

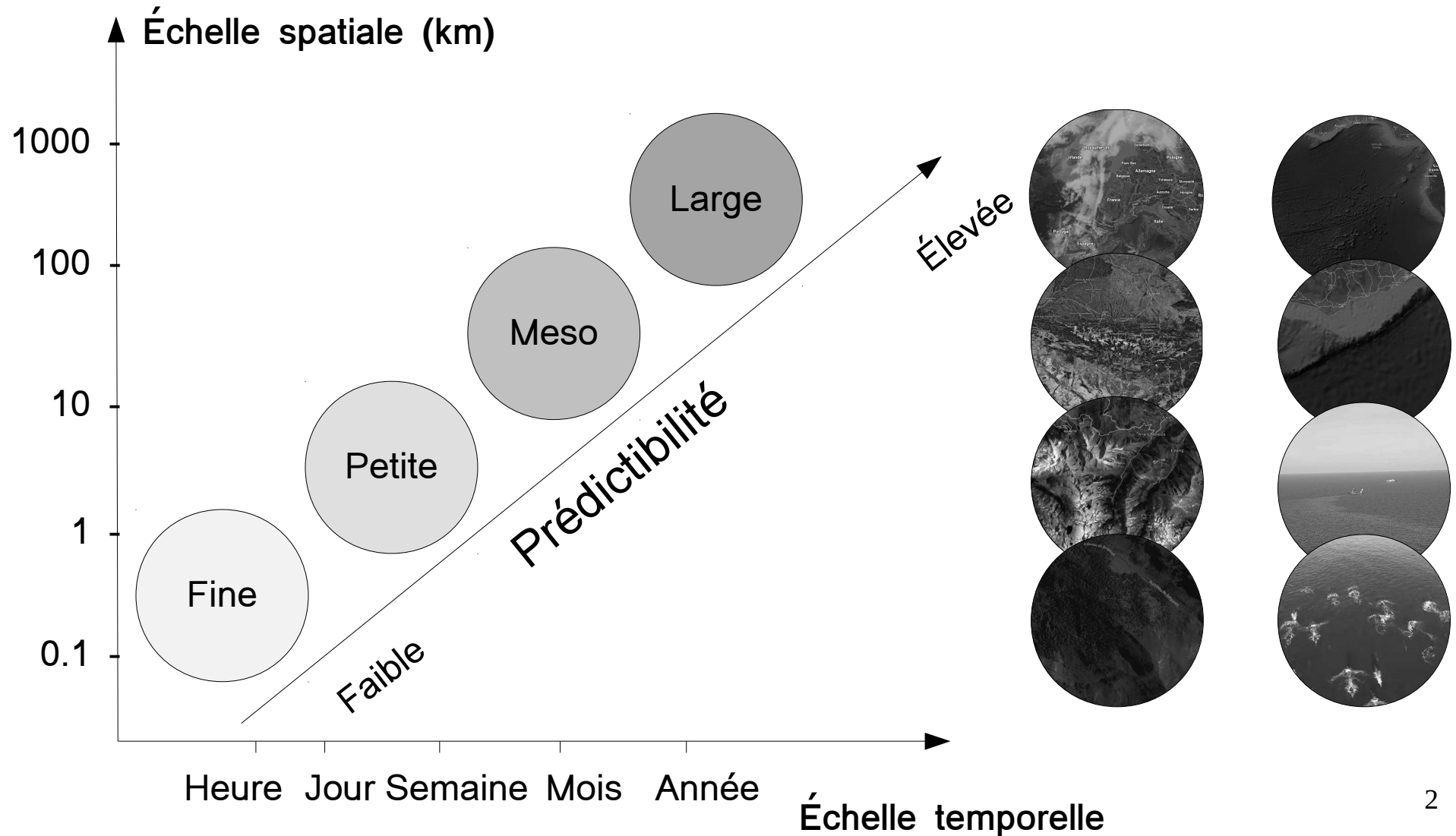
Contribution des radars embarqués à l'étude
des stratégies collectives de recherche
alimentaire chez les oiseaux marins



Camille ASSALI, Nicolas BEZ, Yann TREMBLAY

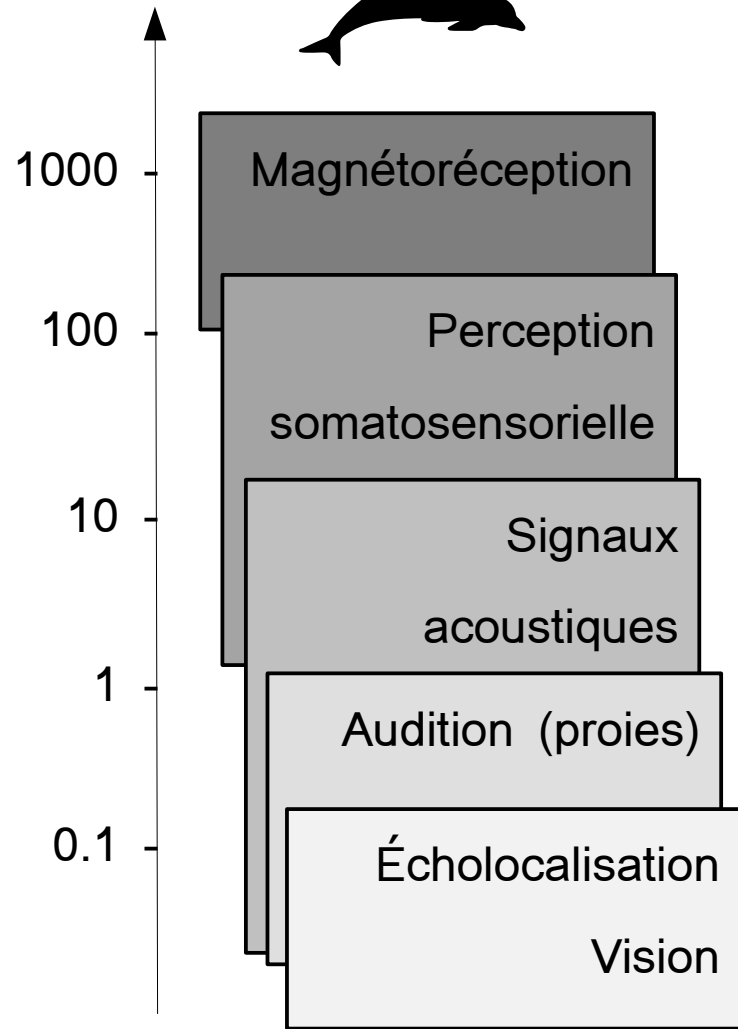
RESOM - 12 décembre 2018

La prédictibilité de la ressource dépend des échelles considérées



Les top-prédateurs acquièrent de l'information à chaque échelle

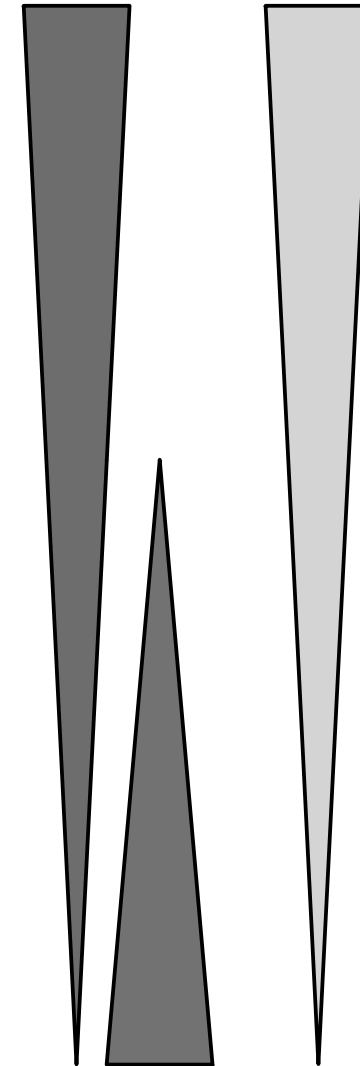
Échelle spatiale (km)



Torres (2017)

Info. personnelle

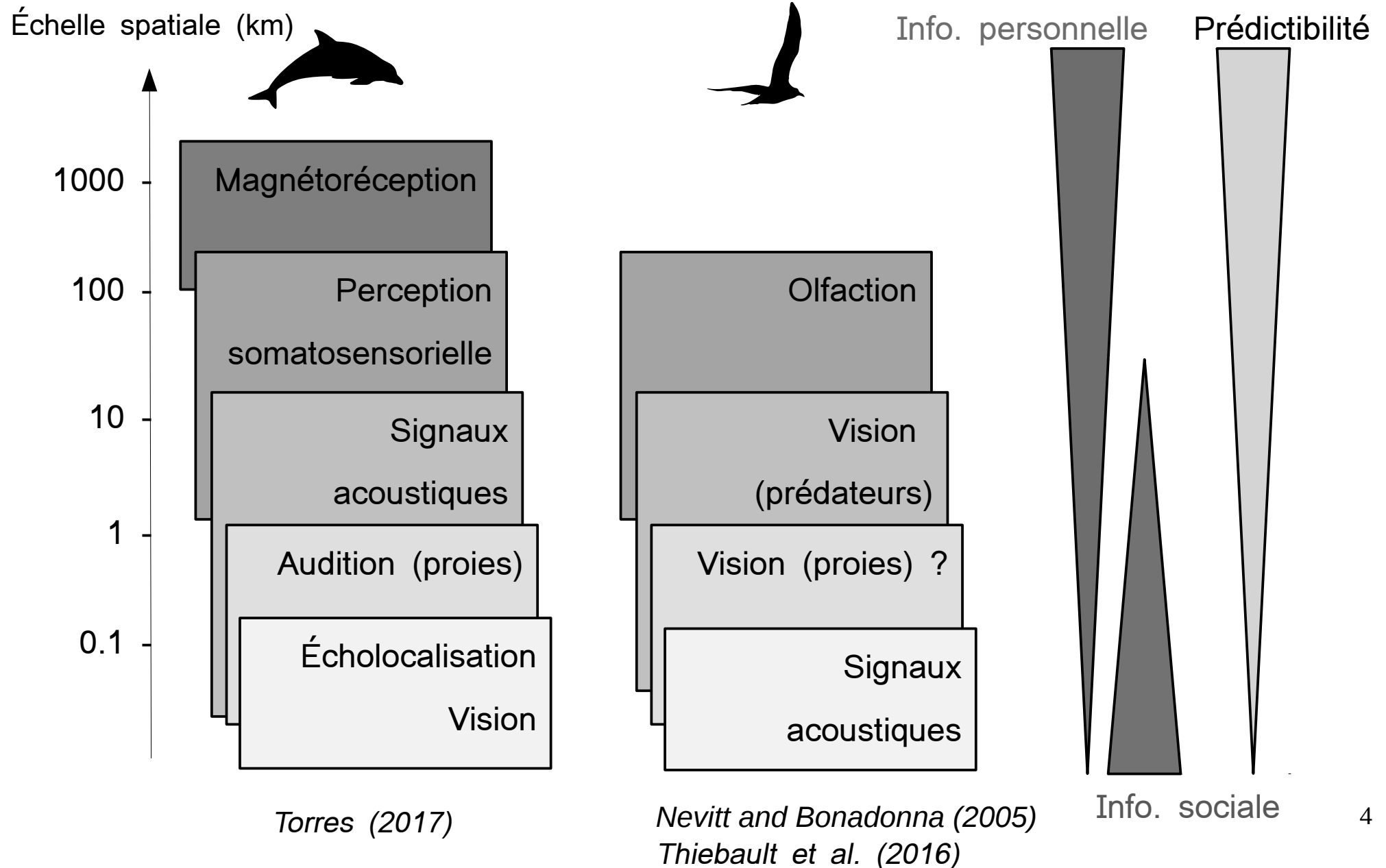
Prédictibilité



Info. sociale

Introduction

Les top-prédateurs acquièrent de l'information à chaque échelle



Pêcherie thonière tropicale

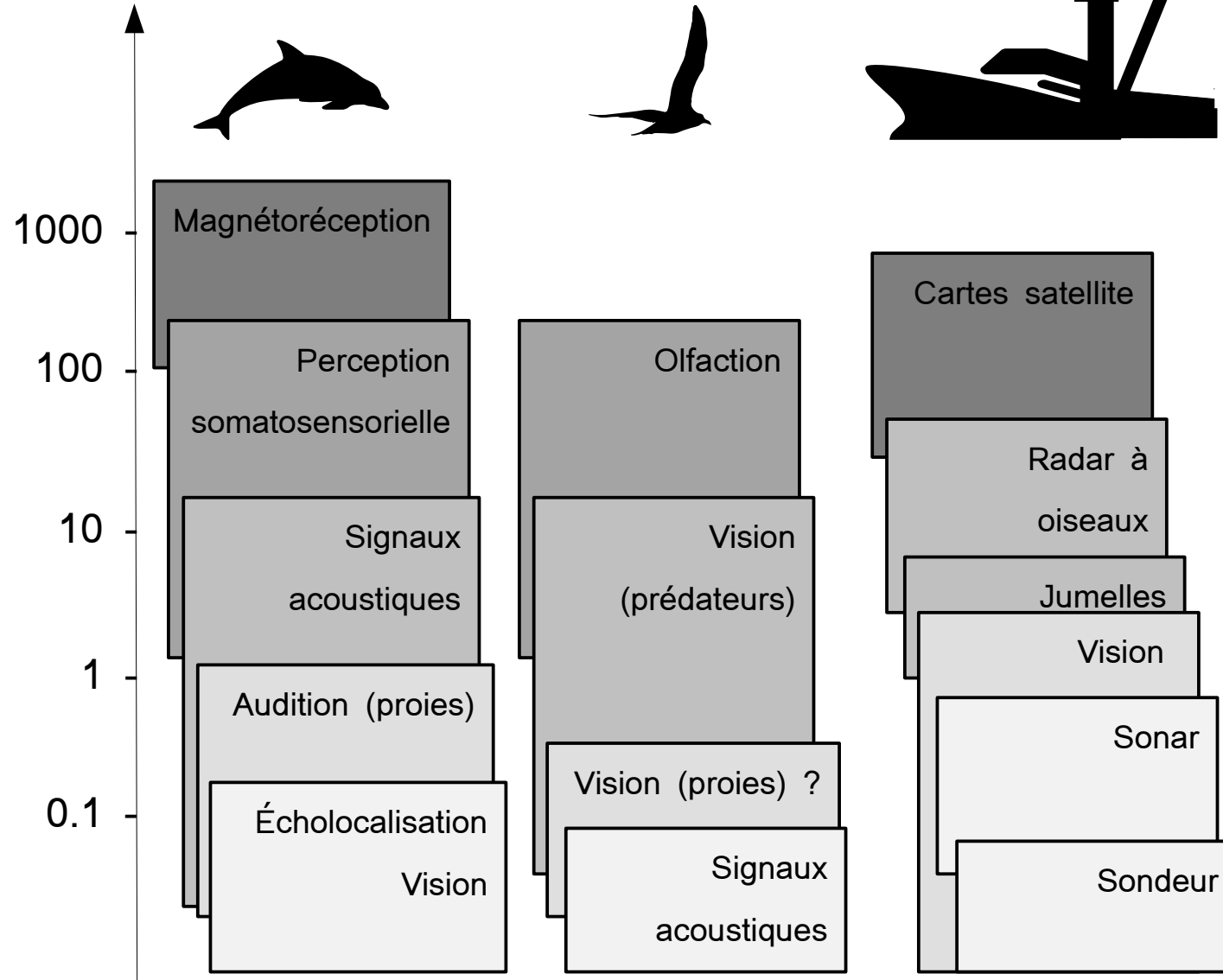
→ Comment réduire le temps de recherche ?

