



ÉCOLOGIE ET DISTRIBUTION EN MER DES PUFFINS CENDRES NICHANT SUR L'ÎLE DE ZEMBRA, TUNISIE

Rapport rédigé par : Clara Péron (CEFE-CNRS)

Données collectées par Jean-Baptiste Pons (SEISE), Ridha Ouni (Consultant indépendant), Walid Abassi (APAL), Wahbi Jaouadi (APAL), Hassen Zaghdoudi (APAL)

Etude supervisée par David Grémillet (CEFE-CNRS) et coordonnée par Mathieu Thévenet (Expert associé PIM)



En collaboration avec :

Avec le soutien de :



Pour des fins bibliographiques, citer le présent document comme suit :

Péron, C., Pons, J.B., Ouni, R., Grémillet, D., Thévenet, M., Abassi, W., Jaouadi, W., Zaghdoudi, H. 2013.
Ecologie et distribution et distribution en mer du Puffin cendré de Zembra, Tunisie. PIM.

Données synthétiques sur la mission

Lieu : Parc National de Zembra, Tunisie

Dates : Collectes de données sur le terrain : Aout 2012 et 2013

Liste des participants aux missions de terrain et à l'étude par ordre alphabétique:



Walid Abassi



Clara Péron



David Grémillet



Jean-Baptiste Pons



Wahbi Jaouadi



Hassen Zaghdoud

Contexte de l'Etude

L'Initiative pour les Petites Iles de Méditerranée Depuis 2006, le Conservatoire du littoral coordonne un programme international de promotion et d'assistance à la gestion des micro-espaces insulaires méditerranéens, baptisé Initiative PIM pour les Petites Iles de Méditerranée, co-financé par le Fonds Français pour l'Environnement Mondial (FFEM) et l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée-Corse. L'Initiative PIM développe un dispositif d'échange et de partage des connaissances nécessaires à l'émergence de bonnes pratiques de gestion sur des espaces exceptionnels.

A l'occasion de missions de terrain et de formations, gardes, techniciens, scientifiques, naturalistes, gestionnaires, administrations et associations se retrouvent pour promouvoir la protection des petites îles de Méditerranée et mettre en place des actions de gestion concrètes, ayant un impact positif sur les écosystèmes, la biodiversité, les ressources naturelles et les usages.

Partenariat Cette mission s'inscrit dans le cadre du mémorandum de coopération entre le Conservatoire du littoral et l'Agence de Protection et d'Aménagement du territoire. Cette étude a été financée par l'Initiative PIM et réalisée par le Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive de

Montpellier, lui-même engagé sur un programme d'acquisition des données en mer PACOMM coordonné par l'Agence des Aires Marines Protégées.

Sommaire

Citation du document.....	2
Sommaire	3
Remerciements	4
Introduction.....	5
Méthodes	6
1. Suivi par biotélémetrie	6
2. Analyses isotopiques	7
Résultats.....	8
1. Caractéristiques des trajets d'alimentation pendant l'élevage du poussin.....	8
2. Les budgets d'activité.....	10
3. Distribution spatiale des puffins cendrés.....	10
4. Zones de concentration.....	21
5. Analyses isotopiques	21
Discussion.....	23
Conclusions.....	25
Bibliographie.....	27
Annexe 1.....	28
Annexe 2.....	29
Annexe 3 :.....	31

Remerciements

Nous remercions en premier lieu l'Agence de Protection et d'Aménagement du Littoral qui a donné les autorisations nécessaires à cette étude et fourni appui logistique et humain (3 agents ont participé aux travaux de terrain) sans lequel le travail de terrain n'aurait pas été possible.

Nous remercions également **David Grémillet**, du Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive (CEFE-CNRS), qui a mis à disposition les appareils électroniques et le matériel nécessaire aux suivis télémétriques. **Ridha Ouni et Jean-Baptiste Pons** ont effectué les suivis télémétriques sur l'île de Zembra en 2012 et 2013. **Clara Péron** a effectué cette étude pendant son contrat de postdoctorat au CEFE, financé par l'Agence des Aires Marines Protégées. Nous remercions également **Nory El Ksabi** pour la préparation des échantillons de plumes de puffins cendrés collectées en 2012 pour les analyses isotopiques, **Jérôme Fort** (LIENSs-CNRS, La Rochelle) pour son aide apportée à l'interprétation des données isotopiques ainsi que Sami Benhaj pour ses conseils.

Crédits photo : Jean-Baptiste Pons, Louis Marie Préau, Clara Péron

Introduction

Les puffins sont des éléments sensibles et emblématiques de la biodiversité marine en Méditerranée. Oiseaux discrets en mer et sur leurs sites de reproduction insulaires qu'ils ne visitent que la nuit, leurs habitats marins sont largement énigmatiques. Leur conservation mérite néanmoins toute notre attention car trois des quatre espèces d'oiseaux marins endémiques de Méditerranée sont des puffins.

L'île de Zembra, située à une dizaine de kilomètres du Cap Bon en Tunisie (Fig. 1), héberge la plus grande population de puffins cendrés (*Calonectris diomedea*) de Méditerranée et la plus grande colonie de reproduction d'oiseaux marins dans cette région. Les dernières estimations élèvent à 140 000 couples la population de puffins cendrés sur cette île (DuFos du Rau et al., Ibis, en révision), soit plus de 95% de la population Méditerranéenne de cette espèce.

La Tunisie détient ainsi une responsabilité importante en ce qui concerne le statut de conservation de cette espèce.

Les coopérations existantes entre l'Agence de Protection et d'Aménagement du Littoral et le Conservatoire du littoral ont permis de nombreuses missions naturalistes visant le recensement et le suivi des deux espèces de puffin présentes sur l'archipel. Une dératisation de l'îlot périphérique de Zembretta en 2009 a favorisé la réinstallation du Puffin yelkouan *Puffinus yelkouan* (Bourgeois et al. 2013), et des suivis annuels ont permis de mieux comprendre la répartition et les dynamiques de population des oiseaux marins de ce territoire.



Figure 1 : Site d'étude, l'île de Zembra, au large du Cap Bon, en Tunisie (étoile jaune).

En 2012 et 2013, à l'initiative des PIM, des suivis télémétriques par GPS ont été conduits par une équipe du Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive (CEFE-CNRS) de Montpellier (France) sur les puffins cendrés nichant sur l'île de Zembra. Cette étude, menée par Jean-Baptiste Pons et Ridha Ouni sur le terrain et Clara Péron, au CEFE, a pour objectif d'étudier les stratégies alimentaires des puffins et de définir des zones d'intérêt prioritaire pour la conservation de cette espèce en Méditerranée.

Les résultats de cette étude pourront être comparés à l'écologie en mer des puffins cendrés nichant sur les îles françaises de Méditerranée, suivis par biotélémétrie lors du programme PACOMM, en 2011 et 2012.

Etudier les mouvements et le comportement des oiseaux marins en mer au moyen des nouvelles technologies électroniques permet l'identification rapide et précise des zones de nourrissage essentielles au maintien de leurs populations.

Méthodes

Cette étude a été réalisée sur le terrain par 2 ingénieurs d'étude, Jean-Baptiste Pons et Ridha Ouni, pendant 2 semaines en 2012 et 2013. En binôme, ils ont effectué les déploiements d'appareils électroniques la nuit lors de la saison d'élevage du poussin, du 6 août au 18 août en 2012 et du 20 août au 3 septembre en 2013.

1. Suivi par biotélémetrie

Nous avons utilisé des appareils électroniques miniaturisés (GPS et enregistreurs de plongée) afin de suivre les déplacements en mer des puffins cendrés pendant la phase d'élevage du poussin.

Les **enregistreurs GPS** pèsent 20g (3% de la masse des puffins cendrés, 630g en moyenne, Tableau 1) et enregistrent la position de l'oiseau toutes les 3 minutes avec une précision de +/- 5m. Plus précis que les balises Argos, ces appareils stockent néanmoins les données « à bord » et ils doivent être récupérés après quelques jours afin de télécharger les données sur un ordinateur de terrain. Les appareils sont enveloppés dans une gaine thermo-rétractable qui permet d'étanchéifier l'appareil en minimisant le volume et le poids (Fig. 2). Ils sont fixés sur les plumes du dos des puffins à l'aide d'un scotch spécial (TESA) de couleur noire pour se fondre au plumage sombre des puffins. Lorsque l'appareil est récupéré, le scotch est retiré des plumes qui sont ainsi pas ou peu endommagées.

Les **enregistreurs de plongée**, appelés « TDR » (Temperature Depth Recorder), pèsent 2.7g (0.4% de la masse des puffins cendrés) et permettent d'enregistrer la température de l'eau et la pression. Ils ont été programmés afin d'acquérir une donnée toutes les 2 secondes. Ces petits appareils cylindriques sont également scotchés à l'aide de scotch TESA à la base de 3 rectrices (plumes de la queue). En 2013, les TDR ont été posés sur des bagues en plastique afin de diminuer le temps de manipulation des oiseaux. La durée de manipulation des oiseaux (attachement des appareils, collecte de plumes, pesée) a été tenue en dessous de 15 minutes.



Figure 2: Pose d'un GPS sur les plumes du dos d'un puffin cendré

Le tableau 1 résume le nombre de déploiements effectués lors des 2 années de suivis.

Année	Masse Pose [min-max]	Masse Récup [min-max]	Nb GPS déployés	Nb GPS récupérés	Nb voyages	Nb TDR déployés	Nb TDR récupérés
2012	634.5 [445-765]	639.5 [485-770]	23	19	35	11	10
2013	601.6 [480-740]	624.1 [480-800]	37	31	66*	13	12

*dont 6 incomplets

Tableau 1 : Bilan des déploiements effectués en 2012 et 2013 sur les puffins cendrés nichant sur l'île de Zembra.

Parmi les 66 voyages enregistrés en 2013, 6 sont incomplets à cause d'une défaillance des GPS. Ces trajets incomplets ont été exclus des analyses pour l'estimation des caractéristiques des trajets.

Les puffins ont été pesés au moment de la pose et de la récupération des appareils électroniques. La différence de masse mesurée n'est cependant pas représentative du gain de masse lors du voyage alimentaire car les oiseaux sont capturés dans leur terrier et la quantité de nourriture fournie au poussin est inconnue au moment où l'oiseau est recapturé.

2. Analyses isotopiques

Nous avons collecté des échantillons de plumes (1 cm à l'extrémité de la première et dernière primaire, P1 et P10) sur tous les individus recapturés afin de déterminer leur signature isotopique. Cette signature est propre à chaque individu et reflète le **niveau trophique** et les **aires d'alimentation** des oiseaux pendant la saison de **reproduction (P1)** et **hors de la saison de reproduction (P10)**.

Les analyses isotopiques ont été effectuées sur les plumes collectées en 2012 uniquement. Les échantillons de plumes ont été préparés par Nory El Ksabi au CEFÉ-CNRS. Les plumes ont été rincées dans une solution de 2:1 chloroforme:méthanol, rincées deux fois dans une solution de méthanol, séchées 48 h à 60°C et homogénéisées à l'aide de ciseaux. Les analyses ont été effectuées au Laboratoire Littoral Environnement et Sociétés (LIENSs, La Rochelle, France) sur un sous-échantillon d'environ 0,5 mg conservé dans une capsule en étain. Les analyses ont ensuite été effectuées dans un analyseur élémentaire (Thermo Fisher, Flash EA 1112) couplé en flux continu à un spectromètre de masse (Thermo Fisher, Delta V Advantage, Bremen, Germany).

