inscrit dans un cercle
- *Elbe Sud* : losange
- *En transit* : triangle

Groupes cerclés par grande aire :

- *Toscane* : couleur rouge
- *Ligure* : couleur verte
- *Mixte* : couleur jaune

Nous pouvons observer une nette prévalence d'unités sociales dans la grande aire Toscane par rapport à celle de la Ligure.

Le groupe cerclé en jaune représente les individus « en transit » observés dans les deux zones.

Ces exemplaires jouent un rôle important dans la structure sociale et s'avèrent être des points de contact et d'interaction entre les différentes communautés.

On peut observer que les individus trawlers se trouvent essentiellement dans la zone Ligure. Le groupe cerclé en orange comprend des individus non trawlers de l'aire toscane (San Vincenzo – Piombino – Capraia – Nord Elbe). Il se caractérise aussi par la présence de trois exemplaires « en transit » qui ont aussi été observés dans la zone de La Spezia et qui ont un comportement mixte en ce qui concerne l'interaction avec les activités de chalutage.

*
* *

7.1 Résultats

L'analyse de partitionnement de données (cluster) a été effectuée en prenant en compte séparément des dendrogrammes obtenus pour l'aire Archipel toscan-mer ligure et la zone Corse-Sardaigne, compte tenu aussi du fait que l'échantillonnage dans les deux zones a été conduit suivant des modalités et des temps différents et que les techniques de photo-identification n'ont pas donné lieu à des recaptures, ce qui indique que les individus qui fréquentent les deux zones ont probablement de faibles interactions entre elles. On a relevé un niveau de séparation du même type dans Gnone et al. (2011), ouvrage dans lequel on émet l'hypothèse que les grands dauphins qui vivent le long des côtes corses n'interagissent pas avec la population qui fréquente les eaux de l'Archipel toscan, alors que l'on a observé avec surprise des interactions avec la population qui réside le long des côtes françaises (l'île

de Capraia ne se trouve qu'à quelques milles du cap Corse et en est séparée par des fonds que le grand dauphin apprécie).

L'observation des dendrogrammes relatifs au HWI des deux groupes (Fig. 49 et 50) montre que le niveau d'association est très différent dans les deux zones. Les valeurs plus élevées de HWI_{null} relatives à l'aire Archipel toscan-mer Ligure indiquent un moindre niveau d'associations par rapport à la zone Corse-Sardaigne. Cette caractéristique apparaît de façon encore plus évidente si on considère que les individus de cette dernière représentent un noyau certainement plus sédentaire qui a probablement trouvé à l'intérieur du Parc marin international des Bouches de Bonifacio des conditions favorables à ses besoins en termes d'alimentation et de reproduction.

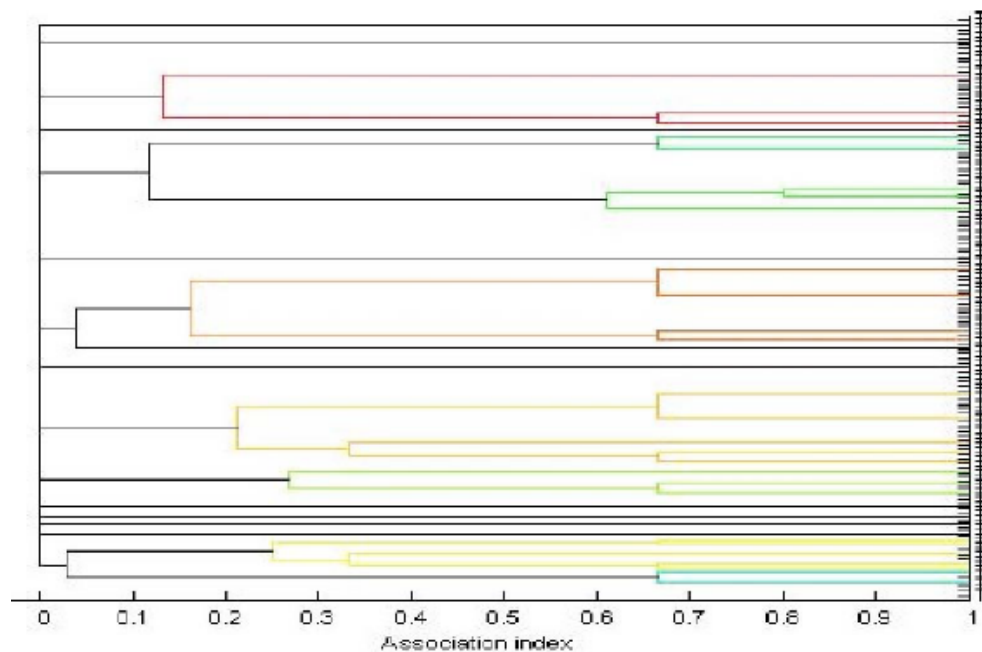


Figure 49. Analyse de partitionnement de données (Cluster analysis) obtenue à partir des données provenant de l'aire Archipel toscan-mer Ligure.

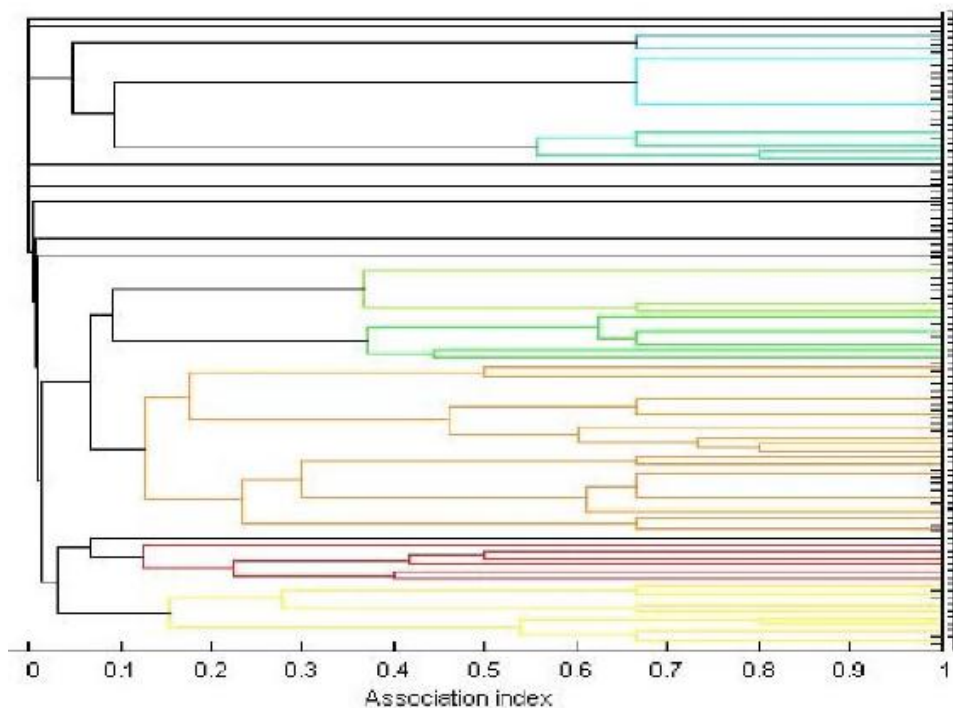


Figure 50. Analyse de partitionnement de données (Cluster analysis) obtenue à partir des données provenant de la zone Corse-Sardaigne.