→ Quelles sources d'information sur la présence de thons ?



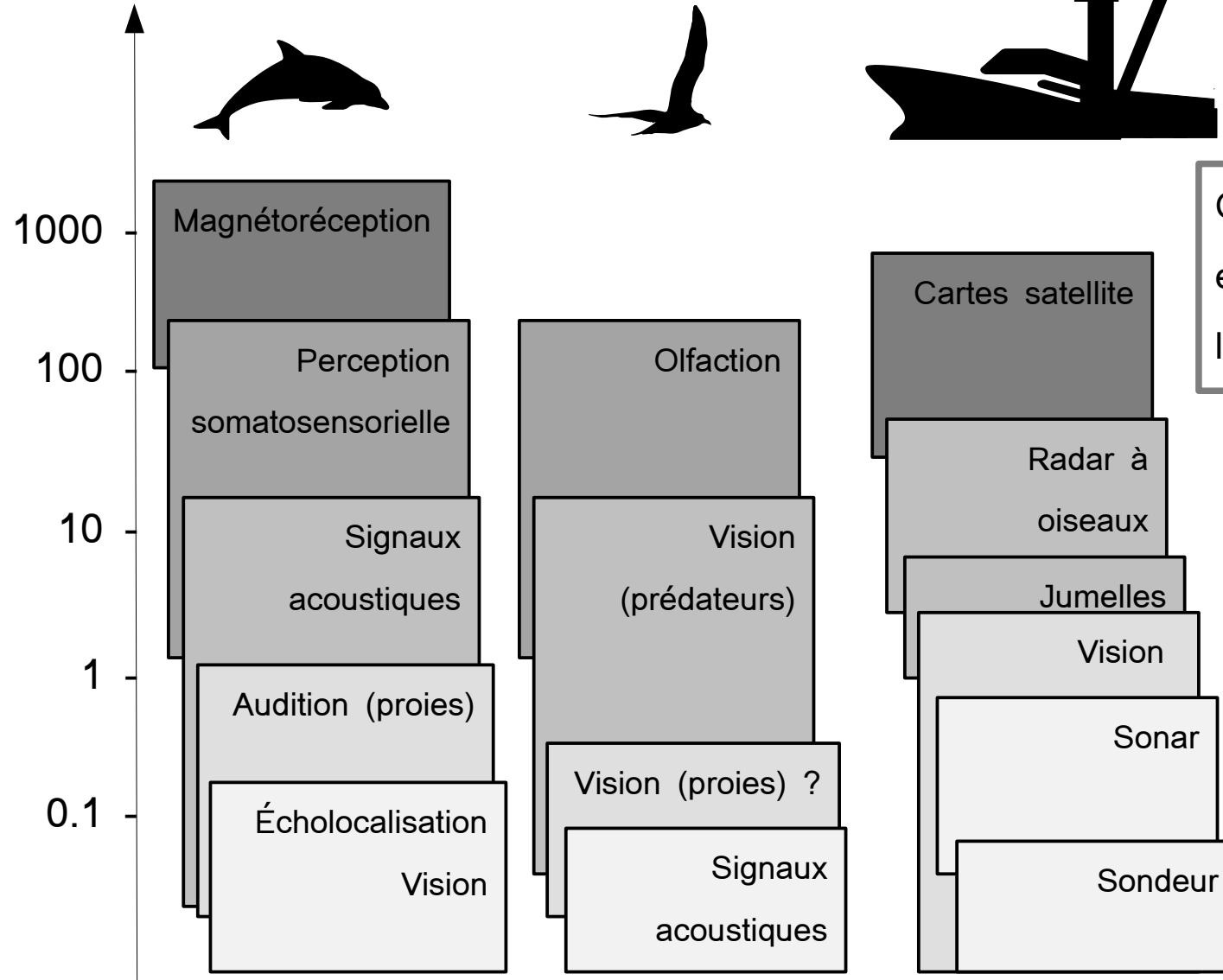
Introduction

Échelle spatiale (km)



Introduction

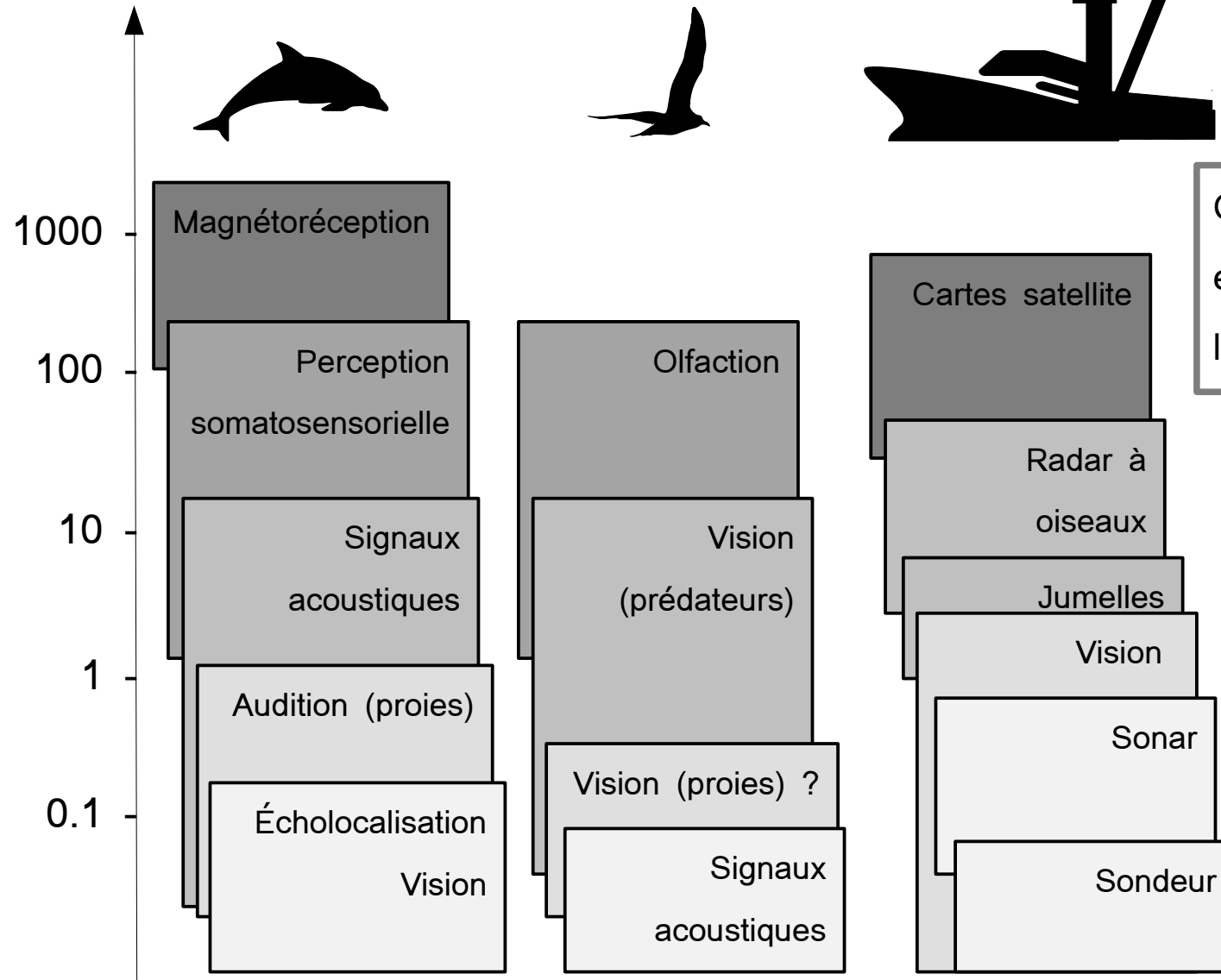
Échelle spatiale (km)



Cibler les zones aux conditions environnementales favorables à la présence de proies

Introduction

Échelle spatiale (km)

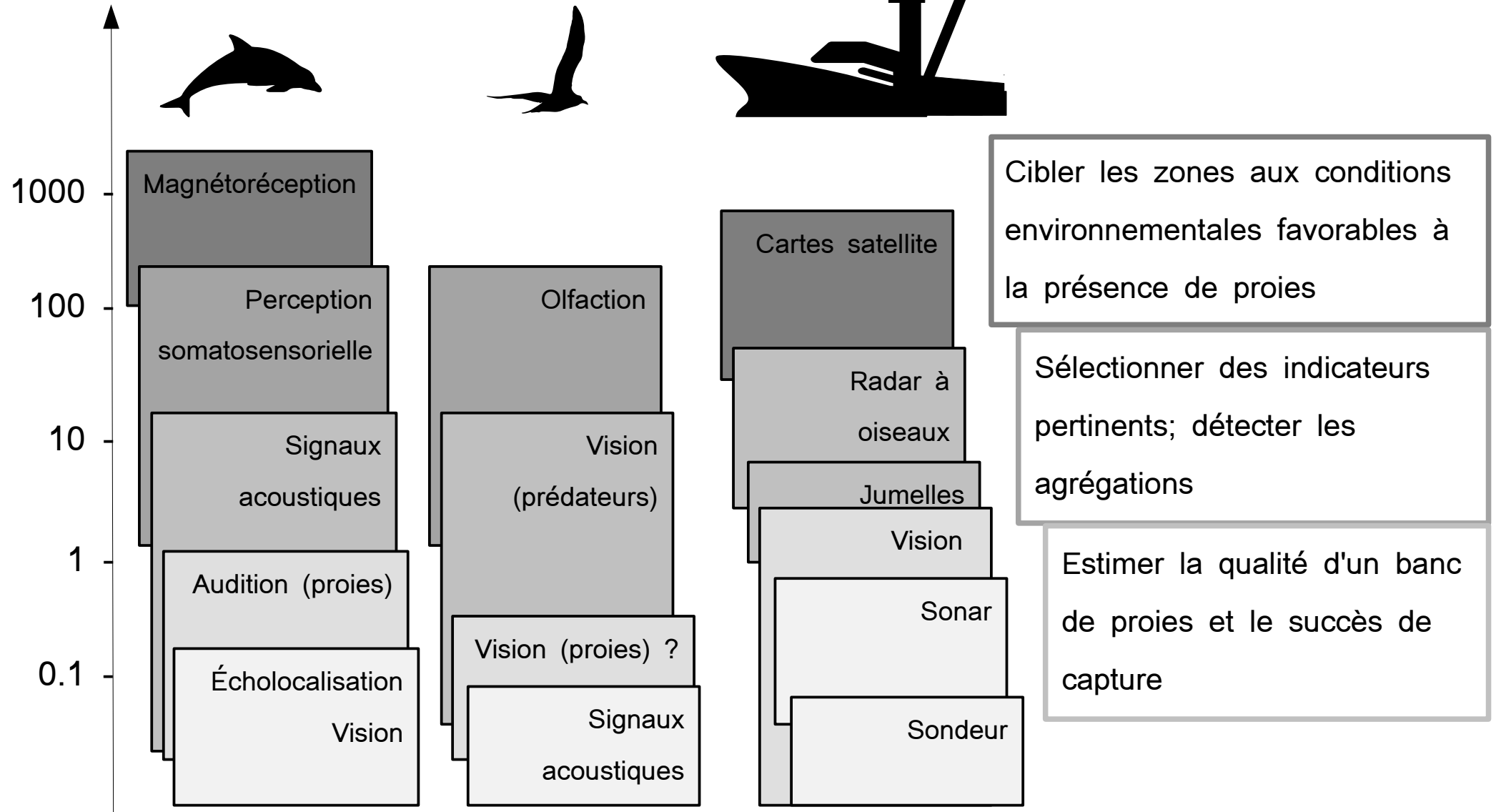


Cibler les zones aux conditions environnementales favorables à la présence de proies

