

**Suivi par radar de
populations d'oiseaux et
identification des
interactions avec les
activités humaines**

-

**Campagne test de juin-juillet
2015**



collection des études



Service Recherche et Développement

22 Boulevard Maréchal Foch - BP 58

34140 Mèze

Tél. : 04 67 18 18 72

e-mail : vdelcourt@biotope.fr

Libellé du marché SUIVI PAR RADAR DE POPULATIONS D'OISEAUX ET IDENTIFICATION DES INTERACTIONS AVEC LES ACTIVITES HUMAINES - CAMPAGNE TEST

Citation recommandée Delcourt V., Liebault V. 2016. *Suivi par radar de populations d'oiseaux et identification des interactions avec les activités humaines - Campagne test. AAMP*

Version / indice VF

Date 13/06/2016

Nom de fichier BIOTOPE_Bio_med_lr_radarsterne_Rapport_VF_diffusion_aamp

N° de contrat(s) Marché n° 2015050667

Commanditaire Agence des Aires Marines Protégées - Antenne Méditerranée
26, rue de la République
13 001 Marseille
Tél : 04.96.17.51.61

Contact commanditaire Tiphaine RIVIERE tiphaine.riviere@aires-marines.fr
(Chargée de mission Gestion & Animation - référente LR)

Equipe BIOTOPE Vincent DELCOURT vdelcourt@biotope.fr
(Responsable développement radar)

Vincent LIEBAULT vliebault@biotope.fr
(Expert radariste et ornithologue)

Introduction

De nombreux facteurs influencent le succès reproducteur des oiseaux marins : disponibilité de sites de nidification, compétition avec d'autres espèces, prédation sur les colonies, conditions météorologiques (notamment orages ou pluies fortes), disponibilité de la ressource alimentaire, dérangement, etc.

Le dérangement des sites de nidification est un risque connu et documenté, qui peut mener à l'abandon de la reproduction de colonies entières.

Par contre le dérangement des oiseaux à l'échelle de leurs déplacements quotidiens, notamment le long des trajets entre sites de nidification et sites d'alimentation, et au niveau des zones de pêche, est un risque bien moins documenté.

L'objectif de ce suivi est d'étudier les possibilités offertes par le radar pour analyser le comportement des oiseaux en déplacement au regard des activités nautiques.

Sommaire

I. Objectifs de l'étude	5
II. Méthode	5
II.1 Equipe de travail	5
II.2 Aires d'étude et localisations du radar	5
II.3 Dates de prospections et conditions météorologiques	7
II.4 Fonctionnement et collecte des données radar	10
II.5 Description du radar	10
II.6 Les limites du radar	15
III. Résultats	20
III.1 Données brutes	20
III.3 Traitement manuel	29
III.4 Traitements automatisés	32
IV. Conclusion	39

I. Objectifs de l'étude

L'objectif de cette étude est de tester la technologie radar pour caractériser les interactions entre les populations d'oiseaux et les activités nautiques.

Elle vise à répondre à plusieurs interrogations :

- La technologie radar est-elle pertinente pour suivre les populations d'oiseaux à proximité de la côte au regard des activités nautiques ?
- La technologie radar permet-elle de caractériser la fréquentation d'un plan d'eau ou de la mer par les activités humaines ?
- Le croisement des informations précédentes permet-il d'identifier des interactions entre les populations et les activités ? Identifie-t-on des changements de comportement, des évitements, des abandons de zones d'alimentation ou de transit ?

II. Méthode

II.1 Equipe de travail

L'Equipe	
<i>Domaine d'intervention</i>	<i>Agent de Biotope</i>
Expert ornithologue, responsable des relevés de terrain, analyse des données, cartographie, rédaction	Vincent Liebault
Gestion de projet, analyses, rédaction et contrôle qualité	Vincent Delcourt

II.2 Aires d'étude et localisations du radar

Cartes « périmètre de suivi radar et localisation »

Le choix des sites de suivi a été défini selon les critères suivants :

- Site accessible et présentant une visibilité satisfaisante pour le suivi radar
- Présence de colonies de reproduction d'oiseaux marins (principalement sternes)
- Activité nautique régulière à proximité des sites de reproduction
- Suivi d'un site en contexte lagunaire et un site en mer

Deux sites principaux ont ainsi été choisis : les salins de Frontignan (Hérault), et le lido entre Sète et Marseillan (Hérault).

Le site des salins de Frontignan cumule les intérêts suivants :

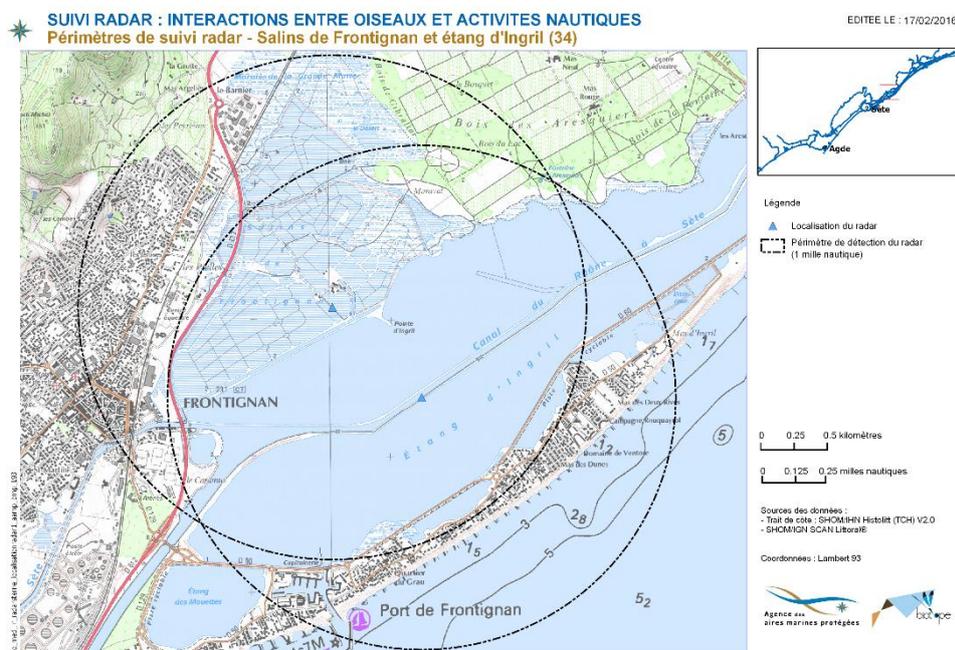
- Plusieurs positionnements du radar favorables
- Effectifs nicheurs et diversité d'espèces importants (Sterne naine, Sterne pierregarin, Mouette mélanocéphale, Mouette rieuse, Avocette élégante)
- Forte activité nautique sur l'étang d'Ingril, avec notamment nombreux kitesurfs et windsurfs
- Possibilité de suivre le comportement des oiseaux en activité de pêche, mais aussi en transit vers la mer (déplacement perpendiculaire au sens de navigation des kitesurfs et windsurfs)

Deux positionnements du radar ont été testés : un premier point dans les salins à proximité des colonies pour analyser les mouvements des oiseaux reproducteurs (notamment arrivées et départs sur les colonies, grandes directions de vol), et un second point au niveau du canal du Rhône à Sète pour se rapprocher des zones de transit des oiseaux et de l'activité des windsurfeurs et kitesurfeurs.

Le second site, situé sur le lido entre Sète et Marseillan, présente les avantages suivants :

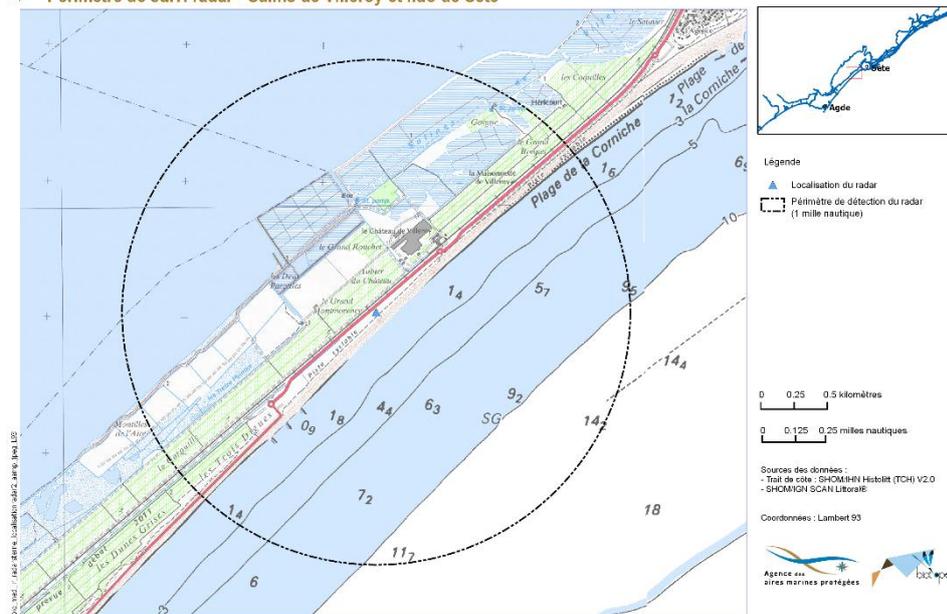
- Colonies importantes installées sur les anciens salins (salins de Villeroy), notamment de Sternes caugek
- Activité nautique parfois importante, notamment jetskis en juillet
- Possibilité de suivre le comportement des oiseaux en activité de pêche en mer, mais aussi en transit

Le positionnement du radar a toutefois été plus délicat, compte-tenu du peu d'accès au bord de mer en véhicule suite à la restauration du lido. Un positionnement a toutefois pu être trouvé au niveau des vignobles de Listel.



SUIVI RADAR : INTERACTIONS ENTRE OISEAUX ET ACTIVITES NAUTIQUES Périmètre de suivi radar - Salins de Villeroy et lido de Sète

EDITEE LE : 17/02/2016



II.3 Dates de prospections et conditions météorologiques

Le suivi a été réalisé en 4 sessions de 2 jours, afin de s'adapter à l'évolution de la localisation des colonies de larvo-limicoles, et de réaliser les suivis à des conditions météorologiques et d'activités humaines variées.

La première session a été réalisée du 16 au 18 juin 2015 dans les salins de Frontignan, par un régime de tramontane. Excepté un épisode orageux qui est passé en bordure est des salins en soirée du 16 juin, les conditions météorologiques ont été favorables.

L'activité des oiseaux et des kitesurfeurs et windsurfeurs était importante au cours de cette période.

Date	Heure	Température	Vent		Durée de précipitation	Couverture nuageuse
			Vitesse	Orientation		
16-juin	12:00	24,0	24	NO	---	35,0
16-juin	15:00	23,0	23	NO	---	69,0
16-juin	18:00	22,0	19	NO	---	49,0
16-juin	21:00	20,0	22	NO	---	90,0
17-juin	0:00	19,0	21	ONO	---	84,0
17-juin	3:00	18,0	25	NO	---	0,0
17-juin	6:00	18,0	27	NO	---	0,0
17-juin	9:00	22,0	22	NNO	---	0,0
17-juin	12:00	26,0	15	NNO	---	0,0
17-juin	15:00	27,0	11	NNO	---	23,0
17-juin	18:00	24,0	12	NNO	---	55,0
17-juin	21:00	20,0	18	NO	---	7,0
18-juin	0:00	19,0	20	NO	---	0,0
18-juin	3:00	18,0	19	NO	---	6,0
18-juin	6:00	19,0	22	NO	---	0,0
18-juin	9:00	24,0	17	NNO	---	0,0
18-juin	12:00	28,0	12	NNO	---	0,0
18-juin	15:00	29,0	17	NO	---	0,0

La seconde session a été réalisée du 24 au 26 juin au niveau du canal du Rhône à Sète au sud des salins de Frontignan, par un régime de vent marin qui s'est traduit par quelques entrées maritimes hautes.

L'activité des oiseaux était importante, par contre celle des kitesurfeurs et windsurfeurs était beaucoup moins importante que lors de la session précédente, avec essentiellement la présence de windsurfeurs débutants.

Date	Heure	Température	Vent		Durée de précipitation	Couverture nuageuse
			Vitesse	Orientation		
24-juin	21:00	19,0	9	S	---	19,0
25-juin	0:00	17,0	3		---	30,0
25-juin	3:00	17,0	2		---	0,0
25-juin	6:00	20,0	9		---	0,0
25-juin	9:00	25,0	6		---	0,0
25-juin	12:00	27,0	15	S	---	0,0
25-juin	15:00	25,0	20	S	---	15,0
25-juin	18:00	23,0	18	SSO	---	25,0
25-juin	21:00	21,0	14	SO	---	16,0
26-juin	0:00	20,0	9		---	19,0
26-juin	3:00	19,0	9		---	6,0
26-juin	6:00	22,0	7		---	0,0
26-juin	9:00	27,0	2		---	0,0
26-juin	12:00	28,0	14	S	---	6,0
26-juin	15:00	27,0	17	S	---	18,0
26-juin	18:00	24,0	19	SSO	---	10,0

La troisième session a été réalisée du 5 au 7 juillet au niveau du lido de Sète, par un régime de vent marin qui s'est traduit par quelques entrées maritimes hautes.

L'activité des oiseaux et notamment des Sternes caugek était importante, et l'activité nautique essentiellement composée de jet skis et bateaux de plaisance.

Date	Heure	Température	Vent		Durée de précipitation	Couverture nuageuse
			Vitesse	Orientation		
5-juil.	6:00	24,0	11		---	54,0
5-juil.	9:00	27,0	15	ESE	---	5,0
5-juil.	12:00	28,0	13	SE	---	0,0
5-juil.	15:00	28,0	14	SE	---	0,0
5-juil.	18:00	25,0	6		---	0,0
5-juil.	21:00	21,0	1		---	27,0
6-juil.	0:00	22,0	7		---	32,0
6-juil.	3:00	22,0	6		---	39,0
6-juil.	6:00	24,0	5		---	37,0
6-juil.	9:00	28,0	4		---	38,0
6-juil.	12:00	30,0	12	S	---	37,0
6-juil.	15:00	29,0	17	S	---	77,0
6-juil.	18:00	26,0	11	SSO	---	74,0
6-juil.	21:00	22,0	5		---	99,0
7-juil.	0:00	22,0	9		---	70,0
7-juil.	3:00	22,0	14	ENE	---	0,0
7-juil.	6:00	23,0	15	NE	---	11,0

La dernière session a été réalisée au même endroit que la session précédente, mais plus tardivement pour attendre le retour de la tramontane (du 21 au 23 juillet).

Comme précédemment, l'activité des oiseaux et notamment des Sternes caugek était importante, et l'activité nautique essentiellement composée de jet skis et bateaux de plaisance.

Date	Heure	Température	Vent		Durée de précipitation	Couverture nuageuse
			Vitesse	Orientation		
21-juil.	18:00	28,0	16	SSO	---	0,0
21-juil.	21:00	23,0	5		---	0,0
22-juil.	0:00	23,0	4		---	0,0
22-juil.	3:00	22,0	4		---	0,0
22-juil.	6:00	25,0	2		---	0,0
22-juil.	9:00	27,0	6		---	8,0
22-juil.	12:00	32,0	8		---	8,0
22-juil.	15:00	31,0	10		---	56,0
22-juil.	18:00	30,0	23	ONO	---	65,0
22-juil.	21:00	25,0	18	NO	---	82,0
23-juil.	0:00	23,0	14	ONO	---	49,0
23-juil.	3:00	23,0	23	NO	---	0,0
23-juil.	6:00	24,0	19	NO	---	0,0
23-juil.	9:00	28,0	15	NO	---	0,0
23-juil.	12:00	32,0	14	NO	---	0,0
23-juil.	15:00	32,0	11		---	0,0
23-juil.	18:00	31,0	15	ONO	---	0,0

II.4 Fonctionnement et collecte des données radar

Les expertises par radar consistent au suivi d'un large secteur avec l'enregistrement en continu des positions des oiseaux, permettant de réaliser une série d'analyses sur leurs déplacements.

