

# CARACTÉRISTIQUES DE LA DISTRIBUTION SPATIO-TEMPORELLE D'OISEAUX MARINS RÉVÉLÉES PAR L'ANALYSE D'IMAGES RADAR

Camille Assali<sup>1</sup>, Yann Tremblay<sup>2</sup>, Nicolas Bez<sup>3</sup>

<sup>1</sup> UM/IRD-UMR MARBEC, avenue Jean Monet, 34203 Sète Cedex , FRANCE [camille.assali@ird.fr](mailto:camille.assali@ird.fr)

<sup>2</sup> IRD-UMR MARBEC, avenue Jean Monet, 34203 Sète Cedex , FRANCE [yann.tremblay@ird.fr](mailto:yann.tremblay@ird.fr)

<sup>3</sup> IRD-UMR MARBEC, avenue Jean Monet, 34203 Sète Cedex , FRANCE [nicolas.bez@ird.fr](mailto:nicolas.bez@ird.fr)

**Résumé.** Le succès des stratégies de recherche alimentaire chez les oiseaux marins, parfois à l'œuvre à plusieurs centaines de kilomètres des côtes, suggère la mise en place de transferts d'information entre groupes d'individus, dans ce vaste environnement où les bancs de proies sont rares et distribués de façon hétérogène. Par exemple, les agrégations de grands prédateurs tels que les thons, les mammifères marins et les oiseaux sont bien connues dans les systèmes tropicaux, et particulièrement mis à profit dans les pêcheries thonières.

La prise en compte par les oiseaux marins du comportement de congénères, de compétiteurs, ou autres indices de présence des proies, est peu renseignée à ce jour. Elle suppose cependant une structuration particulière des densités d'oiseaux en plein océan.

Par l'analyse d'images radar capturées à bord de thoniers senneurs navigant dans l'ouest de l'océan Indien, nous décrivons la distribution des groupes d'oiseaux détectés dans un rayon de 30km autour du navire, ceci à haute résolution temporelle (15-30s). La distribution des oiseaux est détaillée à travers la description et le suivi des régions de fortes densités de probabilité, en termes de présence d'échos, proxies de la présence de groupes d'oiseaux en vol.

Nous exposons ici plusieurs pistes d'exploitation des informations écologiques contenues dans les données radar, dans le cadre d'une pêche caractérisée par des associations plurispécifiques (thons, dauphins, oiseaux).

**Mots-clés.** Oiseaux marins, stratégies de recherche alimentaire, transfert d'information, distribution de densité, images radar

**Abstract.** The success of foraging strategies of seabirds, which can look for prey hundreds of kilometers offshore, suggests an information transfer between groups of individuals in these large areas where prey is rare and heterogeneously distributed. For example, in tropical systems, aggregations of top-predators as tuna, marine mammals and seabirds are well known. This information is commonly used by tuna purse seiners.

Seabirds' reaction to their conspecifics' and competitors' behavior, as well as to other cues of the presence of prey, is poorly documented for now but still suggests a specific structure of seabirds' distribution in the open ocean.

Screen captures of radar frames recorded from a tuna purse seiner navigating in the Indian Ocean allow us to describe and track high density regions - in terms of the presence of echoes, seen as proxies of the presence of flocks.

We list here several ways to use and interpret the ecological pieces of information contained in radar data, in this context of multispecific associations including tuna, marine mammals and seabirds.

**Keywords.** Seabirds, foraging strategies, information transfer, density distribution, radar frames

## 1. Contexte de l'étude

La question des stratégies de recherche alimentaire chez les oiseaux marins a été renseignée depuis plusieurs décennies par l'acquisition massive de données par comptages (transects par navire ou avion) ou par déploiement de matériel de tracking (GPS, GLS, tags, etc.), dépassant la difficulté de collecter des informations sur des espèces qui pour certaines se nourrissent à plusieurs centaines de kilomètres des côtes, et révélant ainsi les zones d'approvisionnement principales de nombreuses espèces d'oiseaux marins.