Dans la réalité, on ne peut pas exclure de façon certaine que ces deux communautés ne peuvent pas interagir et se mêler, notamment en vertu de la caractéristique « fission-fusion » intrinsèque à la sociabilité du grand dauphin (Lusseau, 2005).

Il faut préciser que les données relatives à l'aire Archipel toscan-mer Ligure et celles de la zone Corse-Sardaigne sont le résultat de plans d'échantillonnage structurés différemment. Les données qui proviennent de la première font référence à une période d'étude plus brève et à une aire plus étendue par rapport à celles de la seconde. Ces limites restituent dans notre cas une vision « instantanée » de la situation et mettent en évidence en même temps l'importance d'un plan d'échantillonnage approprié.

Cela étant, on a remarqué que les unités sociales de la zone Corse-Sardaigne sont moins nombreuses que celles que l'on a observées dans l'aire Archipel toscan-mer Ligure, notamment parce que les grands dauphins sont concentrés dans un espace restreint et semblent par conséquent faire preuve de cohésion sociale.

Les individus « en transit », c'est-à-dire ceux qui vont d'une zone à l'autre, jouent un rôle important dans la structure sociale. Ce sont des points de contact et d'interaction entre les différentes communautés. Ces dernières ne sont pas immuables et comptent des individus avec des associations préférentielles qui sont plus intenses que d'autres. Il peut arriver que des exemplaires seuls aient des connexions et des interactions avec plusieurs individus de communautés différentes. On les nomme alors brokers, c'est-à-dire « intermédiaires » (Fig. 51 et 52) (Lusseau & Newman 2004). La présence de brokers entre deux unités sociales permet le transfert d'informations à différents niveaux (Rendell & Whitehead, 2001).

Il est important de rappeler qu'une communauté subdivisée comme il se doit devrait présenter de nombreuses frontières en son sein, une betweenness basse et une valeur de modularité Q élevée. La modularité est une mesure de la structure des réseaux sociaux. Elle mesure la force de subdivision d'un réseau social en module (groupes, clusters ou communautés). Un réseau social avec une valeur

élevée de modularité Q présente des connexions fortes entre les sommets dans le groupe mais des connexions faibles entre les sommets des groupes différents.

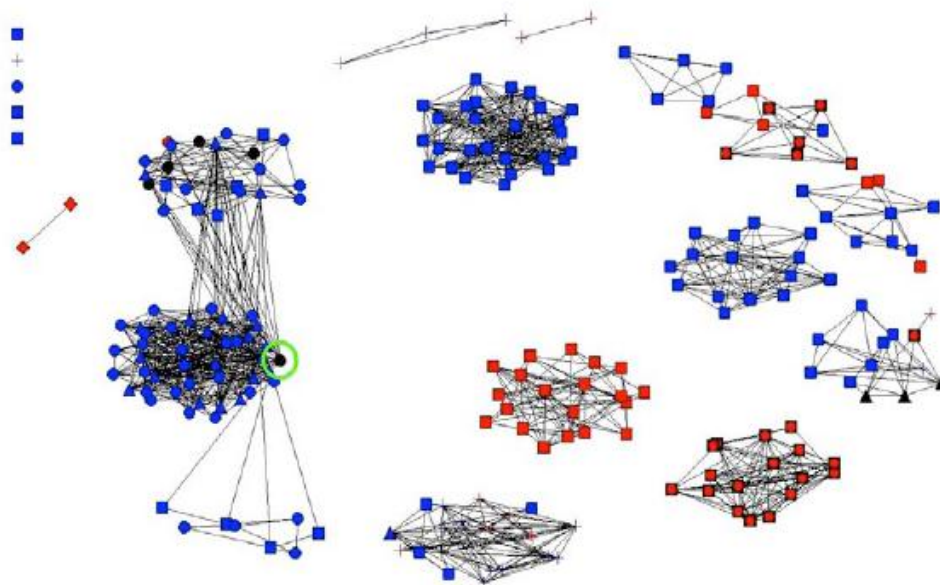


Figure 51 – Structure sociale – Exemple broker mis en évidence – Données agrégées

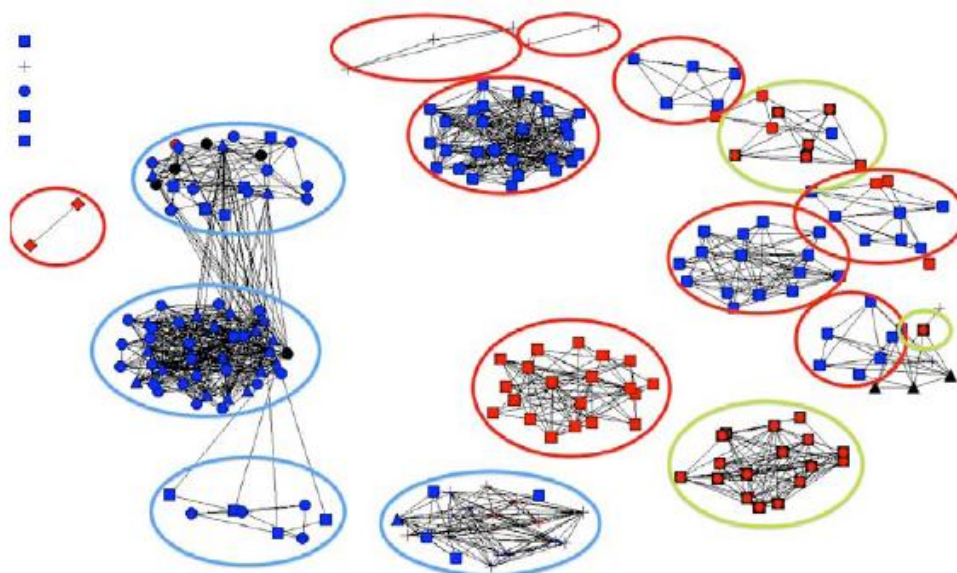


Figure 52 - Structure sociale – Macro-aires mises en évidence - Données agrégées
Cercles rouges : Toscane ; Cercles jaunes : Ligurie ; Cercles bleus : Corse-Sardaigne

La valeur de Q a été calculée à partir de la matrice des valeurs de HWI attribuées à tous les individus qui constituent une association préférentielle.

L'indice de modularité Q est de 0,776 pour l'aire Archipel toscan-mer Ligure et de 0,460 pour la zone Corse-Sardaigne. Il s'élève à 0,793 si on rassemble les données.

En comparant les indices de modularité des différentes zones, on remarque que celui de l'aire Archipel toscan-mer Ligure est supérieur à celui de la zone Corse-Sardaigne, ce qui peut aussi être mis en évidence à partir du plus grand nombre de connexions entre les sommets internes des communautés.

En ce qui concerne les interactions avec les activités de chalutage (Fig. 53), on a observé 24 grands dauphins trawlers, qui se trouvent pour la plupart dans la zone Sestri-Massa, et 17 en Toscane.