Les abondances d'isotopes stables sont exprimées en notation δ comme la déviation par rapport au standard en part pour mille (‰) d'après l'équation suivante:

$$\delta X = [(R_{\text{sample}}/R_{\text{standard}}) - 1] \times 1000,$$

où X est ^{13}C ou ^{15}N et R est le ratio standard correspondant $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ou $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$.

Les valeurs standard sont Vienna-PeeDee Belemnite (VPDB) pour C et N_2 atmosphérique (air) pour N.

Des plumes de couverture ont également été prélevées pour le sexage des individus.

Résultats

Plus de 100 trajets alimentaires ont pu être enregistrés à l'aide des GPS miniaturisés pendant la saison d'élevage du poussin en 2012 et 2013.

1. Caractéristiques des trajets d'alimentation pendant l'élevage du poussin

Un plus grand nombre d'individus a été suivi en 2013, au cours de plusieurs voyages consécutifs (Fig. 3). La durée moyenne des trajets d'alimentation était de 2 jours en 2012 et 2013 mais les durées de trajets varient entre 1 et 7 ou 8 jours (Tableau 2). Contrairement aux puffins cendrés suivis sur les colonies de France métropolitaine, qui partent en moyenne une journée en mer, les puffins cendrés de Zembra effectuent des voyages plus longs et alternent parfois des trajets courts et des trajets longs (Fig. 3). Certains individus ont effectué plusieurs trajets courts répétés alors que d'autres alternent trajets courts et trajets longs.

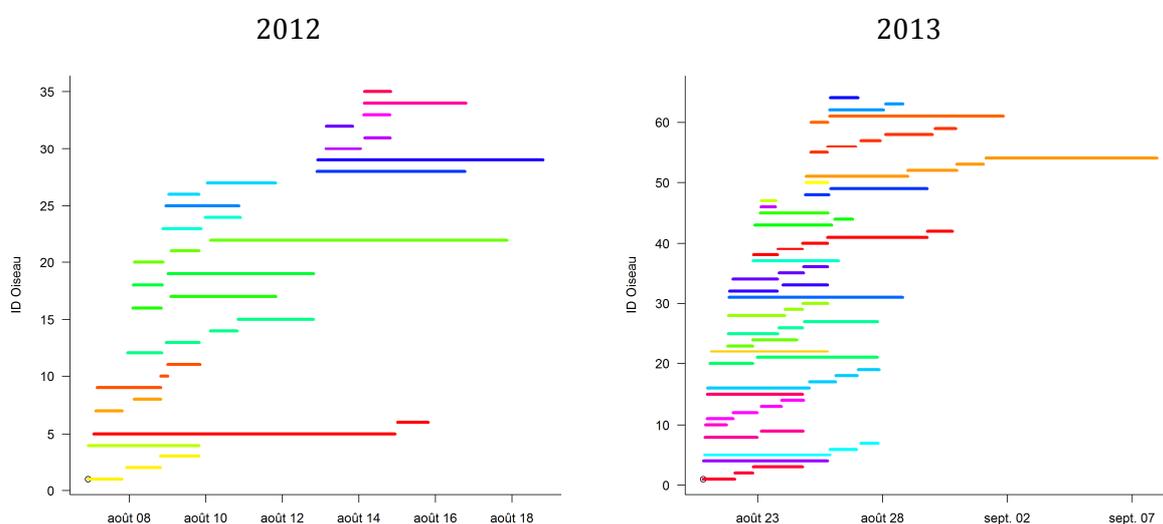


Figure 3 : Chronologie des déploiements GPS et durée des voyages en mer des puffins cendrés reproducteurs suivis depuis l'île de Zembra pendant l'élevage du poussin. Une couleur représente le ou les trajets d'un même individu.

La variabilité observée dans la durée des trajets se retrouve sur le rayon d'action et la distance totale parcourue lors des trajets. Il existe une relation linéaire entre ces paramètres (Fig. 4A et 4B). La distance totale parcourue lors d'un trajet alimentaire varie de 50 km à 1900 km pour certains individus (Tableau 2). Chaque année, 3 à 6 individus ont effectué des voyages alimentaires de plus de 1000 km. Cependant, leur rayon d'action autour de la colonie dépasse rarement 500 km (Fig. 5). Les paramètres des voyages par individu apparaissent dans les annexes 1 et 2.

La vitesse moyenne de déplacement est comparable durant les 2 années de suivis, 8-9 km/h, alors que la vitesse maximale atteinte se situe plutôt autour de 50 km/h en moyenne et peut atteindre 90 km/h (Fig. 3B).

Années	Range moy (km)	Dist. Tot moy (km)	Vit moy (km/h)	Durée moy (jours)
2012 <i>n=35 trajets</i>	89.7 ± 115.2 [9.6-513.8]	367.6 ± 447.7 [62.5-1883.9]	7.6 ± 2.5 [3.1-13.5]	1.8 ± 1.9 [0.7-7.9]
2013	104.8 ± 91.8	441.8 ± 393.0	9.2 ± 3.1	2.0 ± 1.6

Télémetrie Zembra
Décembre 2013

n=59 trajets	[10.0-460.9]	[51.7-1919.7]	[2.2-19.1]	[0.7-7.0]
--------------	--------------	---------------	------------	-----------

Tableau 2 : Caractéristiques générales des trajets d'alimentation des puffins cendrés suivis sur l'île de Zembra pendant la période d'élevage du poussin en 2012 et 2013.

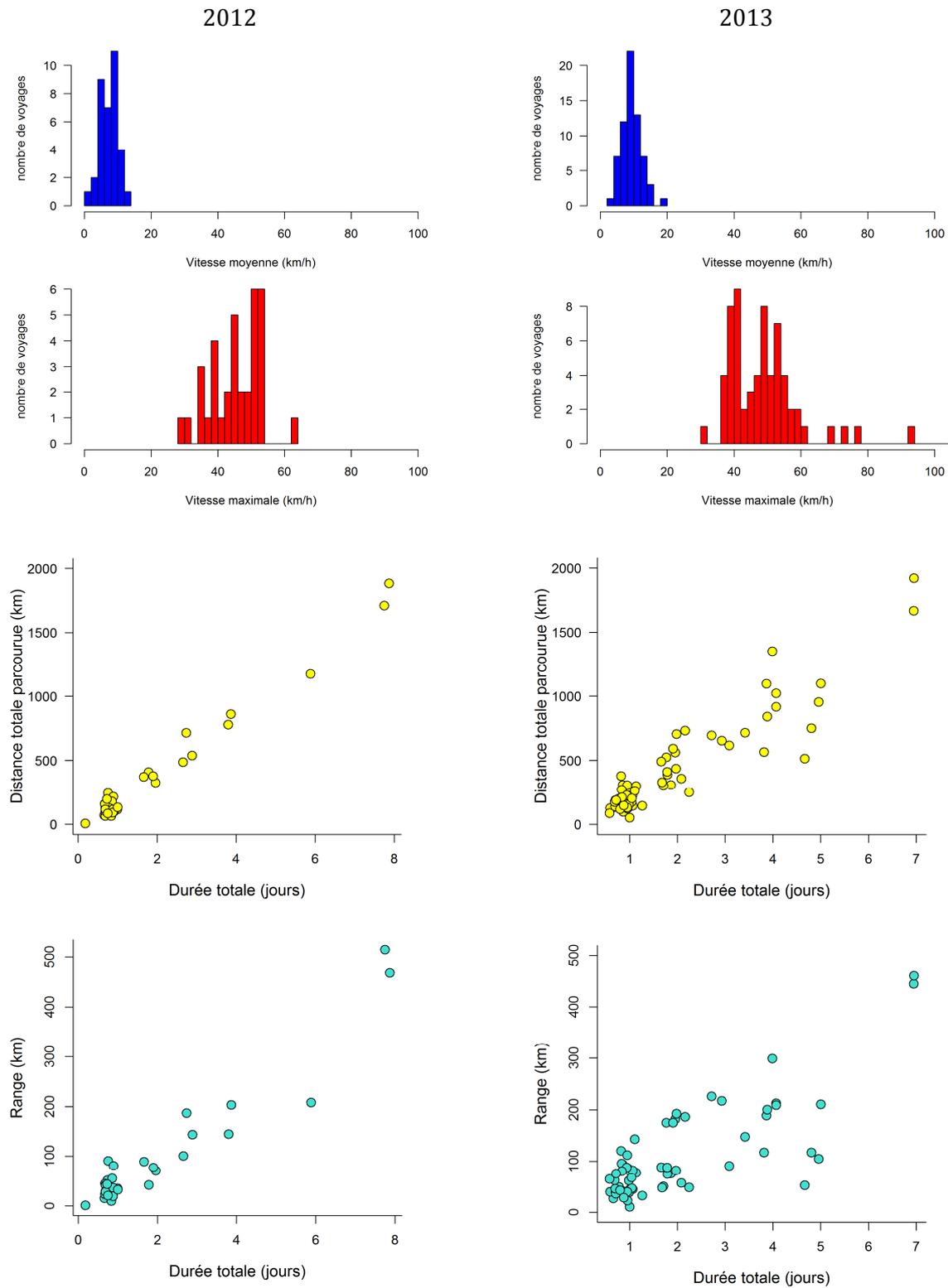


Figure 4 : Haut : distribution des vitesses de déplacements moyennes et maximales au sein des individus suivis par GPS en 2012 et 2013, Bas : Effet de l'allongement de la durée des trajets sur la distance totale parcourue, C : Effet de l'allongement de la durée des trajets sur le range maximal.

2. Les budgets d'activité

Les modèles espace-états basés sur les statistiques du mouvement (vitesse et variance des angles de virage à chaque pas de temps de 3 minutes) ont permis d'identifier les 3 états comportementaux caractéristiques des puffins en mer :

- le '**repos**' : les oiseaux sont posés et dérivent à la surface de l'eau (faible vitesse, ~0.5 km/h et faible angle de virage),
- le '**voyage directionnel**' : les oiseaux volent rapidement (40 km/h) et de façon directionnelle et,
- la '**recherche alimentaire**' : les oiseaux ont une vitesse intermédiaire (10 km/h) et une trajectoire plus sinueuse (forte variabilité des angles de virage).

La détermination des états comportementaux le long des trajets permet de calculer les budgets d'activité des oiseaux lorsqu'ils sont en mer. En séparant les périodes de jour et de nuit, on s'aperçoit que les puffins passent la plupart de la nuit posés sur l'eau (70%). En journée, les puffins passent en moyenne 40% de leur temps posés sur l'eau, 35% du temps en recherche alimentaire et 25% du temps en voyage (Fig. 5).