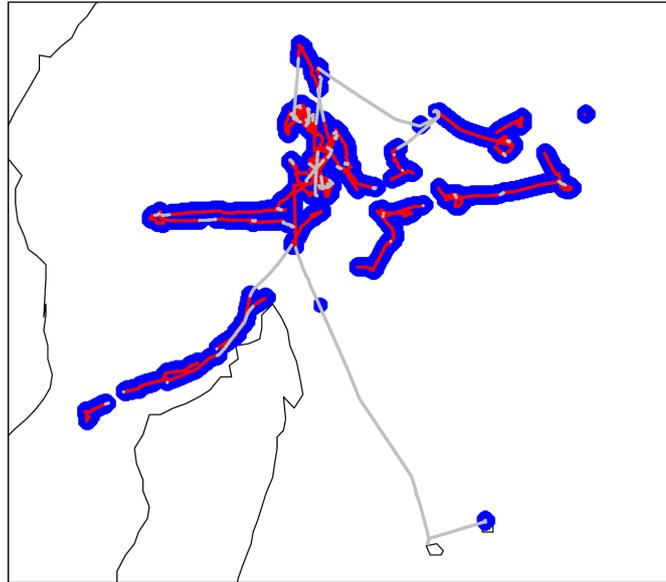
L'aboutissement évolutif de la recherche alimentaire en haute mer, dans ce milieu où les proies sont pourtant rares et distribuées de façon hétérogène, suppose des stratégies collectives inter et intra-spécifiques élaborées. Si les nombreuses études menées jusqu'ici par suivi de quelques dizaines d'individus révèlent des zones de nourrissage particulières, souvent liées aux particularités océanographiques du milieu (voir pour exemple Dunop (1988), Hunt (1990), Bost et al. (2009)), le contexte dans lequel s'opèrent les mouvements d'individus n'a que peu été pris en compte.

En effet, la présence de congénères et compétiteurs influence grandement la prise de décision en vol par les individus (processus qualifiés d'« influences sociales » dans les travaux de Thiebault et Tremblay, (2013) ; Thiebault et al. (2014)). Par ailleurs, si l'exploitation d'un même banc de proies par plusieurs espèces en compétition était supposée défavorable aux individus, il a récemment été proposé par Thiebault et al. (2016) que les attaques simultanées d'un banc de proies par différents prédateurs augmenteraient leur succès de chasse, **la facilitation prenant ainsi le pas sur la compétition.**

Dans la continuité des travaux précédemment cités, nous posons ainsi l'hypothèse que la **propagation d'information entre groupes d'oiseaux de mer**, lors du repérage d'un banc de proies ou d'un banc de prédateurs pélagiques en chasse (thons, mammifères marins), est avantageuse pour les individus, et entraîne une **structuration non aléatoire des densités d'oiseaux**. Celle-ci se tiendrait à des échelles cohérentes avec la perception visuelle des groupes d'oiseaux entre eux, c'est-à-dire à des distances caractéristiques de 10 à 50km. En outre, des zones aux fortes occurrences et densités d'oiseaux s'étirant de 5 à 40km ont été déjà observées lors de transects en haute mer (Schneider et al. (1985), Briggs et al. (1987)). Cependant, les dimensions de telles concentrations n'ont pu être décrites avec précision.

## 2. Les données radar : des informations à l'échelle de la communauté

Une nouvelle approche est désormais envisageable grâce à un aperçu inédit, à haute résolution temporelle (15-30s), de la communauté aviaire présente autour de thoniers senneurs navigant dans l'ouest de l'océan Indien (zone des Seychelles, Canal du Mozambique). Cette zone tropicale est fortement exploitée par la pêche thonière, dont les navires déploient sonars et radars afin d'optimiser la détection de bancs de thons ou d'autres prédateurs leur étant souvent associés (oiseaux et mammifères marins) lors de chasses sur bancs de petits poissons pélagiques. Les données que nous traitons sont des captures de l'écran radar, sur lesquelles, par une série de traitements d'image, nous extrayons et géolocalisons les échos « oiseaux » se déplaçant entre 5 à 30km autour du navire. Ces échos sont en réalité des groupes d'oiseaux en vol dont le comportement est rigoureusement observé et interprété par le pêcheur comme un proxy de la présence/absence de bancs de thons.



