



ETUDE PAR RADAR DE LA MIGRATION POSTNUPTIALE 2013 à Lindus et Lizarrieta (Pyrénées Atlantiques)

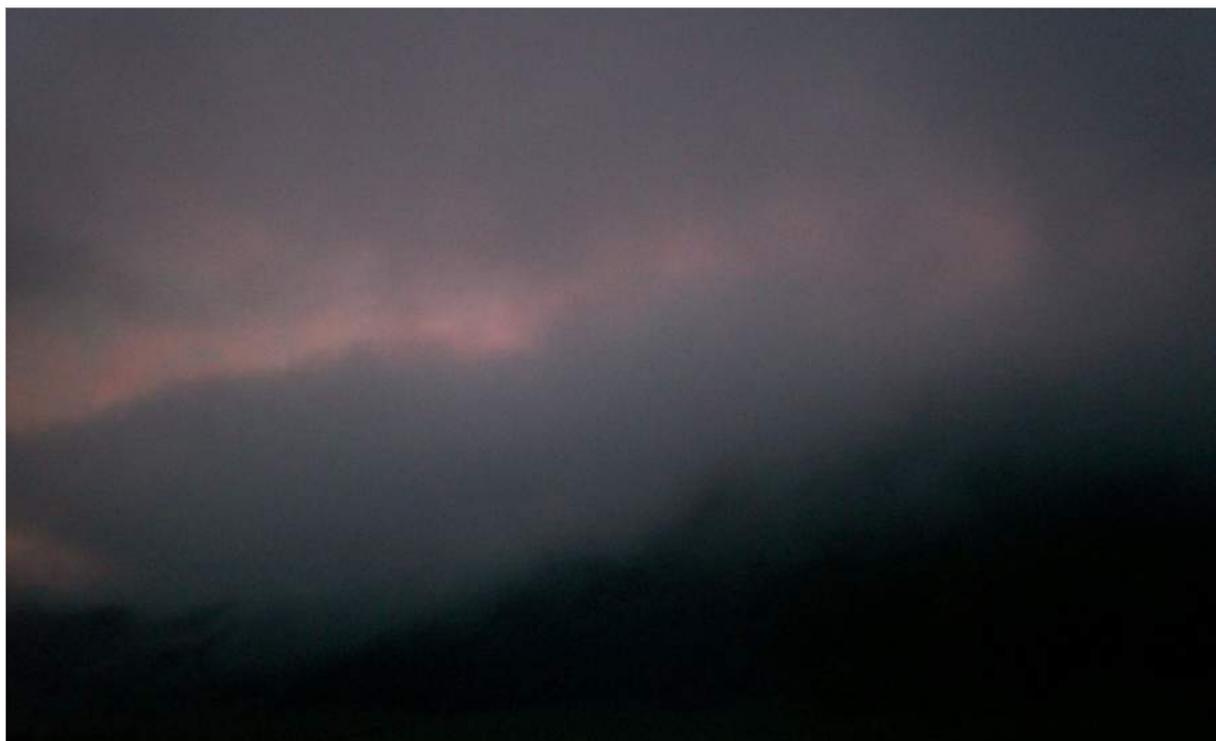
Réalisation et rédaction : Delphin Ruché
AZIMUT SARL, 14 rue Picard, 44 620 La Montagne



ETUDE PAR RADAR DE LA MIGRATION POSTNUPTIALE 2013

à Lindus et Lizarrieta (Pyrénées Atlantiques)

pour la LPO Aquitaine



Réalisation et rédaction : Delphin Ruché

AZIMUT SARL, 14 rue Picard, 44 620 La Montagne
06 15 99 14 06 - contact@azimut-radar.com

Etude par radar de la migration postnuptiale 2013
à Lindus et Lizarieta.

Azimut (2014)

RÉSUMÉ

Nous avons étudié l'activité de vol des oiseaux en période de migration postnuptiale 2013 avec un radar ornithologique, à Lindus et à Lizarrieta (Pyrénées Atlantique) respectivement du 19 au 28 septembre 2013 et du 26 octobre au 4 novembre 2013. Nous avons ainsi documenté les directions de vol et l'intensité de l'activité de vol, et leurs variations dans le temps. Les observations visuelles des spotteurs de la LPO Aquitaine et des bénévoles ont complété les données radar avec l'identification des espèces et des dénombrements.

Cette étude radar est une première sur les cols pyrénéens, et elle était donc en partie expérimentale. Notre **objectif** était de 1) vérifier la faisabilité technique et logistique d'études radar sur Lindus et Lizarrieta, 2) confirmer la pertinence de l'outil radar dans le cadre du suivi à long terme de la migration sur les cols pyrénéens, et 3) accroître les connaissances sur la migration, par une approche complémentaire au suivi déjà en place.

Parmi les résultats, les éléments les plus remarquables sont les suivants :

- des directions de vol influencées fortement par le relief de jour à Lindus et Lizarrieta, mais aussi dans une moindre mesure à Lindus de nuit ;
- un effet de reflux ("rétro-migration") visible mais peu marqué à Lindus de jour comme de nuit, et à Lizarrieta quasiment inexistant de nuit, mais en revanche très prononcé de jour ;
- des flux diurnes nettement plus élevés de jour que la nuit à Lindus, et inversement des flux sensiblement plus élevés à Lizarrieta de nuit un mois plus tard ;
- une vague de migrants nocturnes déclenchée soudainement par la tombée de la nuit, et une vague de migrants diurnes. Ce schéma a été très prononcé à Lindus, et plus discret à Lizarrieta ;
- une faible corrélation entre les taux de passages mesurés au radar et ceux mesurés par les spotteurs, confirmant la nature complémentaire des deux types de données.

Du point-de-vue scientifique, le radar est indéniablement un outil intéressant pour suivre la migration sur les cols pyrénéens, et il permettrait l'approfondissement des connaissances ornithologiques s'il était associé aux programmes en cours. Le radar est aussi un puissant outil de communication sur ces sites où la fréquentation touristique est forte, et ce mélange de nature et de technologie de pointe offre d'excellentes opportunités en terme de sensibilisation du grand public.

TABLE DES MATIERES

Liste des figures et tableaux.....	5
1. Remerciements	6
2. Introduction.....	6
3. Matériel et méthodes.....	6
4. Résultats pour LINDUS	11
4.1. Contraintes environnementales.....	11
4.2. Conditions météorologiques	11
4.3. Directions de vol.....	16
4.4. Activité de vol	19
5. Résultats pour LIZARRIETA	24
5.1. Contraintes environnementales.....	24
5.2. Conditions météorologiques	24
5.3. Directions de vol.....	29
5.4. Activité de vol	30
6. Conclusion	34
7. Références citées dans ce document	36

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure 1. Calendrier d'étude à Lindus.

Figure 2. Calendrier d'étude à Lizarieta.

Figure 3. Emplacement du radar à Lindus (fond de carte IGN).

Figure 4. Emplacement du radar à Lizarieta (fond de carte IGN).

Figure 5. Position de Lindus (LN) et de Lizarieta (LZ) par rapport à la barrière pyrénéenne.

Tableau 1. Heures de lever et coucher du soleil, et du jour et de la nuit à Lindus .

Tableau 2. Heures de lever et coucher du soleil, et du jour et de la nuit à Lizarieta.

Résultats : LINDUS

Figure 6. Provenance du vent en journée à Lindus.

Figure 7. Vitesse du vent en journée à Lindus.

Figure 8. Visibilité en journée à Lindus.

Figure 9. Directions de vol des cibles détectées de jour au radar à Lindus.

Figure 10. Directions de vol des cibles détectées de nuit au radar à Lindus.

Figure 11. Topographie des environs de Lindus (point rouge).

Figure 12. Taux de passage horaires moyens par heure des cibles détectées par radar à Lindus.

Figure 13. Taux de passage horaires moyens par date des cibles détectées par radar à Lindus.

Figure 14. Dénombrements des observations visuelles par date à Lindus.

Tableau 3. Echelle de Beaufort pour référence incluant les vitesses de vent allant de 0 à 32,6 m.s⁻¹.

Tableau 4a. Détail horaire des conditions météo du 19 au 23 septembre 2013.

Tableau 4b. Détail horaire des conditions météo du 24 au 28 septembre 2013.

Tableau 5. Espèces et effectifs observés par les spotteurs à Lindus du 20 au 27 septembre 2013.

Résultats : LIZARRIETA

Figure 15. Provenance du vent en journée à Lizarieta.

Figure 16. Vitesse du vent en journée à Lizarieta.

Figure 17. Visibilité en journée à Lizarieta.

Figure 18. Directions de vol des cibles détectées de nuit au radar à Lizarieta.

Figure 19. Directions de vol des cibles détectées de jour au radar à Lizarieta.

Figure 20. Taux de passage horaire moyen par heure des cibles détectées au radar à Lizarieta.

Figure 21. Taux de passage horaires moyens par date des cibles détectées par radar à Lizarieta.

Figure 22. Dénombrements des observations visuelles de pigeons, par date à Lizarieta.

Figure 23. Dénombrements des observations visuelles des autres espèces que les pigeons, par date à Lizarieta.

Tableau 6. Echelle de Beaufort pour référence incluant les vitesses de vent allant de 0 à 32,6 m.s⁻¹.

Tableau 7a. Détail horaire des conditions météo du 25 au 29 octobre 2013 à Lizarieta.

Tableau 7b. Détail horaire des conditions météo du 30 octobre au 3 novembre 2013 à Lizarieta.

Tableau 8. Espèces et effectifs observés par les spotteurs à Lizarieta du 27 octobre au 3 novembre 2013

1. REMERCIEMENTS

Sur le terrain, l'opération et la surveillance de la station radar ont été assurées par Gaël Foilleret et Simon Cavallès, qui avaient déjà en charge la gestion des camps de migration respectifs de Lindus et Lizarrieta. Ils sont tous deux remerciés pour leur rigueur et pour avoir abordé cette mission supplémentaire avec intelligence et efficacité.