Un expert radariste et ornithologue déploie en début de session l'unité radar pour installer et paramétrer le matériel en fonction des objectifs de suivi, lancer l'acquisition de données, puis il vérifie tout au long de la session le bon fonctionnement du système.

Il réalise en parallèle un suivi visuel des déplacements à l'aide des positions détectées par le radar en temps réel sur un poste de pilotage déporté, afin de réaliser des corrélations entre les échos enregistrés et les espèces présentes.

Le fonctionnement du système radar est automatisé (voir paragraphe suivant).

Session	Durée	Durée de présence de kitesurf / windsurf / jetski
Salins de Frontignan	35:04:28	18:04:33
Etang d'Ingril (Canal VNF)	42:45:23	01:08:10
Salins de Villeroy et Lido de Sète – 1 ^{ère} session	42:37:35	00:11:05
Salins de Villeroy et Lido de Sète – 2 ^{ème} session	43:24:28	04:25:28

II.5 Description du radar

II.5.1 Matériel utilisé

Le radar utilisé est un radar en bande X de 25 kW qui possède une fréquence d'émission à 9,4 GHz (\pm 10 KHz) et un angle d'émission de plusieurs dizaines de degrés.

Ce radar est monté sur une unité mobile qui permet d'accéder facilement sur les points d'expertise, et de déployer facilement et rapidement le matériel.



II.5.2 Principes de fonctionnement du radar

Généralités

La méthode est basée sur la technologie utilisée en météorologie et en aéronautique qui vise à étudier les déplacements de cibles à la surface de l'eau ou dans l'espace aérien (bateaux, avions, nuages, etc.). Cette technique repose sur l'émission d'ondes électromagnétiques à haute fréquence, qui renvoient un signal identifié dans le temps et dans l'espace lorsqu'elles rencontrent un obstacle.

Le radar, pour les puissances et longueurs d'ondes utilisées, ne modifie pas le comportement de l'avifaune (Bruderer & al., 1999 ; Beason & Semm, 2002).

En utilisation courante, deux modes de fonctionnement sont pratiqués au cours des expertises :

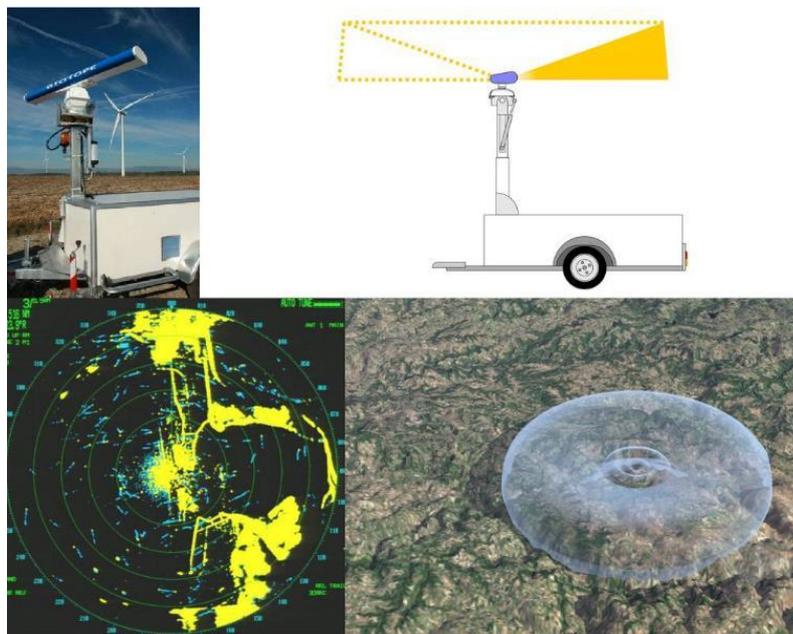
- le balayage horizontal : identification des déplacements et des trajectoires (le radar donne alors une image des déplacements, comme une série de photographies aérienne) ;
- le balayage vertical : analyse des flux et des altitudes de vol (le radar balaye une « tranche » de ciel et détecte tous les oiseaux qui traversent le faisceau).

Dans le cadre de cette étude, seul le fonctionnement horizontal a été utilisé pour pouvoir étudier les trajectoires des oiseaux.

Mode horizontal

Le mode « horizontal » est le mode où le faisceau tourne autour d'un axe vertical. Ce mode permet de capter et de localiser tous les oiseaux volant dans le volume de détection du radar (bulle grise schématisée ci-dessous). Il permet la représentation exacte des mouvements dans l'espace, et le suivi des trajectoires de chaque élément en déplacement.

Les résultats sont principalement représentés sous forme de trajectoires.

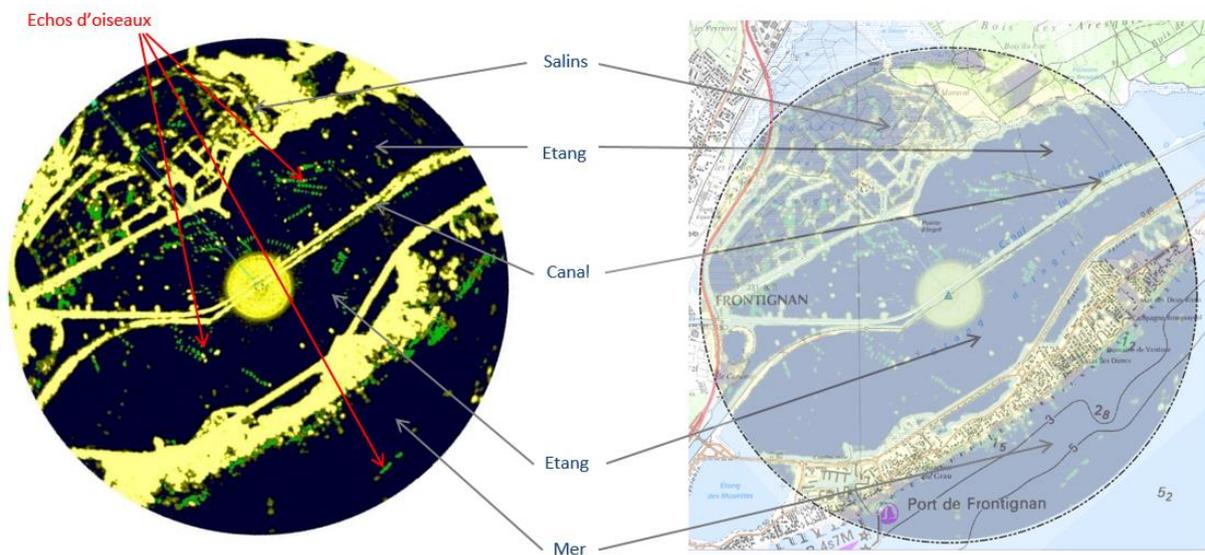


Données obtenues

Lors du fonctionnement, l'écran de contrôle affiche en une couleur les échos détectés à l'instant t, et en une autre couleur les échos s'étant déplacés au cours d'un pas de temps défini par l'utilisateur (classiquement 30 secondes).

Dans le cadre de cette étude, le relief, les boisements, les digues, les poteaux porte-caténaires de la voie ferrée, et tous les obstacles rencontrés par les ondes sont affichés continuellement à l'écran et constituent le bruit de sol (=« masque »), sur lequel les déplacements ne peuvent être suivis.

L'exemple ci-après enregistré au niveau des salins de Frontignan présente en jaune les éléments fixes de l'environnement (principalement les digues) et les positions des oiseaux en vol au moment de l'enregistrement de l'image (jaune et marron) ; le vert correspond à l'historique des déplacements pendant 15 secondes. L'illustration de droite représente l'image radar en transparence sur un fond cartographique, afin de faciliter la représentation de l'information dans l'espace.



Le flux de données généré par le radar est enregistré toutes les 2,5 secondes à chaque tour de l'antenne, permettant de conserver l'intégralité des déplacements. C'est à partir de ces données que sont ensuite effectuées les analyses : représentation cartographique (trajectoires, zones d'activité, couloirs de déplacements), et représentation graphique (calculs des flux migratoires, altitudes de vol).

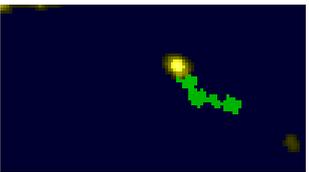
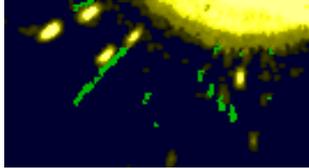
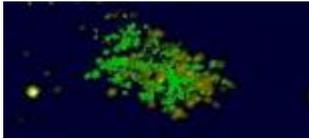
Identification des échos

Echos d'oiseaux

L'identification certaine des échos radar ne peut être assurée que par l'observation visuelle directe. Le nombre de corrélations visuelles dépend du niveau d'activité (nombre d'oiseaux en vol) et des moyens humains (observateurs) mobilisés pour la réalisation du suivi.

Les échos non identifiés peuvent généralement être séparés en grandes classes en fonction de leurs caractéristiques (voir ci-après).

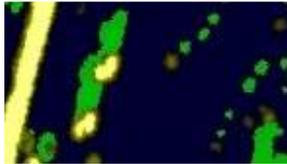
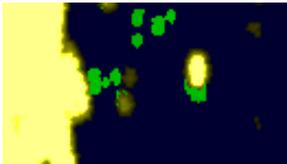
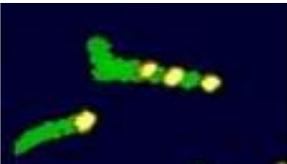
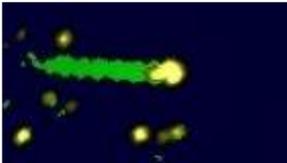
Dans le cadre de cette étude, l'opérateur radar s'est chargé de l'identification d'un échantillon des échos radar enregistrés en journée. Durant ce suivi, les mouvements de 20 espèces ont pu être identifiés sur les images radar. La caractérisation des échos a permis de regrouper les espèces en cinq catégories, présentées ci-dessous.

Echo de très grande taille Vols en groupes Intensité forte et stable Déplacement généralement rectiligne Vitesse élevée et constante	Cygne tuberculé Grand cormoran Tadornes de belon Flamant rose Ibis falcinelles Canards colvert Goélands en transit	
Echo de grande taille Intensité forte et stable Déplacement sinueux (hors transit) Vitesse variable	Goéland leucophaée Mouette mélanocéphale Goéland railleur	
Echo de taille moyenne Intensité moyenne et variable Déplacement sinueux (hors transit) Vitesse variable	Sterne pierregarin Sterne caugek Mouette rieuse Guifette moustac Mouette mélanocéphale Sterne hansel	
Echo de petite taille Intensité faible Déplacement sinueux (hors transit) Vitesse variable	Sterne naine	
Echo de très petite taille ou de taille variable lors de déplacements en groupe Déplacement sinueux Vitesse variable	Martinet noir Hirondelle rustique Hirondelle de rivage Hirondelle de fenêtre Nuées d'insectes	

Echos d'activité humaine

Les échos liés aux activités aéronautiques sont très facilement identifiables sur les images radar. Ils sont généralement de grande taille et d'intensité forte et stable, du fait de l'importante surface de réflexion des ondes.

8 types d'échos ont été différenciés au cours des quatre sessions.

Echo simple de grande taille Déplacement rectiligne perpendiculaire au vent Allers-retours	Windsurf	
Echo double de grande taille Déplacement rectiligne perpendiculaire au vent Allers-retours	Kitesurf	
Echo simple de grande taille Déplacement rectiligne perpendiculaire au vent Vitesse lente (max 10 km/h)	Planche à voile débutant	
Echo de grande taille Alternance de déplacements rectilignes et sinueux Généralement en groupes Vitesse variable	Jet ski	
Echo de très grande taille Déplacement rectiligne Généralement isolé Vitesse constante et rapide	Bateau à moteur rapide	
Echo de très grande taille Déplacement rectiligne Généralement isolé Vitesse lente (10-15 km/h)	Voilier Bateau à moteur lent	
Echo de grande taille Déplacement généralement sinueux Vitesse généralement irrégulière	Barque	
Echo de très grande taille Vitesse très élevée (plus de 100 km/h)	Avion Hélicoptère	

II.6 Les limites du radar

II.6.1 Identification des échos

Comme détaillé précédemment, le radar ne permet généralement pas de déterminer directement les espèces, ni les effectifs lorsqu'un écho est constitué d'un vol dense de plusieurs individus.

Pour pallier cette limite, il est possible de coupler les enregistrements radar à des observations visuelles, pour identifier les échos détectés et dénombrer les effectifs concernés. Cette solution est réalisable de jour, mais pas de nuit.

II.6.2 Capacité de détection

Distance de détection

La distance maximale de détection est paramétrée par l'opérateur et dépend de l'objectif du suivi. Une grande portée (par exemple 6 km de rayon) permet de suivre les déplacements sur une surface importante, et d'avoir une vision globale du fonctionnement d'un site. Une petite portée (1,5 km de rayon) permet d'augmenter la résolution spatiale pour obtenir plus de détails sur le comportement d'un oiseau, et permet la détection des oiseaux de petite taille.

La détection de vols groupés d'oiseaux de grande envergure (ex : Grue cendrée) est possible jusqu'à 16km, alors que la détection d'oiseaux de petite taille volant individuellement est limitée à 1 ou 1,5 km.

Dans le cas de cette étude, l'échelle en mode horizontal a été réglée à 1 mile nautique (1,852 km) afin de réaliser un suivi à haute résolution spatiale et de détecter le maximum de cibles dans le volume suivi.

Distance au radar, taille et position de la cible

L'intensité du signal reçu d'une cible est inversement proportionnel à la distance au radar et directement proportionnel à la surface réfléchissant le train d'ondes.

Cette surface (appelée Surface Equivalente Radar - SER) est liée à la taille de l'obstacle mais aussi à son positionnement par rapport au radar ; dans le cas des oiseaux, l'écho est d'autant plus faible que:

- sa taille est petite ;
- il est éloigné du radar ;
- la direction de vol est située dans l'axe du radar ;
- l'oiseau bat peu des ailes.

II.6.3 Zones d'ombres

Bruit de sol

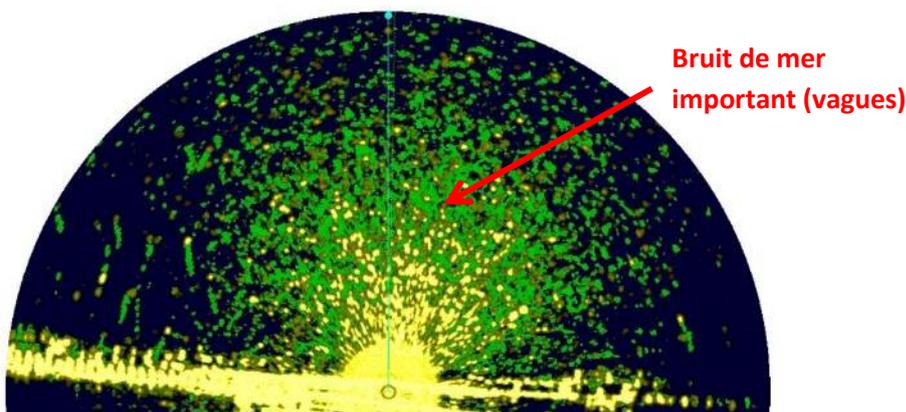
Les obstacles verticaux réfléchissant les ondes créent un signal continu qui s'affiche en permanence sur l'écran radar. Ces tâches (ou « masque » ou « clutter ») ne permettent pas de détecter et de suivre les déplacements de cibles mobiles.