À proximité de l'île d'Elbe, on enregistre une importante communauté d'individus non trawlers.

Dans la zone Corse-Sardaigne, on a observé 21 grands dauphins trawlers et « en transit » du point de vue géographique.

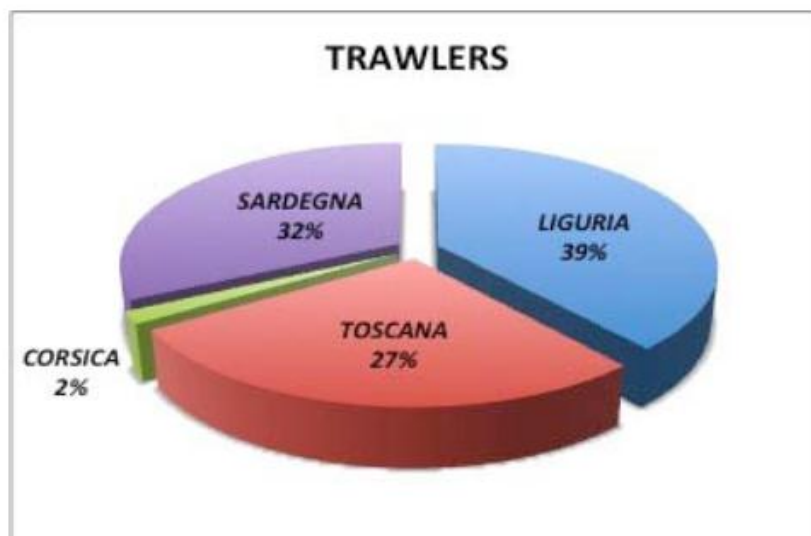


Figure 53. Grands dauphins trawlers en pourcentage

Comme on peut le voir sur la Figure 53, les grands dauphins trawlers semblent être plus fréquents en Ligure et en Sardaigne qu'en Toscane (pourcentages).

Aire	Nombre d'observations	Nombre d'observations Trawlers	Pourcentage d'observations Trawlers
Ligure	5	5	100%
Toscane	22	6	27,27%
Total	27	11	

Tableau 14. Détail des observations de trawlers dans l'Archipel toscan – Ligure

On remarque que sur le total de 27 observations, 5 ont été enregistrées comme trawlers en Ligure, dans la zone de La Spezia. Il est probable que ce comportement opportuniste s'est aussi développé en relation à la disponibilité de ressources alimentaires.

Étant donné que la plate forme continentale est plus large en Toscane et que les espèces dont se nourrissent les grands dauphins sont typiquement néritiques, on peut émettre l'hypothèse que les animaux ont moins besoin de profiter des bateaux de pêche dans cette aire pour leur alimentation.

* *

8. Distribution spatiale

8.1 Géostatistique

La géostatistique est née dans le cadre de la pédologie (étude du sol). Il s'agit de la branche qui s'occupe des statistiques permettant d'évaluer l'autocorrélation spatiale des données géographiques (Hengl, 2009) en cherchant à vérifier si des observations effectuées sur des points proches présentent une variabilité inférieure à celles effectuées entre des points plus distants. Cette méthodologie présente l'avantage des techniques d'extrapolation qui permettent de fournir des estimations sur la valeur d'une variable là où la mesure n'a pas été effectuée, à partir des données collectées. Utilisée avec succès au cours des années 1960 dans l'industrie minière, la géostatistique est aujourd'hui mise en œuvre dans tous les secteurs des sciences appliquées dans lesquels les phénomènes étudiés ont un caractère spatial. Parmi les raisons qui expliquent la généralisation de cette discipline, on peut citer son caractère pratique et son efficacité. Les méthodes géostatistiques ont en effet été mises au point pour répondre à des questions spécifiques et se sont avérées être efficaces dans les secteurs où elles ont été appliquées à l'origine. Elles sont aujourd'hui utilisées dans l'étude des thématiques environnementales (Raspa, 2003). La préservation d'aires qui se caractérisent par une grande biodiversité ou la gestion de territoires très hétérogènes sont en effet au cœur de l'écologie.

La « cartographie » de ces zones peut contribuer à leur gouvernance et permettre aux acteurs du développement de travailler à la conservation de la biodiversité et de mettre au point des plans d'exploitation du territoire.

Une caractéristique fondamentale de l'organisation structurelle du monde naturel est sa grande variété de conditions climatiques, géologiques et topographiques. Les données qui définissent le statut de ces éléments des écosystèmes présentent par conséquent un intervalle de variation particulièrement large. La formulation d'interférences au sujet des phénomènes étudiés en écologie est souvent obtenue à partir de tests statistiques ou à de procédures comme l'analyse de la variance (ANOVA). Même si ces instruments statistiques conviennent et sont faciles à mettre en place, ils considèrent toutefois que chaque donnée est indépendante de toutes les autres. La majorité des phénomènes naturels présente toutefois une mosaïque géographique et un certain degré de dépendance spatio-temporelle de la distribution des données à toutes les échelles dimensionnelles. Cela comporte la présence d'une structure spatiale ou temporelle dans laquelle les données sont corrélées.

Les propriétés de l'environnement sont en relation entre elles, quelle que soit leur échelle (grande ou petite). Le principe qui démontre ce lien est défini par l'autocorrélation selon laquelle les valeurs échantillonnées dans des lieux proches tendent à avoir des comportements similaires, alors que les valeurs d'une même variable mesurées dans des échantillons collectés dans des lieux lointains entre eux tendent à avoir des comportements différents ou tendent, au moins, à se différencier des valeurs moyennes que l'on trouve dans les deux lieux. Dans ce sens, la corrélation entre les valeurs tend à diminuer avec l'augmentation de la distance.

*
* *

8.1.2 Modèles pour l'analyse des données spatiales

L'information contenue dans un ensemble de données spatiales observées dans un domaine est d'habitude fragmentaire. La possibilité d'extrapolation dans des endroits où aucune mesure n'a été effectuée est liée à la construction d'un modèle, en supposant l'existence logique d'une relation qui lie les valeurs observées aux inconnues.

Méthodes déterministes

Quand les processus physiques ou chimiques sont connus, un phénomène peut être décrit au moyen d'un modèle déterministe qui prévoit l'évolution du sujet de l'étude en utilisant des équations mathématiques qui en décrivent le phénomène. L'utilisation de ce type de modèle amène à un résultat

unique et numérique pour chaque point de l'espace et pour chaque instant temporel futur. On peut considérer les méthodes suivantes comme étant des méthodes déterministes :

- méthode de la moyenne d'échantillonnage ;
- méthode des polygones de Voronoï ;
- méthode de triangulation ;
- méthode d'interpolation par voisins naturels (natural neighbour interpolation) ;
- méthode de pondération par l'inverse de la distance (inverse distance weighted, IDW).

Méthodes stochastiques

Le modèle déterministe décrit précédemment utilise des variables qui ne peuvent avoir qu'une seule valeur à un moment donné. La majorité des phénomènes naturels se caractérise cependant par la présence de variables qui interagissent de façon très complexe et apparemment casuelle et qui ne peuvent donc pas être modélisées exactement.