2. INTRODUCTION

La technologie radar, très utilisée dans des pays comme les États-Unis, le Royaume-Uni ou la Suisse pour étudier quantitativement et qualitativement les déplacements des oiseaux et des chauves-souris est utilisée en France depuis seulement quelques années, essentiellement dans le cadre des études réglementaires (études d'impact). On reconnaît à cet outil de nombreux avantages, notamment celui de détecter indifféremment des cibles de jour comme de nuit, de mesurer les hauteurs de vol, ainsi que de collecter automatiquement, sur de longues périodes et avec une efficacité constante des données sur l'activité de vol.

En France, un radar a été utilisé pour la première fois sur un site de suivi à long terme de la migration, à la Pointe de Grave (Gironde) au printemps 2013. La Ligue pour la Protection des Oiseaux en Aquitaine qui était déjà à l'initiative de cette première étude radar a souhaité reproduire l'expérience au Pays-Basque, zone de forte concentration des oiseaux lors du franchissement du massif pyrénéen (Fig. 5). La Redoute de Lindus et le Col de Lizarrieta ont été choisis pour cette étude, ces sites faisant déjà l'objet d'un suivi à long terme de la migration des oiseaux par la LPO Aquitaine, et dans le cas de Lindus, de collaborations transfrontalières entre des partenaires français et espagnols.

L'objectif de cette initiative innovante et expérimentale est multiple : 1) vérifier la faisabilité technique et logistique d'études radar à Lindus et Lizarrieta, 2) confirmer la pertinence de l'outil radar dans le cadre du suivi à long terme de la migration sur les cols pyrénéens, et 3) accroître les connaissances sur la migration, par une approche complémentaire au suivi déjà en place.

3. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le radar de la LPO France a été utilisé à Lindus et Lizarrieta selon une méthodologie similaire. Le dispositif en question est un véhicule utilitaire aménagé en laboratoire mobile, équipé d'un radar

Furuno ARPA FAR-2117 sur le toit, et d'une table de travail à l'intérieur comprenant les équipements de visionnage et d'acquisition des données radar. L'installation est alimentée par un générateur à essence. La LPO France a loué son laboratoire à la LPO Aquitaine, tandis que la société Azimut a assuré un accompagnement technique visant l'installation du laboratoire, le démarrage de l'étude, la formation d'un technicien en charge des manipulations au cours de l'étude, l'exploitation des données et la rédaction du présent document.

À Lindus, l'étude s'est déroulée du 19 au 28 septembre 2013 (Fig. 1), et à Lizarieta du 26 octobre au 4 novembre 2013 (Fig. 2). Gaël Foilleret a été en charge du laboratoire radar à Lindus, et Simon Cavallès à Lizarieta. Leur mission était de s'assurer du bon fonctionnement du laboratoire, en vérifiant notamment que les enregistrements se déroulaient correctement, en faisant le plein du générateur, en résolvant les problèmes éventuels et en assurant une surveillance du matériel.

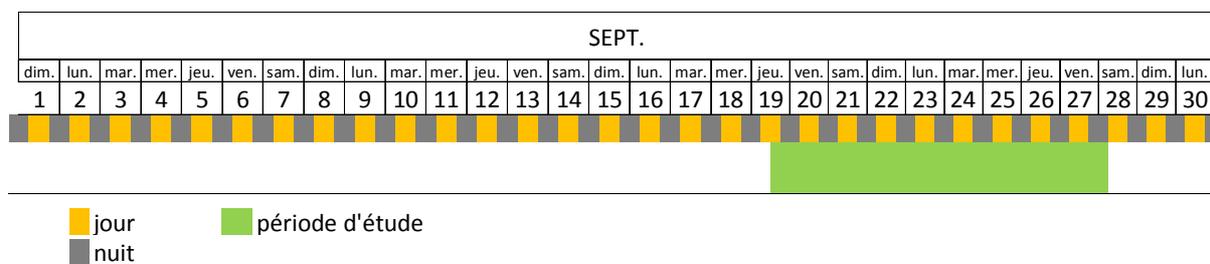


Figure 1. Calendrier d'étude à Lindus à l'automne 2013.

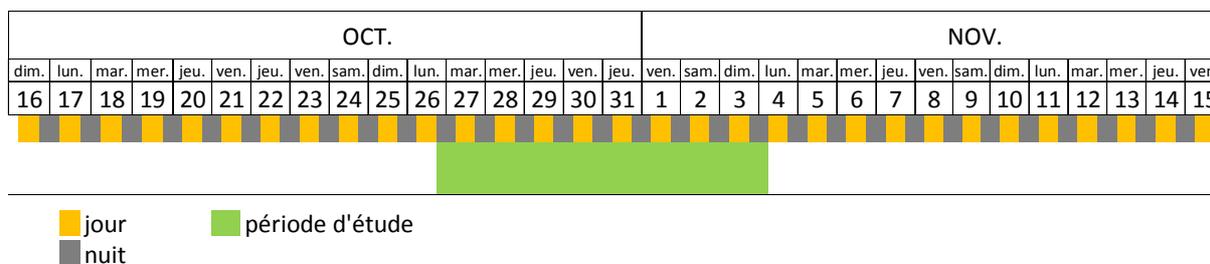


Figure 2. Calendrier d'étude à Lizarieta à l'automne 2013.

À Lindus, le radar a été installé en Espagne, derrière le bâtiment situé au sud de la frontière formant un angle droit (Fig. 3). Depuis la route goudronnée, le chemin d'accès empierré est carrossable, même en période de pluie.

À Lizarieta, le véhicule était stationné sur le parking, à proximité immédiate des spotteurs et du camp de migration (Fig. 4). Le générateur était installé derrière la stalle dressée à l'entrée nord du col et n'était quasiment pas audible depuis le parking.



Figure 3. Emplacement du radar à Lindus, à l'angle de la frontière franco-espagnole (fond de carte IGN).



Figure 4. Emplacement du radar au Col de Lizarieta (fond de carte IGN).

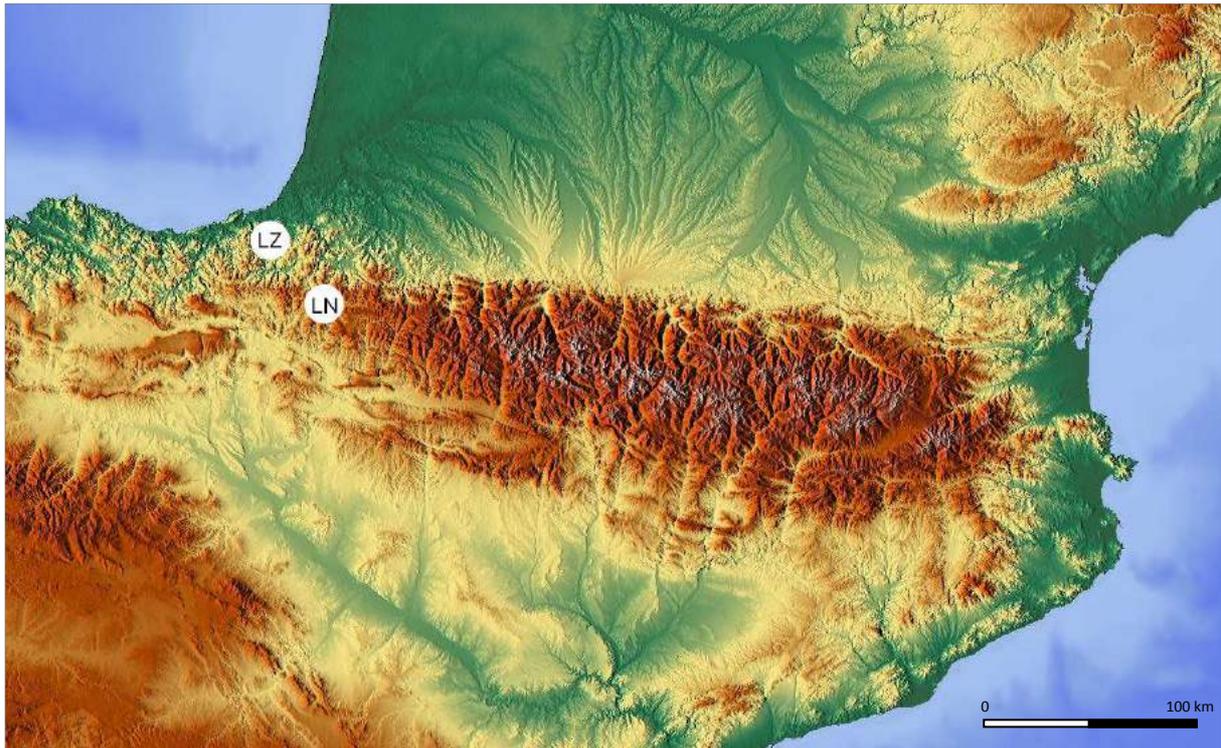


Figure 5. Position de Lindus (LN) et de Lizarieta (LZ) par rapport à la barrière pyrénéenne.

Les heures mentionnées dans ce document sont exprimées en UTC (Universal Time Coordinated), anciennement appelé temps GMT, afin d'éviter toute confusion due au changement d'heure civile ayant eu lieu dans la nuit du 26 au 27 octobre. Les heures de lever et de coucher du soleil sont présentées aux tableaux 1 et 2. Le passage du jour à la nuit est naturellement progressif sous nos latitudes, et la luminosité dépend aussi beaucoup de la couverture nuageuse. Néanmoins, schématiquement, le "jour" a été défini arbitrairement comme la période commençant 45 minutes avant le lever du soleil et se terminant 45 après le coucher du soleil.

Les heures entières ayant été utilisées comme unité de temps dans le cadre de cette étude, le "jour" est défini par les heures UTC 5 à 18 incluses pour Lindus et 6 à 17 incluses pour Lizarieta . La "nuit" est définie par les heures UTC 19 à 4 incluses incluses pour Lindus et 18 à 5 incluses pour Lizarieta, ce qui correspond assez précisément aux périodes d'obscurité.