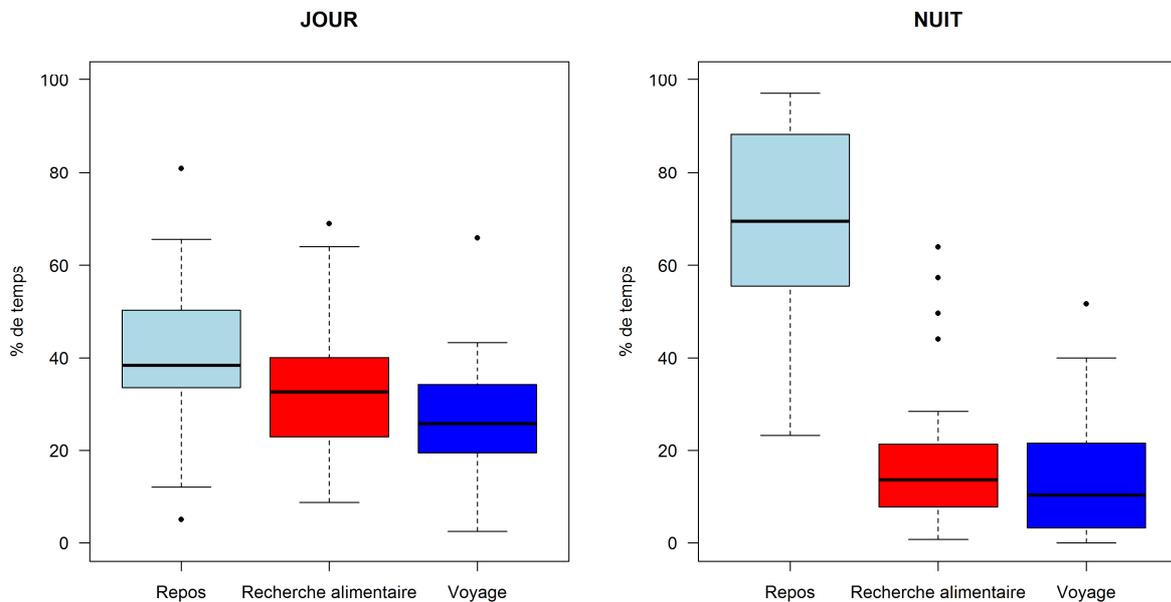


Figure 5 : Budget d'activité des puffins cendrés pendant le jour et la nuit.

3. Distribution spatiale des puffins cendrés

Les puffins cendrés nichant sur l'île de Zembra se distribuent principalement dans le Golfe de Tunis, le long de la côte du Cap Bon et au large du Golfe d'Hammamet (en face du port de Kelibia, Fig. 6). De façon surprenante, les zones de nourrissage des puffins cendrés de Zembra sont très concentrées et relativement proches de la colonie (Fig. 6). De plus, ces zones sont comparables d'une année sur l'autre, seuls quelques trajets longs augmentent le rayon d'action des puffins en l'étirant au large de la Sicile ou de la Lybie. Etant donnée la forte densité de puffins estimée sur l'île, nous nous attendions à des zones de nourrissage plus étendues pour réduire la compétition entre individus. Les nombreux trajets courts effectués dans les eaux du Golfe de Tunis à 50 km de la colonie indiquent que cette zone est d'une importance capitale pour l'alimentation des puffins.

D'un point de vue océanographique, les puffins cendrés nichant sur Zembra occupent les eaux du plateau continental, dont la profondeur est inférieure à 200m (Fig. 6). Cette isobathe semble contraindre la distribution des oiseaux qui s'aventurent rarement au-delà.

La figure 7 illustre la distribution des zones qui concentrent le plus d'activité pendant la saison de reproduction. Les puffins semblent trouver de la nourriture relativement proche de leur colonie.

Le couplage des localisations GPS avec les données de plongées (TDR) montrent que les puffins cendrés de Zembra plongent peu et à faible profondeur (Fig. 8), une caractéristique commune aux puffins nichant sur les îles françaises de Méditerranée. La profondeur maximale atteinte est de 9 mètres. Les localisations de plongée sont souvent situées proches des îles ou de la côte.

La cartographie des localisations GPS classées en 'recherche alimentaire' par les modèles espace-états souligne l'importance des eaux situées à l'Ouest et au sud-Ouest de la colonie (Fig. 9 et 11), ainsi que des eaux côtières du Cap Bon ou plus au large, au nord du Cap Bon et dans le Golfe d'Hammamet (El Babouch bank).

Les zones de repos où les puffins dérivent sur l'eau pendant quelques minutes à quelques heures, notamment pendant la nuit, coïncident spatialement avec les zones d'alimentation ou de recherche alimentaire (Fig. 10 et 12).

Les puffins cendrés se posent presque systématiquement sur l'eau en face de leur colonie avant de rentrer à leur terrier ou avant de partir en mer (Fig. 13). Ce comportement est bien connu dans la zone communément appelée 'zone de radeaux' observée au large des colonies d'oiseaux marins (BirdLife International 2010). La figure 13 permet de délimiter cette zone avec précision : durant les 2 années de suivi, les oiseaux se sont posés dans un rayon de 3 km autour des côtes. La protection de ce périmètre est importante car des études récentes montrent que les oiseaux marins peuvent collecter de l'information sociale et de l'information sur les zones d'alimentation les plus favorables au sein de ces 'radeaux' (Wilson et al 2009, Weimerskirch et al. 2010). Il s'agit également de zones de toilettage et de zones d'attente car les puffins attendent sur l'eau que les conditions lumineuses soient favorables avant de au terrier. Les puffins et les pétrels en général favorisent la période de la nuit la plus sombre (lorsque la lune est couchée) pour diminuer le risque de prédation par des chats ou des rapaces nocturnes (Mougeot et Bretagnolle 2000).

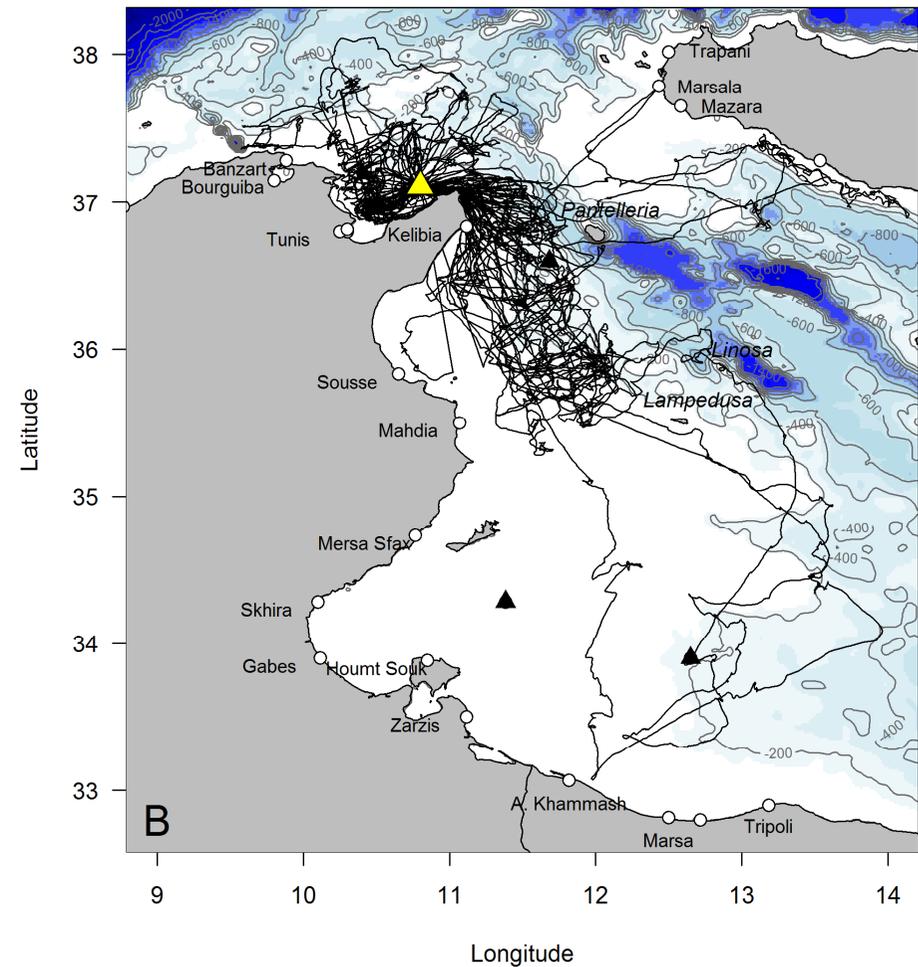
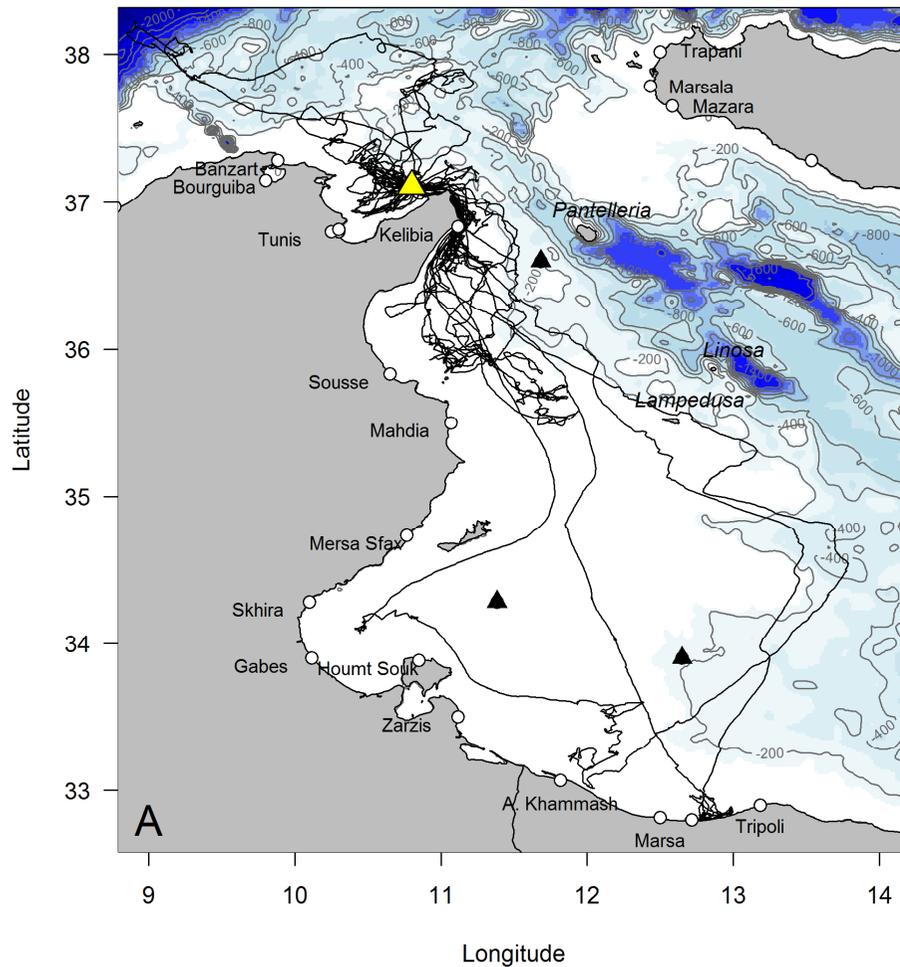


Figure 6 : Cartographie des trajets d'alimentation des puffins cendrés suivis par GPS sur l'île de Zembra pendant la période d'élevage du poussin en 2012 (A, n=35 trajets) et 2013 (B, n=66 trajets). La bathymétrie est indiquée en niveau de bleu, les principaux ports de pêche sont indiqués par les points blancs et les triangles noirs correspondent aux terminaux pétroliers. L'île de Zembra est indiquée par un triangle jaune.