La théorie des processus stochastiques reconnaît cette composante fondamentale d'incertitude et, même si le terme aléatoire dénote souvent quelque chose d'imprévisible, l'approche probabiliste est en mesure, non seulement d'affronter le problème de l'estimation des valeurs inconnues, mais aussi de déterminer la qualité de l'estimation effectuée. Les phénomènes susdits peuvent être décrits en utilisant le concept de variable aléatoire. La totalité des variables aléatoires constitue le processus stochastique : si on utilise l'espace mathématique à une seule dimension et la si la variable indépendant est le temps, il s'agit alors d'une série temporelle ; si au contraire on utilise un espace mathématique à deux ou trois dimensions, on parle de processus stochastique spatial. En adoptant le point de vue stochastique, chaque point de l'espace n'a pas qu'une seule valeur pour une propriété mais un ensemble entier de valeurs. De cette façon, la valeur observée devient une valeur extraite de façon aléatoire à partir d'un nombre infini de valeurs possibles, représentées par une fonction de probabilité pour une loi. Cela signifie qu'il y a une variation en chaque point de l'espace. Ainsi, à chaque point **X_o** , une propriété **Z_{Xo}** est traitée comme une variable aléatoire, généralement continue et non discrète, avec une moyenne symbole, une variance, des moments d'ordre plus élevé et une fonction de probabilité de densité cumulative. Cette variable a donc une fonction de probabilité dont est extraite la valeur réelle.

L'ensemble de valeurs réelles (mesurées) de **Z** peut être considéré comme une variable régionalisée au sens où c'est une variable qui dépend étroitement de la position spatiale.

Une variable régionalisée est donc l'ensemble de valeurs que la fonction aléatoire **Z_{Xo}** prend en chaque point de son espace.

*
* *

8.1.3 L'approche probabiliste : le variogramme

En géostatistique, la corrélation spatiale est décrite pas le semi-variogramme. À partir de l'analyse du variogramme, on peut extraire des informations utiles pour comprendre le phénomène que l'on est en train de mesurer et sa répartition sur le territoire.

Si le semi-variogramme atteint une valeur limite (sill), cela signifie qu'il existe une distance au-delà de laquelle (Z_{8x}) et $Z(x+h)$ ne présentent plus de dépendance locale. Cette distance $a(a)$, qui dépend de la direction (décrite par l'angle a) le long de laquelle le semi-variogramme est calculé, est dit Range et définit la distance moyenne entre laquelle les échantillons restent corrélés spatialement. Le Range fournit un sens précis au concept de zone d'influence d'un échantillon.

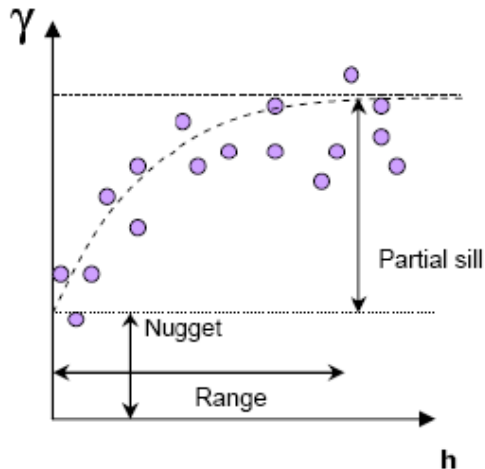


Figure 54. Variogramme

Le Nugget représente une discontinuité de la variable régionalisée à proximité de l'origine (à $h = 0$) et le semi-variogramme ne tend pas à zéro pour les petites distances $|h|$. L'effet nugget devient problématique :

- 1) en présence de microstructures, c'est-à-dire de composantes qui présentent une variabilité spatiale à une distance inférieure aux distances d'échantillonnages les plus petites.
- 2) en cas d'erreur expérimentale ; cette source est dite « nugget humain ».

La différence entre le still du modèle et le nugget représente la proportion de la variance totale qui peut être attribuée à la dépendance spatiale des données de la grille d'échantillonnage utilisée. Une autre information importante fournie par le nugget se réfère au caractère approprié de la grille utilisée pour décrire le phénomène étudié. Chaque phénomène se réalise et peut être étudié à des échelles dimensionnelles spécifiques. Les instruments géostatistiques peuvent donc être utilisés pour élaborer des stratégies optimales d'échantillonnage d'une aire ou d'une série temporelle ne disposant que d'informations sur le degré d'interdépendance des données. La modélisation du variogramme est un passage très délicat car il s'agit alors de choisir la courbe qui se rapproche le plus de la série discrète de points obtenus par l'analyse du variogramme expérimental.

Afin d'ajuster le modèle, il est opportun de suivre des procédures qui tiennent compte aussi bien d'aspects physiques que d'aspects statistiques :

- 1) Réalisation du tracé du variogramme expérimental.
- 2) Choix d'un ou plusieurs modèles parmi ceux qui sont disponibles, c'est-à-dire de ceux qui ont une forme approximativement correcte et sont suffisamment détaillés en vue de respecter les tendances principales des valeurs expérimentales.
- 3) Adaptation du modèle au moyen des procédures statistiques de minimisation des erreurs.
- 4) Examen du résultat graphique pour évaluer la qualité du résultat.

*
* *

8.1.4 Reconstruction spatiale des phénomènes au moyen d'estimations

La mise au point de cartes thématiques est l'une des opérations les plus communes qui sont effectuées dans le cadre du traitement des données spatiales, comme cela a été expliqué précédemment. Il s'agit de cartes géoréférencées dans lesquelles on reporte la tendance d'une variable d'étude grâce à une méthode appropriée de représentation. La carte est normalement construite à partir des valeurs mesurées à l'intérieur de l'aire d'étude.

Il existe deux modes de représentation d'une variable spatiale dans l'ensemble du champ : la représentation vectorielle et la représentation raster (trame ou matrice). On arrive au premier type de représentation au moyen d'une estimation de la variable au niveau des nœuds d'une grille puis à la définition successive, par interpolation, des isolignes.

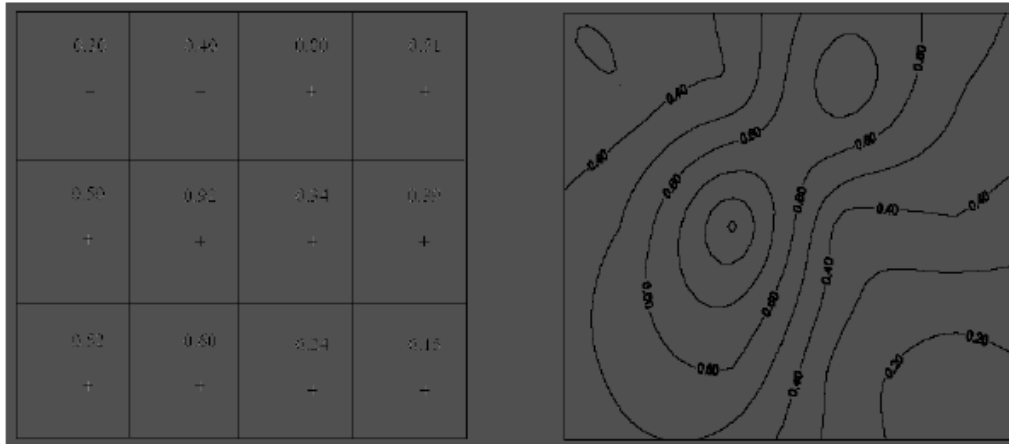


Figure 55. Estimation d'une grille régulière de points et interpolation ultérieure des isolignes