Tableau 1. Heures de lever et coucher du soleil, et du jour et de la nuit à Lindus en heure UTC (heure civile = UTC+2). Soleil au zénith à 11:57 UTC.

	lever du soleil	coucher du soleil	jour	nuit
20/09/2013	05:50	18:06	05:05-18:51	18:51-05:05
			heures 5 à 18	heures 19 à 4

Tableau 2. Heures de lever et coucher du soleil, et du jour et de la nuit à Lizarieta en heure UTC (heure civile = UTC+2, puis UTC+1 à partir du 27 octobre). Soleil au zénith à 11:47 UTC.

	lever du soleil	coucher du soleil	jour	nuit
25/10/2013	06:32	17:05	05:47-17:50	17:50-05:47
			heures 6 à 17	heures 18 à 5

Un diamètre d'étude de 3 km a été préféré ici, pour les raisons suivantes. Un radar détecte des oiseaux jusqu'à 5 km ou même plus s'il s'agit de grands vols, et en cela la distance maximale de détection d'un radar dépasse 5 km. Cependant, **la distance maximale de détection** d'un radar ne doit pas faire oublier que la **probabilité de détection** des oiseaux diminue avec la distance. Jusqu'à 1,5 km, la probabilité de détection est maximum et relativement homogène pour tous les oiseaux, quelque soit leur taille. Après 1,5 km, la probabilité de détection chute brutalement, et pour plusieurs raisons techniques intrinsèques à la technologie radar, cette diminution de la probabilité de détection n'est pas quantifiable (elle n'est donc ni prédictible, ni modélisable). Ce volume à l'intérieur duquel la probabilité de détection est maximale et homogène varie peu d'un radar à un autre. Pour ces raisons, il existe un consensus au sein de la communauté scientifique, visant à préférer une aire d'étude équivalent à un hémisphère de 3 km de diamètre, à l'intérieur duquel la probabilité de détection est maximum et homogène pour tous les oiseaux, quelque soit leur taille et leur direction de vol.

Les données météorologiques utilisées dans ce rapport sont celles consignées depuis le sol par les ornithologues de la LPO Aquitaine (direction et force du vent, visibilité) et sont limitées aux périodes d'observation, c'est-à-dire à la journée.

LINDUS

4. RÉSULTATS

4.1. Contraintes environnementales

L'installation du laboratoire a été compliquée par un épais brouillard empêchant une appréciation optimale du paysage lors du choix du site, et une sélection des meilleurs réglages physiques du radar et des réglages numériques des paramètres des différentes interfaces. Malgré cela, rétrospectivement, l'écran du radar s'est avéré propre, c'est-à-dire contenant une faible proportion de zones d'ombre (zones où les détections de cibles sont impossibles à cause de la réflexion permanente des ondes radar par des éléments physiques du paysage tels que le relief ou la végétation). Le site choisi pour l'emplacement du radar s'est donc avéré satisfaisant, et il pourrait être réutilisé à l'avenir si l'occasion se présentait.

La distance séparant le radar des points d'observation habituels, et du camp de base est assez grande et demande à l'opérateur soit de longs allers et retours chronophages, soit de s'installer à proximité du radar le temps de l'étude, pour y passer la nuit notamment. Il est toujours recommandé d'assurer une veille permanente du matériel pour réduire tout risque de vol et de vandalisme.

4.2. Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques ont été assez favorables au fonctionnement du radar, malgré un mauvais départ miné par la pluie et le brouillard. Les 19 et 20 septembre ont été marqués par des épisodes pluvieux qui ont tantôt perturbé, tantôt empêché la collecte de données. Des averses ont également eu lieu dans la nuit du 27 septembre. Les précipitations ont été limitées à ces périodes.

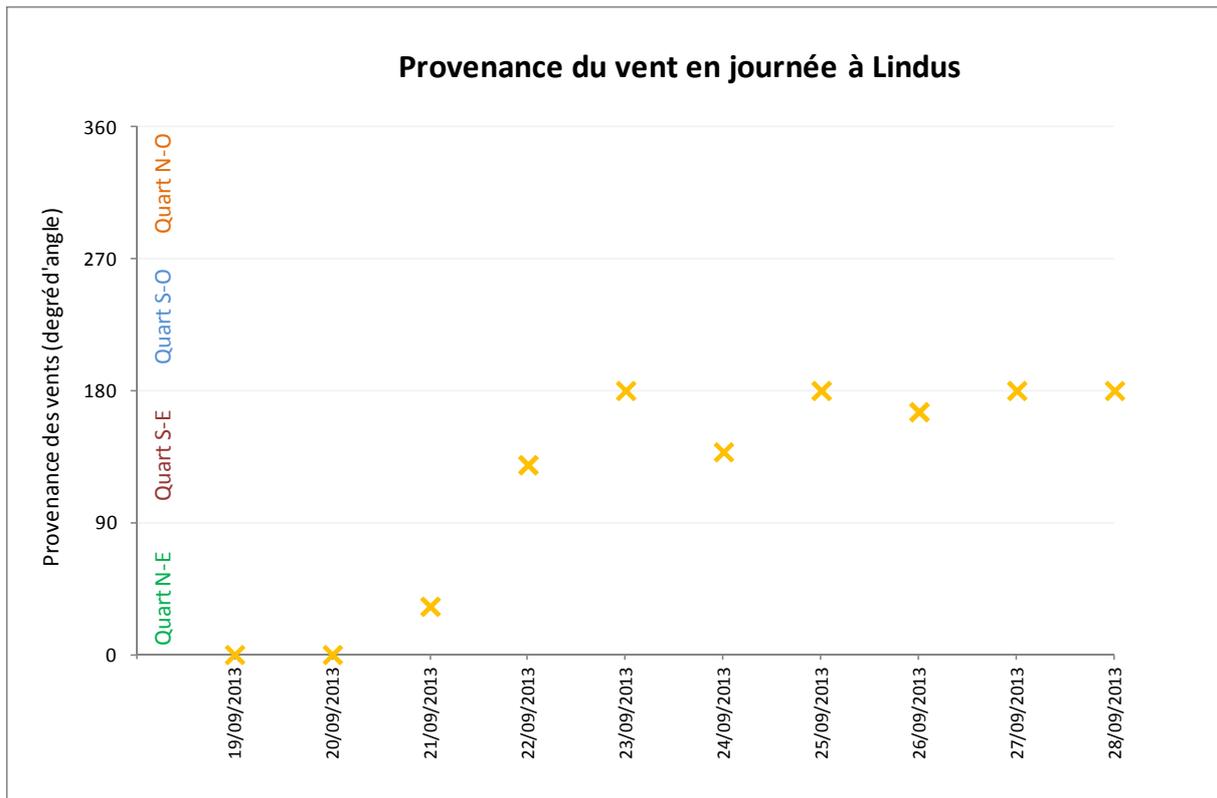


Figure 6. Provenance du vent en journée à Lindus.

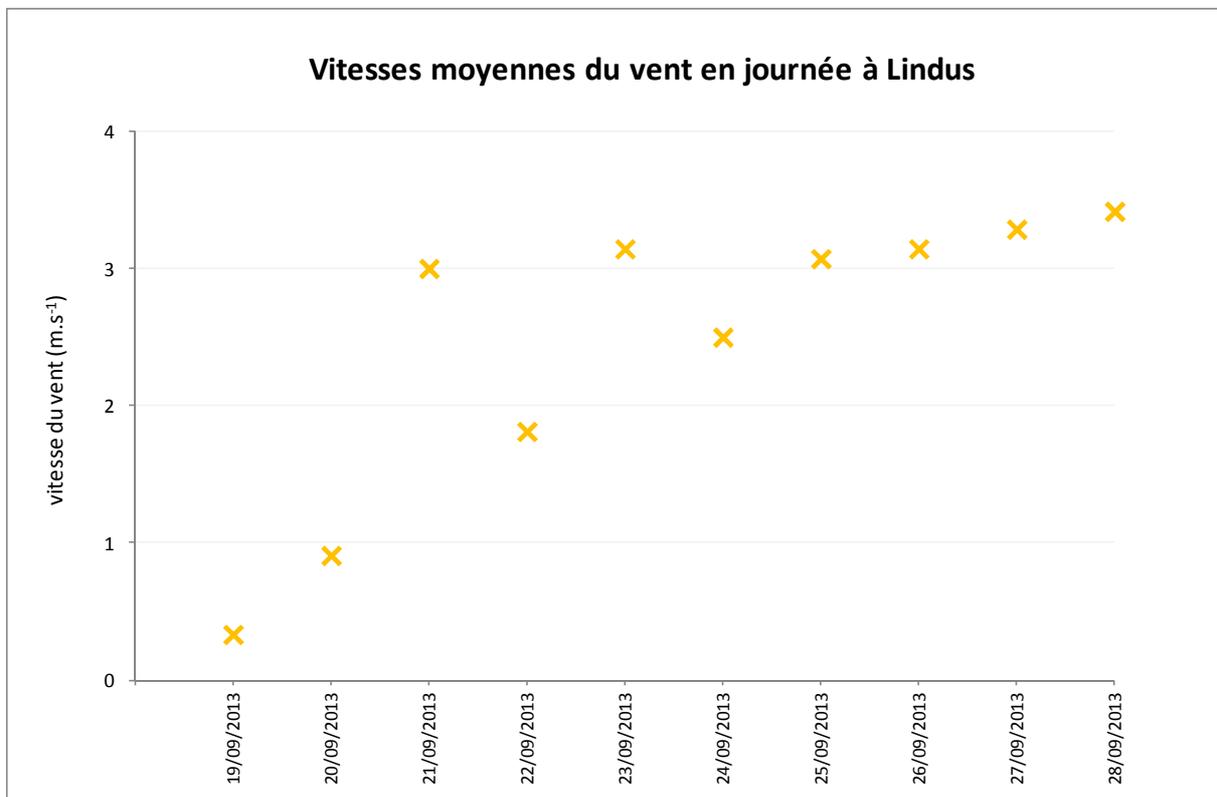


Figure 7. Vitesse du vent en journée à Lindus.