Bruit de mer

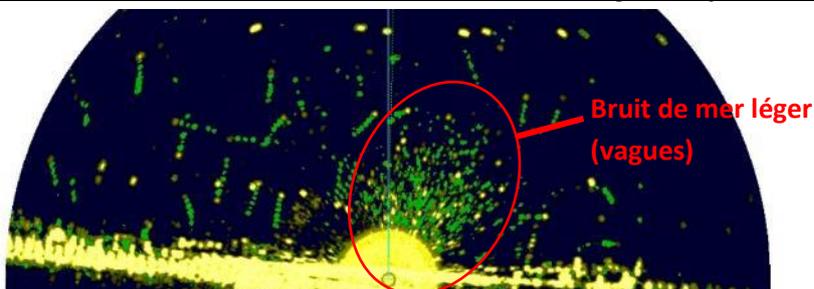
Les crêtes de vagues renvoient le signal radar et masquent comme précédemment le déplacement de cibles mobiles. Ce bruit de mer est d'autant plus marqué que les creux sont importants et que la direction des vagues est perpendiculaire au radar, et que l'échelle de détection est faible. Au printemps et en été, ce phénomène intervient principalement lors des périodes d'entrées maritimes et des inversions thermiques (pour la Méditerranée).

Les images suivantes présentent deux exemples de bruit de mer enregistré, selon des conditions météorologiques et d'état de mer différents.

Le 06/07/15 à 16h37 (vent de sud-est 10-20 km/h – vagues de face de 0,5 à 1 m)

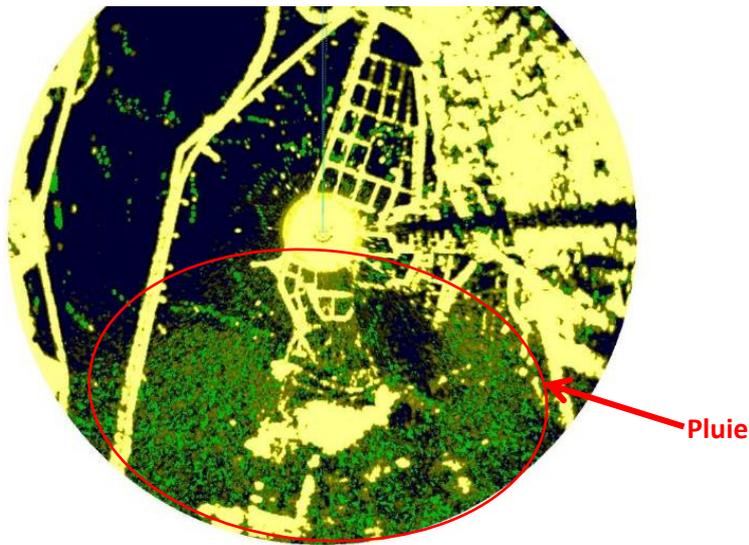


Le 06/07/15 à 19h21 (vent de sud-est 5-10 km/h – vagues de face de 0.1 à 0,25m)



Pluie

La pluie est reflétée par les ondes radar et masque donc les déplacements d'oiseaux.



Exemple de donnée radar avec pluie enregistrée le 16/06/15 à 16h36

Angle d'émission

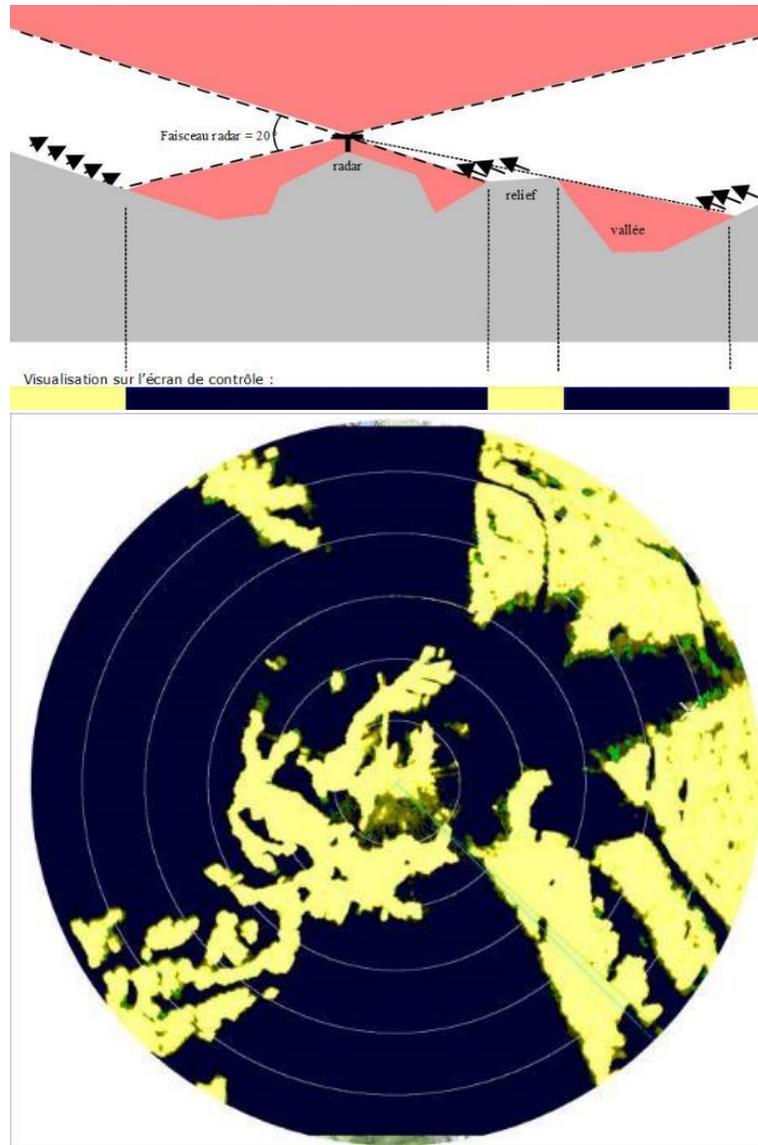
Le radar émet des ondes dans un faisceau compris entre 10 et 30 degrés par rapport à l'horizontale, selon la distance d'émission et les lobes secondaires. En dehors de ce cône d'émission, les animaux ne sont pas détectés.

Secteurs masqués

Les obstacles verticaux proches (haies, lisières, bâtiments, etc.) et le relief masquent l'espace aérien localisé en arrière de ces barrières. Plus ces éléments sont proches du radar, plus l'espace masqué est important. Une haie haute, un boisement, ou un sommet localisé face au radar peut masquer d'importants volumes.

Schéma de synthèse

Le schéma suivant illustre les points précédents. Les reliefs (en gris) réfléchissent les ondes et apparaissent donc en couleur (ici jaune) sur l'écran de contrôle. La partie rouge représente les zones sans émission. Dans ce cas présent, le relief masque une partie de la « vallée » : aucun déplacement ne peut y être détecté (en rouge).



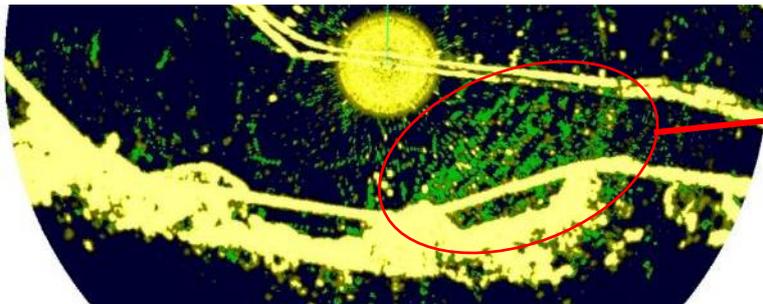
Dans le cas de cette étude, le suivi d'oiseaux au-dessus de zones en eau (étangs, mer) permet une configuration très favorable avec peu de zones d'ombre. Seul le bruit de mer est contraignant et peut diminuer la qualité des données enregistrées.

Autres échos

Certains mouvements massifs de cibles de petite taille peuvent générer des échos importants et masquer le déplacement d'autres espèces.

Les fortes concentrations de Martinets noirs sur l'étang d'Ingril, en particulier en fin de journée, ont par exemple parfois masqué les déplacements des oiseaux d'eau sur une partie de la zone de suivi.

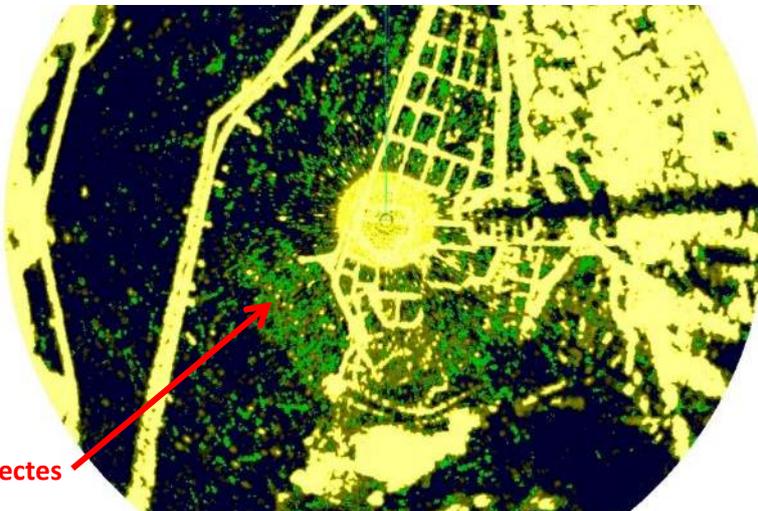
Le 26/06/15 à 12h04



**Mouvements de
Martinets noirs**

Des nuées d'insectes peuvent se former les journées de chaleur au printemps et en été, et masquer de la même façon les déplacements des oiseaux sur les images radar. Ce phénomène a été observé sur l'étang d'Ingril comme le montre l'image suivante.

Le 18/06/15 à 13h47



Insectes

III. Résultats

III.1 Données brutes

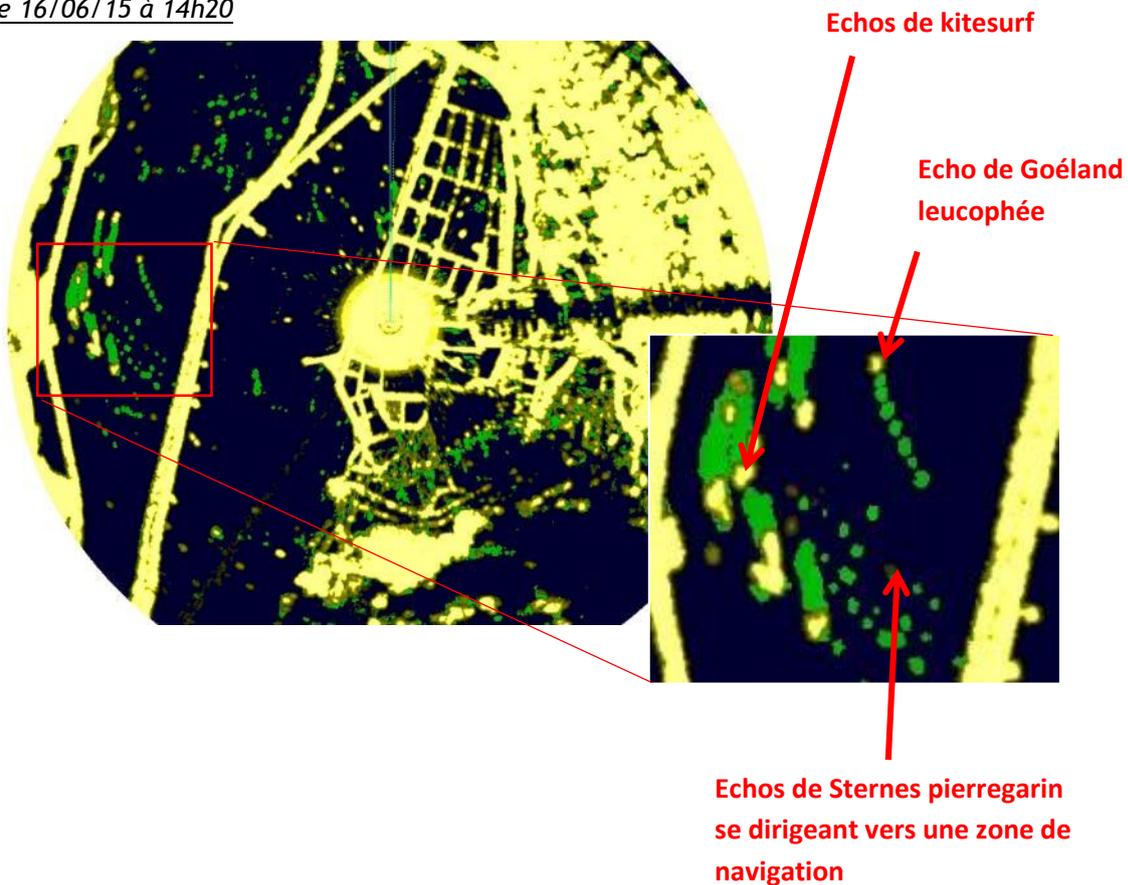
Les données brutes représentent le premier niveau de résultats.

Sur chaque image, les échos d'oiseaux et les échos de moyens nautiques sont précisément localisés à un instant t, permettant d'étudier leur répartition spatiale à un moment donné.

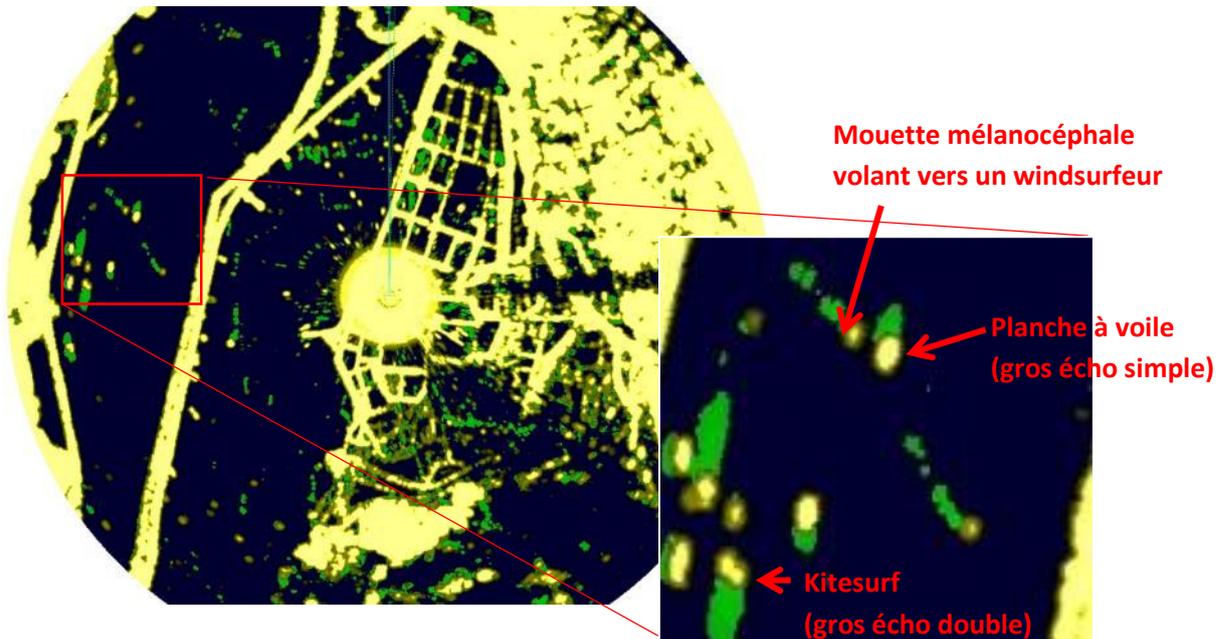
L'historique de leurs déplacements étant conservé et affiché d'une autre couleur sur les 15 secondes précédentes, cette information permet de retracer les mouvements de chaque écho et analyser leur évolution sur cette fenêtre temporelle.

Les images suivantes illustrent des exemples de données brutes et leur interprétation.