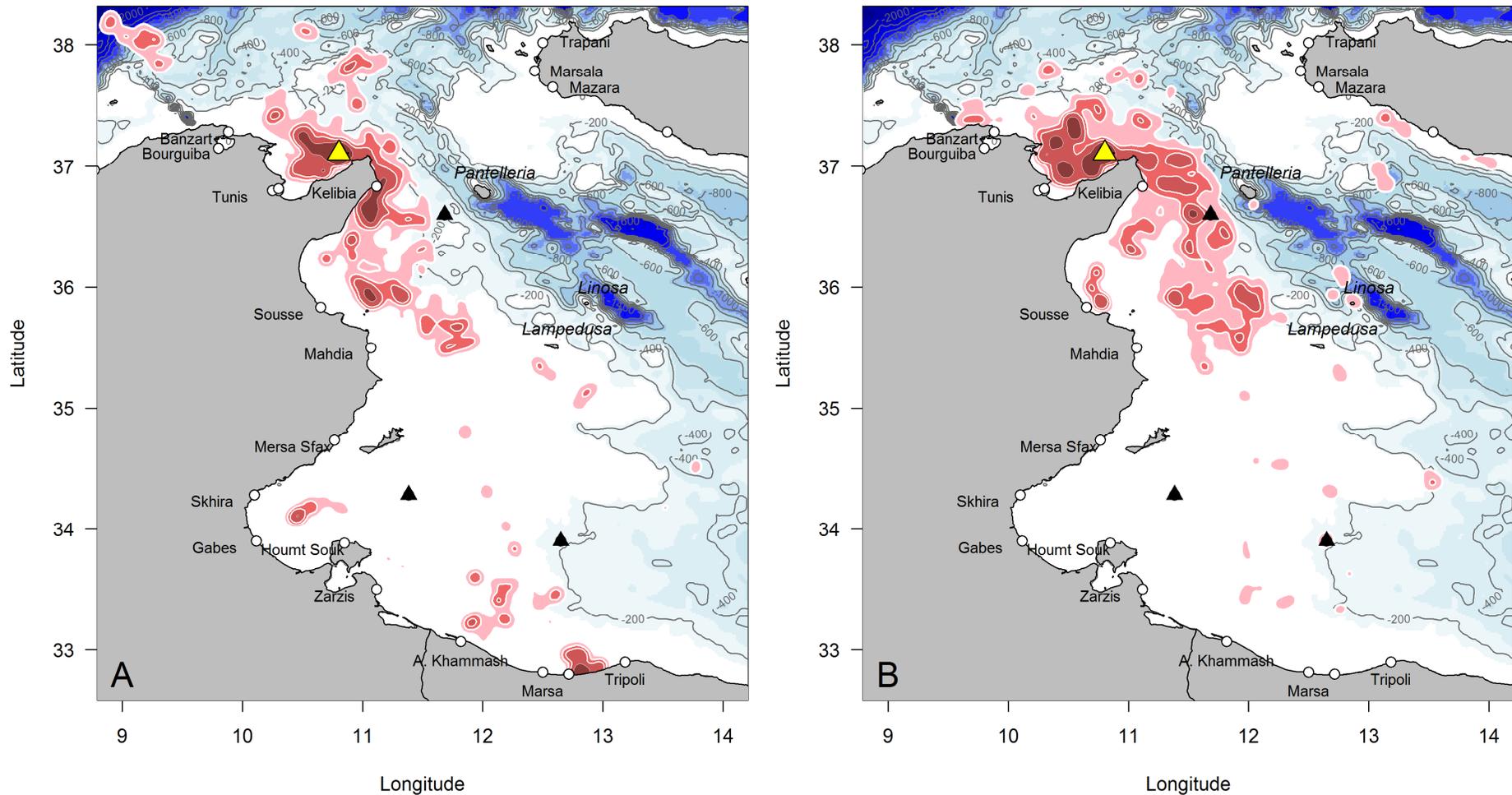


Figure 7 : Distribution spatiale des densités de localisations estimées par la méthode des Kernels en 2012 (A) et 2013 (B). Le dégradé de couleur rouge correspond aux contours de Kernels à 90, 70 et 50%. Les zones les plus foncées correspondent aux zones les plus denses en termes de localisations GPS, c'est-à-dire d'activité. La bathymétrie est indiquée en niveau de bleu, les principaux ports de pêche sont indiqués par les points blancs et les triangles noirs correspondent aux terminaux pétroliers. L'île de Zembra est indiquée par un triangle jaune.

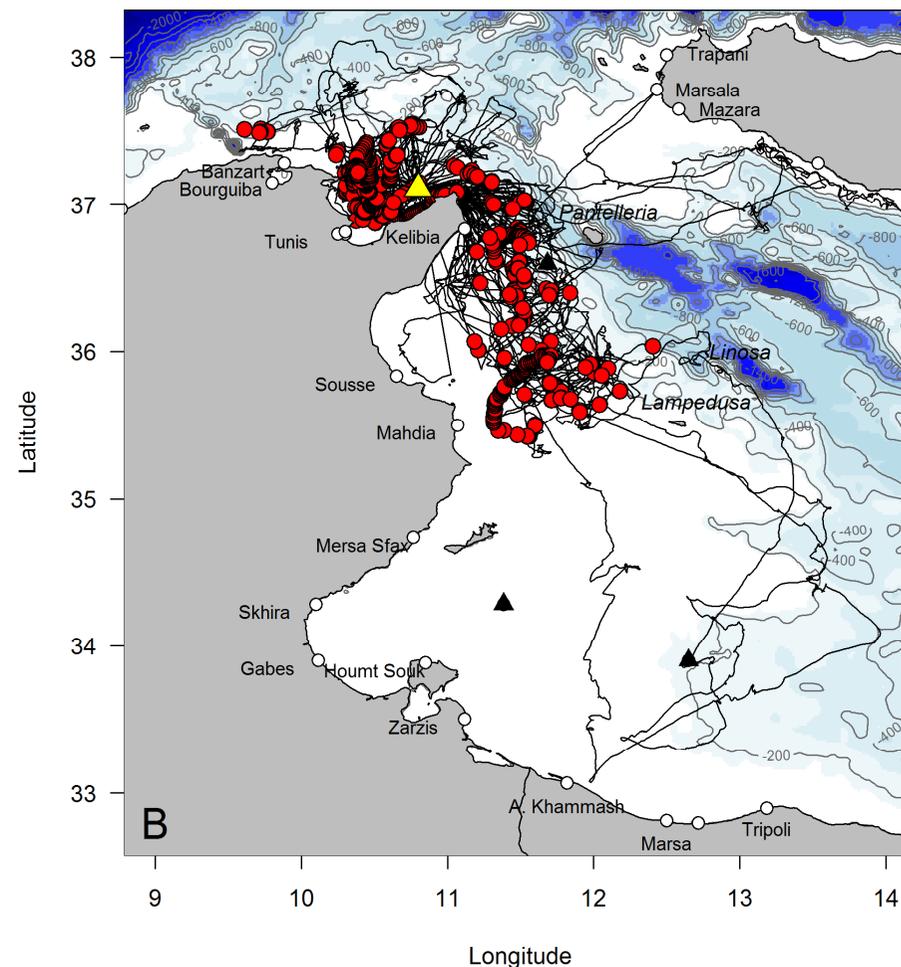
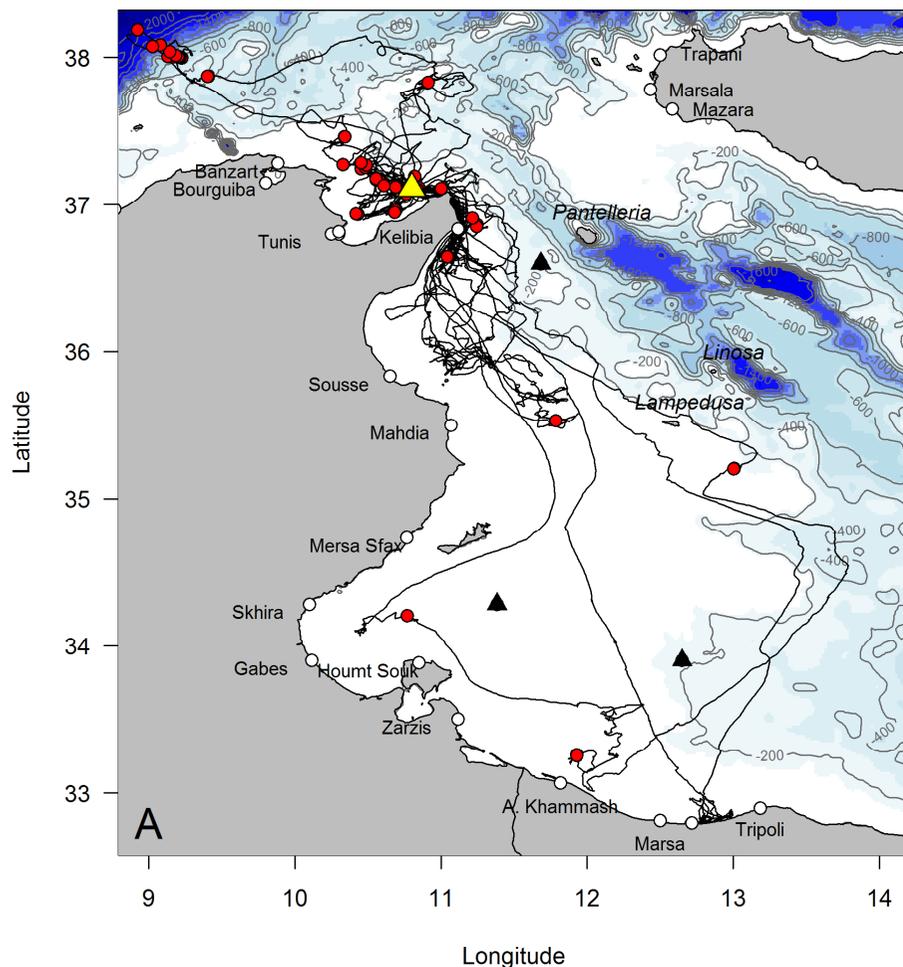


Figure 8 : Cartographie des localisations de plongées (en rouge) le long des trajets alimentaires des puffins cendrés en 2012 (A, n=10 individus) et 2013 (B, n=10 individus). La bathymétrie est indiquée en niveau de bleu, les principaux ports de pêche sont indiqués par les points blancs et les triangles noirs correspondent aux terminaux pétroliers. L'île de Zembra est indiquée par un triangle jaune.