En journée, le vent a soufflé du nord du 19 au 21 septembre (très faiblement les 19 et 20 septembre), puis plus fortement du sud ou sud-est du 22 au 28 septembre (Fig. 6 et 7). Un extrait de l'échelle de Beaufort est présenté à la suite pour aider à se représenter les valeurs de la force du vent.

Tableau 3. Echelle de Beaufort pour référence incluant les vitesses de vent allant de 0 à 32,6 m.s⁻¹.

Nomenclature de l'échelle de Beaufort	Calme	Très légère brise	Légère brise	Petite brise	Jolie brise	Bonne brise	Vent frais	Grand frais	Coup de vent	Fort coup de vent	Tempête	Forte tempête
m.s ⁻¹	0-0,2	0,3-1,5	1,6-3,3	3,4-5,4	5,5-7,9	8,0-10,7	10,8-13,8	13,9-17,1	17,2-20,7	20,8-24,4	24,5-28,4	28,5-32,6

En moyenne journalière, la visibilité a été fortement réduite les 19 et 20 septembre, puis meilleure par la suite (Fig. 8). À partir du 21 septembre, la visibilité était généralement au plus bas au lever du jour, et une mer de nuage était par ailleurs en place au lever du jour les 21, 22, 23 et 25 septembre (Tab. 4a et 4b).

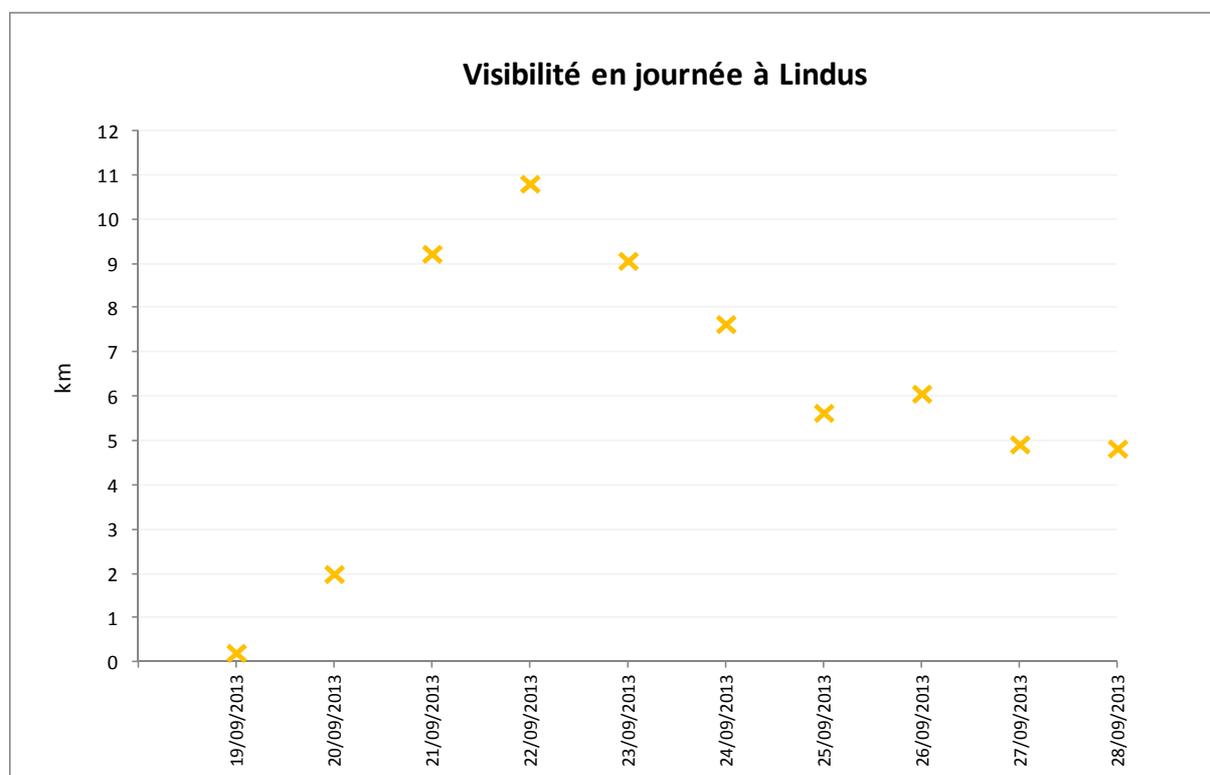


Figure 8. Visibilité en journée à Lindus.

Tableau 4a. Détail horaire des conditions météo (précipitations et visibilité) du 19 au 23 septembre 2013 à Lindus. Données enregistrées au sol, de jour, par les ornithologues de la LPO Aquitaine.

Date	Heure début	Indice		Commentaire météo
		pluviométrique	Visibilité	
19/09/13	6	+++	0	brouillard
19/09/13	7	+++	0	brouillard
19/09/13	8	+++	0	brouillard
19/09/13	9	+++	0	brouillard
19/09/13	10	+++	0	brouillard
19/09/13	11	+++	0	brouillard
19/09/13	12	+++	0	brouillard
19/09/13	13	+++	0	brouillard
19/09/13	14	-	2	
20/09/13	6	++	0	brouillard
20/09/13	7	++	0	brouillard
20/09/13	8	++	0	brouillard
20/09/13	9	++	0	brouillard
20/09/13	10	++	0	brouillard
20/09/13	11	++	0	brouillard
20/09/13	12	++	0	brouillard
20/09/13	13	++	0	brouillard
20/09/13	14	-	6	
20/09/13	15	-	10	
20/09/13	16	-	6	
21/09/13	5	-	1	mer de nuages 1/8
21/09/13	6	-	2	mer de nuages 2/8
21/09/13	7	-	4	mer de nuages 2/8
21/09/13	8	-	6	mer de nuages 2/8
21/09/13	9	+	6	mer de nuages 1/8 , brouillard
21/09/13	10	-	15	mer de nuages 1/8
21/09/13	11	-	20	
21/09/13	12	-	18	
21/09/13	13	-	15	
21/09/13	14	-	10	
21/09/13	15	-	10	
21/09/13	16	-	8	
21/09/13	17	-	5	
22/09/13	5	-	0	MER DE NUAGES 1/8 . 700M
22/09/13	6	-	1	MER DE NUAGES 1/8 . 700M
22/09/13	7	-	4	MER DE NUAGES 1/8 . 700M
22/09/13	8	-	8	
22/09/13	9	-	15	
22/09/13	10	-	18	
22/09/13	11	-	18	
22/09/13	12	-	18	
22/09/13	13	-	15	
22/09/13	14	-	15	
22/09/13	15	-	10	
22/09/13	16	-	8	
22/09/13	17	-	8	
22/09/13	18	-	2	
22/09/13	10	-	18	
22/09/13	14	-	15	
23/09/13	5	-	1	Mer de nuages 1/8 : à 700 m
23/09/13	6	-	1	Mer de nuages 1/8 : à 700 m
23/09/13	7	-	3	
23/09/13	8	-	4	
23/09/13	9	-	8	
23/09/13	10	-	15	
23/09/13	11	-	18	
23/09/13	12	-	18	
23/09/13	13	-	18	
23/09/13	14	-	15	
23/09/13	15	-	10	
23/09/13	16	-	8	
23/09/13	17	-	6	
23/09/13	18	-	2	

Tableau 4b. Détail horaire des conditions météo (précipitations et visibilité) du 24 au 28 septembre 2013 à Lindus. Données enregistrées au sol, de jour, par les ornithologues de la LPO Aquitaine.

Date	Heure début	Indice		Commentaire météo
		pluviométrique	Visibilité	
24/09/13	5	-	1	
24/09/13	6	-	1	
24/09/13	7	-	2	
24/09/13	8	-	6	
24/09/13	9	-	10	
24/09/13	10	-	10	
24/09/13	11	-	12	
24/09/13	12	-	15	
24/09/13	13	-	15	
24/09/13	14	-	15	
24/09/13	15	-	10	
24/09/13	16	-	6	
24/09/13	17	-	3	
24/09/13	18	-	1	
25/09/13	5	-	1	MER DE NUAGES 1/8 . 700M
25/09/13	6	-	1	MER DE NUAGES 1/8 . 700M
25/09/13	7	-	3	
25/09/13	8	-	3	
25/09/13	9	-	6	
25/09/13	10	-	8	
25/09/13	11	-	10	
25/09/13	12	-	12	
25/09/13	13	-	10	
25/09/13	14	-	8	
25/09/13	15	-	6	
25/09/13	16	-	6	
25/09/13	17	-	4	
25/09/13	18	-	1	
26/09/13	5	-	1	
26/09/13	6	-	1	
26/09/13	7	-	3	
26/09/13	8	-	5	
26/09/13	9	-	8	
26/09/13	10	-	10	
26/09/13	11	-	8	
26/09/13	12	-	10	
26/09/13	13	-	8	
26/09/13	14	-	8	
26/09/13	15	-	8	
26/09/13	16	-	8	
26/09/13	17	-	6	
26/09/13	18	-	1	
27/09/13	5	-	1	
27/09/13	6	-	1	
27/09/13	7	-	2	
27/09/13	8	-	3	
27/09/13	9	-	8	
27/09/13	10	-	8	
27/09/13	11	-	8	
27/09/13	12	-	8	
27/09/13	13	-	7	
27/09/13	14	-	7	
27/09/13	15	-	7	
27/09/13	16	-	5	
27/09/13	17	-	3	
27/09/13	18	-	1	
28/09/13	5	-	0	
28/09/13	6	-	0	
28/09/13	7	-	2	
28/09/13	8	-	4	
28/09/13	9	-	6	
28/09/13	10	-	8	
28/09/13	11	-	8	
28/09/13	12	-	8	
28/09/13	13	-	10	
28/09/13	14	-	12	
28/09/13	15	+++	0	ORAGE, pluie
28/09/13	16	+++	0	pluie