Sélectionner des indicateurs pertinents; détecter les agrégations

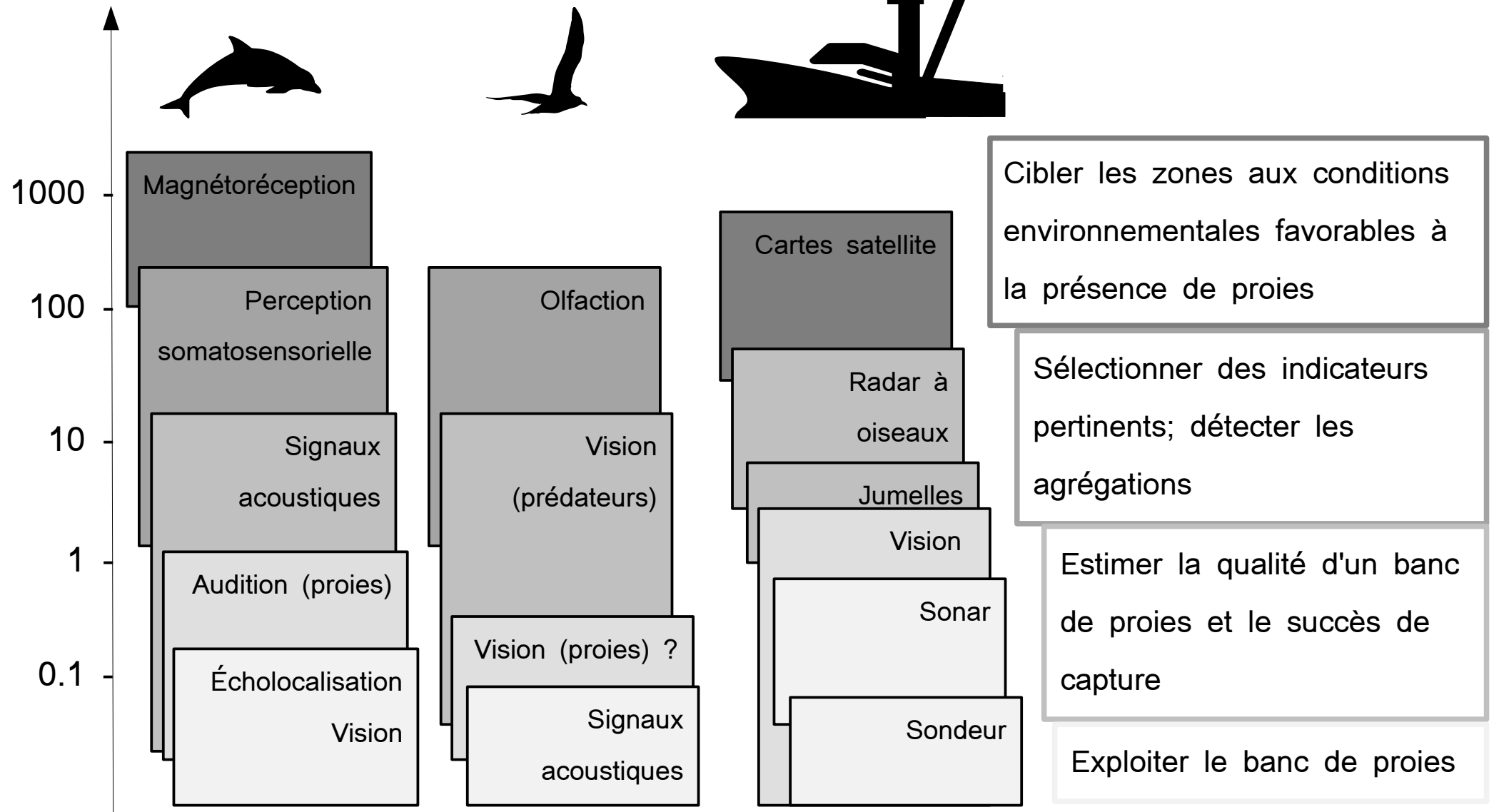
Introduction

Échelle spatiale (km)



Introduction

Échelle spatiale (km)



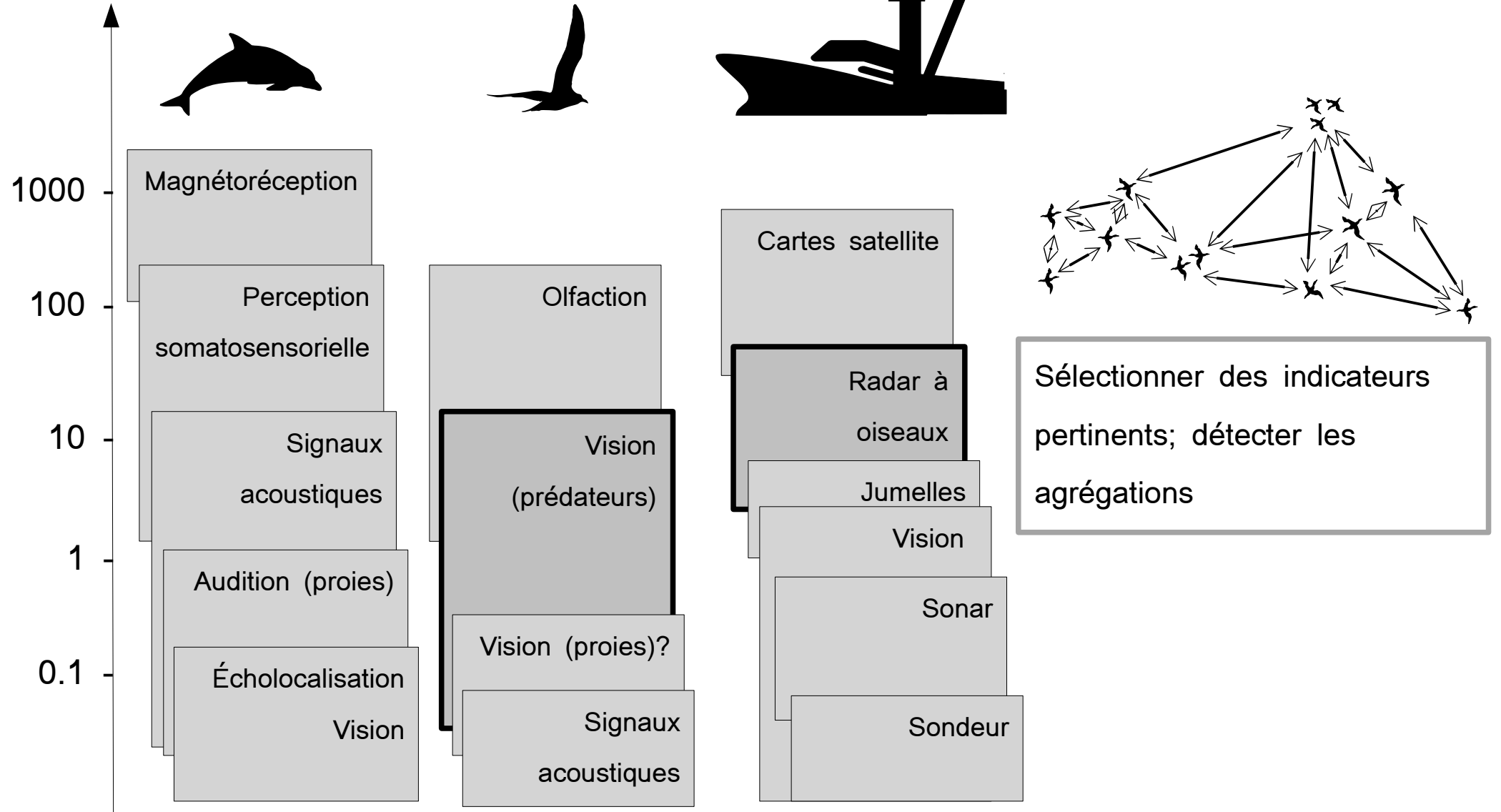
Les top-prédateurs en association lors d'agrégations de nourrissage



Sources : orthongel.fr ; IRD - Ob7

Introduction

Échelle spatiale (km)



Comment l'utilisation d'information par des oiseaux en recherche alimentaire affecte-t-elle leur distribution à sub-méso échelle ?

1. La distribution spatio-temporelle des oiseaux marins est-elle compatible avec la mise en place d'un réseau de recherche alimentaire ?

2. Peut-on effectivement observer, au sein de la distribution spatio-temporelle des oiseaux, des échanges d'informations lors de la recherche alimentaire ?

3. La distribution spatio-temporelle des oiseaux marins est-elle influencée par l'intrusion des thoniers senneurs dans leur zone de prospection de proies ?

Les données radar

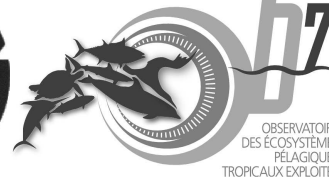
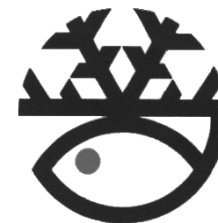
Les données radar

Les données ont été collectées à bord de thoniers senneurs



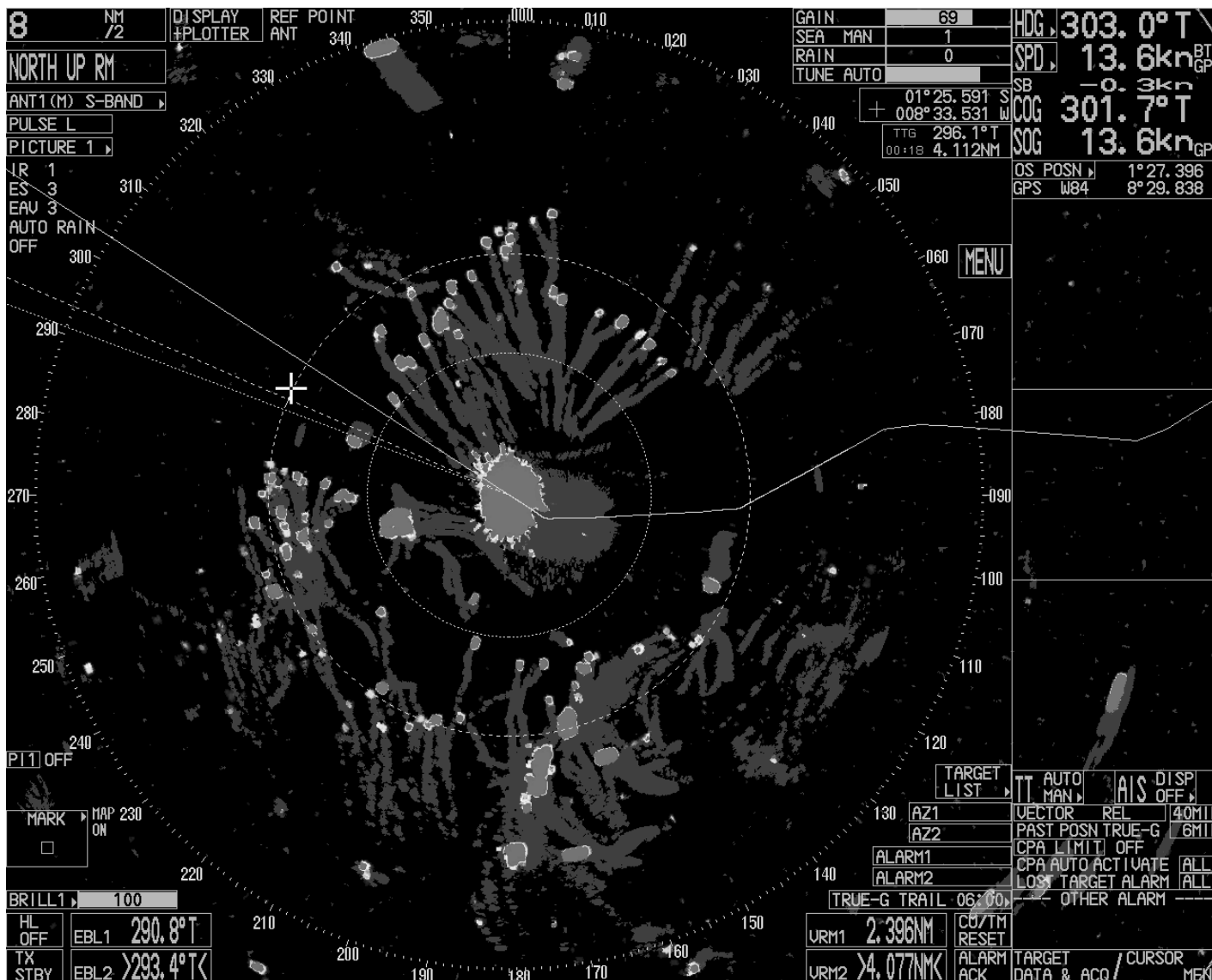
Source : www.cfto.fr

Cette étude a été rendue possible grâce au soutien financier de l'Ob7 de IRD (UMR MARBEC, Sète); en collaboration avec ORTHONGEL.