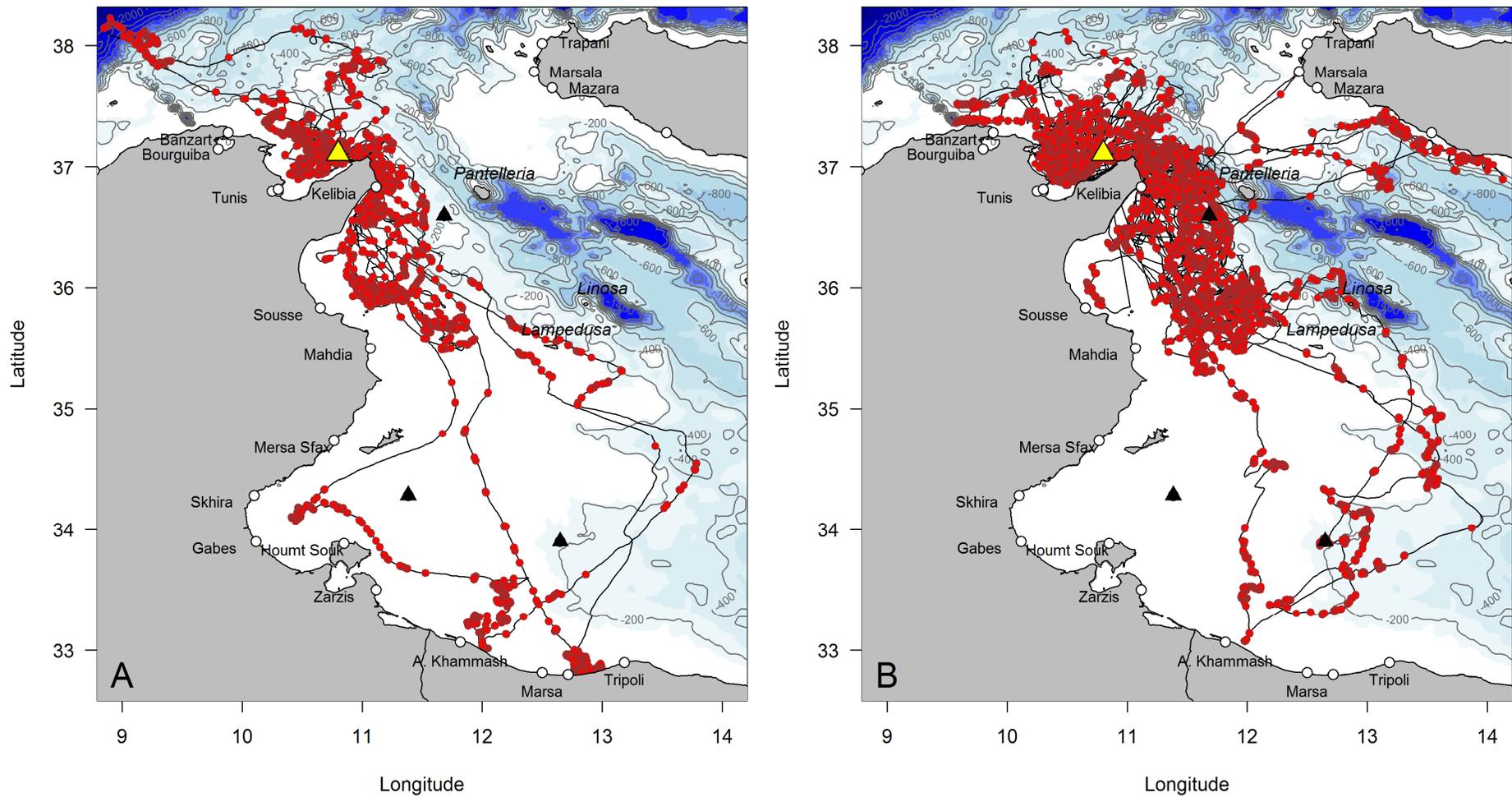


Figure 9 : Cartographie des localisations correspondant au comportement de recherche alimentaire (en rouge) en 2012 (A) et 2013 (B). La bathymétrie est indiquée en niveau de bleu, les principaux ports de pêche sont indiqués par les points blancs et les triangles noirs correspondent aux terminaux pétroliers. L'île de Zembra est indiquée par un triangle jaune.

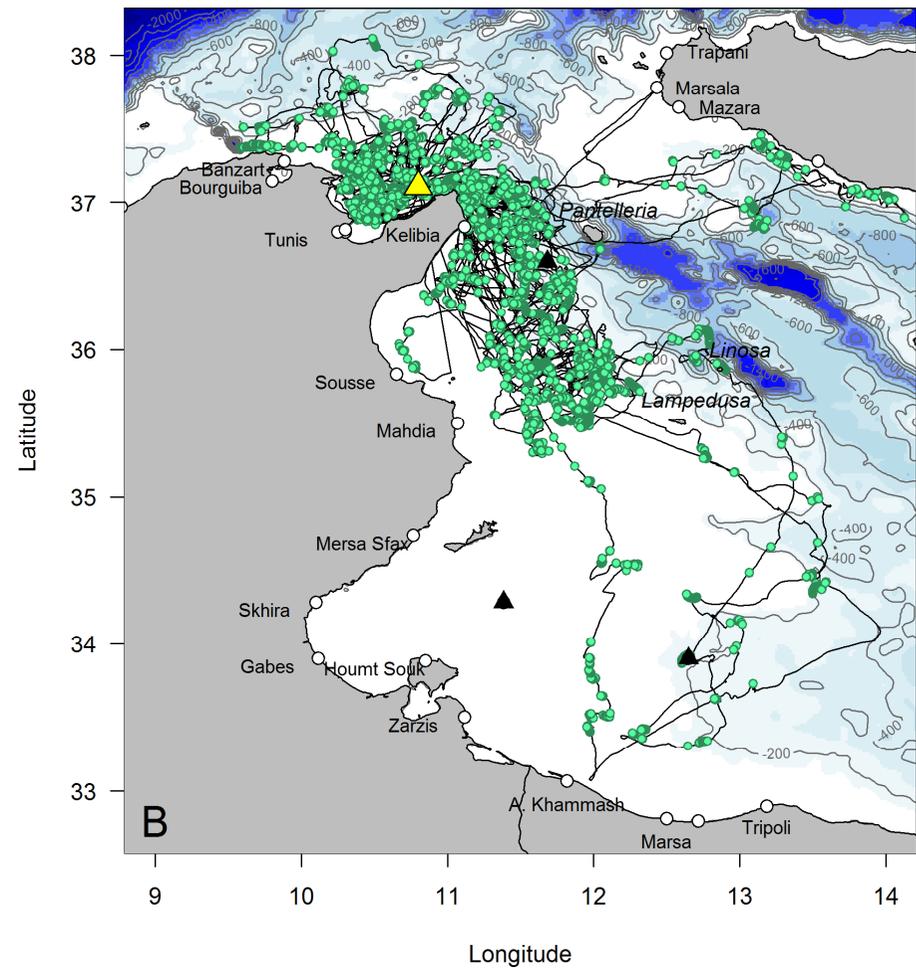
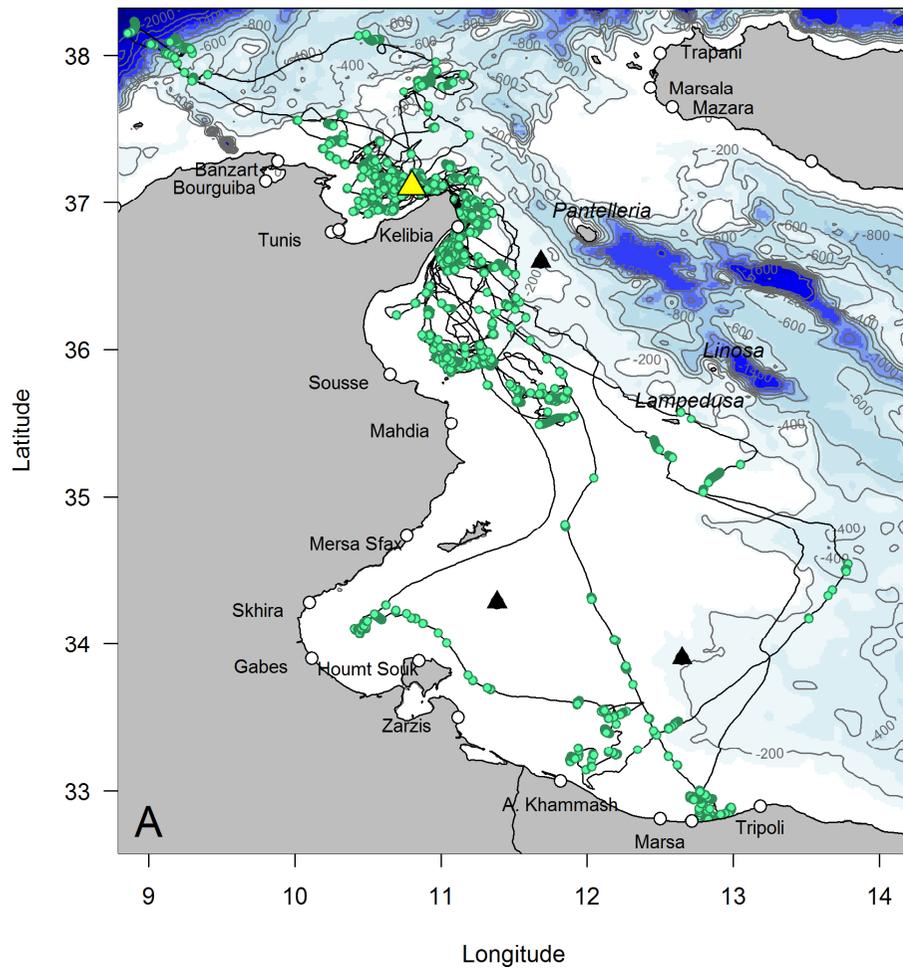


Figure 10 : Cartographie des localisations correspondant au comportement de repos (en vert) en 2012 (A) et 2013 (B). La bathymétrie est indiquée en niveau de bleu, les principaux ports de pêche sont indiqués par les points blancs et les triangles noirs correspondent aux terminaux pétroliers. L'île de Zembra est indiquée par un triangle jaune.

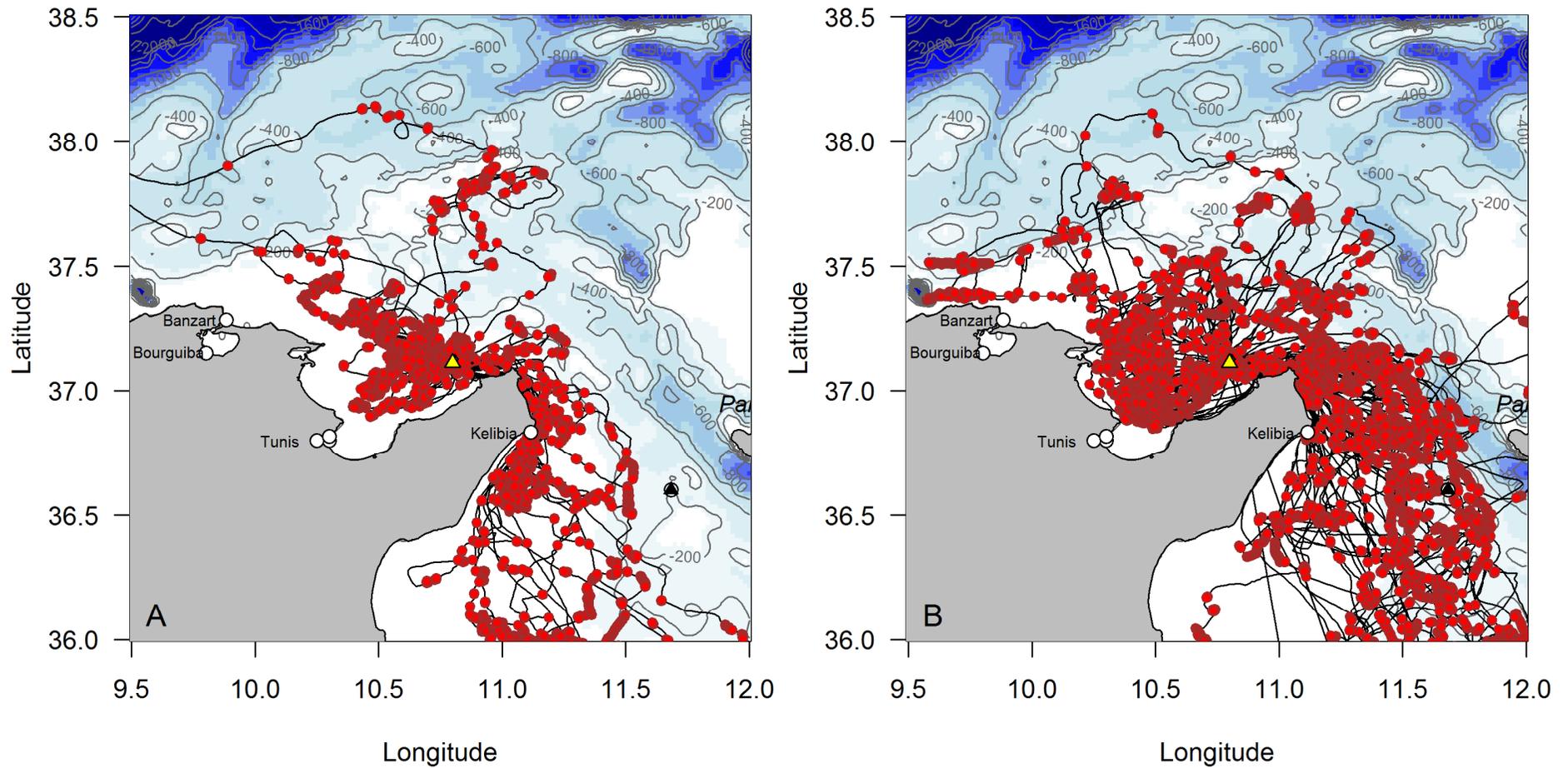


Figure 11 : Vue rapprochée des localisations correspondant au comportement de recherche alimentaire (en rouge) en 2012 (A) et 2013 (B). La bathymétrie est indiquée en niveau de bleu, les principaux ports de pêche sont indiqués par les points blancs et les triangles noirs correspondent aux terminaux pétroliers. L'île de Zembra est indiquée par un triangle jaune.