Justesse de l'estimation

La qualité de l'estimation dépend de l'importance des erreurs. Ces dernières se caractérisent par une loi de densité de probabilité, qui a une moyenne nulle si l'estimateur est correct, et une dispersion qui est responsable de la justesse de l'estimation. Plus la fonction de densité est dispersée et les plus les grandes erreurs sont fréquentes. À partir du moment où on travaille dans un cadre probabiliste décrit par des moments du second ordre, il n'est évidemment pas possible d'accéder à cette fonction, mais on est en mesure, comme on le verra, d'en calculer la variance, qui est appelée variance d'estimation. Cette grandeur permet de quantifier, en termes différents, la justesse de l'estimation.

*
* *

8.2 Krigeage (Kriging)

Le krigeage est la méthode géostatistique grâce à laquelle on obtient l'estimation de la valeur d'une variable qui se réfère à toutes les entités géométriques ponctuel (point) ou spatiales (block) (Matheron, 1963). Elle se réfère à un estimateur qui est défini par une combinaison linéaire des valeurs connues de la variable à proximité de l'entité à estimer. Grâce à l'utilisation du krigeage, les poids, à l'intérieur de la moyenne des valeurs, sont attribués de façon à minimiser la variance et les estimations résultent correctes ; pour cette raison, le krigeage est défini comme étant le meilleur estimateur linéaire correct (best linear unbiased estimation, B.L.U.E) (ESRI, 2001).

Il existe différents types de krigeage, parmi lesquels le krigeage ordinaire (Ordinary Kriging) et le krigeage universel (Universal Kriging) pour diverses typologies de variables.

Ce qui les différencie, c'est le type de variable utilisée : le krigeage ordinaire peut travailler seul avec des variables stationnaires du second ordre (qui présentent une moyenne constante et une variance qui ne dépend que du lag en se déplaçant de point en point) ; le krigeage universel peut par contre travailler aussi avec des variables non stationnaires (qui représentent du drift). Une des suppositions émises par le krigeage ordinaire est donc le caractère stationnaire de la donnée à estimer. Quand il existe au contraire une tendance spatiale significative de la donnée, cette hypothèse tend à diminuer. La condition de l'état stationnaire de la donnée peut tout de même être réhabilitée au moyen de l'introduction d'une fonction déterministe, qui décrit le drift, c'est-à-dire l'évolution de la moyenne, de

façon à pouvoir isoler le résidu, c'est-à-dire la partie aléatoire de la donnée. Le krigeage universel modèle et soustrait donc le drift présent dans la donnée au moyen d'une fonction déterministe, et analyse la seule composante aléatoire (résidu) (Matheron, 1963). La méthodologie du krigeage est extrêmement intéressante car elle permet non seulement d'estimer la valeur du paramètre étudié, mais aussi de vérifier la précision (variance d'estimation) dans des sites où on n'a pas effectué de mesures expérimentales.

*
* *

8.3 Surfer®

SURFER® est le logiciel qui a permis d'effectuer les analyses géostatistiques.

Ce programme permet de construire des cartes de répartition continue. La continuité est obtenue en utilisant le principe d'autocorrélation qui définit le degré de dépendance entre les valeurs de la variable d'échantillonnage.

Quand l'autocorrélation entre deux valeurs est démontrée, le changement de l'une des deux entraîne une variation de l'autre.

SURFER® crée des fichiers appelés Grid File (.grd) à partir d'un tableau d'entrées constitué de valeurs X, Y et Z définis comme suit :

- X est la longitude de la case centrale (en référence aux cases appartenant à la grille construite sur mapinfo) ;
- Y est la latitude de la case centrale (en référence aux cases appartenant à la grille construite sur mapinfo)
- Z est la variable, il s'agit ici de la valeur du taux de rencontre (Encounter rate - ER) calculé pour chaque case.

Le résultat est la création d'un réseau régulier (Fig. 56) dans lequel les valeurs Z dérivées de l'interpolation des données sont attribuées à chaque nœud de la grille.

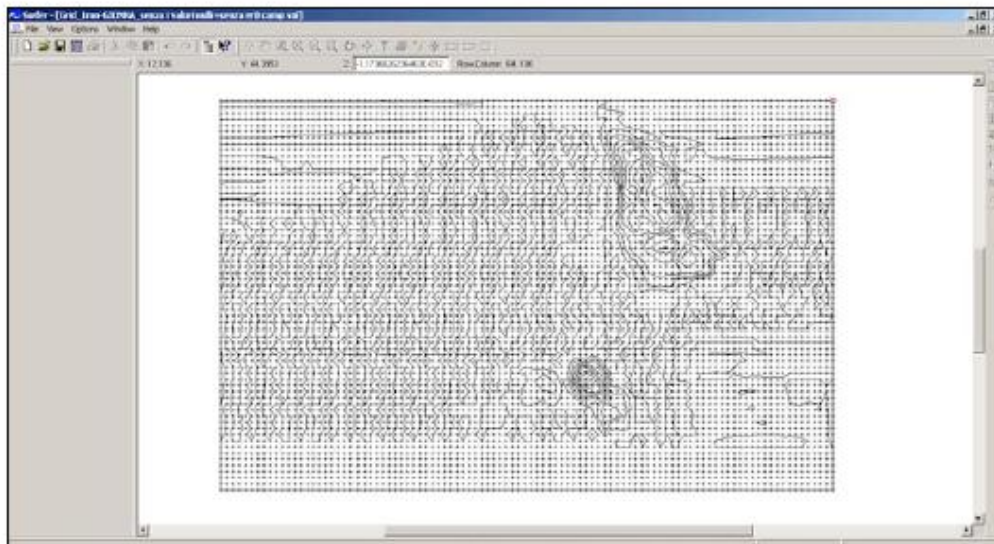


Figure 56. Visualisation graphique du grid file.

Grâce à cette méthode, il est possible de créer un ensemble de valeurs Z régulièrement réparties dans l'espace.

Il est possible d'utiliser différentes méthodes d'interpolation à l'intérieur du programme, qui appartiennent aussi bien aux modèles déterministes qu'aux modèles stochastiques.

Le krigeage est la méthode adoptée pour l'analyse des données.

Son application présume une analyse préliminaire du variogramme relatif, qui est utile pour sélectionner l'estimateur qui interpole au mieux les données. Ce dernier détermine l'interpolation même et s'avère être la principale responsable de la fidélité de la carte finale.

*
* *

8.4 Résultats

Les données utilisées pour l'analyse de la distribution spatiale du grand dauphin couvrent une période de six ans, de 2005 à 2011.