Exemple de la couverture obtenue après deux marées (~60 jours). En bleu, zones scannées par le radar ; en rouge, trajectoire du navire en cours d'acquisition de données ; en gris, trajectoire du navire sans acquisition de données (radar en stand-by). La zone parcourue se trouve dans le cadre: latitude  $-20.1^{\circ}$  à  $7.6^{\circ}$  ; longitude  $42.0^{\circ}$  à  $61.3^{\circ}$ .

### Traitement préliminaire des images

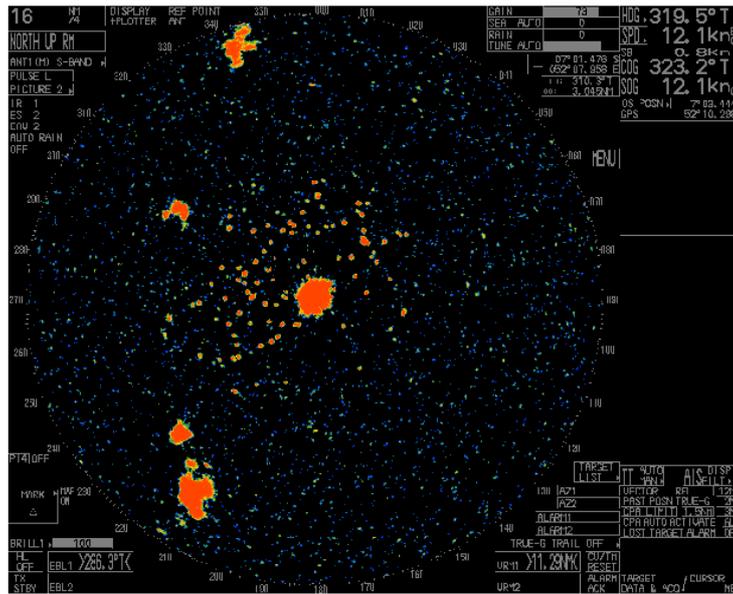
Les 200 000 images acquises (66 jours de navigation) ont nécessité la mise au point de traitements conséquents, tant du fait de leur quantité que de leur qualité. La qualité des images présente notamment une variabilité utilisateur-dépendante, résultant de différents réglages possibles de la visualisation du signal (rayon du cercle scanné, couleurs, corrections de l'image) et de la sensibilité du radar (filtres « gain », « sea », « rain »).

Cette forte variabilité a conduit à la mise au point d'une étape de standardisation des images. Les fausses couleurs utilisées dans l'image d'origine (différentes palettes sont disponibles pour l'utilisateur) sont traduites en indices de « contexte » : 0 pour le fond, 1 pour les informations textuelles, 101 à 130 pour les intensités d'échos, etc. ; ce qui aboutit à un jeu de données uniformisé pour les traitements ultérieurs.

Les images standardisées sont ensuite parcourues une à une, par plusieurs étapes :

- la lecture des champs (position, vitesse, réglages, etc.) par *Optical Character Recognition* (Saroch (2011) ; modifié par Tremblay (2008) – Toolbox IKNOS\_OCR (Matlab)) ;
- l'extraction des « échos-oiseaux » par transformation *watershed* (Meyer (1994)): cette extraction inclut plusieurs sélections, notamment la suppression de la zone saturée autour du navire et de ses bordures très variables ainsi que des averses de pluie qui renvoient elles aussi un signal (étape de fermeture et sélection sur critère d'aires) ;
- la géolocalisation des échos (calcul déduit relativement à la position du navire et à son cap).

À l'issue de ces traitements, nous possédons la position, l'aire et l'intensité relative des échos au cours du temps. La position des échos-oiseaux fluctue par des mouvements de concentration, d'évitement et de transit. Dans les analyses décrites ensuite, nous considérons donc les données sous l'angle d'un processus ponctuel à densités non-homogènes.



Exemple d'image radar standardisée (rayon : 30km, navire au centre du cercle (zone saturée)); les échos visualisés en orange sont les groupes d'oiseaux détectés, ainsi que quelques averses de pluie ; les pixels bleus correspondent à du bruit de fond ; les réglages utilisés sont visibles dans les champs en gris sur le pourtour de l'image.