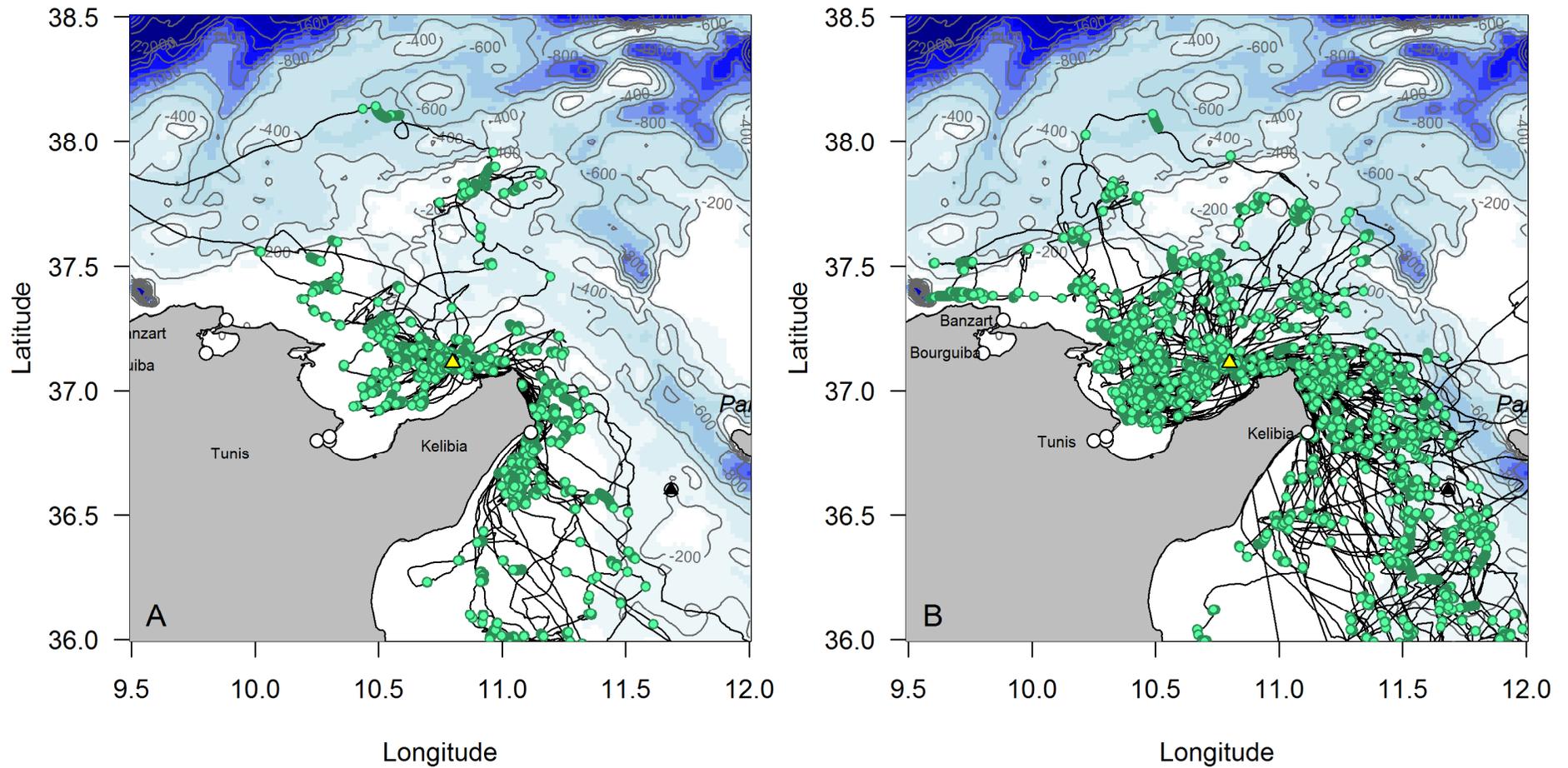


Figure 12 : Vue rapprochée des localisations correspondant au comportement de repos (en vert) en 2012 (A) et 2013 (B). La bathymétrie est indiquée en niveau de bleu, les principaux ports de pêche sont indiqués par les points blancs et les triangles noirs correspondent aux terminaux pétroliers. L'île de Zembra est indiquée par un triangle jaune.

2012

2013

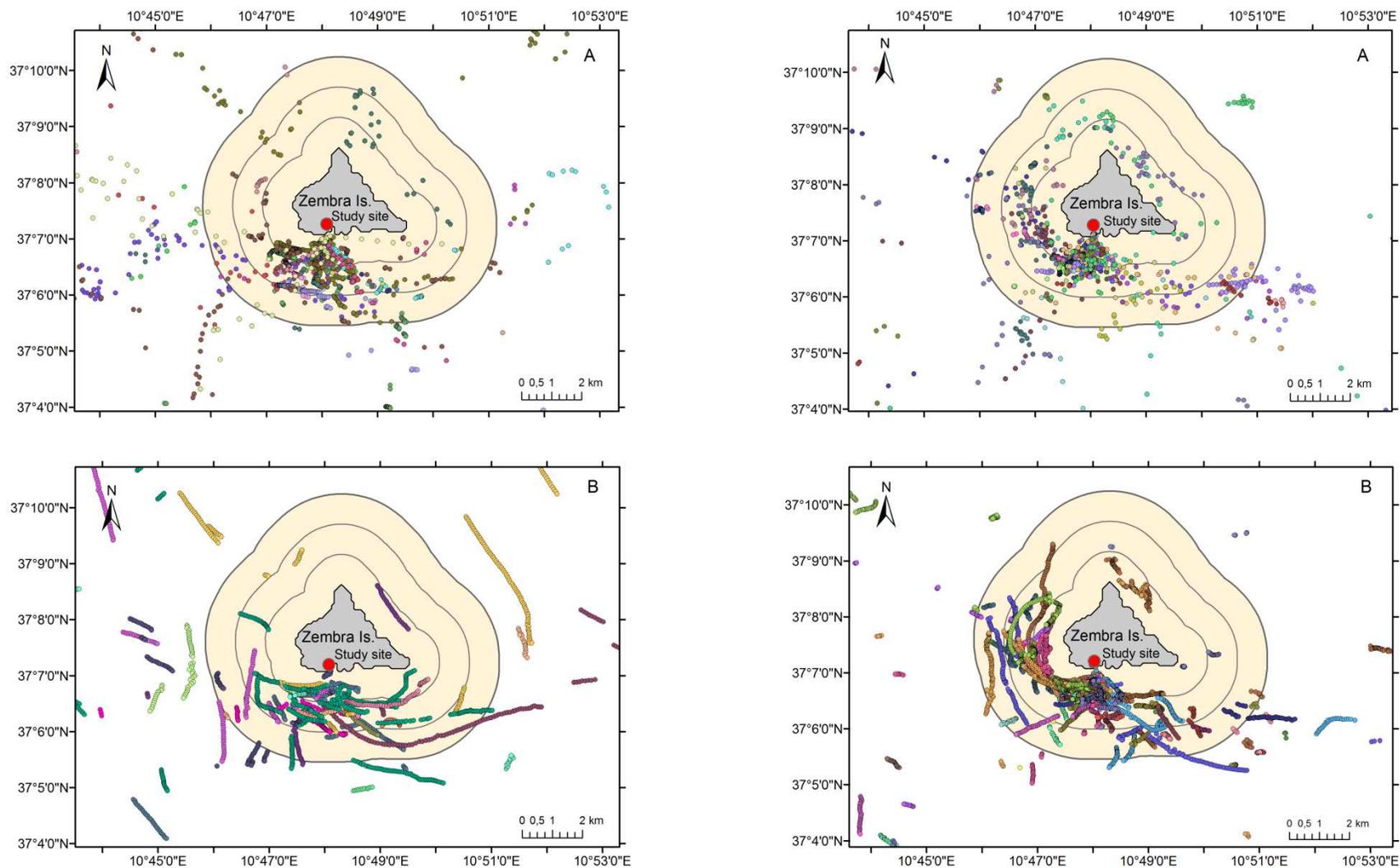


Figure 13 : Localisations de recherche alimentaire (A) et de repos (B) des puffins cendrés autour de l'île de Zembra. La colonie d'étude est indiquée par un point rouge et les zones situées à 1, 2 et 3 km des côtes sont délimitées par des lignes grises.

*Télémétrie Zembra
 Décembre 2013*

4. Zones de concentration

La figure 14A illustre la proportion de puffins suivis par GPS en 2012 et 2013 ayant visité au moins une fois les cellules qui composent leur aire de distribution. Elle fournit une estimation de la densité de puffins à l'intérieur de leur aire de distribution générale. La cellule la plus adjacente à la colonie a été visitée par 100% des individus. Les cellules visitées par moins de 10% des individus n'apparaissent pas. Le contour blanc sur cette figure délimite une zone visitée par > 20% des puffins suivis par GPS. En extrapolant à l'ensemble de la population, cette zone de forte concentration serait susceptible d'accueillir des centaines de milliers d'individus pendant la saison de reproduction. La figure 14B indique le pourcentage de puffins suivis par GPS qui ont présenté un comportement de recherche alimentaire. La zone délimitée à partir des données de la figure 14A englobe la plupart des cellules les plus utilisées par les puffins pour leur recherche alimentaire.