Les routes utilisées pour calculer l'effort d'échantillonnage proviennent des données GIONHA (Menkab, Pelagos, OEC) auxquelles on a ajouté les données chronologiques appartenant à la base de données Dip.Te.Ris, un total de **8713,99** milles nautiques d'échantillonnage.

Pour réduire les erreurs dues à la dispersion spatiale des données et obtenir une plus grande justesse du résultat, il est nécessaire d'utiliser un grand nombre d'informations.

À cause de la discontinuité de l'échantillonnage aléatoire, on a constitué une grille au moyen du logiciel GIS MAPINFO®, avec des cases de 1 mille nautique de côté, afin de rendre les données les plus homogènes possibles. On en a extrait les coordonnées du centre de chaque case. La bathymétrie étudiée est située entre 0 et 200 mètres de profondeur. Les observations enregistrées au-delà de cette bathymétrie n'ont pas été insérés dans les analyses.

L'effort a été calculé comme étant le nombre de fois où la case a été échantillonnée, même procédure pour les observations.

Le calcul de l'Encounter rate est le résultat de l'équation suivante :

$$ER_{case} = nb_observations / nb_fois_cella_échantillonnage$$

Le fichier d'entrées, nécessaire à l'élaboration du krigeage dans SURFER ® est composé comme suit :

CASE	LONGITUDE	LATITUDE	EFFORT	Nb d'observations	ER
JJ136	10,0295	42,7464	2	1	0.5

Tableau 15 – fichier d'entrées

Le fichier d'entrées (Tab. 15) a été inséré dans SURFER® et a ainsi permis de créer du variogramme expérimental (Fig. 57) dans lequel la ligne rouge représente la valeur de la variance et la ligne noire l'évolution des données. La ligne bleue montre le modèle utilisé pour ajuster les données, dans ce cas c'est le modèle logarithmique.

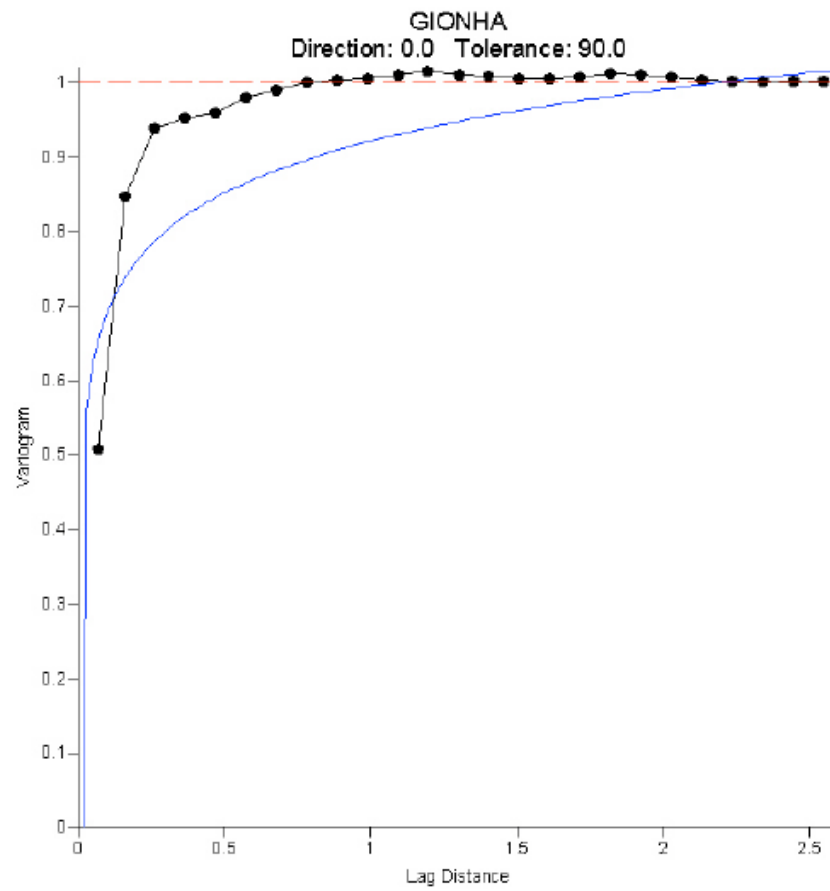


Figure 57. Variogramme relatif aux données 2005-2011

Le résultat de l'élaboration géostatistique est présenté ci-après (Figure 58).

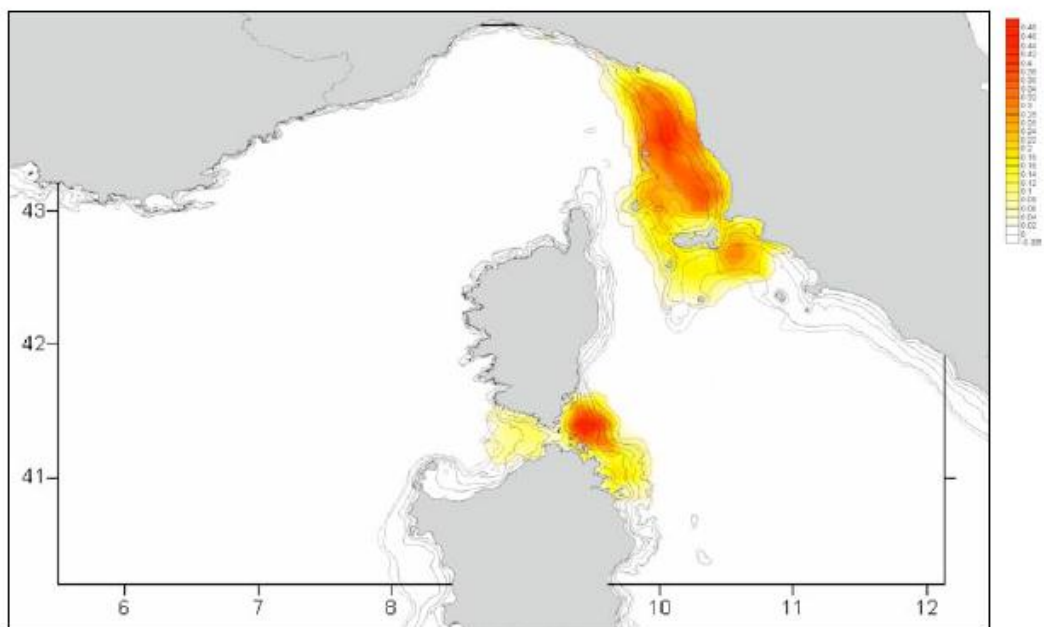


Figure 58. Carte de distribution de l'espèce *Tursiops truncatus* au moyen de l'application de l'algorithme KRIGING