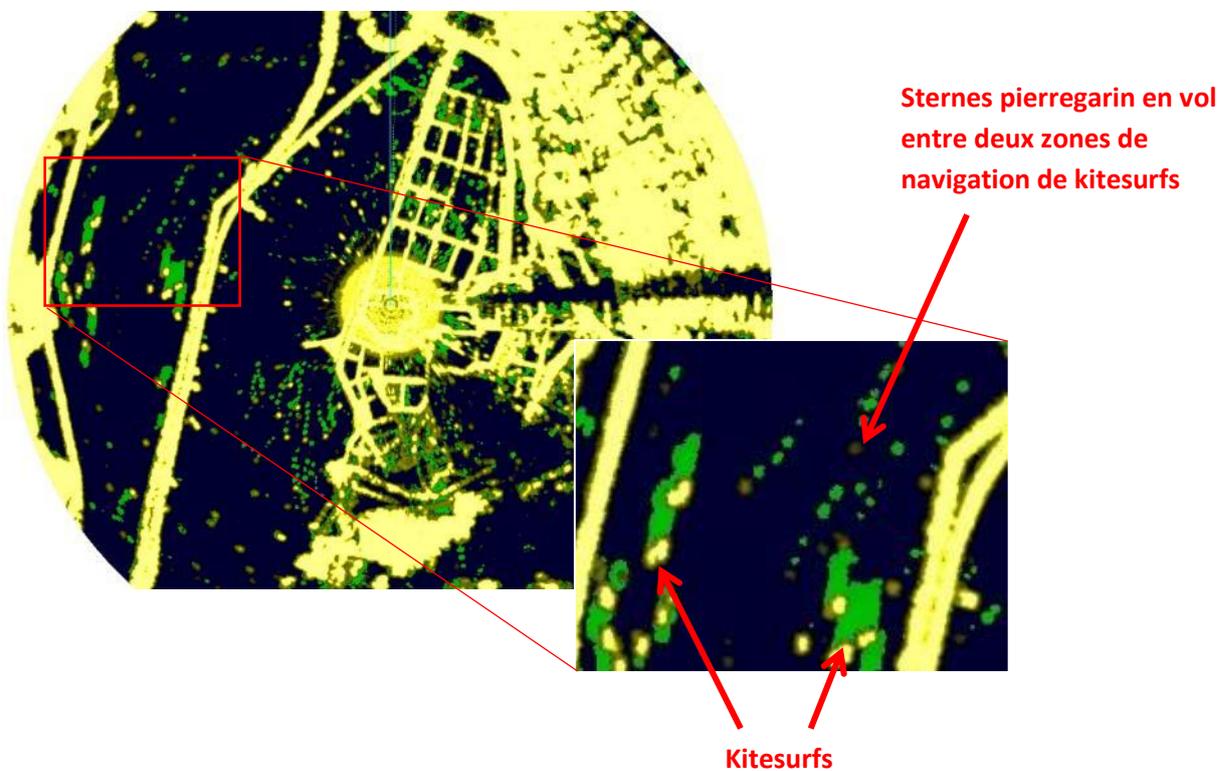
Le 16/06/15 à 14h20



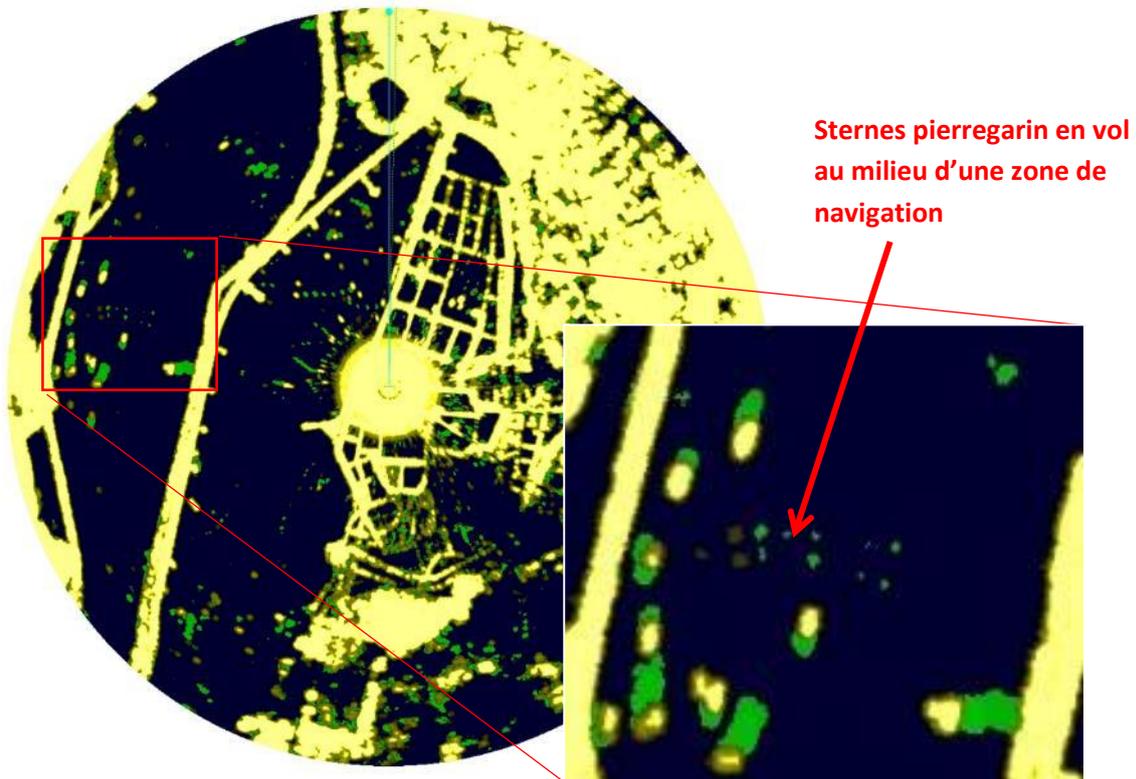
Le 17/06/15 à 10h24



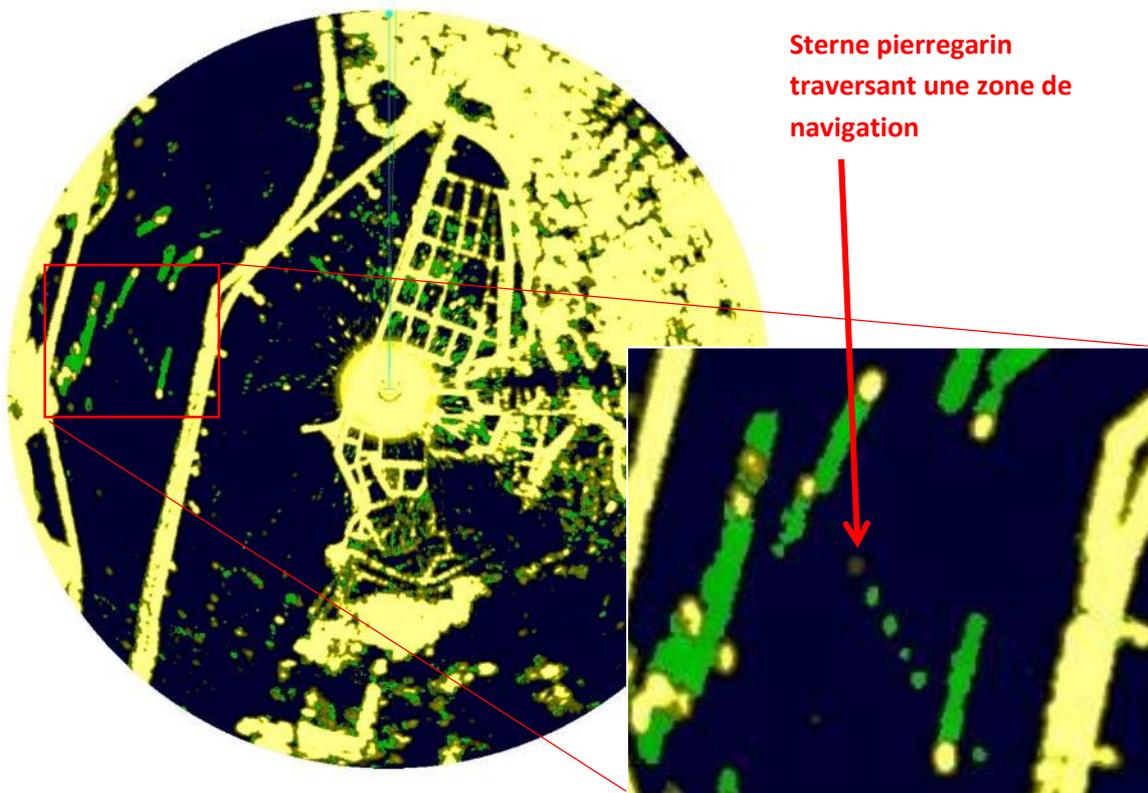
Le 17/06/15 à 20h23



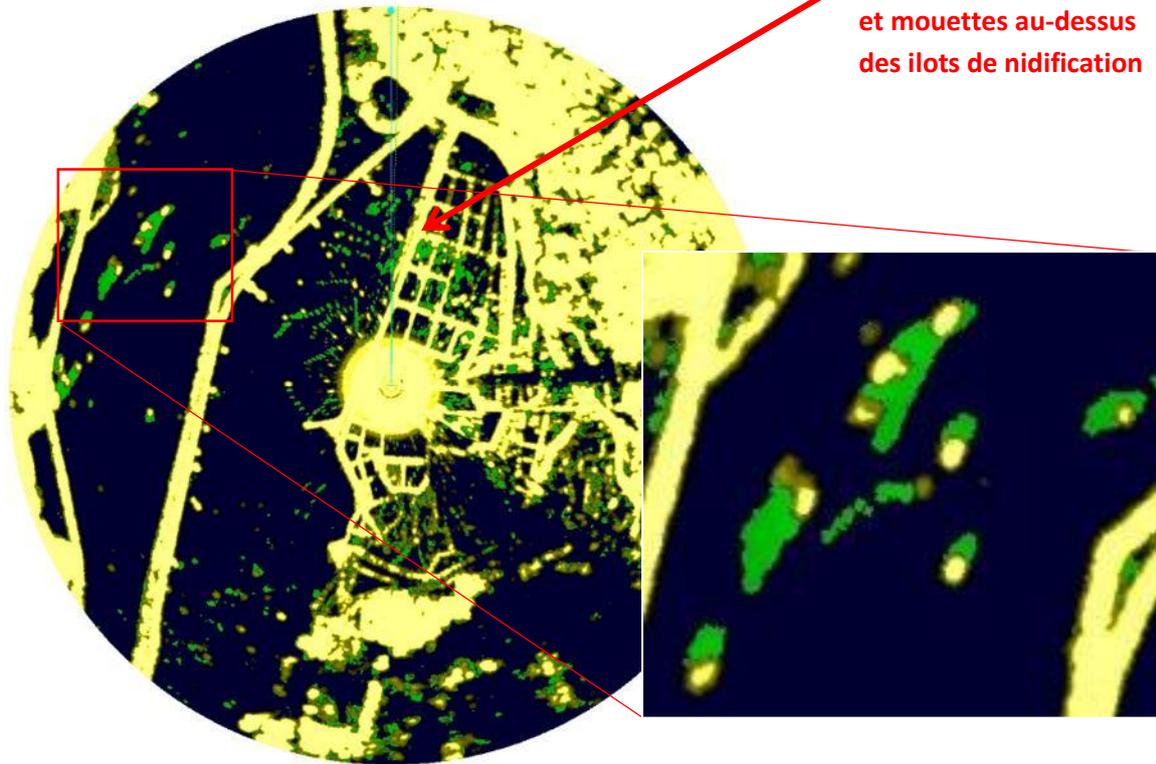
Le 17/06/15 à 10h55



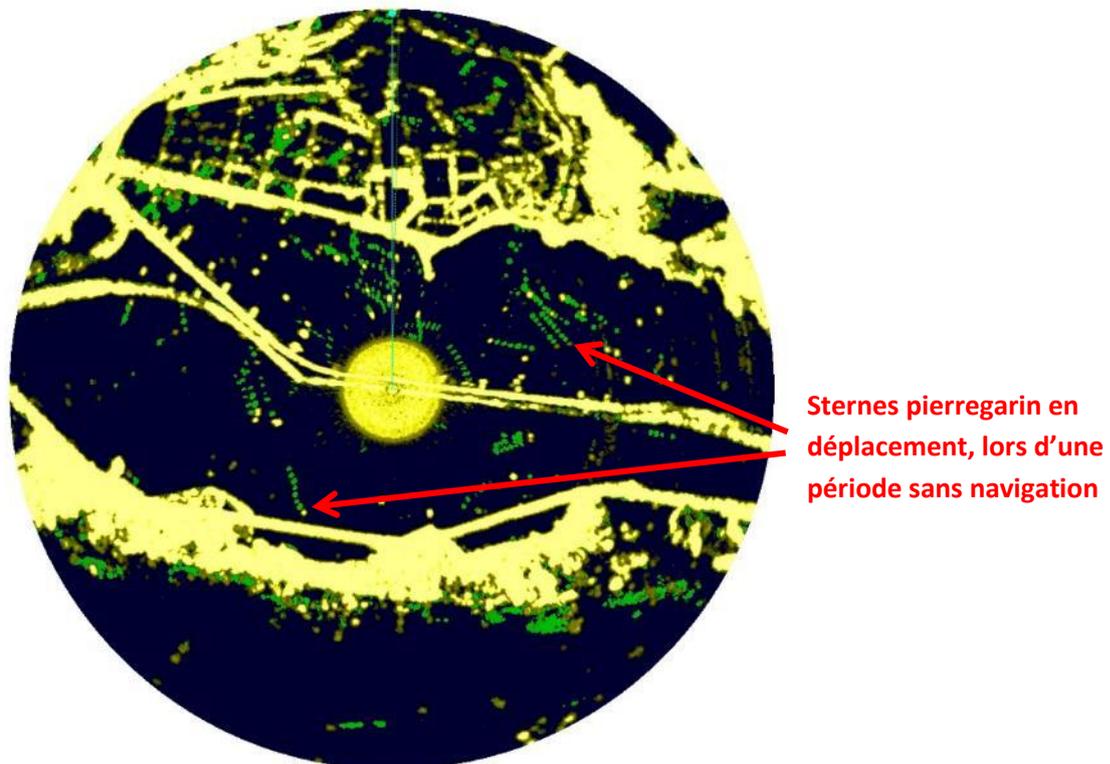
Le 17/06/15 à 11h50



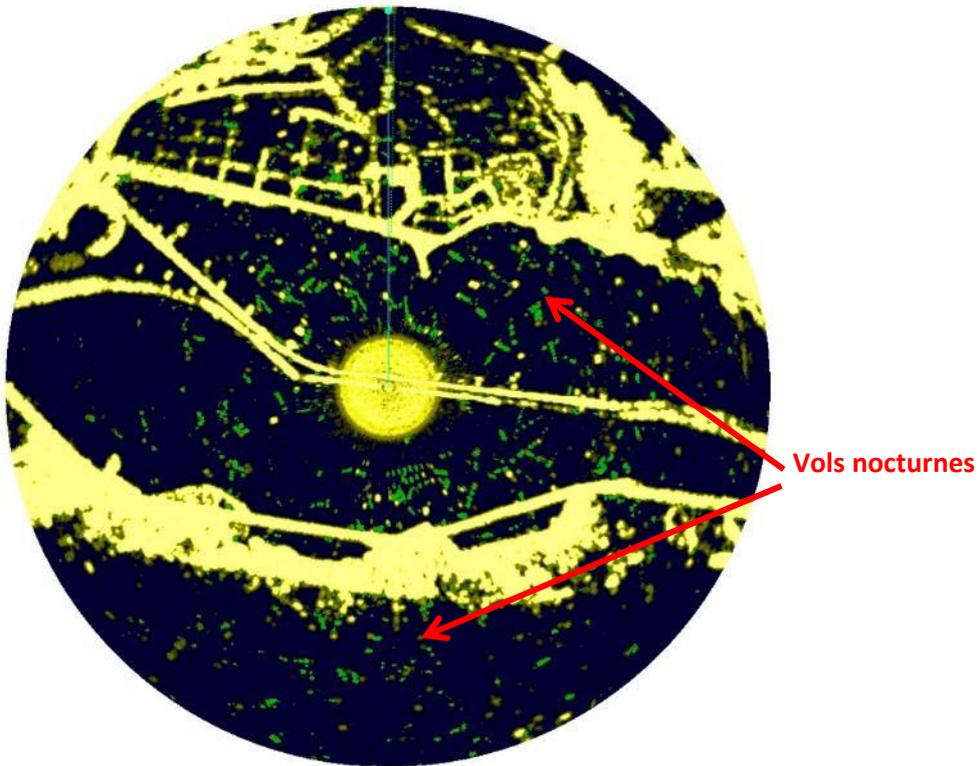
Le 17/06/15 à 11h51



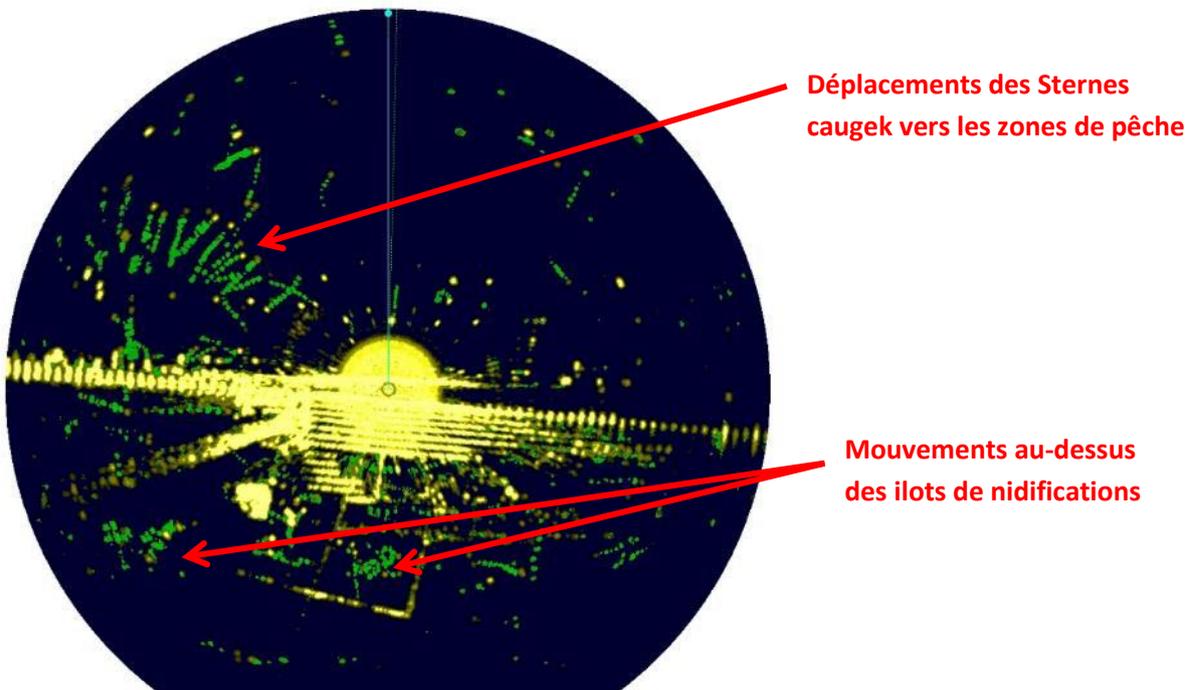
Le 25/06/15 à 05h31



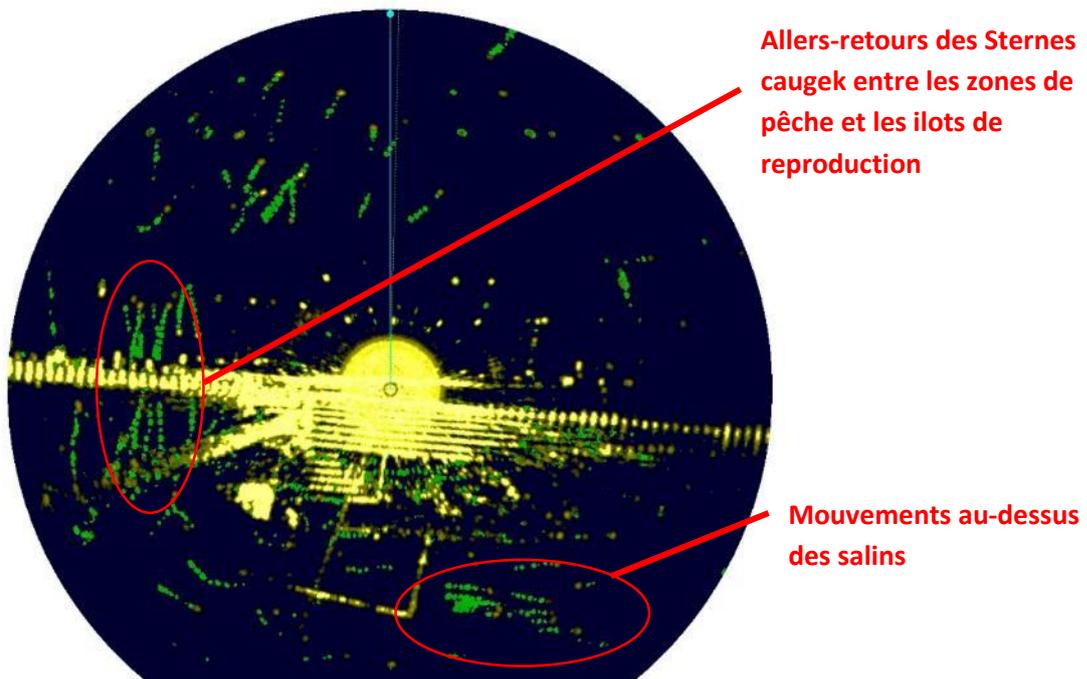
Le 24/06/15 à 23h58



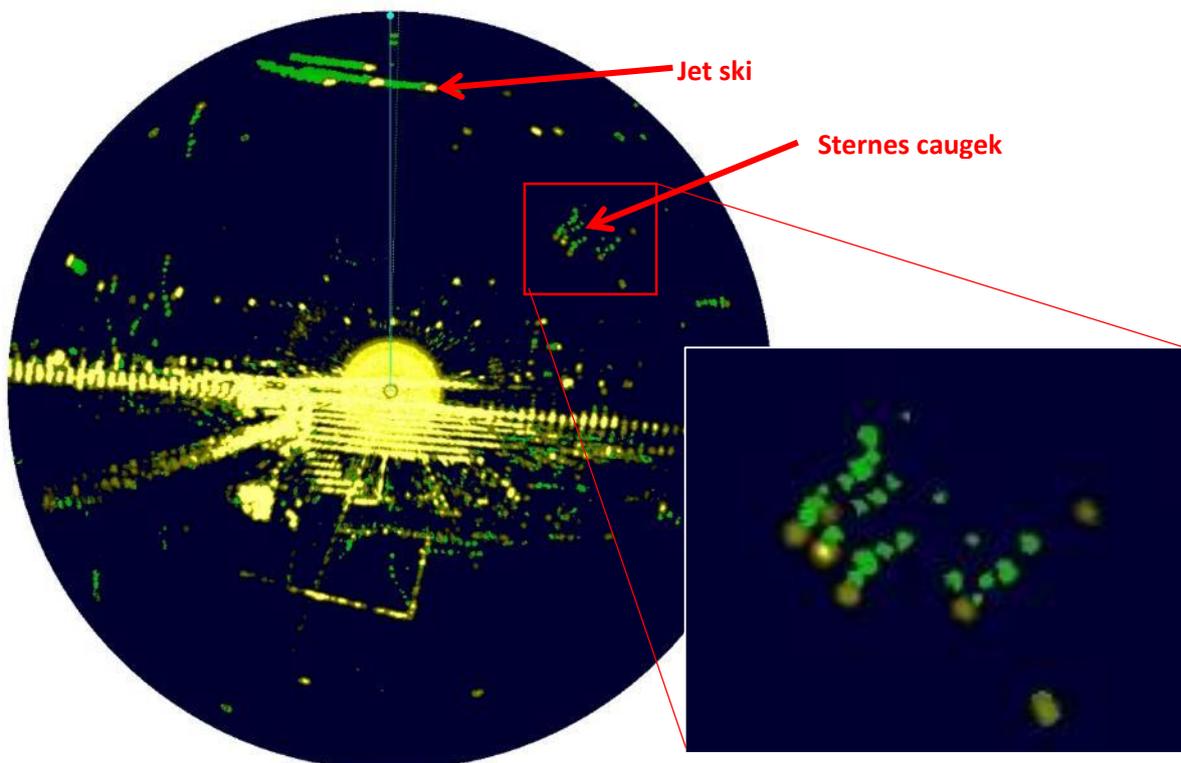
Le 22/07/15 à 08h03



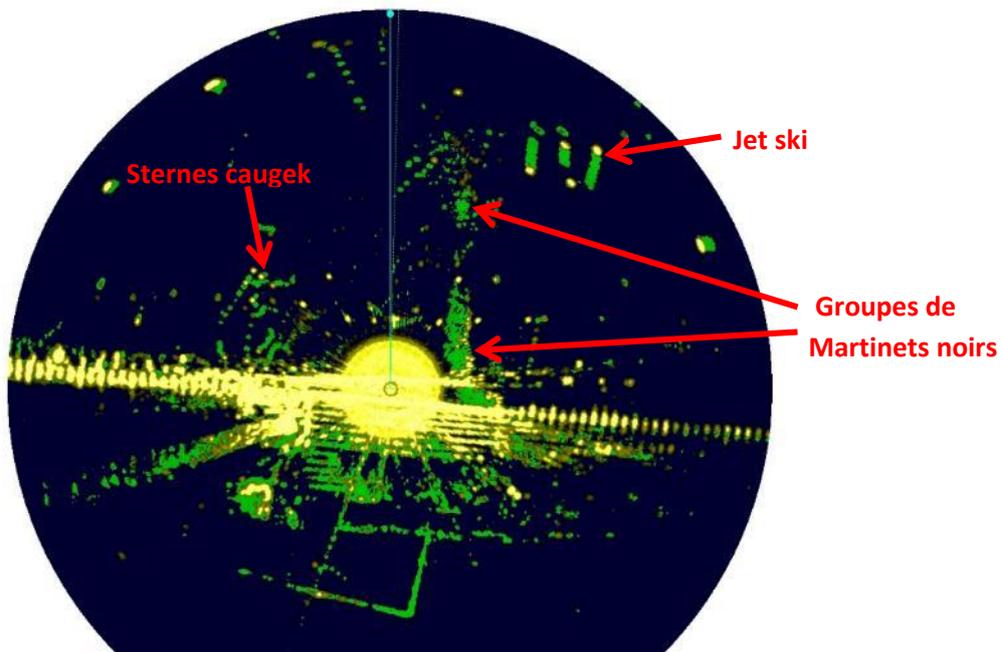
Le 22/07/15 à 07h41



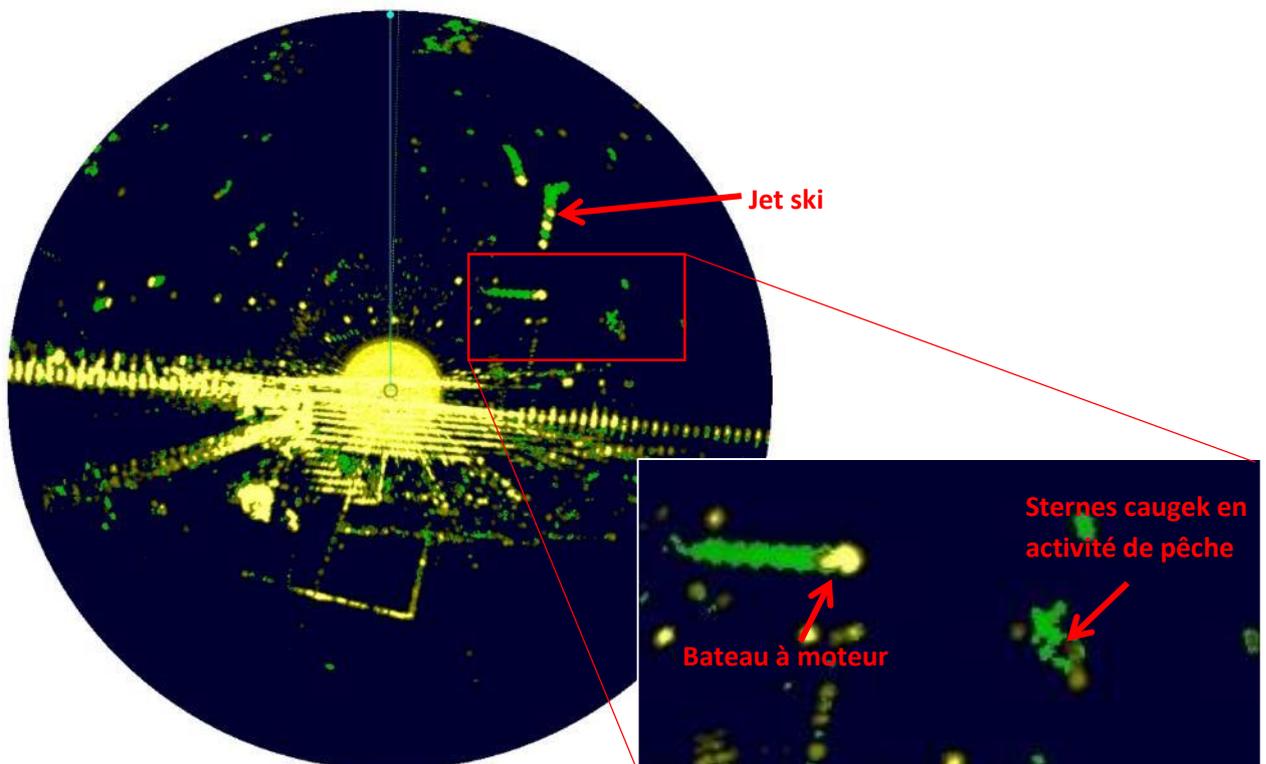
Le 22/07/15 à 11h50



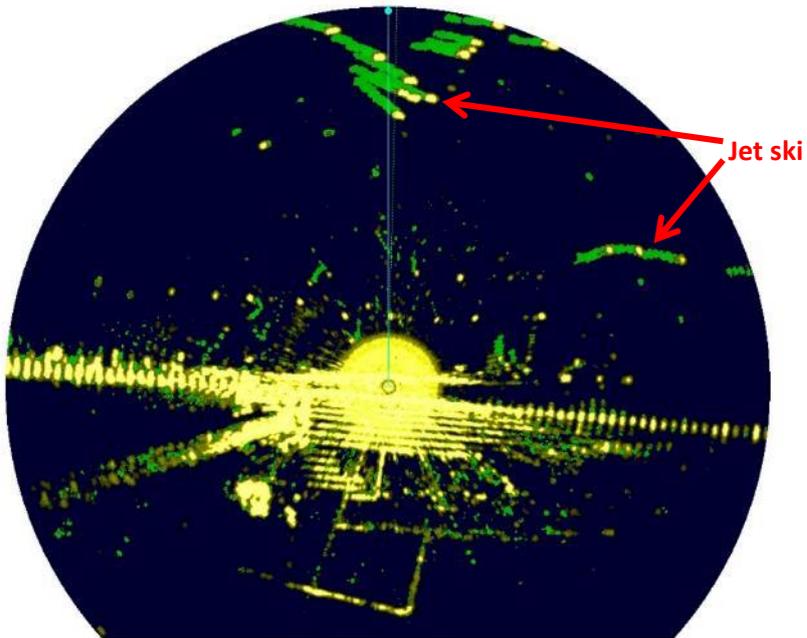