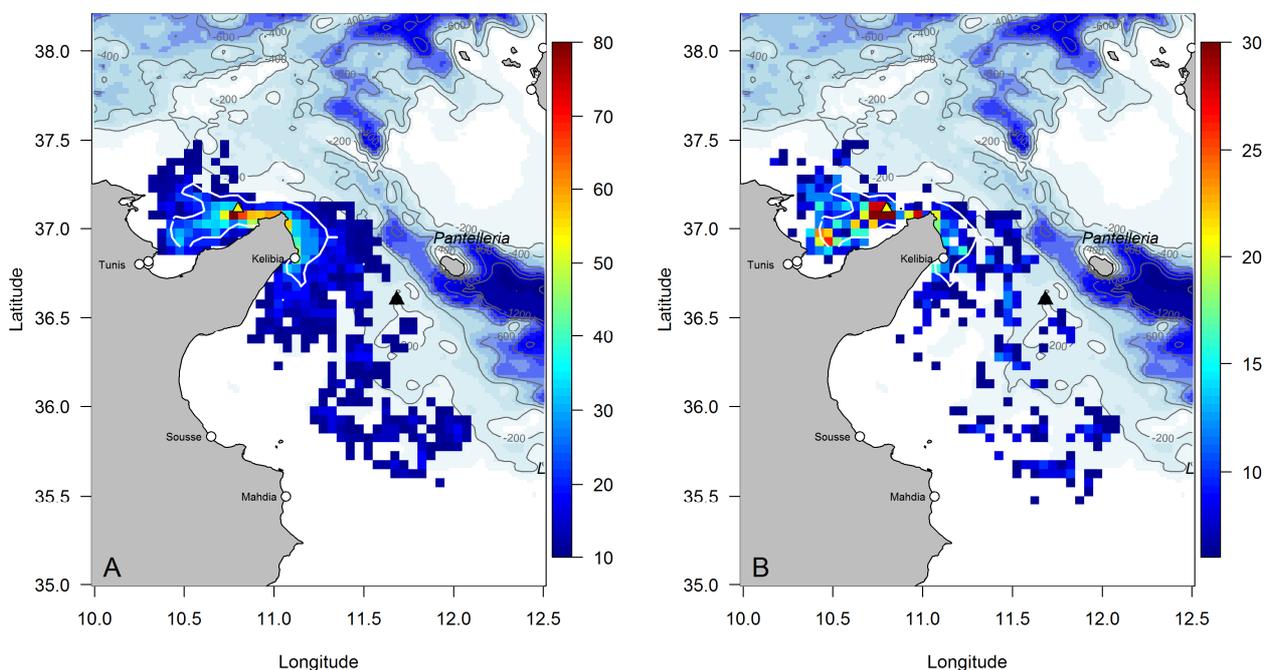


Figure 14 : A : Pourcentage d'individus suivis par GPS. Le rouge vif indique que >80% des individus suivis ont visité la zone, le bleu foncé correspond à 10-20%. Les cellules visitées par moins de 10% des individus ont été supprimées. Le contour blanc sur cette figure délimite une zone visitée par plus de 20% des puffins suivis par GPS. B : mêmes analyses et codes couleur que pour le panel A, sur la base du pourcentage de puffins cendrés ayant cherché de la nourriture.

Une zone s'étendant de Tunis à l'extrémité Est du Cap Bon apparaît d'importance majeure pour la conservation des puffins nichant sur l'île de Zembra.

5. Analyses isotopiques

Les analyses des ratios isotopiques de carbone et d'azote des plumes P1 et P10 collectées en 2012 permettent de comparer les zones d'alimentation et le niveau trophique des puffins pendant (P1) et hors de la saison de reproduction (P10).

Le ratio en azote, qui définit le niveau trophique des individus, varie entre 7.5 et 11.5 pendant la période de reproduction (Fig. 15, P1). Cette variabilité inter-individuelle indique une flexibilité dans leur régime alimentaire, composé de zooplancton pour les signatures les plus basses

(euphausiacés, larves de poissons) et de petits poissons pélagiques pour les signatures en azote >10‰.

L'enrichissement en carbone et en azote des plumes P10 (Fig. 15), muées pendant l'hiver, indique que les puffins cendrés de Zembra migrent dans l'Atlantique Sud pendant cette période. Leur signature est identique à celle des puffins cendrés suivis par géolocalateurs sur les îles françaises de Méditerranée. Les signatures intermédiaires des P10, proches de celles des P1, sont probablement liées à la chronologie de la mue. Certaines P10 peuvent probablement être muées lors du voyage migratoire retour ou sur les zones de reproduction (Fig. 15, cercle pointillé).

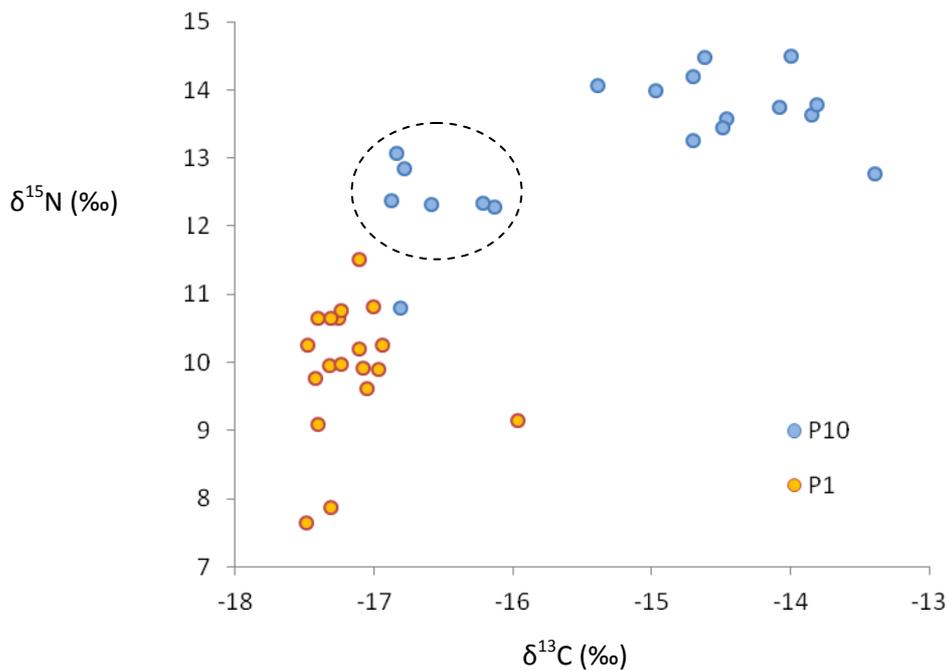


Figure 15 : Signatures isotopiques des primaires P1 et P10 (n=19 individus) collectées en août 2012.

Le puffin cendré est une espèce migratrice. Les suivis biotéléométriques réalisés grâce à des géolocalateurs sur les colonies françaises, espagnoles et italiennes ont montré que tous les individus reproducteurs migrent vers l'Atlantique sud hors de la saison de reproduction. Les puffins nichant sur l'île de Zembra n'ont pas été suivis pendant cette période mais il est fortement probable qu'ils quittent également la Méditerranée en hiver.

L'augmentation de la signature en azote entre la saison de reproduction et la saison de non-reproduction ne peut pas être interprétée en termes de changement de régime alimentaire car les niveaux de base en azote de Méditerranée ne sont pas comparables à ceux de l'Océan Atlantique.

Figure 16 : Carte de production primaire (concentration de chlorophylle a, AQUA MODIS 0.05°) du mois d'août pour la zone d'étude.

Seul un individu s'est rendu dans le golfe de Gabès en 2012. Les puffins se nourrissent donc dans des eaux faiblement productives. Ce résultat contredit les résultats récents conduits sur les puffins des Baléares (*Puffinus Mauritanicus*) qui exploitent les zones les plus productives les plus proches (Louzao et al. 2011). Il soulève également la question des phénomènes océanographiques qui structurent la distribution, l'abondance et la disponibilité des ressources marines exploitées par les puffins autour de Zembra, au cap Bon et au large d'Hammamet. Si l'on extrapole nos suivis à la population entière, ces zones doivent être capables de fournir des ressources à >300 000 puffins pendant le mois d'août, auxquels viennent s'ajouter les immatures ou les individus non-reproducteurs qui rentrent sur leur colonie d'origine pendant la saison de reproduction. Il serait intéressant d'équiper ces oiseaux de balises Argos pour savoir s'ils exploitent les mêmes zones de nourrissage que les adultes reproducteurs (cf. Péron et Grémillet 2013 pour la comparaison des suivis Argos réalisés sur les immatures, juvéniles et adultes des îles françaises). Il serait également important de collecter des régurgitas pour avoir une information plus directe sur le type de proies consommées par les puffins. Les analyses isotopiques ont révélé une forte variabilité dans le régime alimentaire des puffins mais les espèces proies restent mal connues.

De même, nous recommandons l'équipement GPS d'adultes reproducteurs sur la face nord de l'île, pour tester l'hypothèse d'une ségrégation spatiale des aires de nourrissage en mer en fonction des sub-colonies. Ce phénomène a déjà été observé chez d'autres espèces d'oiseaux, probablement pour limiter la compétition intra-spécifique.

De façon intéressante, en 2013, un puffin s'est dirigé de manière très directionnelle vers le port de pêche de Marsala en Sicile avant de rentrer rapidement sur la colonie (Annexe 3). Ce type de mouvement est caractéristique d'oiseaux suiveurs qui se nourrissent sur les déchets de pêche rejetés par les bateaux. Il serait important de quantifier et de caractériser les interactions entre pêcheries et puffins dans les eaux tunisiennes.

Conclusions

En conclusion, les puffins cendrés de l'île de Zembra :

- ont une stratégie double avec des trajets courts (1 journée) et des trajets longs (jusqu'à 8 jours) pendant l'élevage du poussin
- se rassemblent dans des zones de radeaux proches des colonies qui s'étendent jusqu'à 3 km des côtes
- ont une aire de répartition limitée pendant l'élevage du poussin
- se nourrissent relativement proche de leur colonie, dans le golfe du Tunis, sur les côtes du cap Bon, au large du port de Kelibia et occasionnellement sur les côtes de Sicile ou de Lybie.
- ont des zones de nourrissage limitées spatialement qui doivent accueillir un grand nombre d'individus
- ont un régime alimentaire varié : du zooplancton aux petits poissons pélagiques
- se nourrissent à faible profondeur (>-2m)
- interagissent occasionnellement avec des bateaux de pêche

Les **actions de conservation** à mener de façon prioritaire pour préserver leurs habitats marins sont :

La création d'une **zone de protection dans un périmètre de 3 km** autour de l'île de Zembra et probablement autour de l'île de Zembretta, pour limiter le dérangement des puffins sur leurs zones de repos et d'alimentation. Les mesures de protection dans cette zone devraient inclure :

- ✓ l'interdiction ou la limitation de la circulation maritime dans ce périmètre pendant la saison de reproduction (de mai à octobre), particulièrement pendant la nuit
- ✓ l'interdiction des activités de pêche susceptibles de nuire aux puffins via des phénomènes de compétition pour la ressource ou de mortalité accidentelle (pêche aux petits poissons pélagiques et pêche à la palangre).
- ✓ l'interdiction d'activités pouvant induire de la pollution lumineuse ou sonore pendant la nuit

La création d'une **zone de protection plus grande, dont les limites sont indiquées fig. 14A**. Les mesures de protection dans cette zone pourraient être moins strictes que celles de la zone des 3 km mentionnée précédemment. Ces mesures pourraient inclure :

- ✓ une gestion écosystémique des pêches incluant la part des ressources marines prélevées annuellement par les puffins. Cela passera par une régulation de la pêche aux petits poissons pélagiques.
- ✓ la réduction des risques de captures accidentelles dans les engins de pêche et particulièrement dans les palangres. Le lestage des lignes (pour qu'elles coulent plus rapidement) et la mise en place de dispositifs d'effarouchement des oiseaux devraient permettre de minimiser la mortalité.
- ✓ L'obligation d'effectuer une étude d'impact sur les populations de puffins pour toutes les activités d'extraction qui pourraient s'installer dans la zone et pour les développeurs éoliens offshore.

Etudier **l'impact des activités de pêche sur les puffins** en questionnant les pêcheurs sur les interactions puffins-pêcheries.

Un suivi à long terme de l'écologie en mer des puffins est également recommandé:

analyses de contenus stomacaux, prélèvements de plumes pour les analyses isotopiques et suivis biotéléométriques, pour être en mesure de détecter des changements drastiques de comportements en mer qui pourraient avoir des conséquences sur la dynamique des populations.