Les données radar

Des observations instantanées de la distribution des groupes d'oiseaux à (sub-) méso-échelle



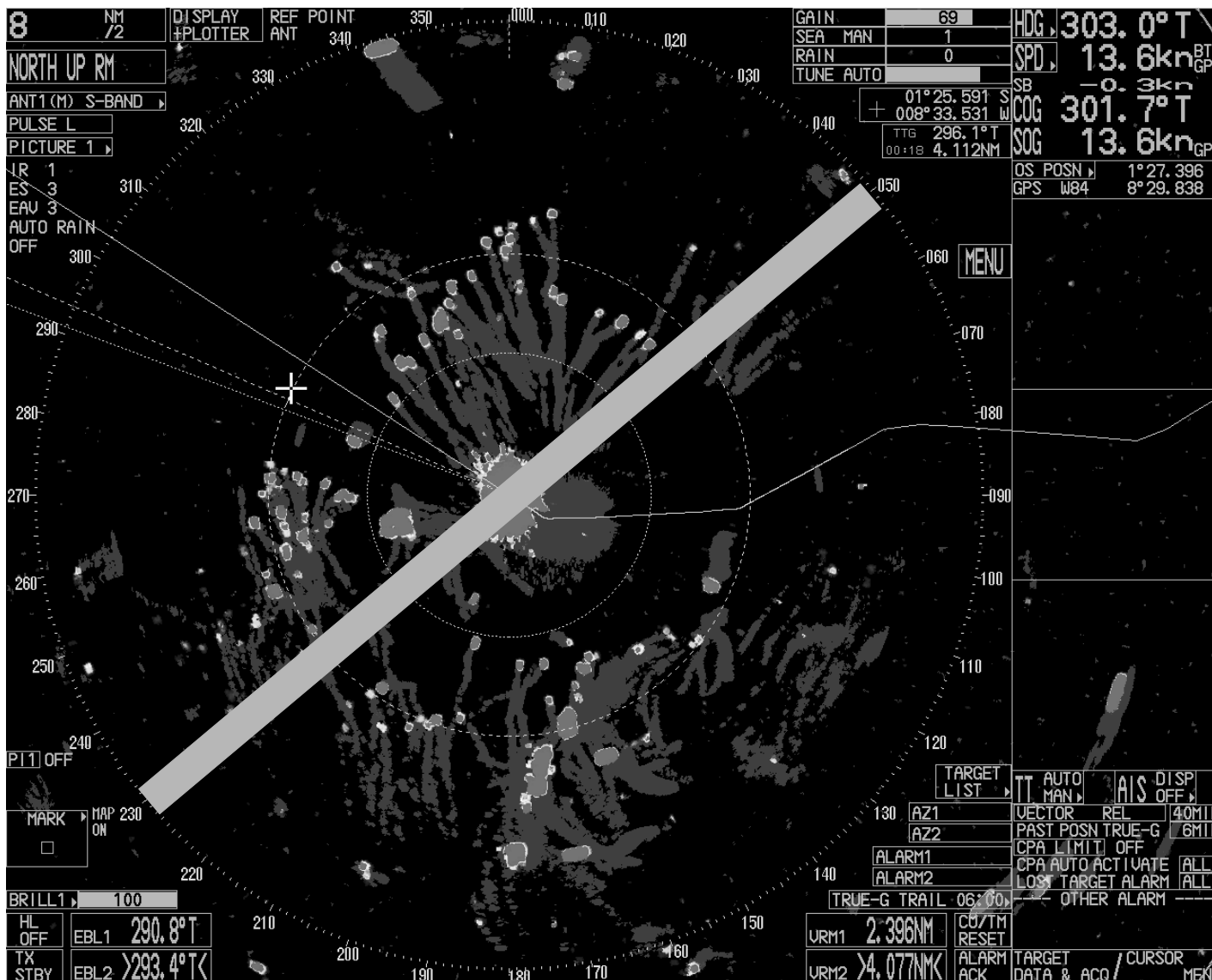
Portée des observations

8 nm (~15 km)

16 nm (~30 km)

Les données radar

Des observations instantanées de la distribution des groupes d'oiseaux à (sub-) méso-échelle



Portée des observations

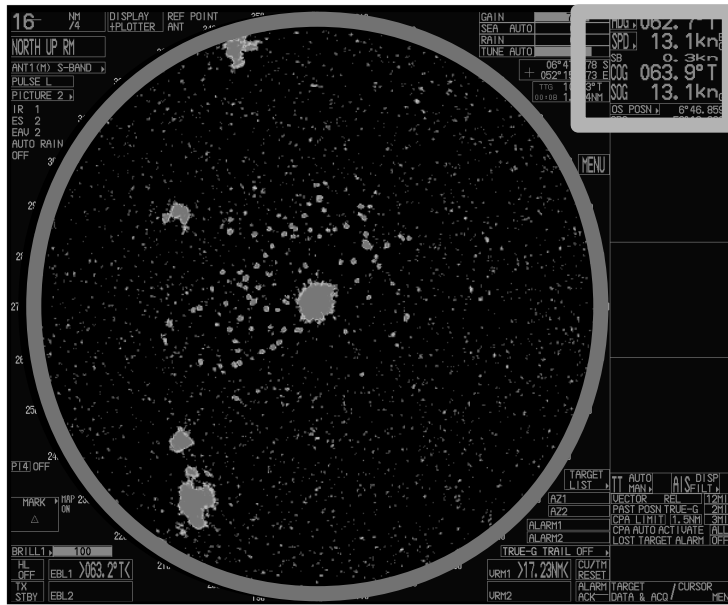
8 nm (~15 km)

16 nm (~30 km)

Strip-transect de
largeur 2x500m

Traitement des données radar

Image standardisée



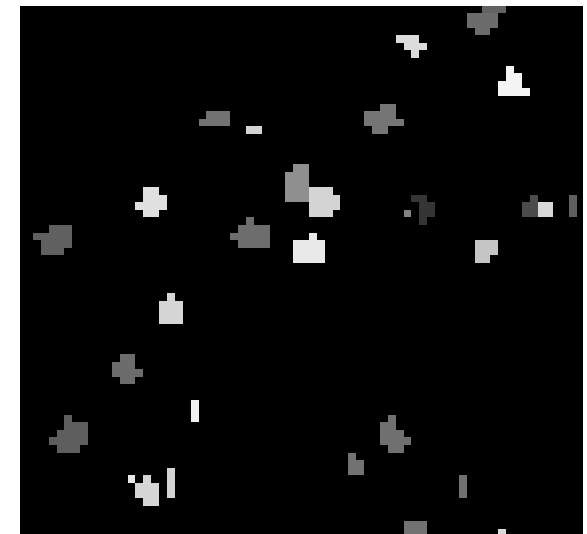
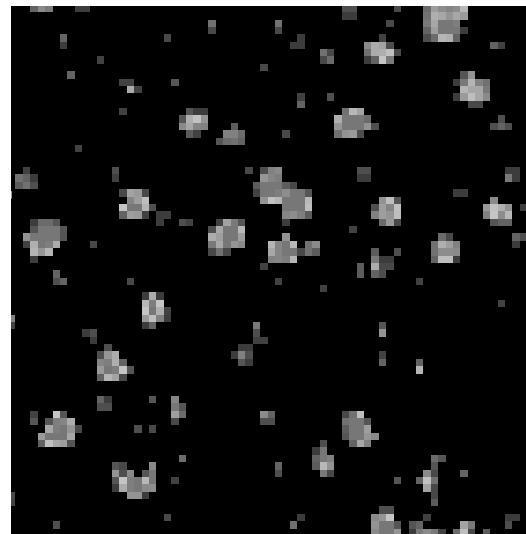
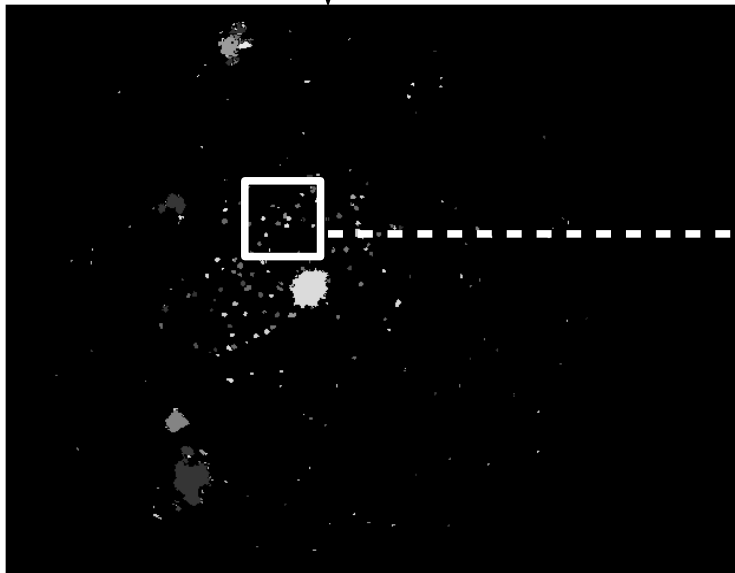
Reconnaissance de caractères (Saroch, 2011) pour extraire l'information contextuelle (paramètres de navigation, réglages de visualisation, etc.)

Identification (*watershed*, Meyer 1994)

Filtrage (analyse d'image)

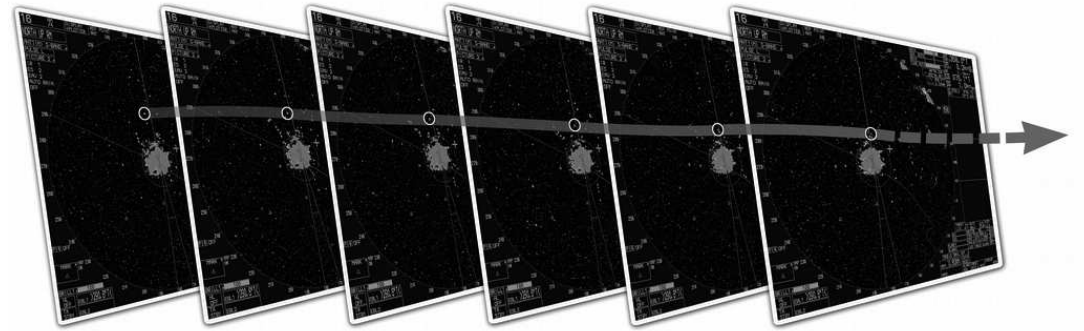
Propriétés des échos

Extraction des échos

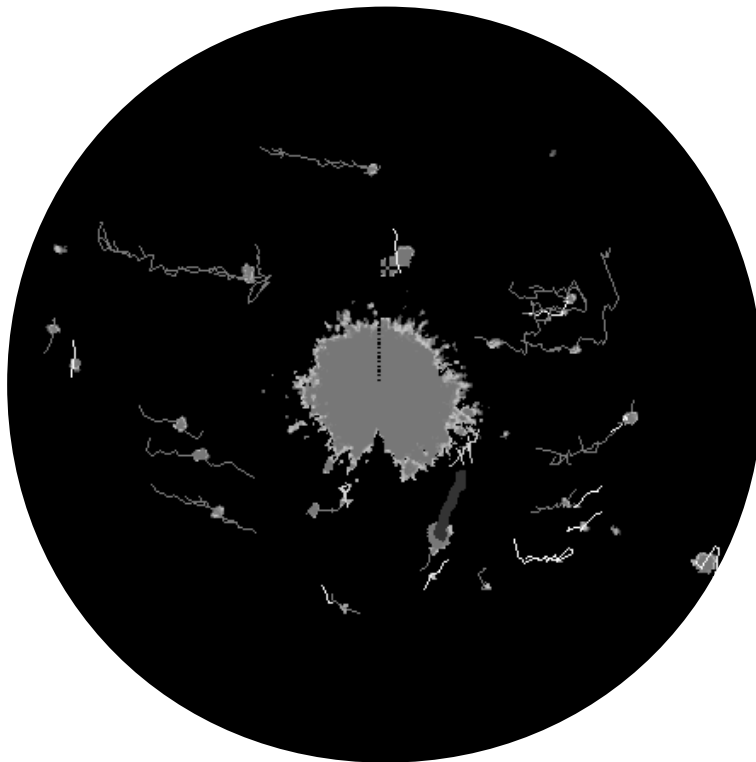


Reconstruction des trajectoires d'échos-oiseaux

1. Algorithme de suivi de particules
(adapté de *Tinevez, 2011*)



2. Classification des trajectoires selon la nature de l'objet observé

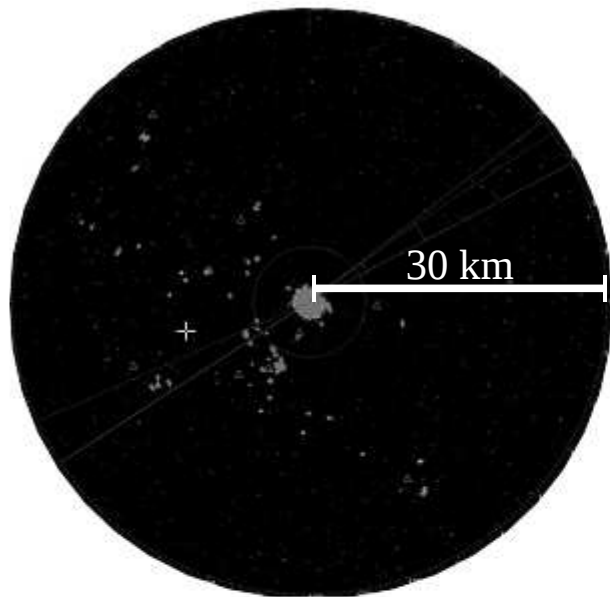


1. La distribution spatio-temporelle des oiseaux marins est-elle compatible avec la mise en place d'un réseau de recherche alimentaire ?

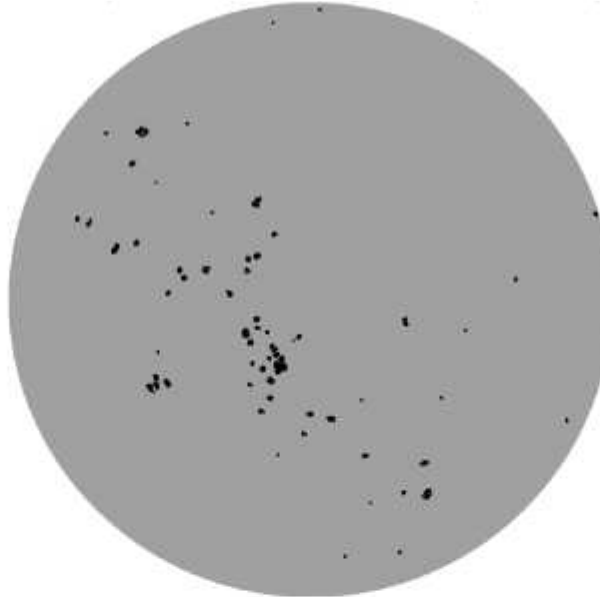
Distribution des oiseaux en un réseau ?