Le 22/07/15 à 17h43



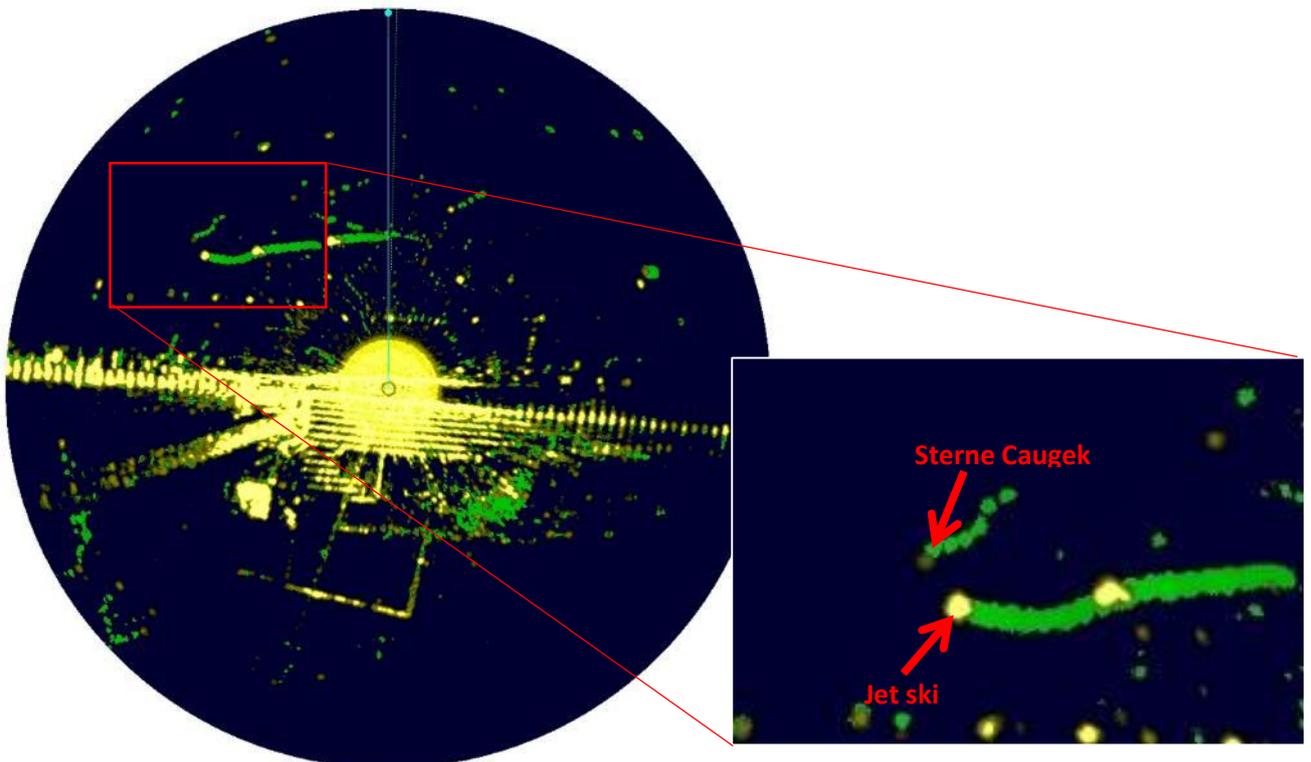
Le 22/07/15 à 18h01



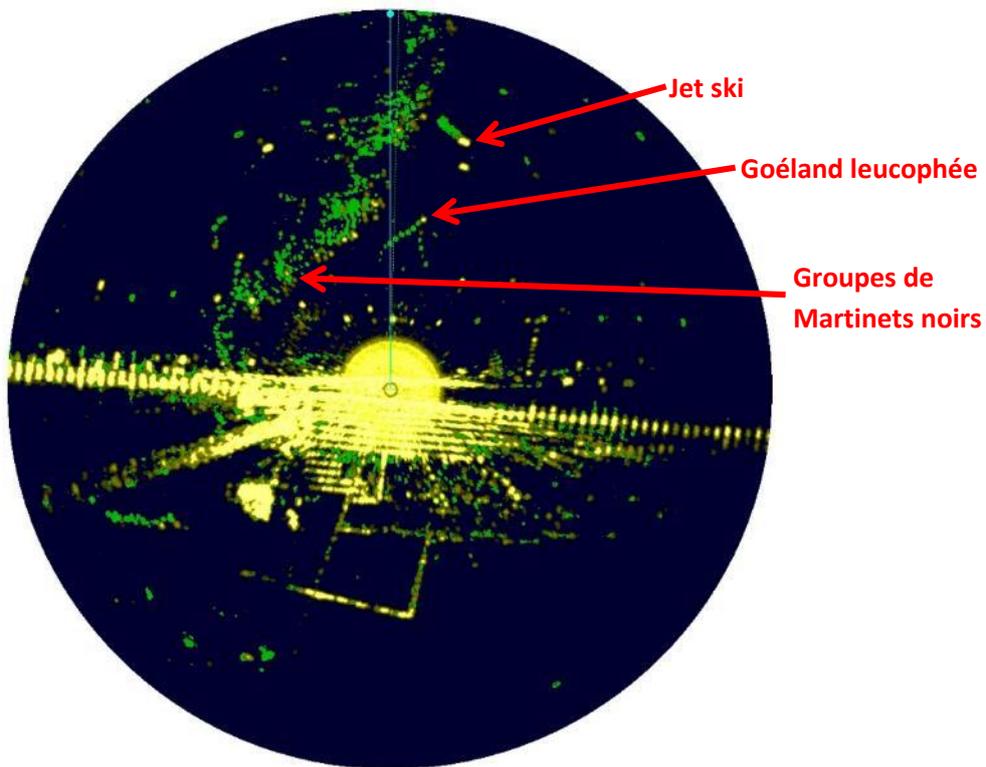
Le 23/07/15 à 11h38



Le 23/07/15 à 12h03



Le 23/07/15 à 12h52



III.3 Traitement manuel

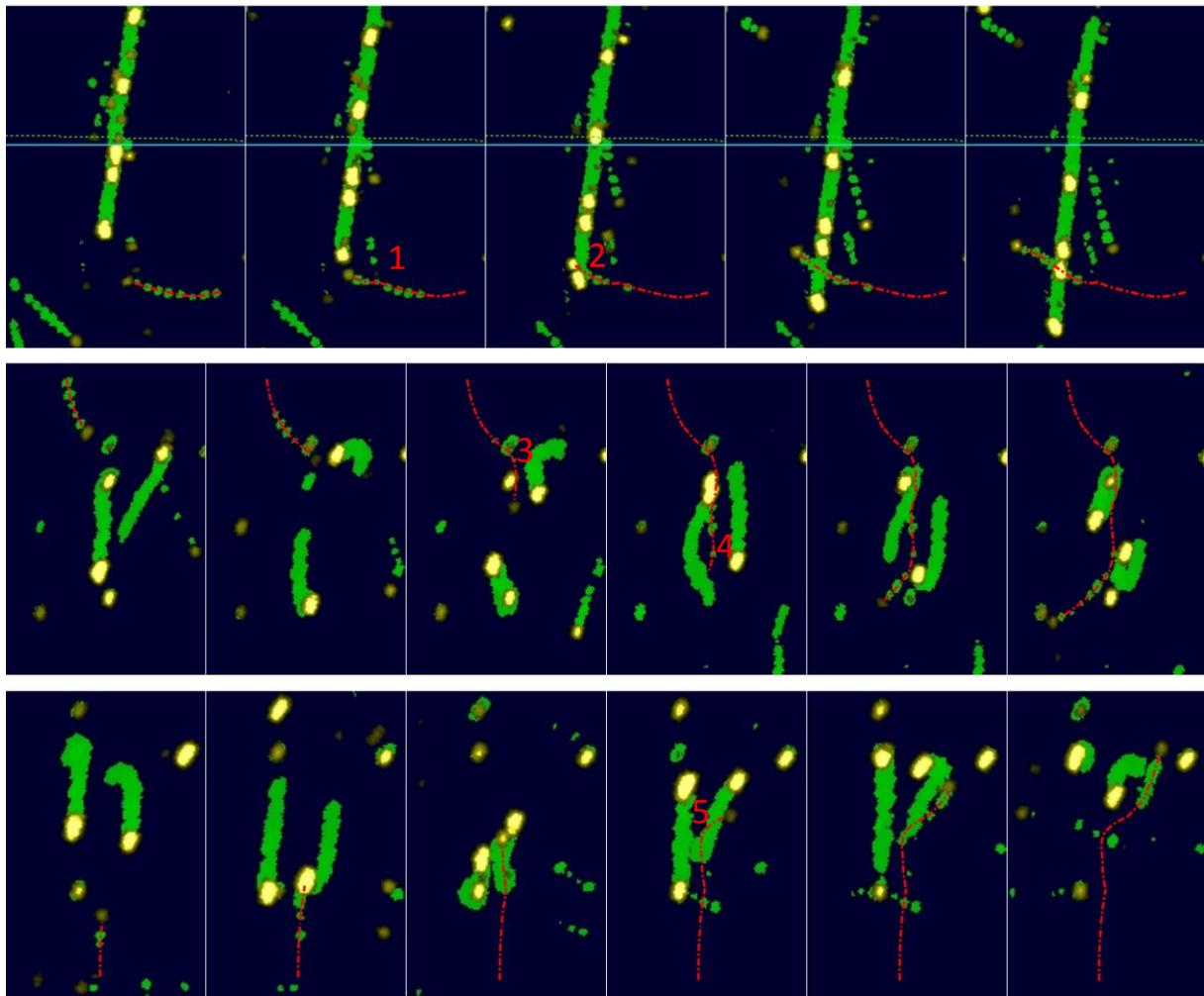
L'analyse des données radar permet de caractériser le comportement individuel des oiseaux détectés. Lorsqu'un oiseau ou un groupe d'oiseaux rencontre une source de perturbation, il est en effet possible de décrire sa réaction, mesurer la distance de réaction et de suivre son comportement après la perturbation.

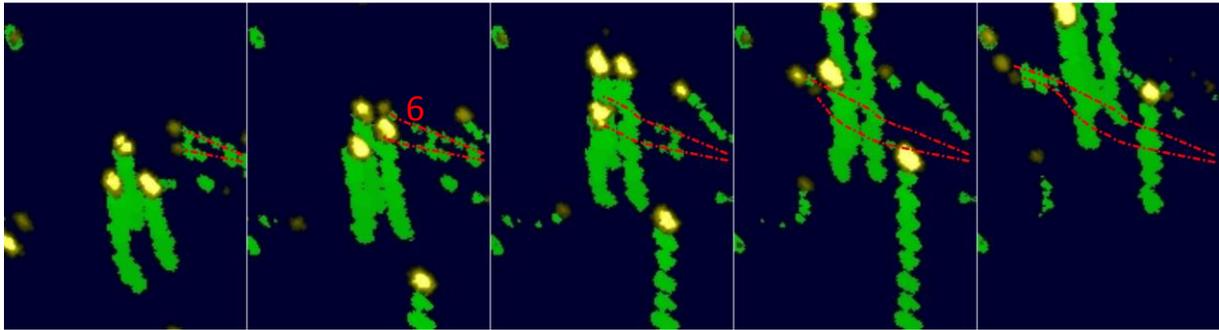
Cette analyse comportementale nécessite de digitaliser et d'analyser manuellement les trajectoires pour caractériser précisément le comportement