### 3. Description de la distribution des groupes d'oiseaux

Dans l'optique de préciser la distribution des oiseaux marins en plein océan, et de **définir des métriques de sa structure à méso-échelle** (10-100km) peu détaillée à ce jour, il est essentiel de tenir compte de la variabilité « artificielle » des données (réglages radar) et de s'en affranchir dans la mesure du possible.

En ce sens, nous décidons de décrire la distribution des oiseaux, non pas en considérant la densité d'échos elle-même, mais par l'intermédiaire des densités de probabilité obtenues pour chacune des images (estimation par noyau, Ramsay et Silverman (2002), Simonoff (2012) ; bande-passante du noyau sélectionnée par validation croisée, Duong et Hazelton (2005)). Le package R *ks* est utilisé pour le calcul des densités de probabilité et leur visualisation en boxplots à deux dimensions est obtenue via le package R *hdcde* (Hyndman (1996)).

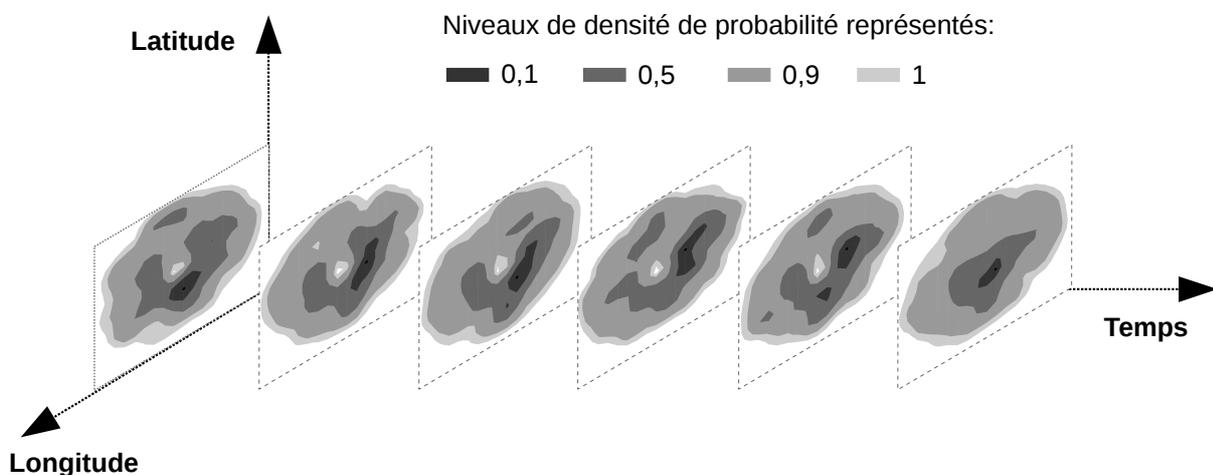
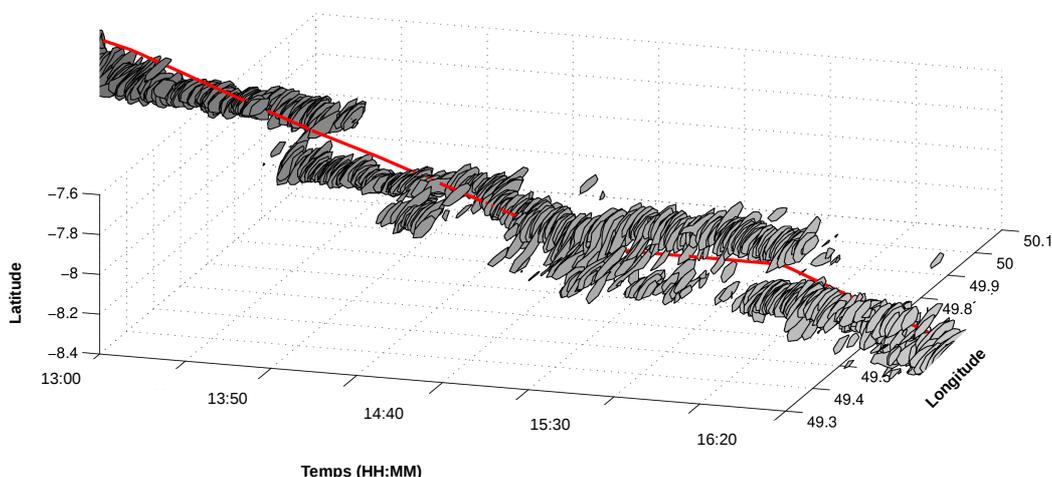


Illustration du calcul, image par image, de la densité de probabilité des échos (représentation en boxplots 2D).