Caractérisation des sur-agrégations au sein de la distribution des oiseaux

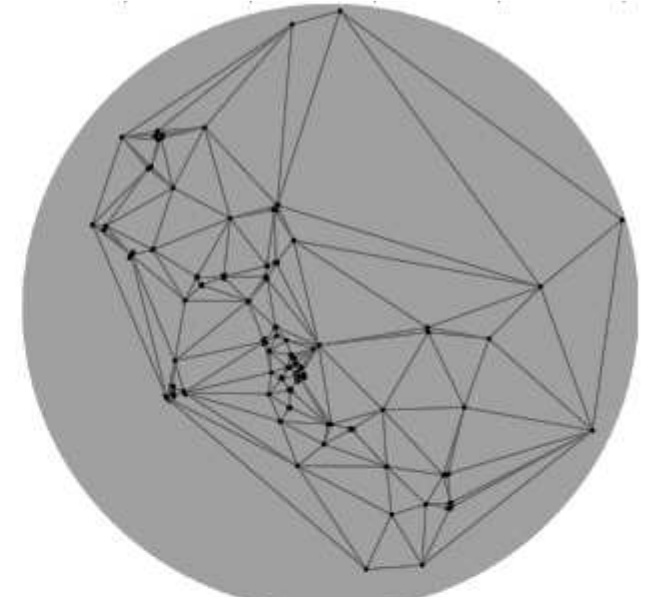
1. Image standardisée



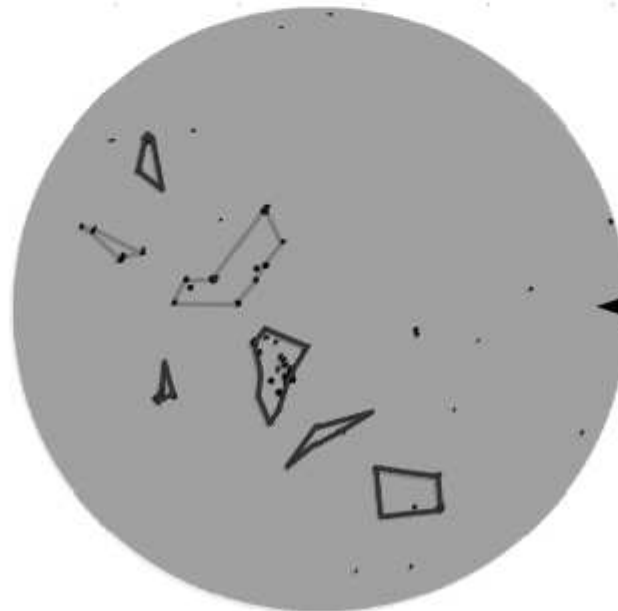
2. Échos-oiseaux



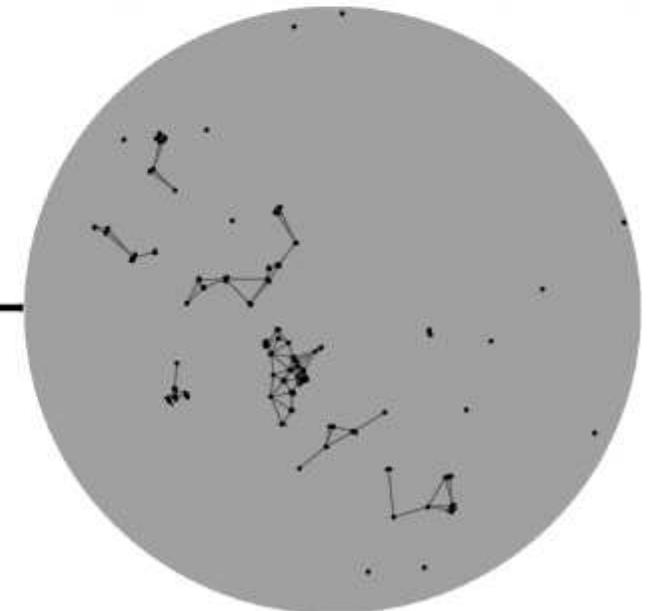
3. Triangulation de Delaunay



5. Agrégations cohérentes



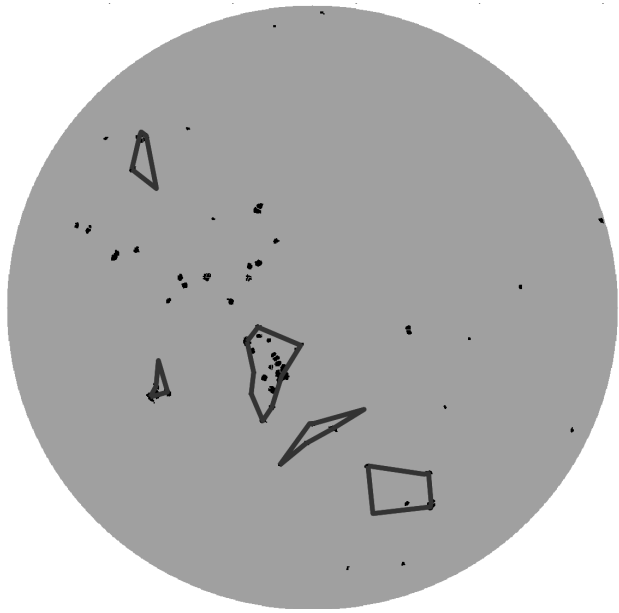
4. Sur-agrégations



Structures de densité
homogène, cohérentes dans le
temps et l'espace

Distribution des oiseaux en un réseau ?

Caractéristiques des agrégations



Élongation maximale : moyenne 10.6 km

Distance entre échos : moyenne 2.3 km

Distance entre agrégations : moyenne 14.3 km

Occurrence

Fréquentes - significatives

Durée : 3min 30s

Éphémères

Interactions à petite et sub-méso-échelle

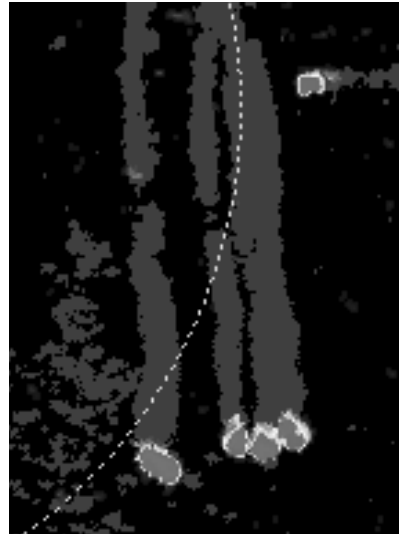
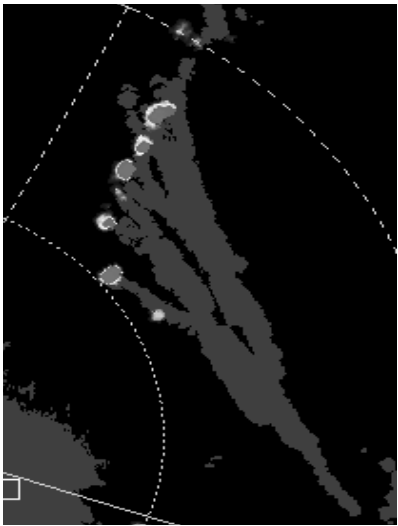
Contrôle actif des distances entre groupes d'oiseaux ?

1. La distribution spatio-temporelle des oiseaux marins est-elle compatible avec la mise en place d'un réseau de recherche alimentaire ?

La distribution des oiseaux en mer révèle des motifs sur-agrégés compatibles avec la mise en place d'un réseau de recherche alimentaire.

2. Peut-on effectivement observer, au sein de la distribution spatio-temporelle des oiseaux, des échanges d'informations lors de la recherche alimentaire ?

Caractéristiques des vols en « râteaux » (fronts d'oiseaux)

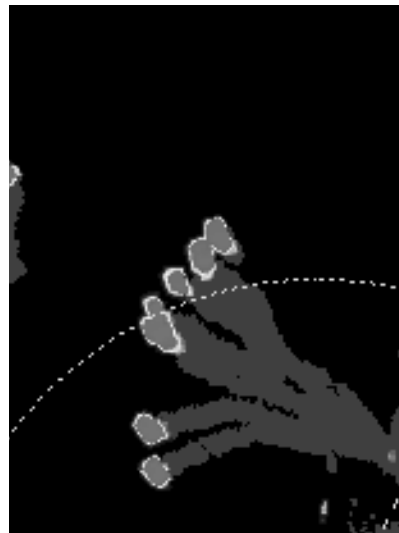
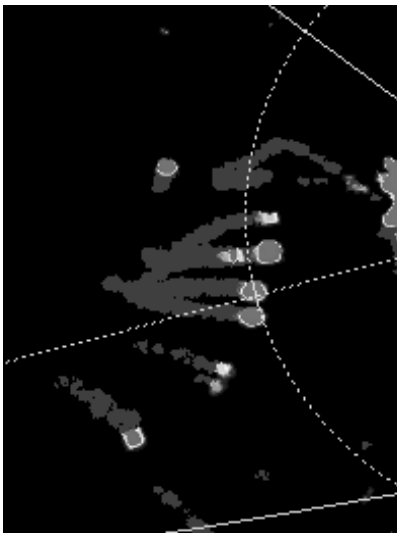


Durée : 8 ± 4 min

Distance parcourue : 4.4 ± 2 km

Élongation latérale : 1.6 ± 0.9 km (0.3 – 4.4 km)

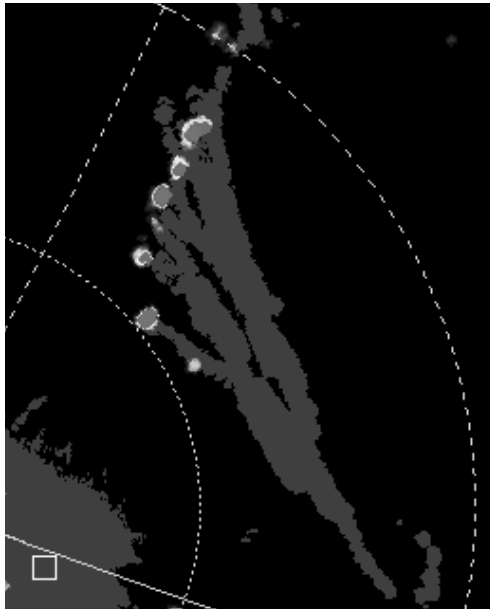
Distance entre les groupes d'oiseaux impliqués :
 500 ± 200 m (200 m – 1.5 km)



→ Ces formations supposent un contrôle actif de la vitesse, de la direction, et de la distance entre participants

Vols coordonnés d'oiseaux marins

À quoi correspondent de telles formations de vol ?



Hypothèse : oiseaux marins en recherche alimentaire

Optimiser la couverture spatiale ?



Recherche



Couverture d'une zone, sans perte

Optimiser le taux de rencontre de proies

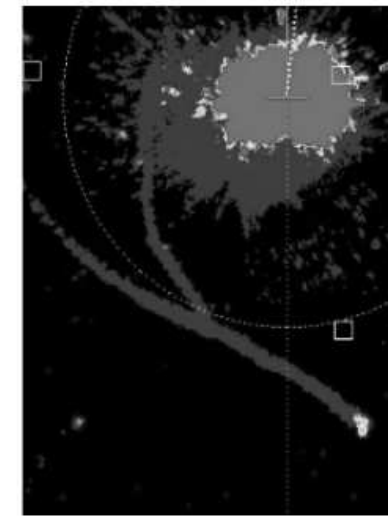
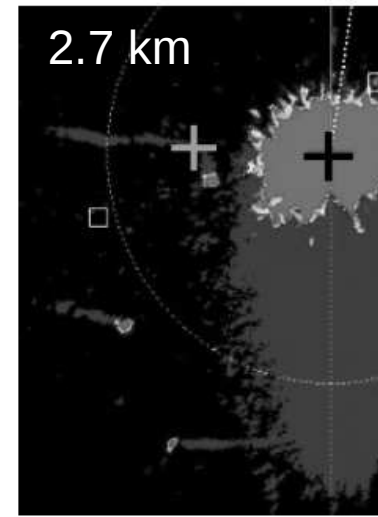
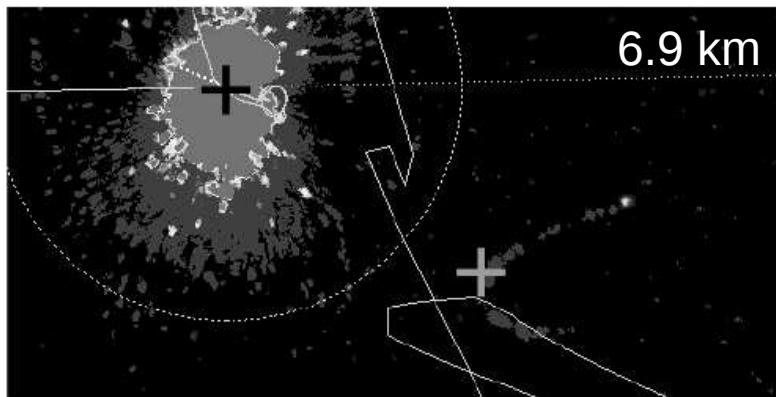
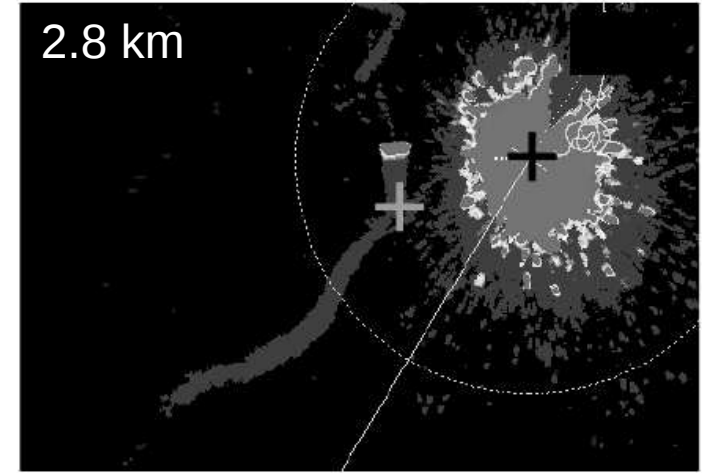
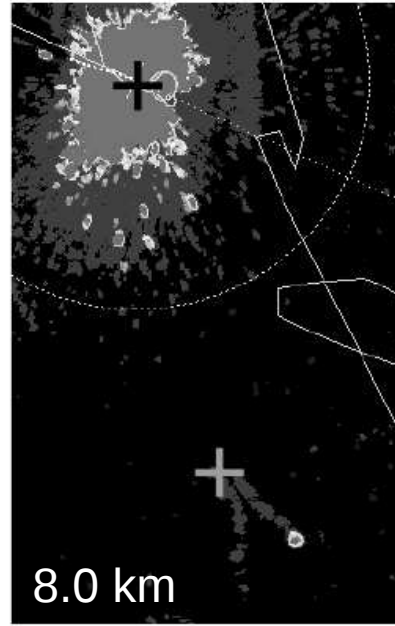
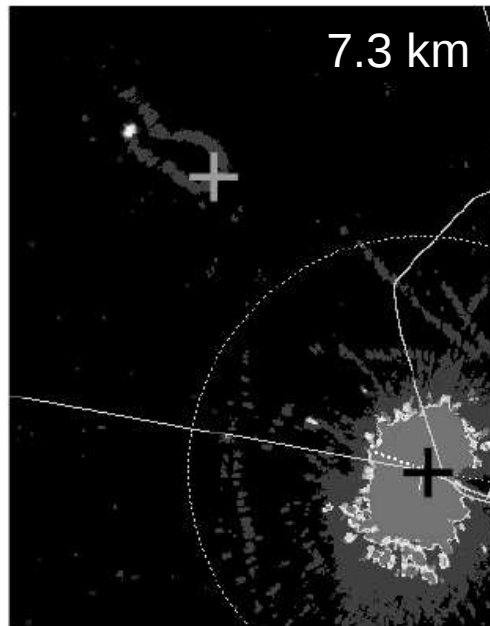
→ la distance entre groupes d'oiseaux
pourrait être liée à l'échelle de détection
visuelle des proies par les oiseaux en vol

2. Peut-on effectivement observer, au sein de la distribution spatio-temporelle des oiseaux, des échanges d'informations lors de la recherche alimentaire ?