4.3. Directions de vol

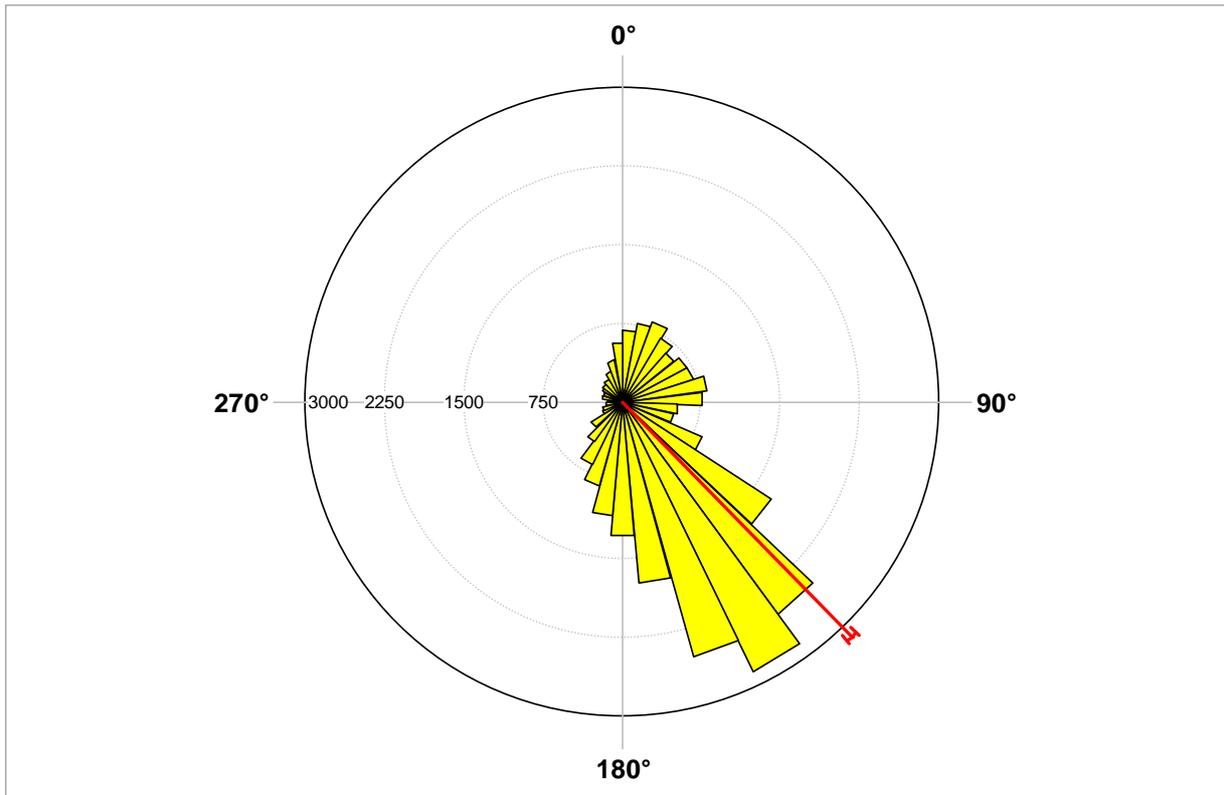


Figure 9. Directions de vol des cibles détectées de jour au radar à Lindus (moyenne=134°; écart-type circulaire=74°; Intervalle de Confiance 95%=135°/137°).

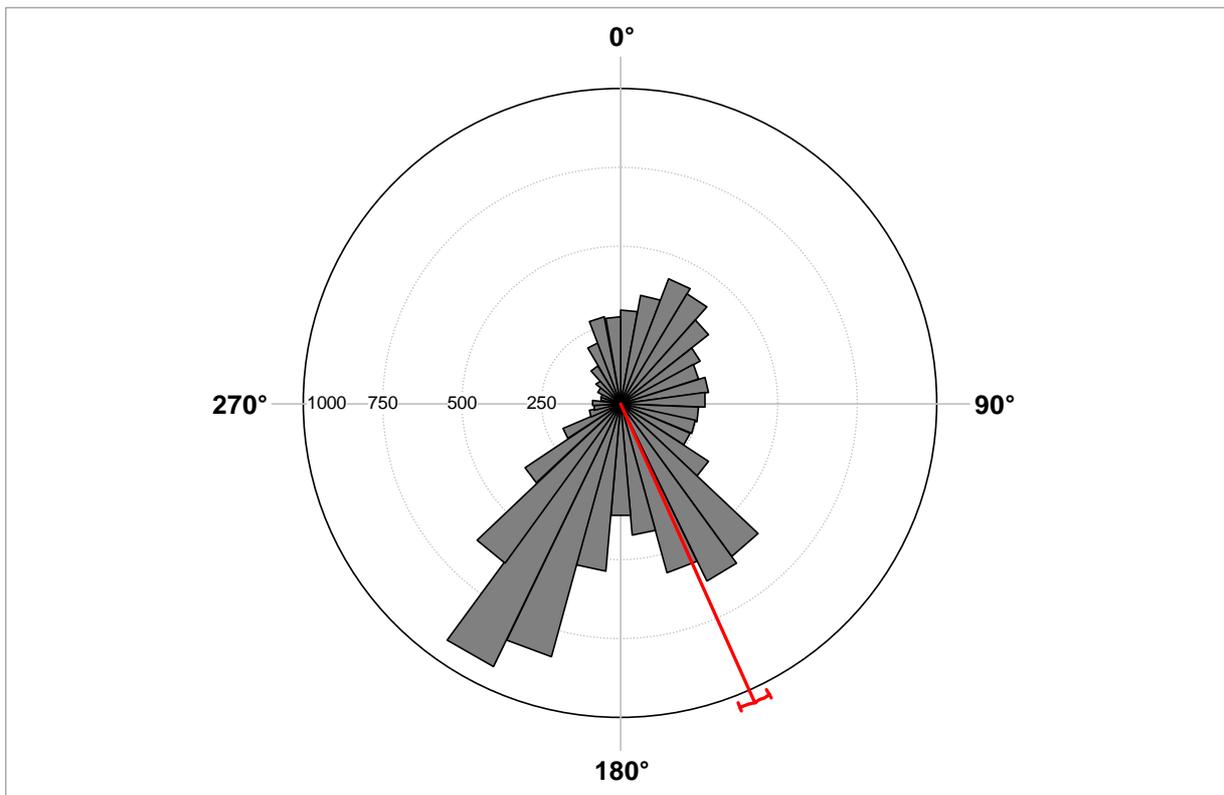


Figure 10. Directions de vol des cibles détectées de nuit au radar à Lindus (moyenne=156°; écart-type circulaire=94°; Intervalle de Confiance 95%=153°/159°).

À l'échelle continentale, le massif des Pyrénées contraint les oiseaux dans leurs déplacements migratoires et dévie leurs trajectoires vers les franges occidentales (Pays-Basque) et orientales (Catalogne). Plus localement, la topographie influence aussi les trajectoires des oiseaux s'étant engagés à l'intérieur du massif. C'est ce que suggèrent les diagrammes de directions de vol, au regard de la figure 11.

De jour (Fig. 9), une grande proportion des cibles a semblé longer le versant s'étirant à l'est du radar, et éviter le franchissement direct de la crête, visant plutôt le col situé à moins d'un kilomètre à l'est du radar, et qui offre un passage vers le sud.

De nuit, une proportion remarquable de cibles a eu aussi cette direction de vol (Fig. 10), mais une plus grande proportion encore a filé directement vers le sud-sud-ouest. Cette différence entre le jour et la nuit s'explique en partie par le fait que les altitudes de vol sont généralement plus élevées la nuit que le jour, et que les oiseaux en migration nocturne sont alors moins contraints par la topographie dans leurs déplacements. Cette hypothèse a uniquement du sens si la direction préférée par les oiseaux est effectivement le sud-sud-ouest.

De jour comme de nuit, une proportion significative de cibles a eu des directions opposées à la migration, et cette proportion est particulièrement remarquable la nuit. Ces mouvements de reflux ("rétro-migration") très rares en plaine agricole par exemple, sont fréquemment observés, de jour, sur les cols pyrénéens, les oiseaux s'engageant vers les crêtes puis faisant demi-tour avant de repartir vers le sud. Ces observations sont d'ailleurs consignées régulièrement dans les notes des spotteurs. Le franchissement d'obstacles est à l'origine de ce comportement (Bruderer & Liechti 1998; Hüppop et al. 2006), et nous l'avons également observé ce printemps à la Pointe de Grave juste avant la traversée de l'estuaire de la Gironde par les migrateurs pré-nuptiaux (Azimut, 2013). La présence d'une grande étendue d'eau et celle d'un relief marqué n'est certes pas la même chose, mais un large estuaire et un massif montagneux constituent des éléments du paysage qui rebutent les oiseaux, ou du moins compliquent leur progression en période de migration. Nous avons montré cette année sur un site en Limousin que ces comportements de reflux peuvent être accentués par les coups de feu provenant des postes de chasse situés sur les lieux de franchissement, qui sont des lieux où les oiseaux se concentrent, passent souvent à basse altitude et sont vulnérables (rapport confidentiel). Ces observations de cibles en "rétro-migration" concernent bien sûr les oiseaux migrateurs, mais les mouvements d'oiseaux locaux sont aussi à prendre en compte, et notamment ceux des vautours qui ont pu contribuer à ces trajectoires orientées du nord à l'est.

On peut noter également le peu de trajectoires orientées à l'ouest, azimut barré par la crête orientée nord/sud, sur laquelle le radar était installé. Les moyennes de direction de vol sont

mentionnées en légende des figures 9 et 10, mais pour la nuit, la moyenne est peu représentative de l'échantillon et sa signification biologique est peu probante.