Cette méthode nous permet d'outrepasser les variations d'échantillonnage liées au gain et d'analyser le jeu de données dans son ensemble. L'information, ainsi synthétisée, offre la possibilité de cibler des niveaux de probabilité et de les suivre au cours du temps. Nous extrayons le contour des régions à un niveau de probabilité donné (arbitrairement : 0.1 autour des maxima locaux de densités tel que décrit par Hyndman (1996)), et décrivons plusieurs métriques : l'aire de ces patches, leur distance au navire, la distance les séparant.

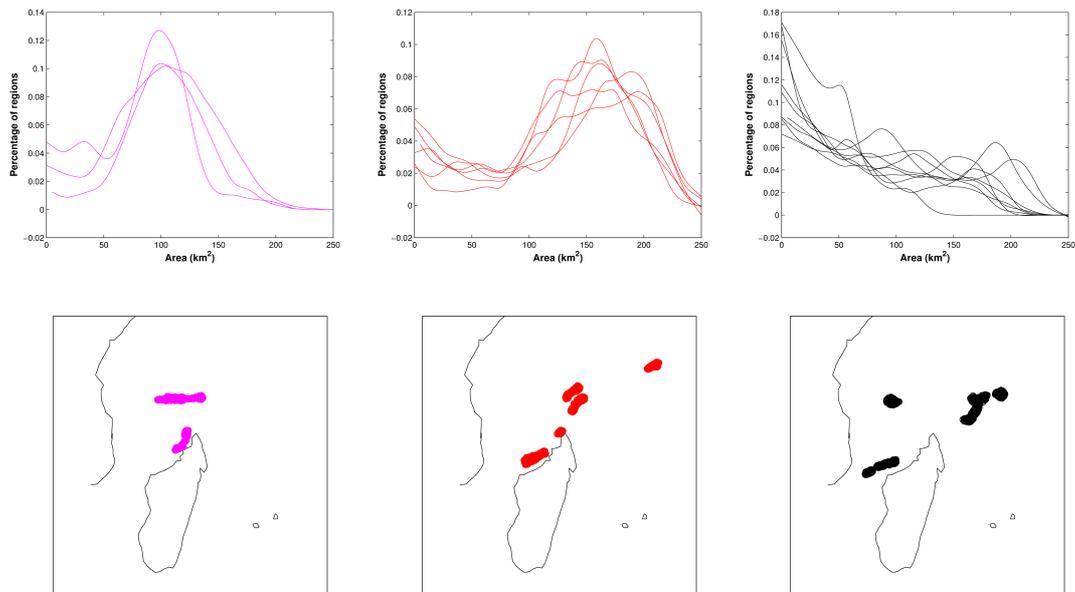
Suivre le barycentre des patches au cours du temps permet d'en reconstruire les trajectoires. Nous décrivons ainsi de nouvelles métriques intégrant le temps, telles que la synchronicité des patches, leur durée de vie. Cette dernière apparaît consistante avec la durée de vie des agrégations de chasse (entre thons, oiseaux, mammifères marins) observées par Clua et Grosvalet (2001). Cette information nous indique que les événements d'agrégations éphémères dus à la consommation d'un banc de proies -agrégations actives sur quelques centaines de mètres- auraient des répercussions sur la distribution spatiale des groupes d'oiseaux à des échelles bien supérieures (de l'ordre de 10 à 50km).



*Illustration du suivi spatio-temporel des régions de densité de probabilité 0.1 (en gris). En rouge, trajectoire du navire.*

#### **4. Classification des profils journaliers**

Le renseignement de ces métriques donne accès aux profils journaliers de la distribution des aires, des distances inter-patches, de leur consistance dans le temps : autant d'éléments pouvant être mis en lien avec l'historique de navigation des « plateformes d'observation » que sont les thoniers senneurs. La classification de ces profils par analyse factorielle en composantes principales (Ramsay et Silverman (2002)) définit des séquences temporelles et spatiales distinctes au regard des différentes métriques décrites précédemment. Ces séquences sont ensuite comparées à la stratégie employée par le pêcheur (recherche de groupes d'oiseaux, ralentissement, manœuvre de pêche) afin de déterminer quelles caractéristiques présentent les « zones d'intérêt » en termes de présence/absence de thons.