Râteaux : synchronisation, coordination de groupes d'oiseaux en vol (jamais observée à cette échelle).

3. La distribution spatio-temporelle des oiseaux marins est-elle influencée par l'intrusion des thoniers senneurs dans leur zone de prospection de proies ?

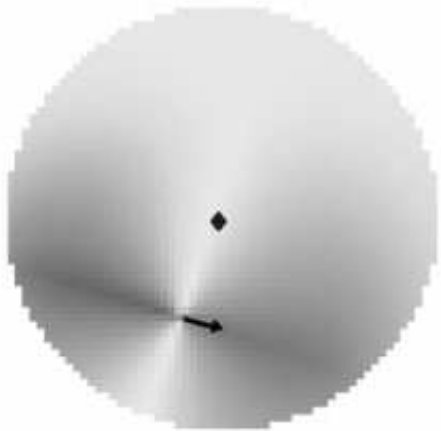
3. Les oiseaux sont-ils influencés par le navire ?



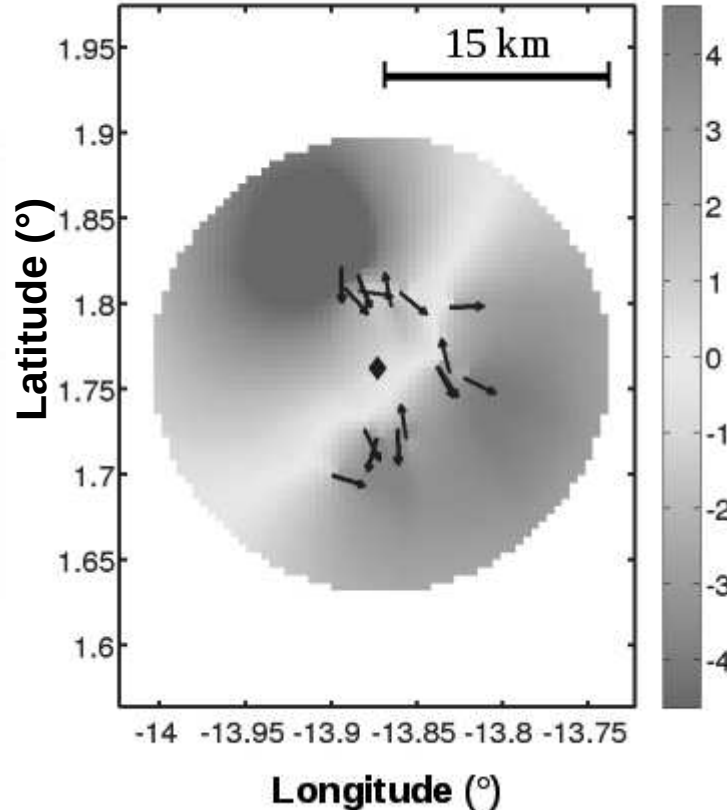
3. Les oiseaux sont-ils influencés par le navire ?

Construction d'un « indice d'attractivité »

Indice d'attractivité de chaque cellule du disque radar (une trajectoire)



Indice d'attractivité de chaque cellule du disque radar (toutes les trajectoires au temps t)



Indice d'attractivité

Positif : la cellule est attractive pour les oiseaux, en moyenne.

Nul : la cellule est neutre pour les oiseaux, en moyenne.

Négatif : la cellule est répulsive pour les oiseaux, en moyenne.

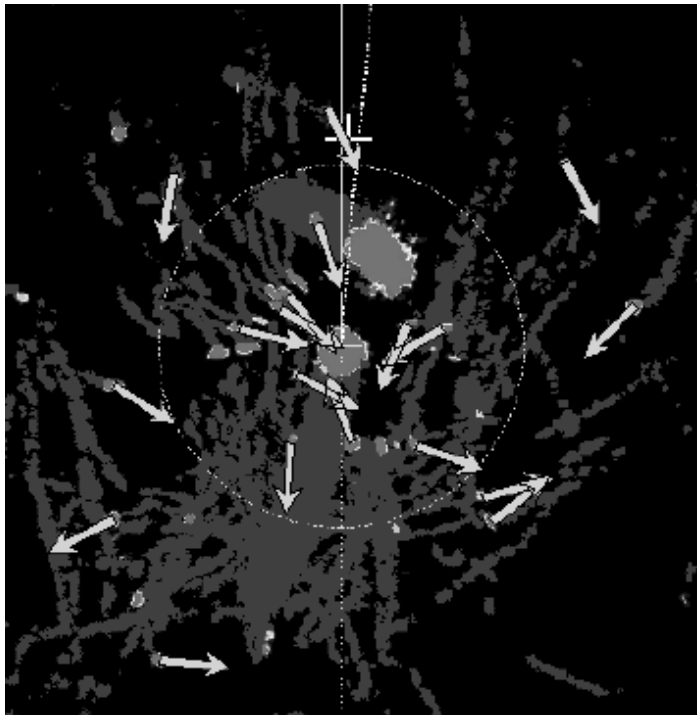
◆ Focus : indice d'attractivité du navire

(contribution des oiseaux entre 2 et 15 km du navire)

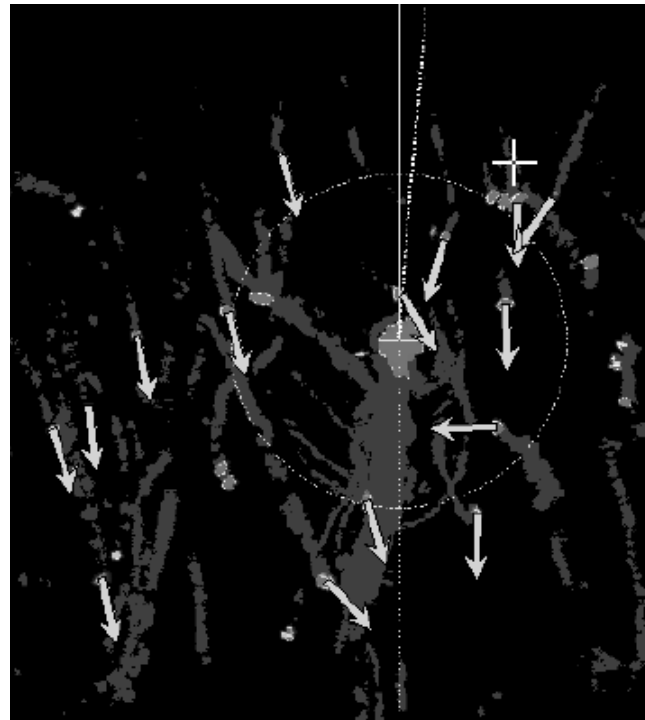
3. Les oiseaux sont-ils influencés par le navire ?

Construction d'un « indice d'attractivité »

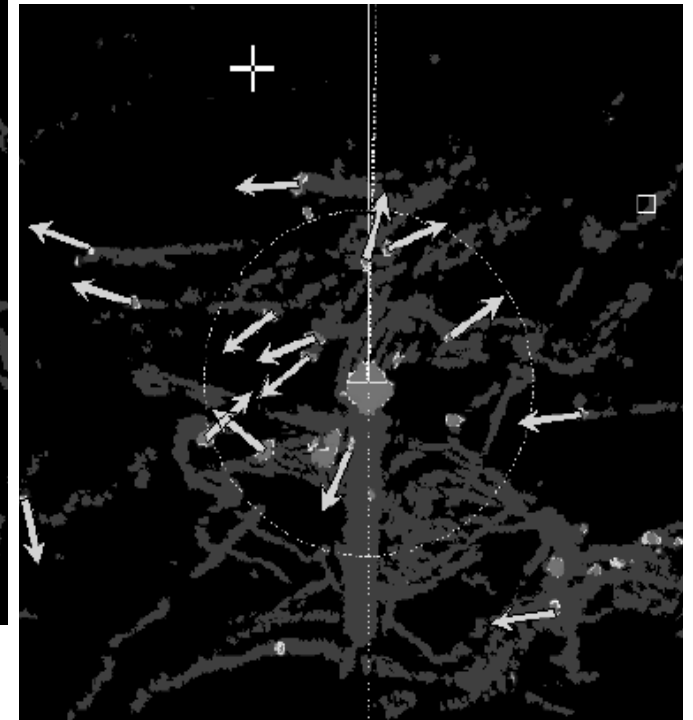
Positif → attractif



Nul → neutre



Négatif → répulsif



3. Les oiseaux sont-ils influencés par le navire ?

Activités du senneur

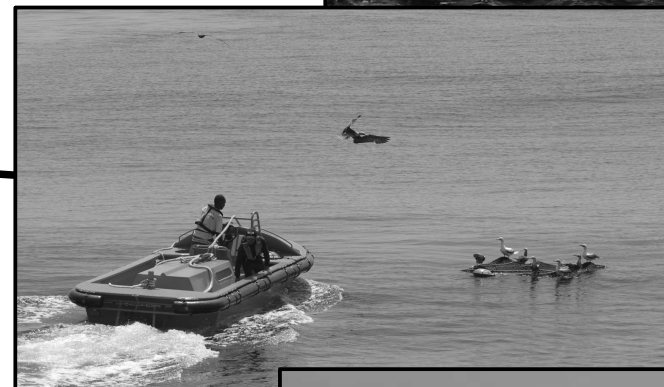
Activités du senneur	Proportion d'images radar
Transit	57.3
Recherche	
Route vers un système observé	17.8
Arrivée sur un système observé	
Opération sur un objet flottant (visité, déposé, modifié, enlevé)	8.9
Opération de pêche	13.6
Fin de l'opération de pêche	
Autres	2.4



Activité 1



Activité 2



Activité 3



Activité 4

3. Les oiseaux sont-ils influencés par le navire ?

Indice d'attractivité du senneur

p-values de tests de Student

Hour	Activity 1 : transit or search	Activity 2 : approach to an observed system	Activity 3 : operation on a floating object	Activity 4 : fishing operation	All activities
05:00	0.77	/	/	/	0.48
06:00	0.57	<0.001	0.01	<0.01	0
07:00	0.05	/	0.02	0.04	<0.001
08:00	<0.01	<0.001	/	<0.01	0.22
09:00	<0.01	0.03	/	/	<0.001
10:00	0.36	0.11	/	/	0.85
11:00	0.78	<0.01	/	0.99	0.61
12:00	0.51	0.77	/	0.37	0.18
13:00	0.13	0.47	0.03	0.77	<0.001
14:00	<0.001	0.67	<0.01	/	<0.001
15:00	<0.001	<0.001	0.03	/	<0.001
16:00	0.66	0.84	<0.01	/	0.99
17:00	0.20	0.40	/	/	<0.01
18:00	<0.01	0.21	/	/	<0.001
All hours	<0.001	0.83	<0.001	<0.001	<0.001

 Moy. de la distribution < 0

 Moy. de la distribution ≈ 0

 Moy. de la distribution > 0

 Moins de 10 observations

3. Les oiseaux sont-ils influencés par le navire ?

Indice d'attractivité du senneur

p-values de tests de Student

Hour	Activity 1 : transit or search	Activity 2 : approach to an observed system	Activity 3 : operation on a floating object	Activity 4 : fishing operation	All activities
05:00	0.77	/	/	/	0.48
06:00	0.57	<0.001	0.01	<0.01	0
07:00	0.05	/	0.02	0.04	<0.001
08:00	<0.01	<0.001	/	<0.01	0.22
09:00	<0.01	0.03	/	/	<0.001
10:00	0.36	0.11	/	/	0.85
11:00	0.78	<0.01	/	0.99	0.61
12:00	0.51	0.77	/	0.37	0.18
13:00	0.13	0.47	0.03	0.77	<0.001
14:00	<0.001	0.67	<0.01	/	<0.001
15:00	<0.001	<0.001	0.03	/	<0.001
16:00	0.66	0.84	<0.01	/	0.99
17:00	0.20	0.40	/	/	<0.01
18:00	<0.01	0.21	/	/	<0.001
All hours	<0.001	0.83	<0.001	<0.001	<0.001

 Moy. de la distribution < 0

 Moy. de la distribution ≈ 0

 Moy. de la distribution > 0

 Moins de 10 observations

3. Les oiseaux sont-ils influencés par le navire ?

Indice d'attractivité du senneur

p-values de tests de Student

Hour	Activity 1 : transit or search	Activity 2 : approach to an observed system	Activity 3 : operation on a floating object	Activity 4 : fishing operation	All activities
05:00	0.77	/	/	/	0.48
06:00	0.57	<0.001	0.01	<0.01	0
07:00	0.05	/	0.02	0.04	<0.001
08:00	<0.01	<0.001	/	<0.01	0.22
09:00	<0.01	0.03	/	/	<0.001
10:00	0.36	0.11	/	/	0.85
11:00	0.78	<0.01	/	0.99	0.61
12:00	0.51	0.77	/	0.37	0.18
13:00	0.13	0.47	0.03	0.77	<0.001
14:00	<0.001	0.67	<0.01	/	<0.001
15:00	<0.001	<0.001	0.03	/	<0.001
16:00	0.66	0.84	<0.01	/	0.99
17:00	0.20	0.40	/	/	<0.01
18:00	<0.01	0.21	/	/	<0.001
All hours	<0.001	0.83	<0.001	<0.001	<0.001