individuel. Elle peut être réalisée sur un nombre plus ou moins important de trajectoires, selon le temps disponible à l'analyse.

Cette approche permet une analyse statistique des comportements par l'exploitation de la base de données ainsi créée.

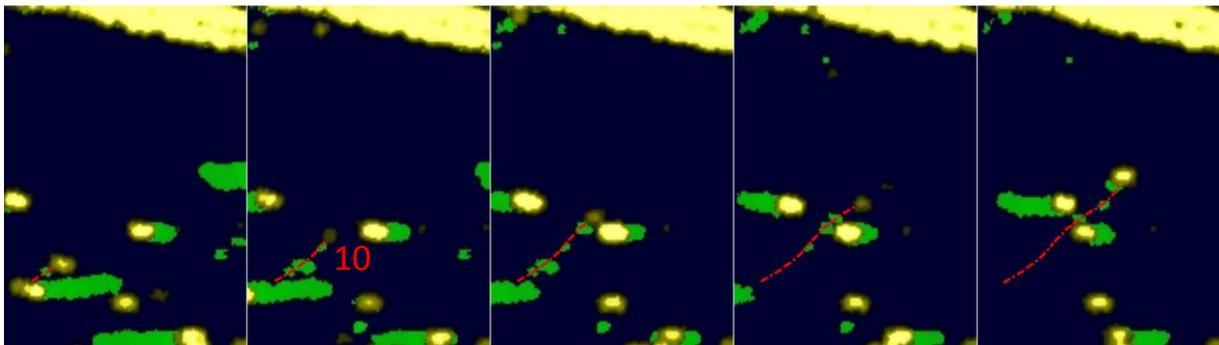
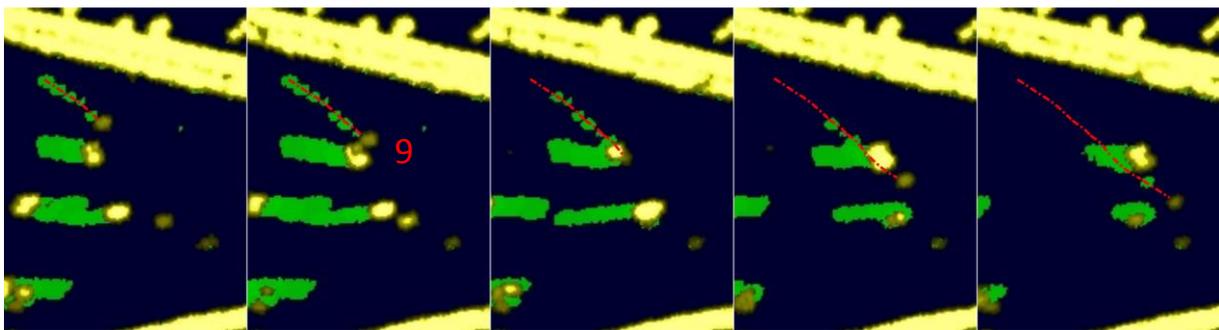
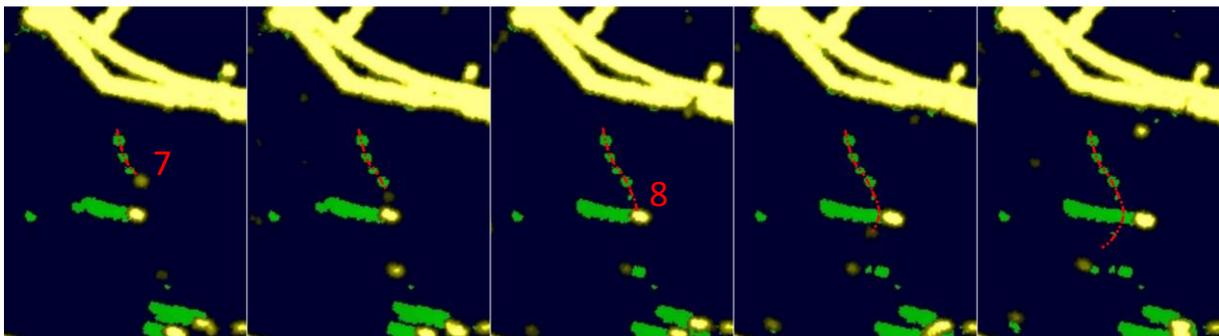
Les illustrations suivantes présentent une sélection de dix interactions avec plusieurs types d'activités nautiques, pour illustrer la méthode et les données obtenues. Les trajectoires des oiseaux sont représentées en rouge, et leurs réactions face à un engin nautique sont marquées d'un numéro correspondant à l'identifiant repris dans l'exemple de base de données présenté plus bas.