*En haut : 18 profils journaliers de la distribution des aires de patches, répartis en 3 classes ; en bas : zones scannées par le radar au cours des mêmes jours.*

## 5. Perspectives

Le travail en cours permet de reporter des métriques de la structure des densités d'oiseaux en plein océan qui n'avaient pu être renseignées jusqu'alors. Les données radar offrent en effet de multiples possibilités d'analyse qui n'ont pas toutes été développées ici. Citons notamment la construction et l'analyse des trajectoires d'oiseaux, permettant d'aborder les interactions oiseaux-oiseaux et oiseaux-navire par un volet « dynamique ».

L'acquisition actuelle de données, dans les bassins exploités des océans Indien et Atlantique, ouvrira rapidement l'opportunité de comparer les répartitions spatiales et temporelles des densités d'oiseaux dans deux systèmes très différents.

## Bibliographie

- Bost, C. A., Cotté, C., Bailleul, F., Cherel, Y., Charrassin, J. B., Guinet, C., Ainley, D.G. Weimerskirch, H. (2009). The importance of oceanographic fronts to marine birds and mammals of the southern oceans. *Journal of Marine Systems*, 78(3), 363-376. <http://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2008.11.022>
- Briggs, K.T., Tyler, W. B., Lewis, D. B., & Carlson, D. R. (1987). *Bird communities at sea off California: 1975 to 1983* (No. 598.2 BIR). Cooper Ornithological Society.
- Clua, É., & Grosvalet, F. (2001). Mixed-species feeding aggregation of dolphins, large tunas and seabirds in the Azores. *Aquatic Living Resources*, 14(01), 11–18.
- Dunlop, J., Wooller, R., & Cheshire, N. (1988). Distribution and abundance of marine birds in the Eastern Indian Ocean. *Marine and Freshwater Research*, 39(5), 661-669.
- Duong, T., & Hazelton, M. L. (2005). Cross-validation Bandwidth Matrices for Multivariate Kernel Density Estimation. *Scandinavian Journal of Statistics*, 32(3), 485-506.
- Hunt, G. L. (1990). The pelagic distribution of marine birds in a heterogeneous environment. *Polar Research*, 8(1), 43-54.
- Hyndman, R. J. (1996). Computing and graphing highest density regions. *The American Statistician*, 50(2), 120-126.
- Meyer, F. (1994). Topographic distance and watershed lines. *Signal processing*, 38(1), 113-125.
- Ramsay, J. O., & Silverman, B. W. (2002). *Applied functional data analysis: methods and case studies* (Vol. 77). New York: Springer, 73-78 et 147-170.
- Saroch (2011). OPTICAL CHARACTER RECOGNITION (lower case and space included) <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/31322-optical-character-recognition-lower-case-and-space-included-/content/OCR%20my%20version/OCR.m>
- Schneider, D. C., & Duffy, D. C. (1985). Scale-dependent variability in seabird abundance. *Marine ecology progress series. Oldendorf*, 25(3), 211-218.
- Simonoff, J. S. (2012). *Smoothing methods in statistics*. Springer Science & Business Media, 96-120.
- Thiebault, A., & Tremblay, Y. (2013). Splitting animal trajectories into fine-scale behaviorally consistent movement units: breaking points relate to external stimuli in a foraging seabird. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 67(6), 1013-1026.
- Thiebault, A., Mullers, R. H. E., Pistorius, P. A., & Tremblay, Y. (2014). Local enhancement in a seabird: reaction distances and foraging consequence of predator aggregations. *Behavioral Ecology*, 25(6), 1302-1310.
- Thiebault, A., Semeria, M., Lett, C., & Tremblay, Y. (2016). How to capture fish in a school? Effect of successive predator attacks on seabird feeding success. *Journal of Animal Ecology*, 85(1), 157-167.