Bibliographie

- BirdLife International 2010. Marine Important Bird Areas toolkit: standardized techniques for identifying priority sites for the conservation of seabirds at sea. BirdLife International, Cambridge UK. Version 1.2: February 2011.
- Bourgeois, K., Ouni, R., Pascal, M., Dromzée, S., Fourcy, D., Abiadh, A. 2013. Dramatic increase in the Zembretta Yelkouan shearwater breeding population following ship rat eradication spurs interest in managing a 1500-year old invasion. *Biological Invasion*. 15(3) 475-482.
- Defos du Rau, P., Bourgeois, K., Ruffino, L., Dromzée, S., Ouni, R., Abiadh, A., Estéve, JP., Durand, L., Anselme, A., Faggio, G., Yahya, J.M., Peters, P., Rguibi, H., Renda, M., Miladi, B., Hamrouni, H., Alilech, S., Ben Dhafer, A., Nefla, A., Jaouadi, W., Agrebi, S. & Renou, S. New assessment of the world's largest colony of Scopoli's shearwater *Calonectris diomedea* (Pp. 26-28). In **Yésou, P., Bacetti, N. & Sultana, J. (Eds.), Ecology and Conservation of Mediterranean Seabirds and other bird species under the Barcelona Convention - Proceedings of the 13th Medmaravis Pan-Mediterranean Symposium**. 14-17 Oct. 2011. Medmaravis, Alghero.
- Cecere, J.G., Catoni, C., Maggini, I., Imperio, S., Gaibani, G., 2012. Movement patterns and habitat use during incubation and chick-rearing of Cory's shearwaters (*Calonectris diomedea diomedea*) (Aves: Vertebrata) from Central Mediterranean: influence of seascape and breeding stage. *Ital. J. Zool.* 80, 82–89.
- Louzao, M., Navarro, J., Forero, M.G., Igual, J.M., Genovart, M., Hobson, K.A., Oro, D., 2011. Exploiting the closest productive area: geographical segregation of foraging grounds in a critically endangered seabird. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 429, 291–301.
- Mougeot, F., Bretagnolle, V., 2000. Predation risk and moonlight avoidance in nocturnal seabirds. *J. Avian Biol.* 31, 376–386.
- Péron C & Grémillet D. (2013) Tracking through life-stages: adult, immature and juvenile autumn migration of a long-lived seabird. **Plos One** 8(8): e72713. I.F.: 3.73
- Wakefield, E.D., Bodey, T.W., Bearhop, S., Blackburn, J., Colhoun, K., Davies, R., Dwyer, R.G., Green, J.A., Gremillet, D., Jackson, A.L., Jessopp, M.J., Kane, A., Langston, R.H.W., Lescroel, A., Murray, S., Le Nuz, M., Patrick, S.C., Peron, C., Soanes, L.M., Wanless, S., Votier, S.C., Hamer, K.C., 2013. Space Partitioning Without Territoriality in Gannets. *Science* 341, 68–70.
- Weimerskirch, H., Bertrand, S., Silva, J., Marques, J.C., Goya, E., 2010. Use of social information in seabirds: compass rafts indicate the heading of food patches. *PLoS ONE* 5, e9928.

Wilson, L.J., McSorley, C.A., Gray, C.M., Dean, B.J., Dunn, T.E., Webb, A., Reid, J.B., 2009. Radio-telemetry as a tool to define protected areas for seabirds in the marine environment. *Biol. Conserv.* 142, 1808–1817.

Annexe 1

Détails des trajets d'alimentation pendant l'élevage du poussin en 2012. Les trajets les plus longs apparaissent en rouge.

ID_oiseaux	Date début	Date fin	Range (km)	Dist tot (km)	Vit moy (km/h)	Vit max (km/h)	Durée tot (jours)
ID10Z_1	08/08/2012 21:04	09/08/2012 21:01	35,2	114,5	4,8	34,9	1,0
ID10Z_2	09/08/2012 23:35	10/08/2012 21:35	29,4	98,5	4,5	34,2	0,9
ID11Z_1	09/08/2012 00:45	09/08/2012 19:40	24,1	144,4	7,7	41,9	0,8
ID11Z_2	10/08/2012 00:50	11/08/2012 19:45	41,8	407,1	9,5	38,6	1,8
ID12Z_1	13/08/2012 03:19	14/08/2012 00:57	30,2	108,7	5,1	51,8	0,9
ID12Z_2	14/08/2012 03:41	14/08/2012 19:36	15,7	69,0	4,4	38,5	0,7
ID13Z_1	08/08/2012 02:14	08/08/2012 20:01	51,2	182,7	10,3	46,5	0,7
ID13Z_2	09/08/2012 02:01	11/08/2012 19:50	186,7	715,0	10,9	53,6	2,7
ID14Z_1	13/08/2012 03:28	13/08/2012 20:02	23,4	63,8	3,9	37,7	0,7
ID15Z_1	08/08/2012 02:30	08/08/2012 20:42	90,6	241,5	13,5	49,6	0,8
ID15Z_2	09/08/2012 00:18	12/08/2012 19:31	144,6	777,4	8,6	51,5	3,8
ID16Z_1	14/08/2012 03:05	14/08/2012 19:22	44,5	158,1	9,8	43,8	0,7
ID17Z_1	07/08/2012 22:55	08/08/2012 20:25	80,7	214,0	10,0	53,3	0,9
ID17Z_2	08/08/2012 23:08	09/08/2012 19:51	55,4	177,2	8,5	51,7	0,9
ID17Z_3	10/08/2012 02:52	10/08/2012 19:33	41,5	129,3	7,9	52,9	0,7
ID17Z_4	10/08/2012 20:12	12/08/2012 19:21	70,4	324,6	6,7	52,7	2,0
ID18Z_1	14/08/2012 03:19	16/08/2012 19:05	100,8	486,1	7,7	52,4	2,7
ID19Z_1	08/08/2012 23:01	10/08/2012 20:36	76,6	375,6	8,3	53,0	1,9
ID1Z_1	07/08/2012 01:41	14/08/2012 22:35	468,0	1883,9	10,0	62,1	7,9
ID1Z_2	15/08/2012 00:18	15/08/2012 19:23	39,5	125,5	6,7	38,5	0,8
ID2Z_1	07/08/2012 03:47	08/08/2012 19:42	89,2	370,7	9,3	46,0	1,7
ID2Z_2	08/08/2012 19:42	09/08/2012 00:08	1,5	6,3	1,4	28,0	0,2
ID2Z_3	09/08/2012 00:08	09/08/2012 20:22	9,6	62,5	3,1	31,0	0,8
ID3Z_1	14/08/2012 03:33	14/08/2012 19:51	23,3	155,7	9,6	44,7	0,7
ID4Z_1	07/08/2012 02:56	07/08/2012 19:36	29,4	99,4	5,9	43,5	0,7
ID4Z_2	08/08/2012 02:57	08/08/2012 19:38	28,4	115,6	7,0	44,7	0,7
ID5Z_1	12/08/2012 21:37	16/08/2012 18:24	202,9	861,6	9,3	50,6	3,9

ID6Z_1	06/08/2012 22:07	07/08/2012 19:25	36,0	114,0	5,3	46,1	0,9
ID6Z_2	07/08/2012 22:19	08/08/2012 19:32	19,2	90,3	4,2	39,4	0,9
ID6Z_3	08/08/2012 19:32	09/08/2012 19:40	32,6	131,5	5,5	48,2	1,0
ID7Z_1	12/08/2012 22:10	18/08/2012 19:24	207,9	1174,4	8,3	45,9	5,9
ID8Z_1	06/08/2012 22:15	09/08/2012 19:39	143,1	537,1	7,8	51,5	2,9
ID9Z_1	08/08/2012 03:06	08/08/2012 21:08	20,6	84,0	4,9	35,5	0,8
ID9Z_2	09/08/2012 02:12	09/08/2012 19:43	43,7	194,9	11,2	45,4	0,7
ID9Z_3	10/08/2012 02:57	17/08/2012 20:51	513,8	1709,7	9,3	50,3	7,7

Annexe 2 :

Détails des trajets d'alimentation pendant l'élevage du poussin en 2013

ID_oiseaux	Date début	Date fin	Range (km)	Dist. Tot (km)	vit moy (km/h)	Vit. max. (km/h)	Durée tot. (jours)	Remarques
F01551_1	22/08/2013 20:05	23/08/2013 19:07	86,1	237,1	10,4	53,4	1,0	
F01551_2	23/08/2013 19:27	24/08/2013 19:03	61,5	182,3	7,8	45,6	1,0	
F01551_3	24/08/2013 19:10	25/08/2013 19:08	10,0	51,7	2,2	31,7	1,0	
F01551_4	25/08/2013 19:11	29/08/2013 18:54	298,6	1352,1	14,0	58,9	4,0	
F01551_5	29/08/2013 19:07	30/08/2013 19:17	80,6	248,2	10,2	41,5	1,0	
F01552_1	25/08/2013 03:12	25/08/2013 19:03	26,8	131,6	8,5	41,8	0,7	
F01552_2	25/08/2013 19:06	26/08/2013 22:18	76,9	297,6	11,0	43,0	1,1	
F01552_3	27/08/2013 03:10	27/08/2013 21:51	49,2	200,2	10,9	52,9	0,8	
F01552_4	28/08/2013 02:59	29/08/2013 23:45	75,5	305,6	6,9	44,3	1,9	
F01552_5	30/08/2013 02:37	30/08/2013 22:23	119,8	375,6	19,1	50,3	0,8	
F01553_1	25/08/2013 03:14	25/08/2013 19:20	38,8	131,8	8,5	36,2	0,7	
F01553_2	25/08/2013 21:14	01/09/2013 20:02	444,9	1667,0	9,9	53,9	6,9	
F01554_1	24/08/2013 22:34	29/08/2013 00:12	212,0	917,3	9,5	48,1	4,1	
F01554_2	29/08/2013 00:25	30/08/2013 23:20	181,3	559,6	12,0	55,6	2,0	
F01554_3	30/08/2013 23:27	01/09/2013 00:57	82,0	229,0	9,0	59,7	1,1	
F01554_4	01/09/2013 03:28	01/09/2013 23:59	93,6	306,0	15,1	49,0	0,9	
F01600_1	21/08/2013 03:19	25/08/2013 19:20	52,3	511,9	4,6	43,2	4,7	
F01773_1	24/08/2013 22:18	25/08/2013 19:09	32,0	95,3	4,6	36,6	0,9	
F01774_1	23/08/2013 03:27	23/08/2013 17:44	39,4	124,8	8,8	143,3	0,6	
F01775_1	21/08/2013 20:07	24/08/2013 02:05	48,4	248,9	4,7	41,6	2,2	
F01775_2	24/08/2013 02:14	24/08/2013 19:11	38,7	187,5	11,2	40,9	0,7	
F01775_3	24/08/2013 19:17	25/08/2013 19:27	42,2	168,3	6,9	39,3	1,0	
F01776_1	21/08/2013 19:12	22/08/2013 19:13	44,3	220,9	9,2	167,8	1,0	
F01776_2	22/08/2013 19:18	24/08/2013 13:46	174,7	522,6	12,4	69,4	1,8	incomplet
F01777_1	23/08/2013 02:35	25/08/2013 19:47	225,4	694,5	10,8	47,6	2,7	
F01778_1	22/08/2013 21:15	25/08/2013 23:17	90,4	615,1	8,3	48,9	3,1	
F01778_2	26/08/2013 02:13	26/08/2013 19:19	20,3	46,5	4,2	33,6	0,7	

Annexe 3 :

Trajet de l'individu F1551 qui semble avoir suivi un bateau de pêche jusqu'au port de Marsala en Sicile.