 Moy. de la distribution < 0

 Moy. de la distribution ≈ 0

 Moy. de la distribution > 0

 Moins de 10 observations

3. Les oiseaux sont-ils influencés par le navire ?

Indice d'attractivité du senneur

p-values de tests de Student

Hour	Activity 1 : transit or search	Activity 2 : approach to an observed system	Activity 3 : operation on a floating object	Activity 4 : fishing operation	All activities
05:00	0.77	/	/	/	0.48
06:00	0.57	<0.001	0.01	<0.01	0
07:00	0.05	/	0.02	0.04	<0.001
08:00	<0.01	<0.001	/	<0.01	0.22
09:00	<0.01	0.03	/	/	<0.001
10:00	0.36	0.11	/	/	0.85
11:00	0.78	<0.01	/	0.99	0.61
12:00	0.51	0.77	/	0.37	0.18
13:00	0.13	0.47	0.03	0.77	<0.001
14:00	<0.001	0.67	<0.01	/	<0.001
15:00	<0.001	<0.001	0.03	/	<0.001
16:00	0.66	0.84	<0.01	/	0.99
17:00	0.20	0.40	/	/	<0.01
18:00	<0.01	0.21	/	/	<0.001
All hours	<0.001	0.83	<0.001	<0.001	<0.001

 Moy. de la distribution < 0

 Moy. de la distribution ≈ 0

 Moy. de la distribution > 0

 Moins de 10 observations

3. Les oiseaux sont-ils influencés par le navire ?

Indice d'attractivité du senneur

p-values de tests de Student

Hour	Activity 1 : transit or search	Activity 2 : approach to an observed system	Activity 3 : operation on a floating object	Activity 4 : fishing operation	All activities
05:00	0.77	/	/	/	0.48
06:00	0.57	<0.001	0.01	<0.01	0
07:00	0.05	/	0.02	0.04	<0.001
08:00	<0.01	<0.001	/	<0.01	0.22
09:00	<0.01	0.03	/	/	<0.001
10:00	0.36	0.11	/	/	0.85
11:00	0.78	<0.01	/	0.99	0.61
12:00	0.51	0.77	/	0.37	0.18
13:00	0.13	0.47	0.03	0.77	<0.001
14:00	<0.001	0.67	<0.01	/	<0.001
15:00	<0.001	<0.001	0.03	/	<0.001
16:00	0.66	0.84	<0.01	/	0.99
17:00	0.20	0.40	/	/	<0.01
18:00	<0.01	0.21	/	/	<0.001
All hours	<0.001	0.83	<0.001	<0.001	<0.001

 Moy. de la distribution < 0

 Moy. de la distribution ≈ 0

 Moy. de la distribution > 0

 Moins de 10 observations

3. Les oiseaux sont-ils influencés par le navire ?

Indice d'attractivité du senneur

p-values de tests de Student

Hour	Activity 1 : transit or search	Activity 2 : approach to an observed system	Activity 3 : operation on a floating object	Activity 4 : fishing operation	All activities
05:00	0.77	/	/	/	0.48
06:00	0.57	<0.001	0.01	<0.01	0
07:00	0.05	/	0.02	0.04	<0.001
08:00	<0.01	<0.001	/	<0.01	0.22
09:00	<0.01	0.03	/	/	<0.001
10:00	0.36	0.11	/	/	0.85
11:00	0.78	<0.01	/	0.99	0.61
12:00	0.51	0.77	/	0.37	0.18
13:00	0.13	0.47	0.03	0.77	<0.001
14:00	<0.001	0.67	<0.01	/	<0.001
15:00	<0.001	<0.001	0.03	/	<0.001
16:00	0.66	0.84	<0.01	/	0.99
17:00	0.20	0.40	/	/	<0.01
18:00	<0.01	0.21	/	/	<0.001
All hours	<0.001	0.83	<0.001	<0.001	<0.001

 Moy. de la distribution < 0

 Moy. de la distribution ≈ 0

 Moy. de la distribution > 0

 Moins de 10 observations

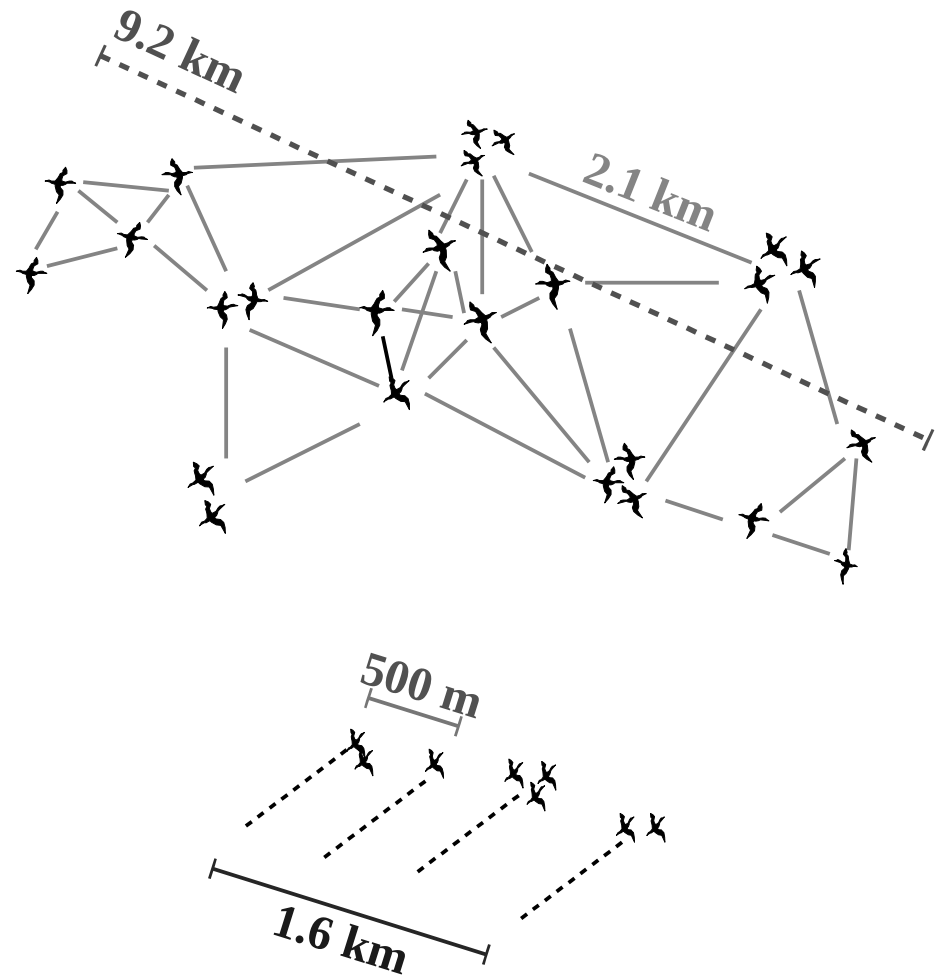
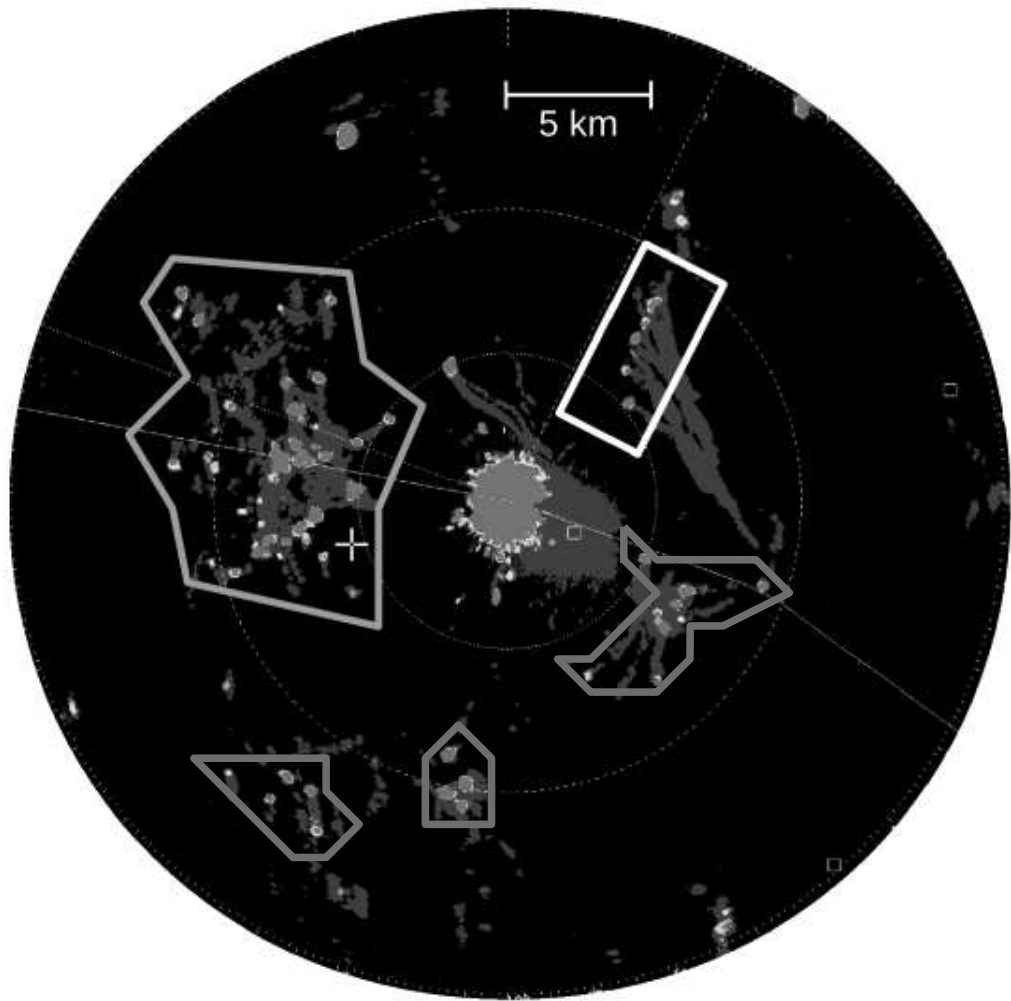
3. Les oiseaux sont-ils influencés par le navire ?

3. La distribution spatio-temporelle des oiseaux marins est-elle influencée par l'intrusion des thoniers senneurs dans leur zone de prospection de proies ?

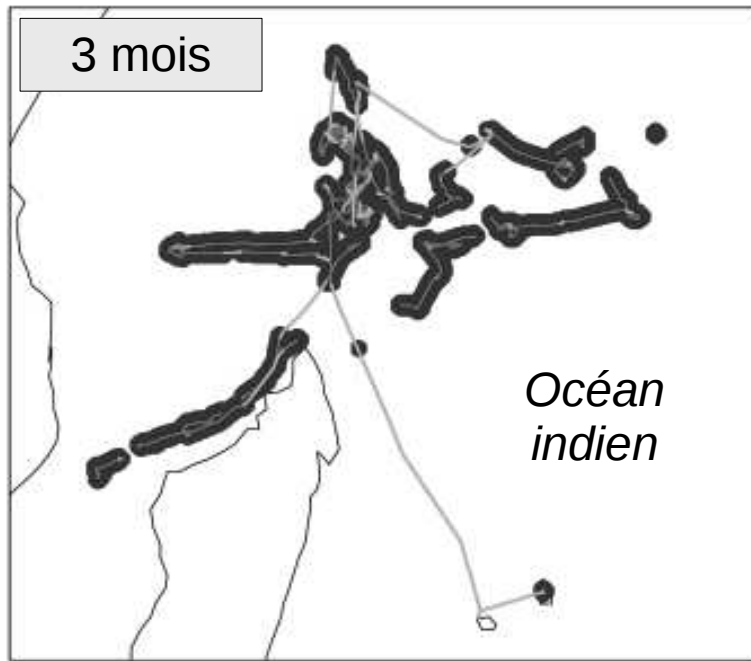
- Les oiseaux marins réagissent différemment aux activités du navire. Il existe donc des échanges réciproques d'information entre senneurs et oiseaux.
- Hypothèse : les oiseaux marins en recherche alimentaire collectent des informations indirectes afin d'accroître leur connaissance du champ de proies et de prédateurs.