4.4. Activité de vol

Sur un cycle de 24 heures (Fig. 12), deux vagues de migration distinctes ont été observées à Lindus : une première vague diurne dont l'intensité augmente très fortement environ 4 heures après le lever du jour et se maintient à des niveaux élevés jusqu'en fin d'après-midi, et une vague nocturne qui apparaît soudainement à la tombée de la nuit, puis diminue jusqu'à atteindre des niveaux assez faibles la seconde moitié de la nuit.

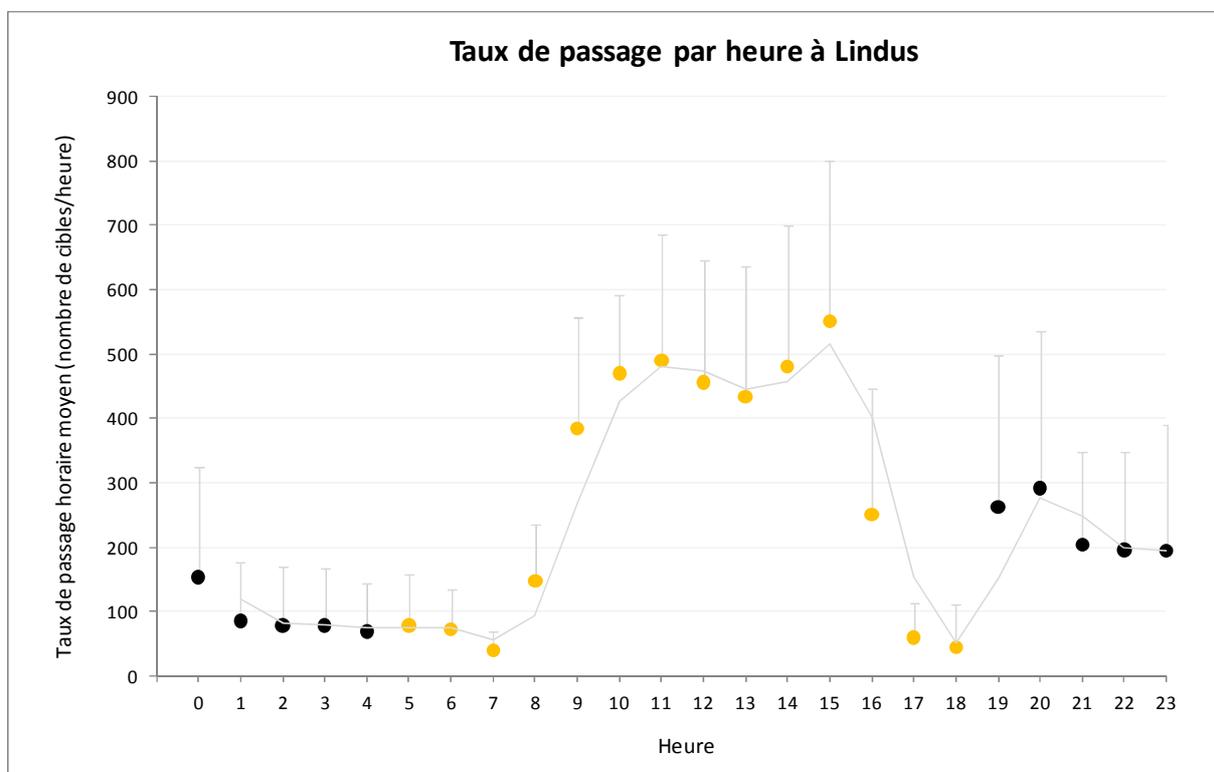


Figure 12. Taux de passage horaire moyen par heure des cibles détectées au radar à Lindus. Comme pour le reste du rapport, les heures sont exprimés en UTC. Le zénith solaire est à 11:57 le 20/09/2013.

Cette représentation de l'activité de vol par heure montre bien l'importance de la migration diurne à Lindus pendant les dates d'étude. L'interprétation de la figure 12 doit aussi tenir compte du fait qu'une grande proportion des migrateurs n'a pas été détectée par le radar, à savoir les oiseaux provenant de la vallée en contrebas et passant le col à très basse altitude. Ce biais s'applique aussi aux données de Lizarieta, et il constitue un biais habituel en zone de montagne en période de migration. Les oiseaux provenant de la vallée en contrebas ne sont pas détectés car le volume d'étude radar s'arrête approximativement à l'altitude du radar, et les oiseaux passant le col à très basse altitude ne sont pas détectés car le franchissement du col se fait à une petite distance du

radar, et que ce dernier génère une couronne d'environ 200 mètres de rayon, saturée d'énergie, à l'intérieure de laquelle toute détection est impossible. La présence de cette couronne est une limite intrinsèque à la technologie radar, et sa dimension croît avec la puissance du radar. Ce biais doit être pris en compte car il implique une possible déformation de la courbe de tendance de la figure 12, notamment en minimisant l'intensité de l'activité de vol aux toutes premières heures du jour, lorsque les migrateurs diurnes reprennent leur activité et sont en phase ascendante. Ce biais conduit donc potentiellement à une sous-estimation de l'activité de vol aux premières heures du jour, et il pourrait se traduire par un retard de l'augmentation observée de l'activité de vol. Si c'était le cas, la forte augmentation de l'activité de vol observée à l'heure 9 pourrait en réalité avoir lieu aux heures 8, 7, 6, voire même 5. Ce biais n'épargne pas le reste de la journée, surtout lorsqu'un vent contraire à la migration force les oiseaux vers le sol, et/ou qu'un grand nombre d'oiseaux vient du bas des vallées ou des plaines en amont, et franchit les reliefs à très basse altitude. Ces oiseaux sont d'ailleurs ceux qui sont observés avec le plus de facilité par les observateurs postés sur les cols, et qui témoignent parfois d'un flux ininterrompu. Les altitudes de vol étant dans l'ensemble plus élevées de nuit, ce biais serait en théorie moins prononcé de nuit. L'étude des hauteurs de vol, et la comparaison des données radars avec des dénombrements de passereaux depuis le sol en visuel permettrait de vérifier cette hypothèse.

L'activité de vol par date mesurée au radar reflète à nouveau une prépondérance de l'activité de migration diurne, mais aussi une plus grande variabilité entre les nuits que entre les jours (Fig. 13).

Il est à noter que la pression d'échantillonnage n'est pas homogène entre les dates, ce qui altère potentiellement la qualité de l'échantillonnage, sa représentativité, et introduit un biais invitant à une certaine prudence dans l'interprétation de la figure 13. Si ce biais affecte peu la figure 12, il doit en revanche être pris en compte ici dès lors que des périodes allant jusqu'à plusieurs heures ont été supprimées de l'analyse, à des dates et pas à d'autres. Ces périodes sans données correspondent soit à des périodes sans collecte de données (le radar s'est arrêté dans la nuit du 20/09 au 21/09 car il n'était plus alimenté en électricité, ce qui explique l'absence de données à la figure 12), soit à des périodes de pluie (la pluie a saturé les écrans le 19/09, le 20/09 et le 27/09 pendant des durées variables), soit à des périodes pendant lesquelles la présence du plancton aérien était si importante qu'elle saturait l'écran (le plancton aérien a pollué la collecte de données le 22/09 et le 24/09 en après-midi, et même au-delà des heures supprimées de l'analyse, et il a pu par ailleurs réduire la capacité de détection des oiseaux à ces dates, de jour). Voir à ce sujet Cabrera-Cruz *et al.* (2013), Gorham (2013), Larkin (1991), Reynolds (2013), Reynolds *et al.* (2007) et Ridley et Smith (2002).

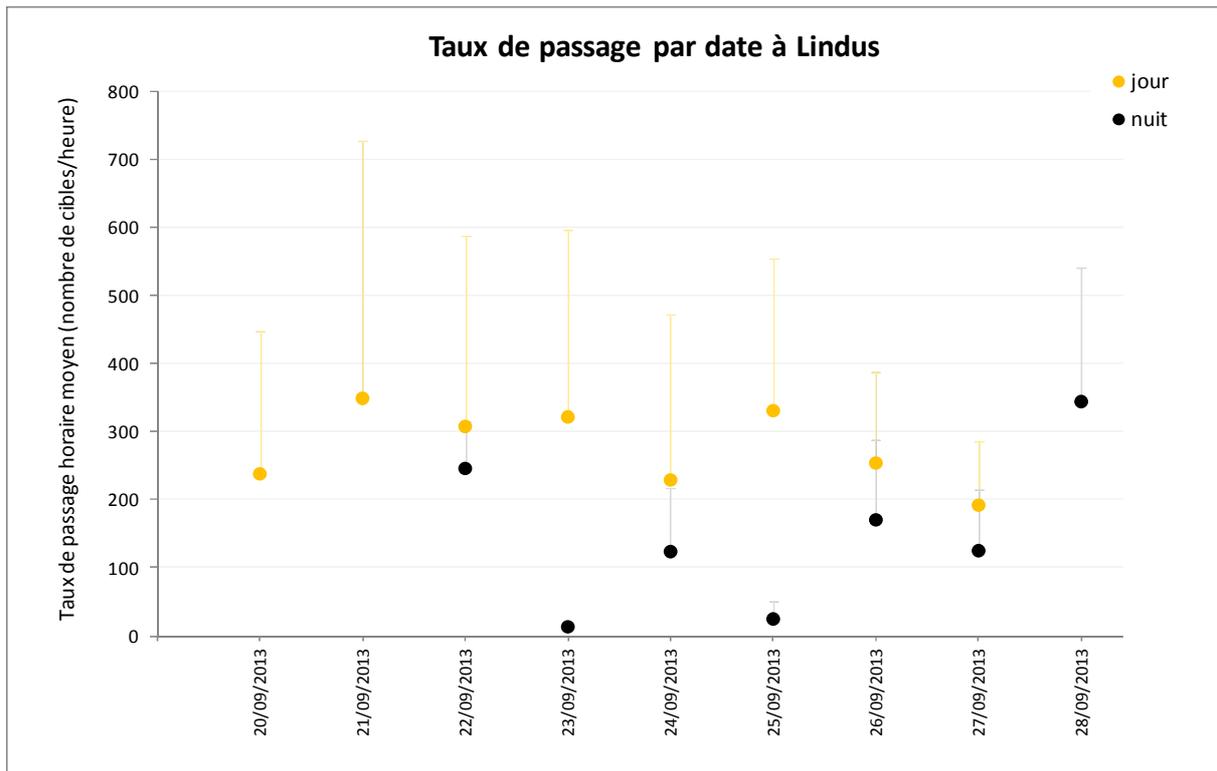


Figure 13. Taux de passage horaires moyens par date des cibles détectées par radar à Lindus. Pour les nuits, la date de la seconde moitié de la nuit compte pour toute la nuit (la nuit du 22/09 sur la figure correspond à la nuit du 21 au 22/09).