Interactions Sterne caugek / Jet ski - site des salins de Villeroy





Interactions Sterne pierregarin /windsurf - site de l'étang d'Ingril



Id	Date	Heure	Espèce	Comportement initial	Source de perturbation	Type de réaction	Distance de réaction	Reprise du comportement initial après perturbation	Commentaire
<i>N</i>	<i>AAAAMMJJ</i>	<i>hh:mm</i>	<i>Espèce</i>	<i>Transit / Pêche</i>	<i>jetski / windsurf / kitesurf / bateau</i>	<i>Aucune réaction / Changement léger de direction (< 30°) / Changement important de direction (>30°) / Abandon de zone de pêche</i>	<i>(mètres)</i>	<i>Oui / non</i>	
1	20150722	10:19	Sterne caugek	Transit	jetski	Changement léger de direction (<30°)	190	oui	
2	20150722	10:19	Sterne caugek	Transit	jetski	Changement léger de direction (<30°)	20	oui	contourne derrière
3	20150722	10:28	Sterne caugek	Transit	jetski	Changement important de direction (>30°)	60	non	
4	20150722	10:28	Sterne caugek	Transit	jetski	Changement important de direction (>30°)	75	non	
5	20150722	10:34	Sterne caugek	Transit	jetski	Changement important de direction (>30°)	35	oui	
6	20150722	11:06	Sterne caugek	Transit	jetski	Changement léger de direction (<30°)	75	oui	
7	20150617	10:21	Sterne pierregarin	Transit	windsurf	Changement léger de direction (<30°)	120	oui	
8	20150617	10:21	Sterne pierregarin	Transit	windsurf	Changement léger de direction (<30°)	40	oui	contourne derrière
9	20150617	11:30	Sterne pierregarin	Transit	kitesurf	Aucune réaction	/	/	
10	20150617	11:35	Sterne pierregarin	Transit	windsurf	Changement léger de direction (<30°)	110	oui	contourne devant

Les comportements individuels de 38 Sternes caugek au large de Villeroy ont été analysés pour donner des premiers résultats sur la réaction des oiseaux face aux activités nautiques, notamment jetskis.

Sur cet échantillon, 79% des oiseaux ont réagi à la présence des jetskis en mer. La majorité des sternes ayant réagi ont présenté un changement léger de trajectoire (70%), quand 30% des individus ont montré un changement de trajectoire important (modification de direction de vol supérieure à 30°).

Pour les individus ayant présenté un changement léger de trajectoire, la totalité des individus ont repris leur comportement initial après la rencontre de l'obstacle.

Les individus ayant présenté une modification importante de leur trajectoire n'ont pas repris leur comportement initial dans un tiers des cas.

La distance de réaction des sternes face aux jetskis était la même quelle que soit l'importance de la réaction. Les individus ont modifié leur comportement en moyenne à 88 mètres des jetskis, pour un minimum de 20 mètres et un maximum de 190 mètres.

III.4 Traitements automatisés

A partir des données brutes enregistrées par le radar, trois grands types de traitements automatisés peuvent être effectués : densité d'activité, trajectographie, et densité de trajectoires.

- L'analyse par densité d'activité permet la mise en évidence de zones de concentration d'activité brute, comme par exemple des zones de pêche, reposoirs, couloirs de déplacements. Cette analyse est basée sur une somme matricielle des pixels concernés par la présence d'un écho. Le résultat correspond aux zones d'activité tous échos confondus, représentées par un dégradé de couleurs allant du blanc (pas d'activité) au rouge (activité maximale). Cette méthode permet de représenter spatialement différents niveaux d'activité et leur variation, mais ne permet pas de différencier les types d'échos et intègre donc à la fois l'activité des oiseaux et celle des embarcations (bateaux, windsurfs, jetskis, etc.) dans le cadre de cette étude.
- La trajectographie permet de recréer et de représenter les trajets de l'ensemble des échos mobiles identifiés par le radar. Le traitement automatique est basé sur des algorithmes de tracking qui produisent une table SIG contenant les trajectoires sous forme de polygones géoréférencés associées à une table de données contenant des informations pour chaque trajectoire (date, heure, longueur, vitesse, sinuosité, direction...). Les résultats peuvent être représentés cartographiquement pour localiser les trajectoires (carte de trajectoires), ou traités statistiquement.
- Sur des sites présentant une importante activité de vol, les cartes de trajectoires peuvent être rapidement saturées et nécessitent une agrégation des données pour permettre une compréhension des résultats. La carte de densité de trajectoires permet de représenter une densité de trajectoires par maille, afin de pouvoir localiser spatialement l'activité de vol et étudier la répartition des valeurs. Cette analyse est proche de la densité d'activité, mais elle est basée sur des trajectoires qu'il est possible de sélectionner, et non sur l'ensemble des échos. Il est ainsi possible de filtrer les trajectoires à étudier afin d'isoler les oiseaux des embarcations par exemple.

Les deux cartes suivantes illustrent les résultats des différentes analyses sur un même jeu de données.

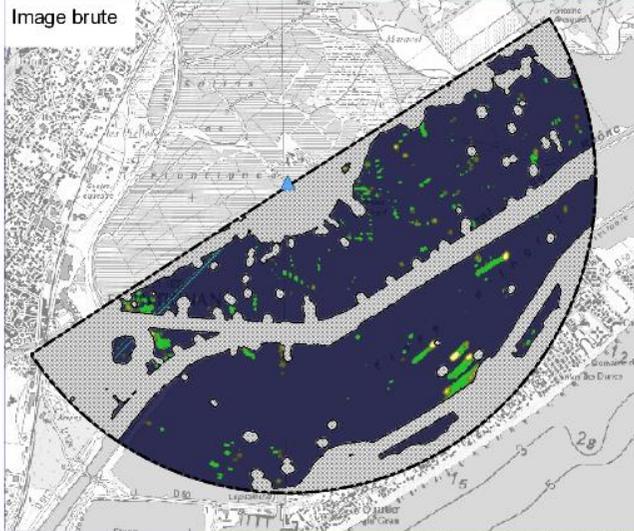


SUIVI RADAR : INTERACTIONS ENTRE OISEAUX ET ACTIVITES NAUTIQUES

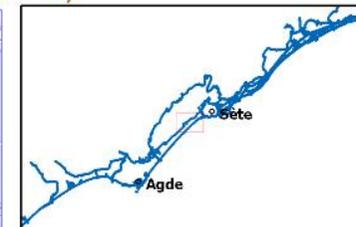
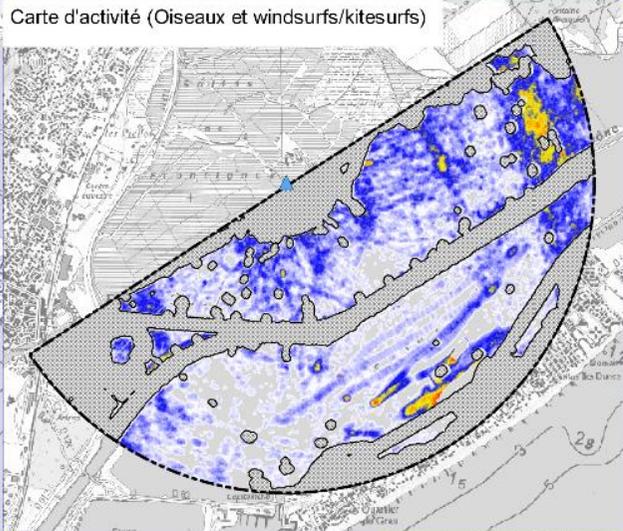
Exemple de traitements - Salins de Frontignan et étang d'Ingril (34) - 17 juin 2015 à 11h30 (5min)

EDITEE LE : 17/02/2016

Image brute



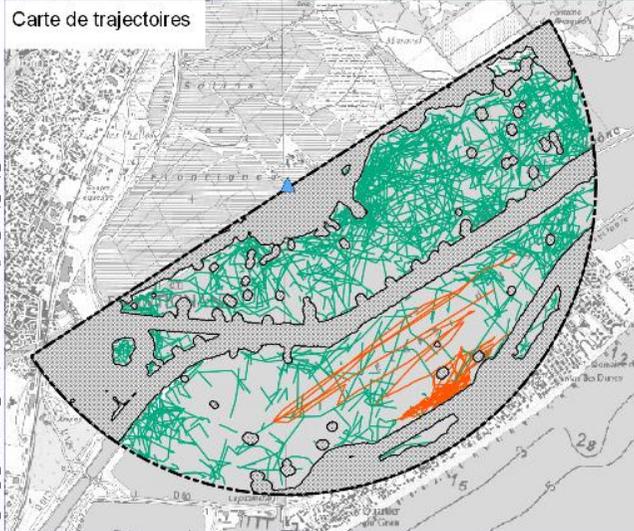
Carte d'activité (Oiseaux et windsurfs/kitesurfs)



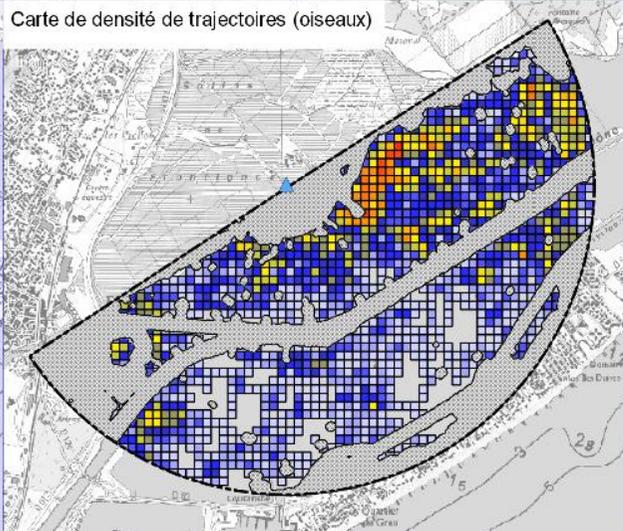
Légende

- ▲ Localisation du radar
- Périmètre de détection du radar (1 mille nautique)
- Activité forte
- Activité faible

Carte de trajectoires



Carte de densité de trajectoires (oiseaux)



0 0.25 0.5 kilomètres



0 0.125 0.25 milles nautiques



Sources des données :
- Trait de côte : SHOMIHN Histolitt (TCH) V2.0
- SHOMIGN SCAN Littoral®

Coordonnées : Lambert 93



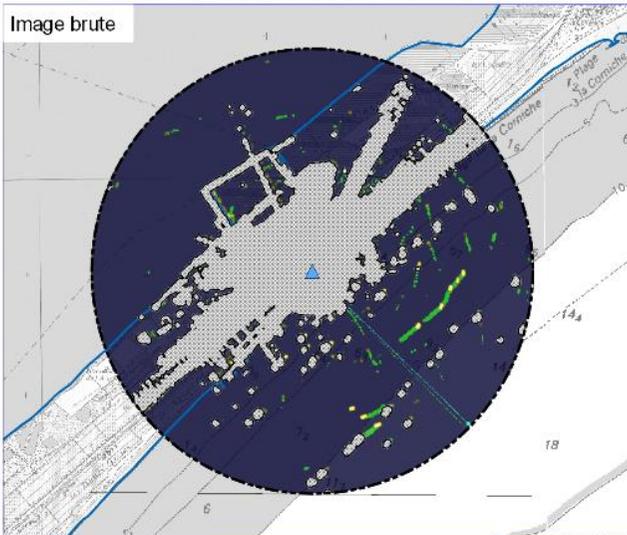


SUIVI RADAR : INTERACTIONS ENTRE OISEAUX ET ACTIVITES NAUTIQUES

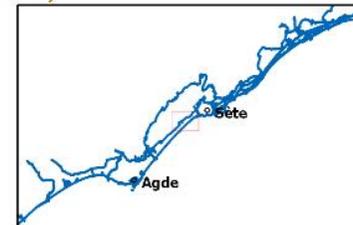
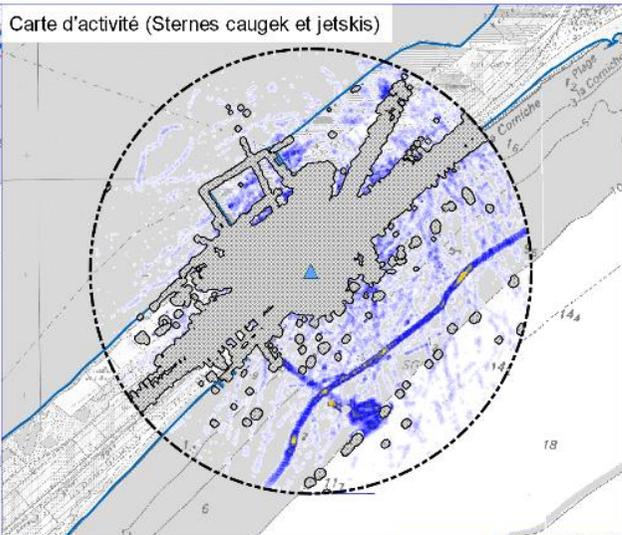
Exemple de traitements - Salins de Villeroy et lido de Sète (34) - 22 juillet 2016 à 10h30 (15 min)

EDITEE LE : 17/02/2016

Image brute



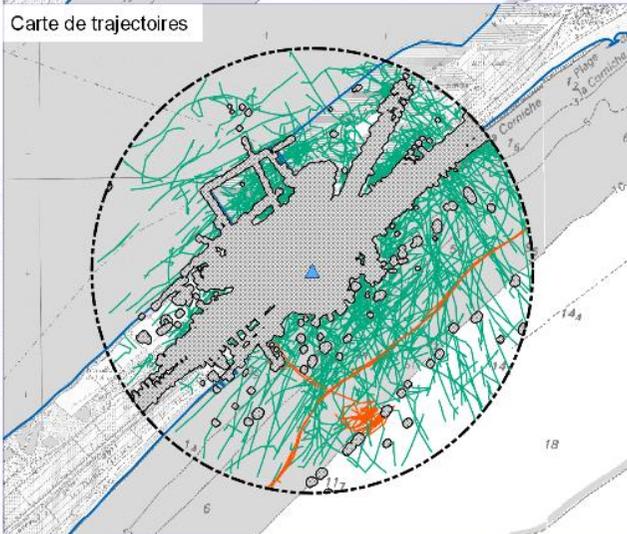
Carte d'activité (Sternes caugek et jetskis)



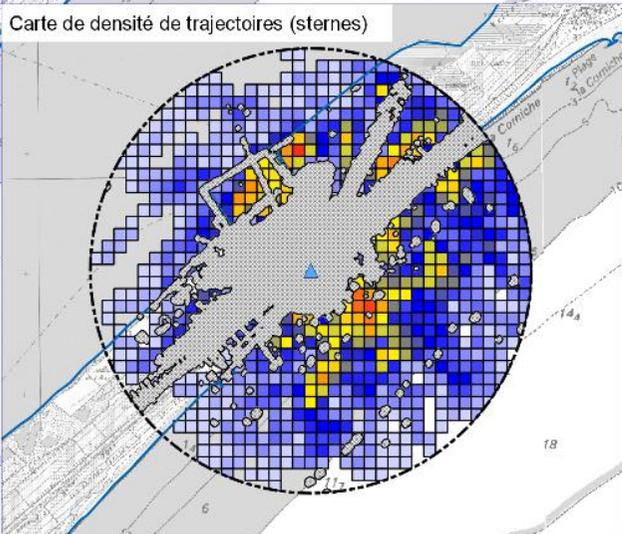
Légende

- Localisation du radar
- Périmètre de détection du radar (1 mille nautique)
- Activité forte
- Activité faible

Carte de trajectoires



Carte de densité de trajectoires (sternes)



0 0.25 0.5 kilomètres



0 0.125 0.25 milles nautiques



Sources des données :
 - Trait de côte : SHOM/IHN Histolitt (TCH) V2.0
 - SHOM/IGN SCAN Littoral®

Coordonnées : Lambert 93



bic_msd_r_radarsternie_exemplairelement/villeroy_aamp_bmp_133



III.4.1 Carte de trajectoires

Un exemple d'analyse automatique des trajectoires a été réalisé sur les données de la deuxième session du site de Villeroy. En 43 heures d'enregistrement, plus de 100 000 trajectoires d'oiseaux ont été détectées.

La représentation cartographique de la totalité de ces résultats sous la forme d'une carte de trajectoires n'est pas possible pour des raisons de superposition et de lisibilité. Pour représenter des trajectoires lisibles sur une carte, il est nécessaire de réduire la période d'étude pour obtenir un nombre limité de trajectoires. Dans cet exemple, quatre périodes d'enregistrement ont été choisies au cours de la journée, afin d'illustrer la variation d'activité diurne.