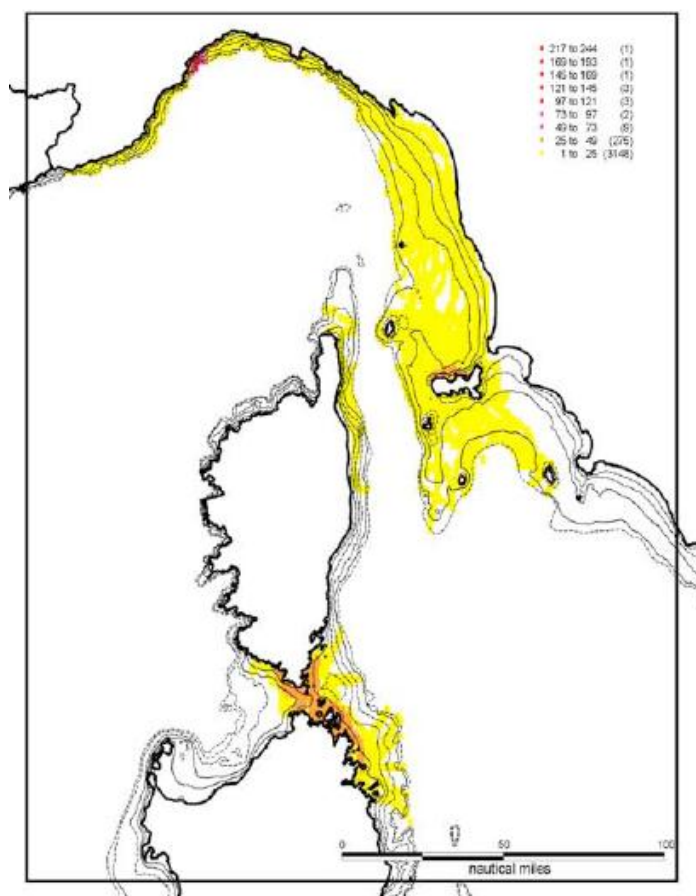


Figura 59. Carte thématique de l'effort d'échantillonnage

La Figure 59 illustre l'effort d'échantillonnage GIONHA (Menkab, Pelagos, OEC) auquel on a ajouté les données chronologiques de la base de données Dip.Te.Ris.

La carte est détaillée au mille nautique près. Comme on peut le noter à partir de la carte ci-dessus, même si les dates varient, l'échantillonnage a couvert presque la totalité de l'aire d'étude.

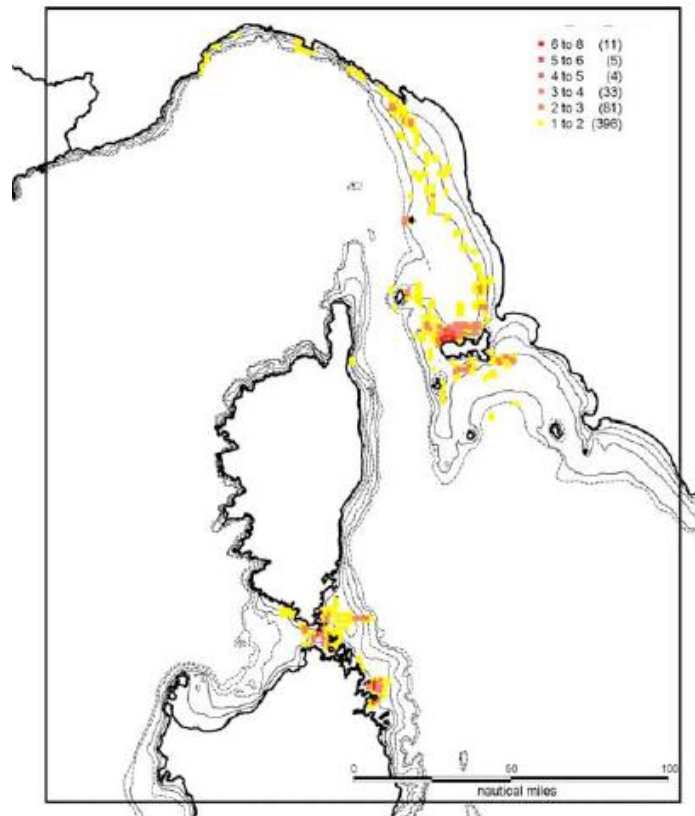


Figure 60 – Carte thématique des observations

La carte de la Figure 60 montre la distribution des observations de *Tursiops truncatus* enregistrées à l'intérieur de l'aire d'étude. Elle est aussi détaillée au mille nautique près. Le pic d'observations est visible dans les eaux de l'Archipel toscan, dans les Bouches de Bonifacio et dans les eaux de l'île Mortorio (Parc nationale de l'Archipel de la Maddalena).

*
* *

8.5 Conclusions

Comme on sait, le grand dauphin nécessite un plan de conservation particulier à cause d'innombrables facteurs de stress anthropiques. C'est ce qu'indique la Directive HABITAT (92/43/CEE) – Annexe II dans laquelle il est cité parmi les « espèces animales d'intérêt communautaire dont la conservation nécessite la désignation de Zones spéciales de conservation ».

Il est par conséquent nécessaire de définir les habitats critiques afin de préserver l'espèce.

La cartographie de la distribution spatiale des animaux est en ce sens un instrument utile car elle représente une aide valide pour la gouvernance et permet de définir les frontières des Zones spéciales de conservation.

À partir des analyses effectuées sur les données collectées dans la zone comprise à l'intérieur du Sanctuaire international des cétacés, et plus précisément dans les eaux baignant la Ligurie, la Toscane, le nord de la Sardaigne et le sud de la Corse (de 2005 à 2011), on a pu créer une carte de distribution continue en utilisant des techniques géostatistiques dans l'algorithme spécifique KRIGING.

La carte ainsi obtenue (Fig. 58) montre un pic de distribution dans la zone comprise entre l'embouchure du Magra et les eaux sud-est de l'île d'Elbe.

Un autre pic est visible dans les eaux du Parc naturel des Bouches de Bonifacio et dans celles qui baignent les îles présentes au nord du Parc national de l'Archipel de la Maddalena.

Bibliographie

Baird, R.W. & Dill, L.M. 1996. Ecological and social determinants of group size in transient killer whales. *Behavioral Ecology*, 7: 408–416.

ESRI, 2001. Using ArcGIS Geostatistical Analyst. ESRI, USA.

Fritz, H. & de Garine Wichtitsky, M. 1996. Foraging in a social antelope: effects of group size on foraging choices and resource perception in impala. *Journal of Animal Ecology*, 65: 736–742.

Girvan, M. & Newman, M.E.J. 2002. Community structure in social and biological networks. *Applied Mathematics*, 99(12): 7821–7826.

Gnone, G., Bellingeri, M., Dhermain, F., Dupraz, F., Nuti, S., Bedocchi, D., Moulins, A., Rosso, M., Alessi, J., McCrea, R. S., Azzellino, A., Airolidi, S., Portunato, N., Laran, S., David, L., Di Meglio, N., Bonelli, P., Montesi, G., Trucchi, R., Fossa, F. and Wurtz, M. 2011. Distribution, abundance, and movements of the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) in the Pelagos Sanctuary MPA (north-west Mediterranean Sea). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 21: 372–388.

Hengl, T., 2009. *A Practical Guide to Geostatistical Mapping*. Publisher by www.lulu.com. (ISBN: 978-90-9024981-0).

Honer, O.P., Wachter, B., East, M.L. & Hofer, H. 2002. The response of spotted hyaenas to long-term changes in prey populations: functional response and interspecific kleptoparasitism. *Journal of Animal Ecology*, 71: 236–246.