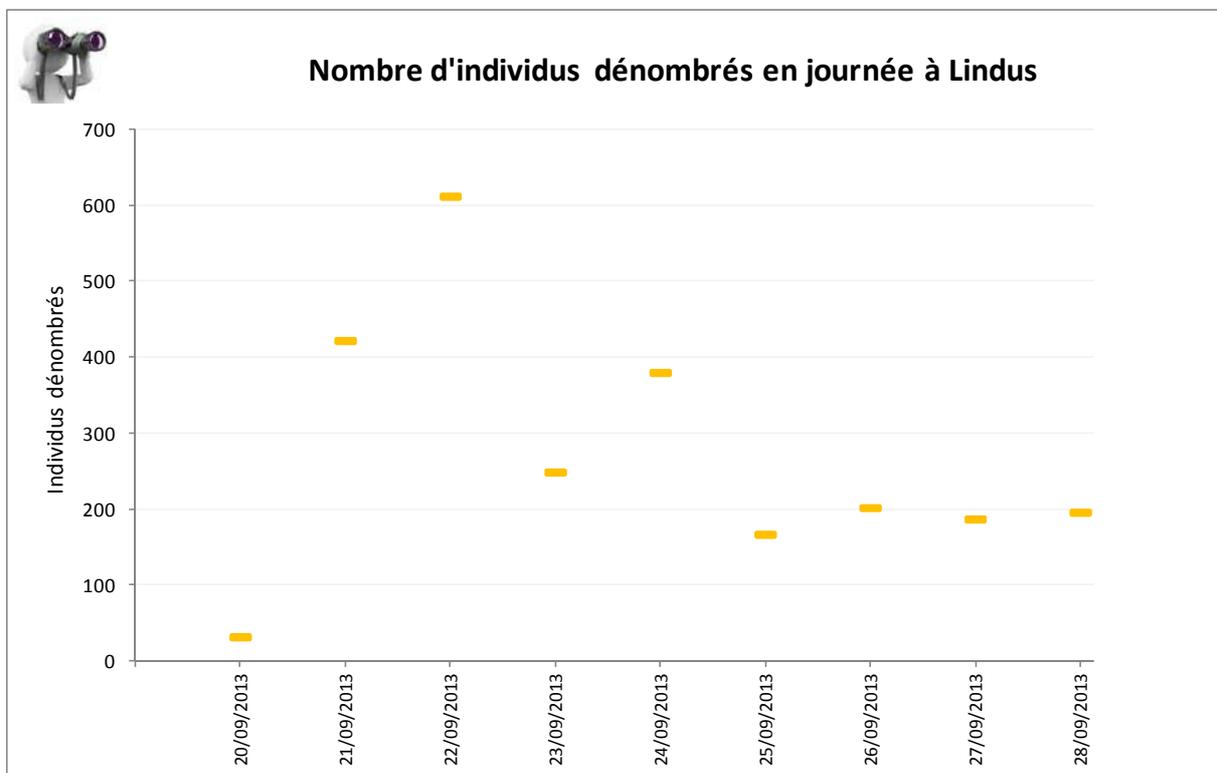


Figure 14. Dénombrements des observations visuelles par date à Lindus.

La variabilité de l'activité nocturne est une observation courante en période de migration, et elle est généralement une conséquence de la variabilité des conditions météorologiques. Ici, les relevés météo réalisés de jour à Lindus n'offrent pas d'explications évidentes à cette variabilité de l'activité de vol. Nous nous limiterons donc à un constat, qui a au moins l'intérêt de montrer combien la durée d'échantillonnage peut influencer les résultats d'une étude radar, et combien la mise en place d'un suivi sur une longue durée est importante dans la prise en compte de la variabilité intra-annuelle de l'activité de migration. Cette variabilité montre aussi que sur des périodes courtes, comme ici avec 7 nuits par exemple, le fait de se référer à des moyennes n'est pas toujours pertinent.

La comparaison des données radar avec les données d'observation visuelle (Fig. 14) montre peu de similitude dans les tendances de l'activité de vol, ce qui suggère que les deux méthodes mesurent des choses différentes, avec des biais différents.

Premièrement, le radar détecte dans son volume d'étude tout objet volant, quelle que soit sa taille, tandis que volontairement les spotteurs ne dénombrent pas les passereaux, extrêmement abondants, et concentrent leur effort d'observation sur les espèces de plus grande taille (Tab. 5).

Ensuite, on l'a vu précédemment, les données radar n'incluent pas les oiseaux provenant du fond de la vallée et passant le col à très basse altitude, tandis que les observateurs n'ont a priori pas de difficulté à les détecter.

Par ailleurs, le volume d'étude du radar et celui d'un observateur expérimenté sont différents. La plupart des spotteurs présents à Lindus et Lizarrieta ont d'excellentes capacités de détection et d'identification. Malgré tout, la capacité de détection d'un humain, aussi compétent et efficace soit-il, diminue avec la distance, et dépend de la luminosité, du couvert nuageux, de l'abondance et de la taille des oiseaux, mais aussi de son état de fatigue et de sa concentration. La capacité d'identification du radar est mauvaise, mais la probabilité de détection est invariable, et relativement constante jusqu'à 1,5 km de distance. A titre d'exemple, sur un site de migration de rapaces en postnuptiale aux Etats-Unis, sur 10 cibles détectées au radar, environ 1 cible était détectée par une équipe de 4 observateurs expérimentés aidés par l'opérateur radar qui leur indiquait pourtant la position des cibles dans le ciel (comm. pers., rapport confidentiel 2008). Autre exemple, sur un site français de migration de passereaux en postnuptiale, près de 100% des détections visuelles ont eu lieu à moins de 200 mètres de hauteur (moyenne = 35 m), alors que la moyenne des hauteurs de vol mesurée au radar était proche de 350 mètres (comm. pers., rapport confidentiel 2013).

Enfin, l'unité du radar est la cible, tandis que pour le spotteur, l'unité est l'individu (un oiseau en principe). Or la cible du radar peut être constituée d'un individu isolé, ou de plusieurs individus formant un groupe suffisamment compact pour générer un seul écho sur l'écran. Cette différence est fondamentale dans le cas où les espèces étudiées sont des espèces grégaires, migrant en groupe, comme les pigeons par exemples, la Cigogne blanche, ou le Grand cormoran, ce qui a été le cas à Lindus et Lizarrieta. En aucun cas les valeurs provenant d'unités différentes ne peuvent être comparées, mais au-delà de cette évidence, il est important de comprendre ces différences pour interpréter le plus justement les données radar et comprendre la manière dont elles enrichissent nos connaissances sur les oiseaux.

Tableau 5. Espèces et effectifs observés par les spotteurs à Lindus du 20 au 27 septembre 2013 (données LPO Aquitaine).

Nom vernaculaire	Nom latin	effectifs cumulés
Aigle botté	<i>Hieraetus pennatus</i>	41
Aigle royal	<i>Aquila chrysaetos</i>	10
Autour des palombes	<i>Accipiter gentilis</i>	1
Balbusard pêcheur	<i>Pandion haliaetus</i>	38
Bergeronnette grise	<i>Motacilla alba</i>	1
Bondrée apivore	<i>Pernis apivorus</i>	32
Busard cendré	<i>Circus pygargus</i>	2
Busard des roseaux	<i>Circus aeruginosus</i>	170
Busard pâle	<i>Circus macrourus</i>	1
Busard Saint-Martin	<i>Circus cyaneus</i>	14
Buse variable	<i>Buteo buteo</i>	28
Cigogne blanche	<i>Ciconia ciconia</i>	151
Cigogne noire	<i>Ciconia nigra</i>	227
Circaète Jean-le-Blanc	<i>Circaetus gallicus</i>	92
Epervier d'Europe	<i>Accipiter nisus</i>	155
Epervier ou Autour	<i>Accipiter sp.</i>	1
Faucon crécerelle	<i>Falco tinnunculus</i>	97
Faucon hobereau	<i>Falco subbuteo</i>	35
Faucon indéterminé	<i>Falco sp.</i>	3
Faucon pèlerin	<i>Falco peregrinus</i>	5
Grand Cormoran	<i>Phalacrocorax carbo</i>	580
Guêpier d'Europe	<i>Merops apiaster</i>	15
Gypaète barbu	<i>Gypaetus barbatus</i>	13
Héron cendré	<i>Ardea cinerea</i>	23
Loriot d'Europe	<i>Oriolus oriolus</i>	1
Milan noir	<i>Milvus migrans</i>	34
Milan royal	<i>Milvus milvus</i>	282
Pigeon colombin	<i>Columba oenas</i>	179
Rapace indéterminé	<i>Falconiformes sp.</i>	2
Vautour fauve	<i>Gyps fulvus</i>	8
Vautour percnoptère	<i>Neophron percnopterus</i>	2

LIZARRIETA

5. RÉSULTATS

5.1. Contraintes environnementales

Sur le col de Lizarrieta, encore plus qu'à Lindus, les possibilités pour l'installation de la station sont limitées. Les conditions météorologiques lors de l'installation du radar ont été beaucoup plus favorables qu'à Lindus, et même idéales, ce qui a permis de calibrer le radar de façon optimum, que ce soit en ajustant l'angle d'émission de l'antenne, ou en choisissant dans les logiciels les paramètres les plus adaptés. Pour autant, Ibanteli, le relief juste au nord du radar a généré une zone d'ombre à l'intérieure de laquelle les détections étaient limitées, voire impossibles. Le site a généré d'autres zones d'ombre, mais de dimensions plus petites, et dans l'ensemble le volume d'étude est satisfaisant. Du fait de ces zones d'ombre, et du paramétrage propre à chaque site, les valeurs des taux de passage de Lindus et de Lizarrieta ne sont pas comparables. Par ailleurs, les mêmes contraintes qu'à Lindus s'appliquent à Lizarrieta au sujet de la faible détection des cibles arrivant du bas de la vallée et franchissant le col à très basse altitude.