La couleur des trajectoires traduit la direction de vol selon quatre axes :

- Bleu : vers le large (SE)
- Vert : parallèlement au lido en direction du sud (SO)
- Rouge : vers la côte (NO)
- Jaune : parallèlement au lido en direction du nord (NE)

Entre 6h et 7h, une forte activité est enregistrée sur l'ensemble de la zone de suivi, à la fois au-dessus de la mer et au-dessus de l'étang. De nombreux déplacements sont observés en direction du large (trajectoires bleues) et vers le sud-ouest (trajectoires vertes) correspondant aux départs matinaux des Sternes caugek vers les zones de pêche. Un déplacement circulaire des Sternes caugek est identifiable, avec un départ des oiseaux depuis les colonies vers le large et le sud-ouest, puis un retour sur les sites de nidification le long des salins, coté étang.

Entre 10h et 11h, l'activité est globalement plus faible. Les mouvements en mer sont majoritairement orientés vers la côte, notamment vers le SE (trajectoires jaunes), correspondant aux retours des Sternes caugek vers les sites de nidification.

Entre 16h et 17h, les allers-retours des Sternes caugek entre les sites de nidification et les zones de pêche se poursuivent avec une proportion équilibrée entre les départs et les arrivées.

La dernière représentation, enfin, montre une période où aucune direction de vol privilégiée n'apparaît (entre 11h et 12h).

Une analyse plus approfondie des résultats permettrait de décrire plus précisément la phénologie des déplacements journaliers des Sternes caugek entre les sites de nidification et les zones de pêche, à mettre en relation avec les périodes d'activité et localisation des jet skis et des bateaux de plaisance.

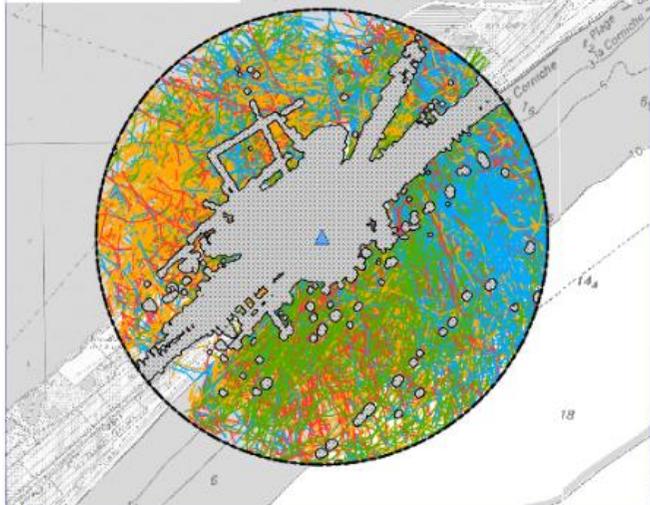


SUIVI RADAR : INTERACTIONS ENTRE OISEAUX ET ACTIVITES NAUTIQUES

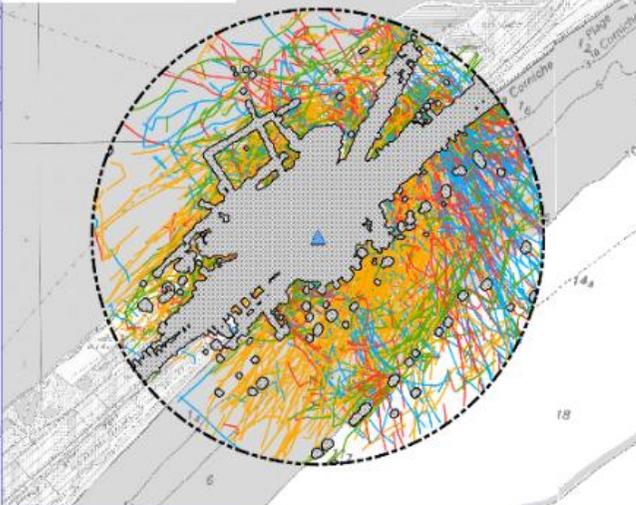
Cartes de trajectoires - Salins de Villeroy et lido de Sète (34)

EDITEE LE : 17/02/2016

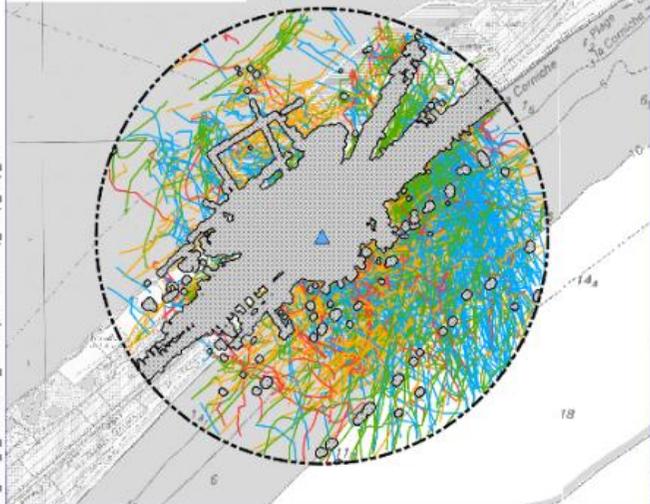
23 juillet 2015 à 6-7h



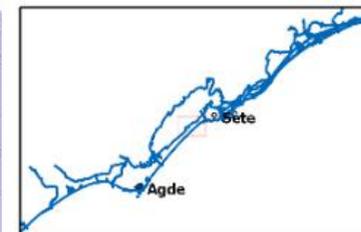
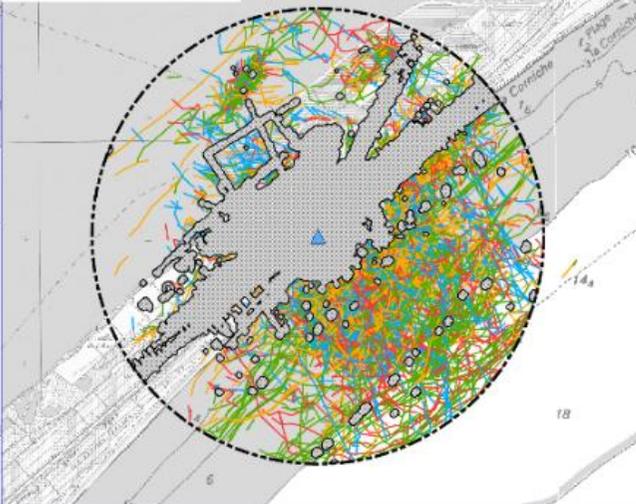
22 juillet 2015 à 10-11h



23 juillet 2015 à 17-18h



23 juillet 2015 à 11-12h



Légende

- ▲ Localisation du radar
- ⊖ Périmètre de détection du radar (1 mille nautique)

Orientation des trajectoires :



0 0.25 0.5 kilomètres



0 0.125 0.25 milles nautiques



Sources des données :
- Trait de côte : SHOM/IN-Histolitt (TCH) V2.0
- SHOMIGN SCAN Littoral®

Coordonnées : Lambert 93



III.4.2 Carte de densité de trajectoires

Deux exemples d'analyses par densité de trajectoires ont été réalisés à partir des données de la première session sur l'étang d'Ingril.

La première étape a consisté en un tri des données et une analyse automatique des trajectoires afin de conserver uniquement les trajectoires d'oiseaux. Les trajectoires retenues ont été séparées en deux lots correspondant aux périodes de présence ou d'absence de windsurfs ou kitesurfs sur des plages horaires identiques et donc comparables entre elles.

La seconde étape repose sur l'analyse par maille des résultats avec représentation des densités de trajectoires selon un dégradé de couleurs.

Il ressort de cette analyse que :

- l'étang d'Ingril Sud est nettement moins fréquenté que l'étang d'Ingril Nord qui jouxte les sites de reproduction ;
- la répartition de l'activité des oiseaux a été sensiblement identique sur les deux périodes étudiées, avec ou sans navigation (windsurfs et kitesurfs) ;
- la partie ouest d'Ingril Sud semble légèrement moins fréquentée en période de navigation, notamment un secteur de pêche des Sternes pierregarin situé devant le seul massif de sansouïre préservé sur cette partie de l'étang, à proximité du quartier du Grau ;
- l'est de l'étang d'Ingril présente un couloir de déplacement de l'étang nord vers l'étang sud, qui est utilisé durant et en dehors des périodes de navigation.

Ces analyses donnent des premiers résultats sur l'utilisation spatiale du secteur par les oiseaux, avec notamment une faible utilisation de l'étang d'Ingril Sud. Afin de comprendre les paramètres influençant cette répartition, il conviendrait de réaliser un suivi sur une plus longue série temporelle afin d'enregistrer suffisamment de données dans des conditions différentes. Ces données permettraient de mieux comprendre si cet abandon d'Ingril Sud est lié à des raisons trophiques (moins de ressource alimentaire), à une réaction d'évitement due à un dérangement répété, ou s'il est lié à des conditions temporelles particulières. Il pourrait aussi être envisagé de contrôler certains paramètres, comme par exemple suspendre la navigation sur un pas de temps limité pour étudier si en conditions de vent favorable aux pratiques nautiques (tramontane) le comportement des oiseaux change en leur absence.

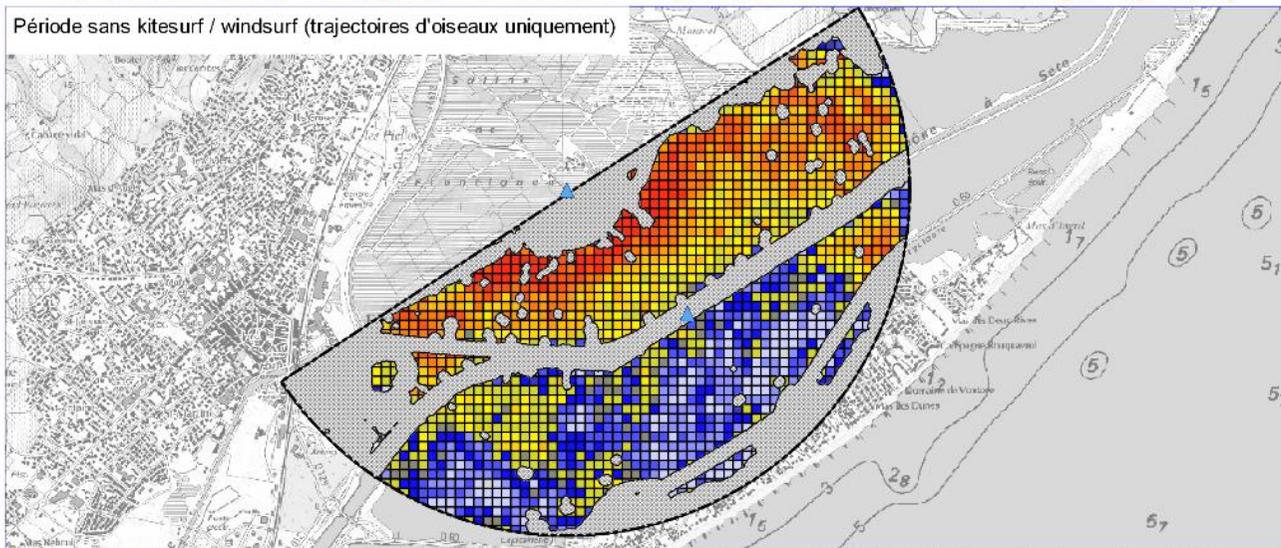


SUIVI RADAR : INTERACTIONS ENTRE OISEAUX ET ACTIVITES NAUTIQUES

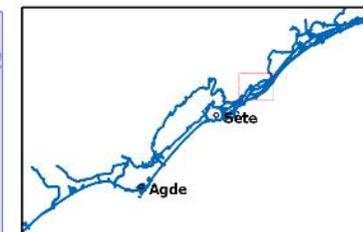
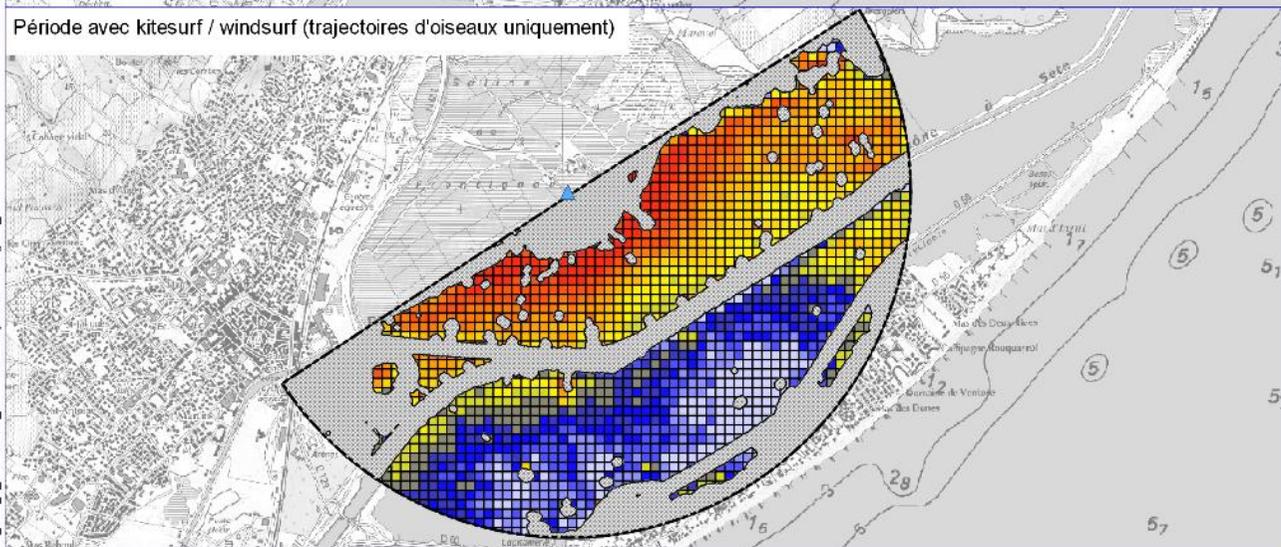
Cartes de densité de trajectoires d'oiseaux - Salins de Frontignan et étang d'Ingril (34)

EDITEE LE : 17/02/2016

Période sans kitesurf / windsurf (trajectoires d'oiseaux uniquement)



Période avec kitesurf / windsurf (trajectoires d'oiseaux uniquement)



Légende

- Localisation du radar
- Périmètre de détection du radar (1 mille nautique)
- Activité forte
- Activité faible

0 0.25 0.5 kilomètres

0 0.125 0.25 milles nautiques

Sources des données :
 - Trait de côte : SHOM/IN-Histolitt (TCH) V2.0
 - SHOM/IGN SCAN Littoral®

Coordonnées : Lambert 93



IV. Conclusion

Le radar a été utilisé dans des situations géographiques différentes (étangs, mer) et dans des conditions météorologiques et d'activité nautique variées.

Les espèces ciblées (sternes) ont été correctement détectées et localisées par le radar, tout comme les autres espèces présentes sur les colonies de reproduction (mouettes, goélands).

Les activités nautiques ont pu être précisément suivies par radar, notamment pour les windsurfs, kitesurfs, jet skis et bateaux.

Le comportement des oiseaux face aux activités nautiques a pu être enregistré de façon satisfaisante au sein des données brutes, et permet donc d'envisager différentes analyses.

Le type d'analyse dépend de la question initiale et de l'objectif recherché.

L'étude de la modification des comportements individuels nécessite la caractérisation des réactions selon un protocole et une typologie prédéterminés, en analysant le comportement de chaque oiseau volant à proximité d'un engin nautique. L'analyse de la base de données ainsi générée permettrait de caractériser les types de réactions en fonction des espèces et du type d'activité nautique, et de caractériser l'importance des modifications de comportement et la distance de réaction.

Les premiers résultats montrent que les oiseaux présentent des réactions individuelles face aux activités nautiques, notamment jetskis.

L'étude de la modification de l'utilisation spatio-temporelle d'un site fréquenté par les oiseaux au regard des activités nautiques nécessite un échantillonnage temporel suffisant, afin d'isoler les variables explicatives.