Lusseau D., Newman MEJ. 2004. Identifying the role that animals play in their social networks. *Proceedings of the Royal Society London*, B 271:S477–S481.

Lusseau D., Wilson B., Hammond P.S., Grellier K., Durban J.W., Parsons K.M., Barton T.R., Thompson P.M. 2005. Quantifying the influence of sociality on population structure in bottlenose dolphins. *Journal of Animal Ecology*, 75: 1–11.

Matheron, G., 1963. Principles of geostatistics. *Economic Geology*, 58, 1246–1266.

Newman, M.E. 2003. Mixing patterns in networks. *Physical Review*, 67: 026–126.

Raspa, G., 2003. *Il ruolo della geostatistica nella modellistica ambientale*. Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi La Sapienza, Roma.

Vucetich, J.A., Peterson, R.O. & Waite, T.A. 2004. Raven scavenging favours group foraging in wolves. *Animal Behaviour*, 67: 1117–1126.

Wilson PS, Hammond P, Thompson P M. 1999. Estimating size and assessing trends in a coastal bottlenose dolphin population. *Ecological Applications*, 9:288–300

Würsig B, Jefferson TA. 1990. Methods of photo-identification for small cetaceans. In: *Report of the International Whaling Commission*, Vol Special issue 12, Galveston, Texas, USA, p 43–52

Annexe 1

Gridding Report

Sat Dec 17 23:22:00 2011

Elapsed time for gridding: 14.6 seconds

Data Source

Source Data File Name: KRIGING\Grid_1mn-GIONHA.xls
X Column: B
Y Column: C
Z Column: F

Data Counts

Active Data: 49819

Original Data: 49819
Excluded Data: 0
Deleted Duplicates: 0
Retained Duplicates: 0
Artificial Data: 0
Superseded Data: 0

Univariate Statistics

	X	Y	Z
Minimum:	5.5022	40.1981	0
25%-tile:	7.04864	41.2307	0
Median:	8.37096	42.1468	0
75%-tile:	9.71569	42.92	0
Maximum:	12.136	44.3953	1
Midrange:	8.8191	42.2967	0.5
Range:	6.6338	4.1972	1
Interquartile Range:	2.66705	1.6893	0
Median Abs. Deviation:	1.32232	0.8328	0
Mean:	8.4755147164734	42.089151636926	
	0.0033260089586006		
Trim Mean (10%):	8.4408444140146	42.084849329825	0
Standard Deviation:	1.7648615683753	1.0421893658559	0.04574298942841
Variance:	3.1147363555281	1.0861586743032	
	0.0020924210818476		
Coef. of Variation:			13.753116722709
Coef. of Skewness:			17.927000927662

Inter-Variable Correlation

	X	Y	Z
X:	1.000	0.275	0.060
Y:		1.000	0.040
Z:			1.000

Inter-Variable Covariance

	X	Y	Z
X:	3.1147363555281	0.50512394353752	0.0048628862886776
Y:		1.0861586743032	0.0019201115628876
Z:			0.0020924210818476

Planar Regression: $Z = AX + BY + C$

Fitted Parameters

	A	B	C
Parameter Value:	0.001378530652152	0.0011267071309623	-0.055779895156302
Standard Error:	0.00012051326517373	0.00020407925580827	0.0083693601358337

Inter-Parameter Correlations

	A	B	C
A:	1.000	0.275	0.160
B:		1.000	0.993
C:			1.000

ANOVA Table

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F
Regression:	2	0.44174712539404	0.22087356269702	106
Residual:	49816	103.80057875118	0.0020836795156411	
Total:	49818	104.24232587657		

Coefficient of Multiple Determination (R^2): 0.0042376944458923

Nearest Neighbor Statistics

	Separation	Delta Z
Minimum:	0.015999999999998	0
25%-tile:	0.016599999999997	0
Median:	0.016599999999997	0
75%-tile:	0.016600000000004	0
Maximum:	0.06724	1
Midrange:	0.041619999999999	0.5
Range:	0.051240000000002	1
Interquartile Range:	7.105427357601E-015	0
Median Abs. Deviation:	7.105427357601E-015	0
Mean:	0.016537483361224	0.0013977444185635
Trim Mean (10%):	0.016537558821563	0
Standard Deviation:	0.00055186999263709	0.024227843152319
Variance:	3.0456048877326E-007	
	0.00058698838381338	
Coef. of Variation:	0.033370857015106	17.333528812957
Coef. of Skewness:	37.779643123907	25.370636701985
Root Mean Square:	0.016546688986365	0.024268128755078
Mean Square:	0.00027379291641149	
	0.00058894207327304	

Complete Spatial Randomness

Lambda:	1789.2579999115
Clark and Evans:	1.3990585816433
Skellam:	153345.15177628

Exclusion Filtering

Exclusion Filter String:	Not In Use
--------------------------	------------

Duplicate Filtering

Duplicate Points to Keep:	First
X Duplicate Tolerance:	7.9E-007
Y Duplicate Tolerance:	5E-007

No duplicate data were found.

Breakline Filtering

Breakline Filtering:	Not In Use
----------------------	------------

Gridding Rules

Gridding Method:	Kriging
Kriging Type:	Point

Polynomial Drift Order:	0
Kriging std. deviation grid:	no

Semi-Variogram Model

Component Type:	Logarithmic
Anisotropy Angle:	0
Anisotropy Length:	0.0001
Anisotropy Ratio:	1
Variogram Scale:	0.1

Component Type:	Nugget Effect
Error Variance:	0.0001
Micro Variance:	0.0006

Search Parameters

Search Ellipse Radius #1:	3.93
Search Ellipse Radius #2:	3.93
Search Ellipse Angle:	0

Number of Search Sectors:	4
Maximum Data Per Sector:	16
Maximum Empty Sectors:	3

Minimum Data:	8
Maximum Data:	64

Output Grid

Grid File Name:	KRIGING\Grid_1mn-GIONHA
Grid Size:	64 rows x 100 columns
Total Nodes:	6400
Filled Nodes:	6400
Blanked Nodes:	0

Grid Geometry

X Minimum:	5.5022
X Maximum:	12.136
X Spacing:	0.067008080808081
Y Minimum:	40.19809999
Y Maximum:	44.3953
Y Spacing:	0.066622222380952

Grid Statistics

Z Minimum:	-7.4190673933347E-011
Z 25%-tile:	-7.3651168822896E-036
Z Median:	0
Z 75%-tile:	8.5920549912524E-020
Z Maximum:	0.47698504640572

Z Midrange:	0.23849252316576
Z Range:	0.47698504647991
Z Interquartile Range:	8.5920549912524E-020
Z Median Abs. Deviation:	1.6704569386778E-027

Z Mean:	0.013095766627416
Z Trim Mean (10%):	0.0023288321871739
Z Standard Deviation:	0.052565540737087
Z Variance:	0.0027631360729824

Z Coef. of Variation:	4.0139338331703
Z Coef. of Skewness:	4.9110991875352

Z Root Mean Square:	0.054172273134346
Z Mean Square:	0.0029346351765421