Conclusion

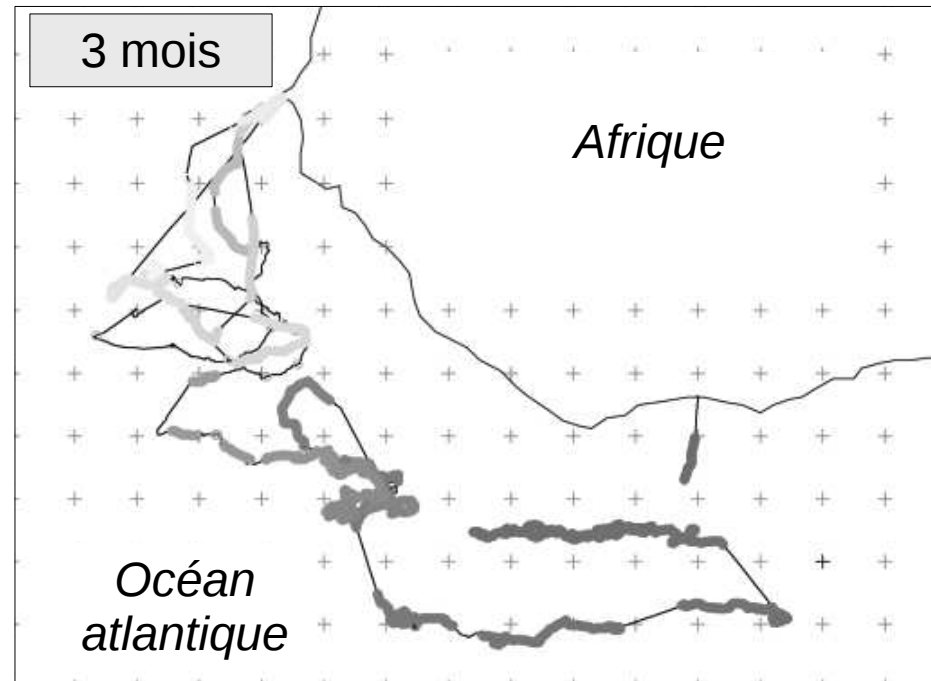
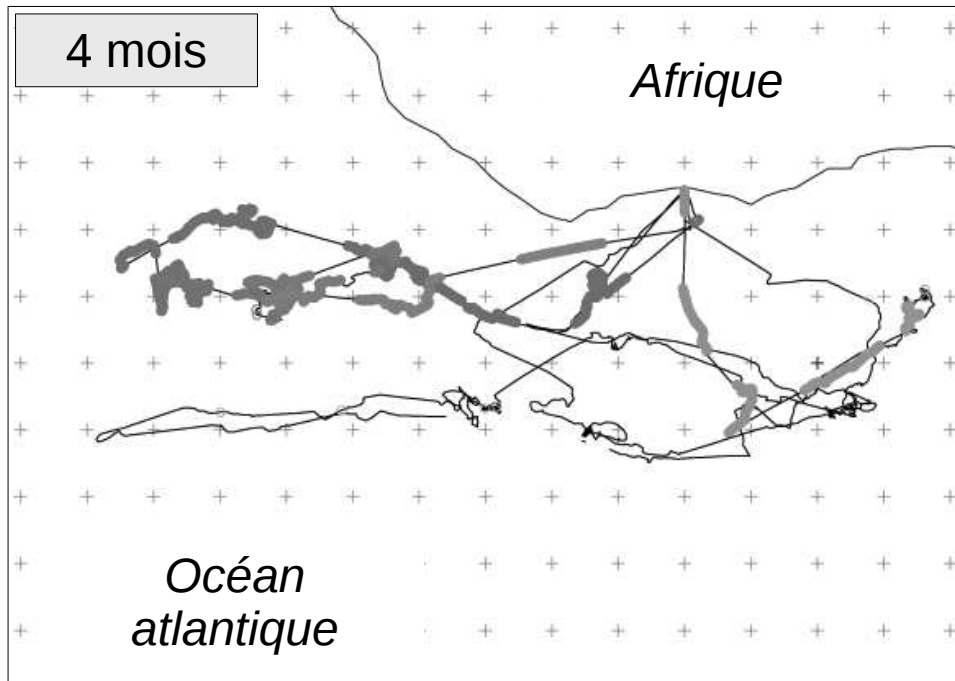
En régions tropicales, les observations radar ont révélé divers indices d'échanges d'informations entre groupes d'oiseaux marins.



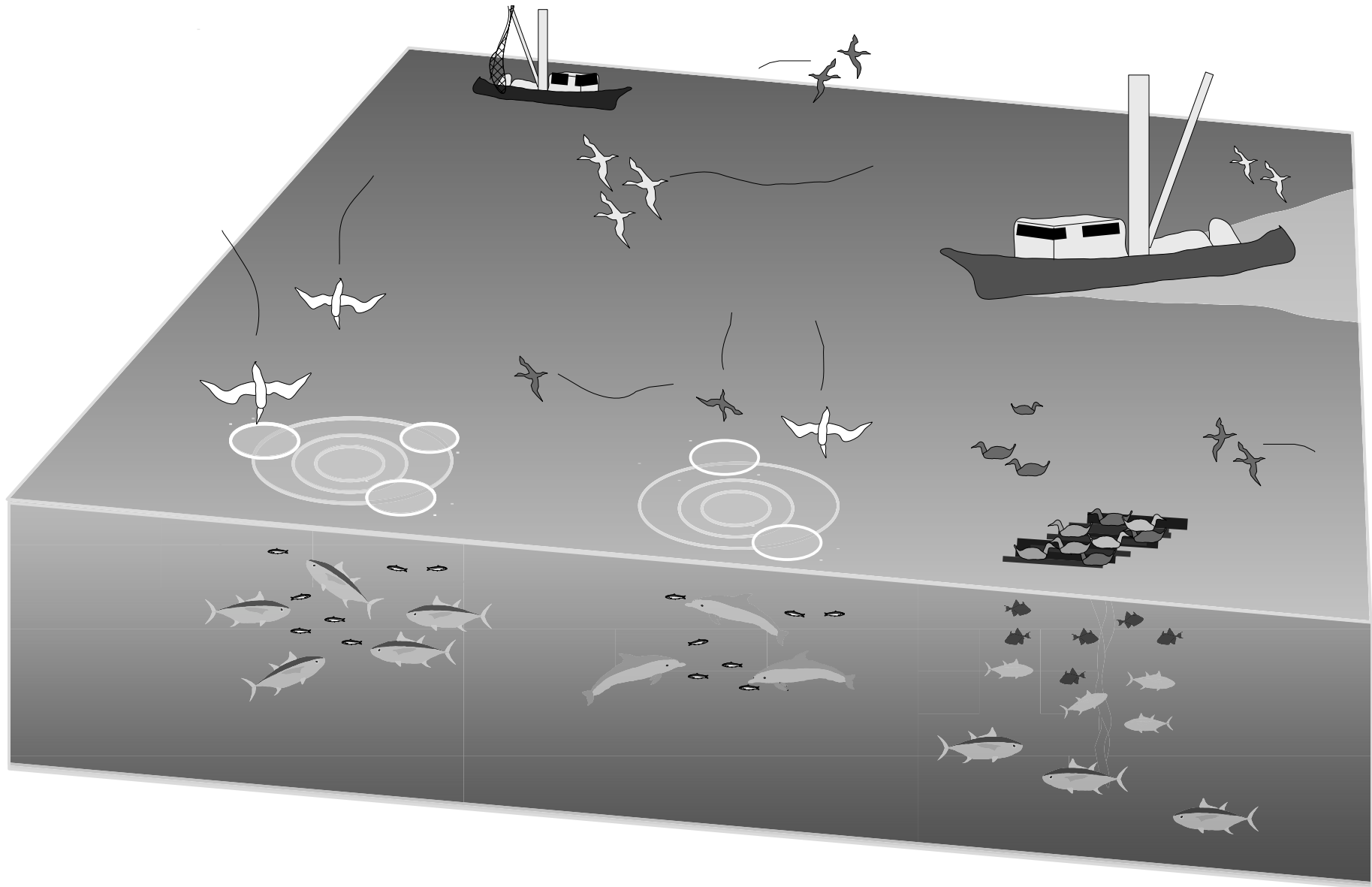
Conclusion

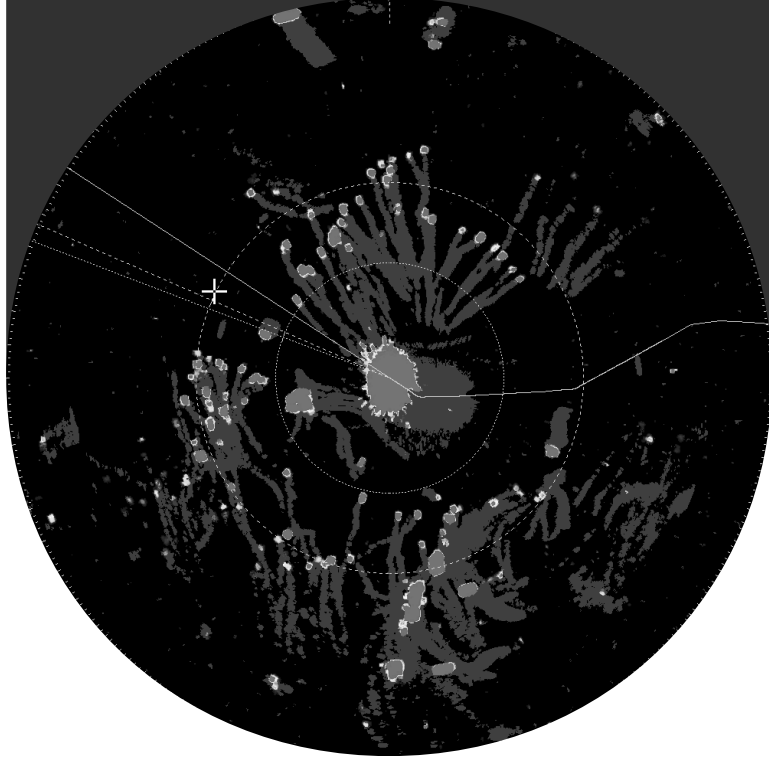


C'est une donnée facile à collecter et permettant une large couverture des bassins océaniques.



Conclusion





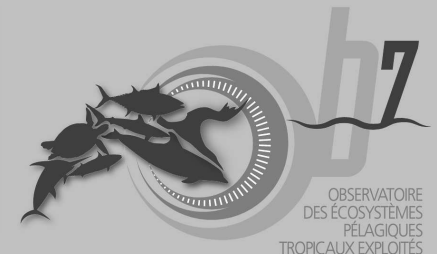
Merci pour votre attention !



camille.assali@gmail.com

Merci aux personnes ayant permis la collecte et assuré le transfert des données :

S. Le Couls, M. Goujon, P.-A. Carré, D. Le Friec, A. Damiano, P. Dewals, A. Hervé, P. Chavance, P. Bach, J. Lebranchu, N. Billet, J. Barde, P. Taconet, E. Chassot, P. Cauquil, P. Kouadio, P. Sabarros.



Références [1]

Breiman, L. Random forests. *Mach. Learn.* 45, 5–32 (2001).

Cartwright, B. A. & Collett, T. S. Landmark learning in bees - Experiments and models. *J. Comp. Physiol.* 151, 521–543 (1983).

Clua, É. & Grosvalet, F. Mixed-species feeding aggregation of dolphins, large tunas and seabirds in the Azores. *Aquat. Living Resour.* 14, 11–18 (2001).

Danchin, É., Giraldeau, L.-A., Valone, T. J. & Wagner, R. H. Public information: from nosy neighbors to cultural evolution. *Science* (80-). 305, 487–491 (2004).

Deng, Min, et al. "An adaptive spatial clustering algorithm based on Delaunay triangulation." *Computers, Environment and Urban Systems* 35.4, 320-332. (2011).

Djakouré, S., Penven, P., Bourlès, B., Veitch, J. & Koné, V. Coastally trapped eddies in the north of the Gulf of Guinea. *J. Geophys. Res. Ocean.* 119, 6805–6819 (2014).

Emlen, S. T. Migratory orientation in the indigo bunting, *Passerina cyanea*: Part I: Evidence for use of celestial cues. *Auk* 84, 309–342 (1967).

Gaertner, D., Pallarés, P., 2002. The European Union Research Project, Efficiency of Tuna Purse-Seiners and Effective Effort (ESTHER): Scientific report of project. Doc. SCTB15-FTWG-3.

Haney, J. C., Fristrup, K. M. & Lee, D. S. Geometry of visual recruitment by seabirds to ephemeral foraging flocks. *Ornis Scand.* 23, 49–62 (1992).

Hebshi, A. J., Duffy, D. C. & Hyrenbach, K. D. Associations between seabirds and subsurface predators around Oahu, Hawaii. *Aquat. Biol.* 4, 89–98 (2008).

Jouventin, P., Aubin, T. & Lengagne, T. Finding a parent in a king Penguin colony: The acoustic system of individual recognition. *Anim. Behav.* 57, 1175–1183 (1999).

Lutjeharms, J.R.E., 2004. The Coastal Oceans of South-eastern Africa. The Global Coastal Interdisciplinary Regional Studies and Syntheses, vol. 20. Harvard University Press, Cambridge, MA, USA.

Meyer, F. Topographic distance and watershed lines. *Signal Processing* 38, 113–125 (1994).

Nevitt, G. A. & Bonadonna, F. Sensitivity to dimethyl sulphide suggests a mechanism for olfactory navigation by seabirds. *Biol. Lett.* 1, 303–305 (2005).

Références [2]

Pöysä, H. Group foraging in patchy environments: the importance of coarse-level local enhancement. *Ornis Scand.* 23, 159–166 (1992).

Randall, J. A. & Stevens, C. M. Footdrumming and other anti-predator responses in the bannertail kangaroo rat (*Dipodomys spectabilis*). *Behav. Ecol. Sociobiol.* 20, 187–194 (1987).

Saroch, A. Optical character recognition (lower case and space included) - file exchange - matlab central. (2011). Available at: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/31322-optical-character-recognition-lower-case-and-space-included->. (Accessed: 4th August 2016)

Thiebault, A., Mullers, R. H. E., Pistorius, P. A. & Tremblay, Y. Local enhancement in a seabird: reaction distances and foraging consequence of predator aggregations. *Behav. Ecol.* 25, 1302–1310 (2014).

Thiebault, A., Semeria, M., Lett, C. & Tremblay, Y. How to capture fish in a school? Effect of successive predator attacks on seabird feeding success. *J. Anim. Ecol.* 85, 157–167 (2016).

Thiebault, A., Pistorius, P., Mullers, R. & Tremblay, Y. Seabird acoustic communication at sea: a new perspective using bio-logging devices. *Sci. Rep.* 6, 30972 (2016).

Thorpe, W. H. Learning and instinct in animals. (1963).

Tinevez, J.-Y. Simple tracker - file exchange - Matlab central. (2011). Available at: <http://fr.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/34040-simple-tracker>. (Accessed: 7th December 2016)

Torres-Irineo, E., Gaertner, D., Chassot, E. & Dreyfus-León, M. Changes in fishing power and fishing strategies driven by new technologies: The case of tropical tuna purse seiners in the eastern Atlantic Ocean. *Fish. Res.* 155, 10–19 (2014).

Torres, L. G. A sense of scale: Foraging cetaceans' use of scale-dependent multimodal sensory systems. *Mar. Mammal Sci.* 1–24 (2017). doi:10.1111/mms.12426

Von Frish, K. The dance language and orientation of bees. (1967).

Wittenberg, J. F. & Hunt, G. L. The adaptive significance of coloniality in birds. *Avian Biol.* 8, 1–78 (1985).