La fréquentation humaine du site ne pose pas de problème particulier au fonctionnement du radar. Il est toutefois préférable qu'une personne reste à proximité du véhicule la nuit pour réduire les risques de vol et de vandalisme. En journée, cet emplacement est idéal pour communiquer avec le public, le radar attirant fortement l'attention des visiteurs et suscitant toutes les curiosités.

5.2. Conditions météorologiques

Les précipitations ont perturbé assez fortement la collecte des données tout au long de l'étude, notamment le 28/10 (jour et nuit), le 29/10 (jour et nuit), le 30/10 (nuit du 29 au 30/10), et du 1/10 au 4/10 inclus (jour et nuit). Il en résulte un échantillonnage haché par des interruptions de données.

Le vent a soufflé d'ouest jusqu'au 29/10, puis du nord-est les 30/10 et 31/10, et du sud-ouest du 1/11 au 3/11 (Fig. 15). La moyenne journalière des vitesses de vent a été variable (Fig. 16). Notons que les valeurs représentées sont des moyennes journalières calculées à partir de moyennes, elles-mêmes calculées sur des pas de temps de 10 minutes, ce qui a pour effet de lisser les calculs et minimiser la force du vent. Un extrait de l'échelle de Beaufort est présenté au tableau 6 pour aider à se représenter les valeurs de la force du vent.

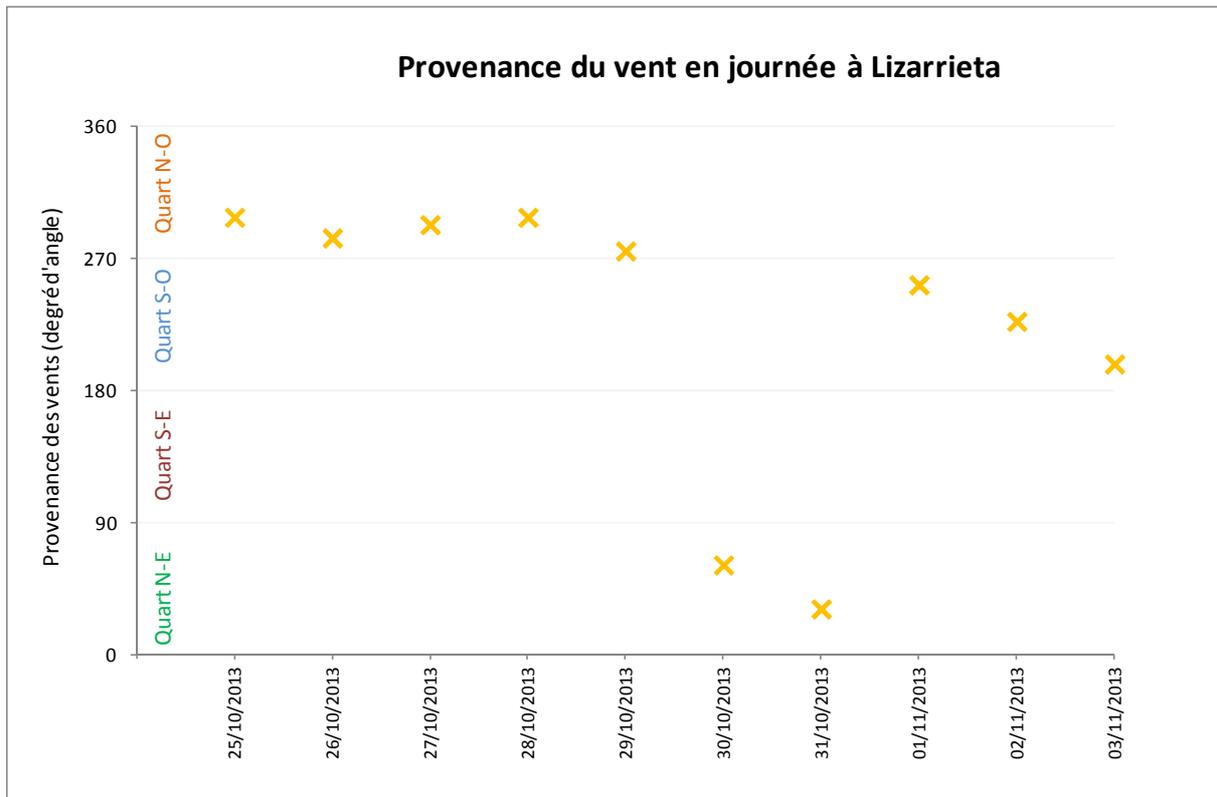


Figure 15. Provenance du vent en journée à Lizarrieta.

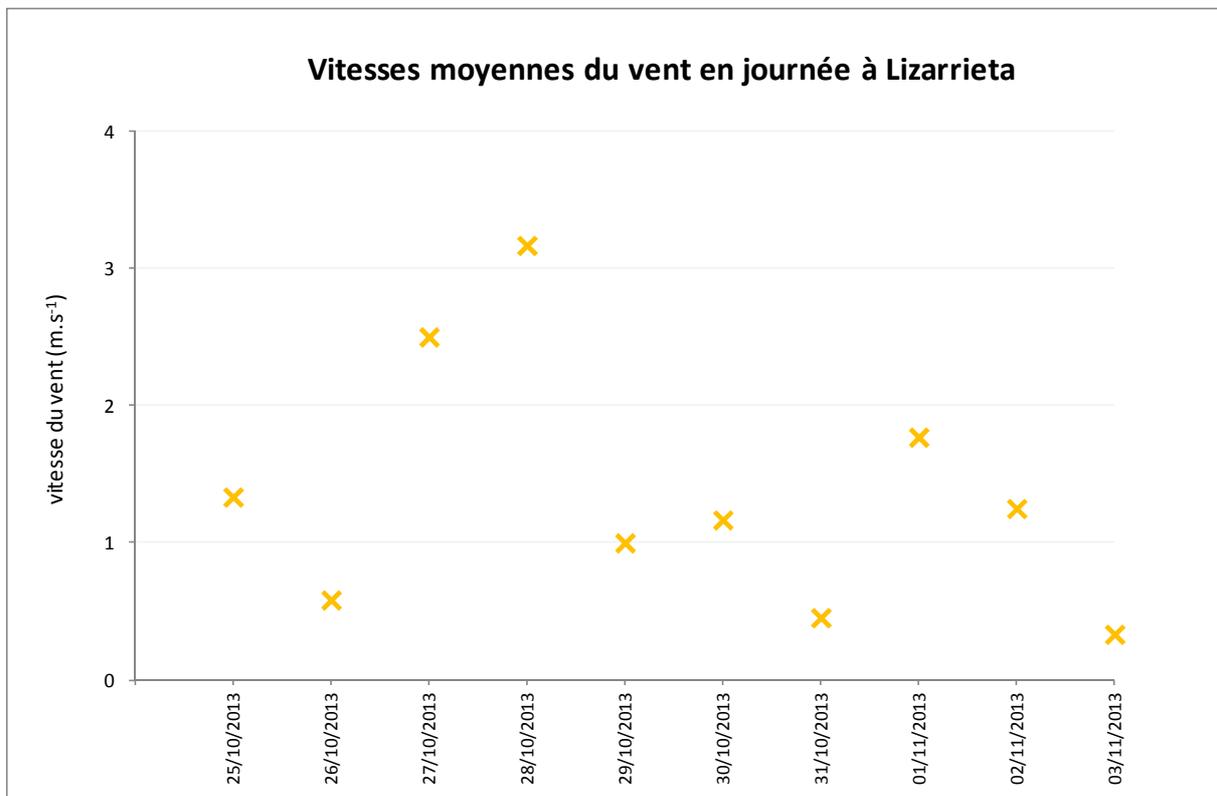


Figure 16. Vitesse du vent en journée à Lizarrieta.

Tableau 6. Echelle de Beaufort pour référence incluant les vitesses de vent allant de 0 à 32,6 m.s⁻¹.

Nomenclature de l'échelle de Beaufort	Calmé	Très légère brise	Légère brise	Petite brise	Jolie brise	Bonne brise	Vent frais	Grand frais	Coup de vent	Fort coup de vent	Tempête	Forte tempête
m.s ⁻¹	0-0,2	0,3-1,5	1,6-3,3	3,4-5,4	5,5-7,9	8,0-10,7	10,8-13,8	13,9-17,1	17,2-20,7	20,8-24,4	24,5-28,4	28,5-32,6

La visibilité moyenne aussi a été très variable entre les différentes dates, de jour (Fig. 17). Cette représentation de la visibilité par des moyennes journalières ne tient pas bien compte de la variabilité journalière, et notamment de la présence de brouillard au lever du jour les 30/10 et 31/10, et de la visibilité souvent réduite aux premières heures du jour. Les tableaux 7a et 7b apportent ce complément d'information avec plus de détail.

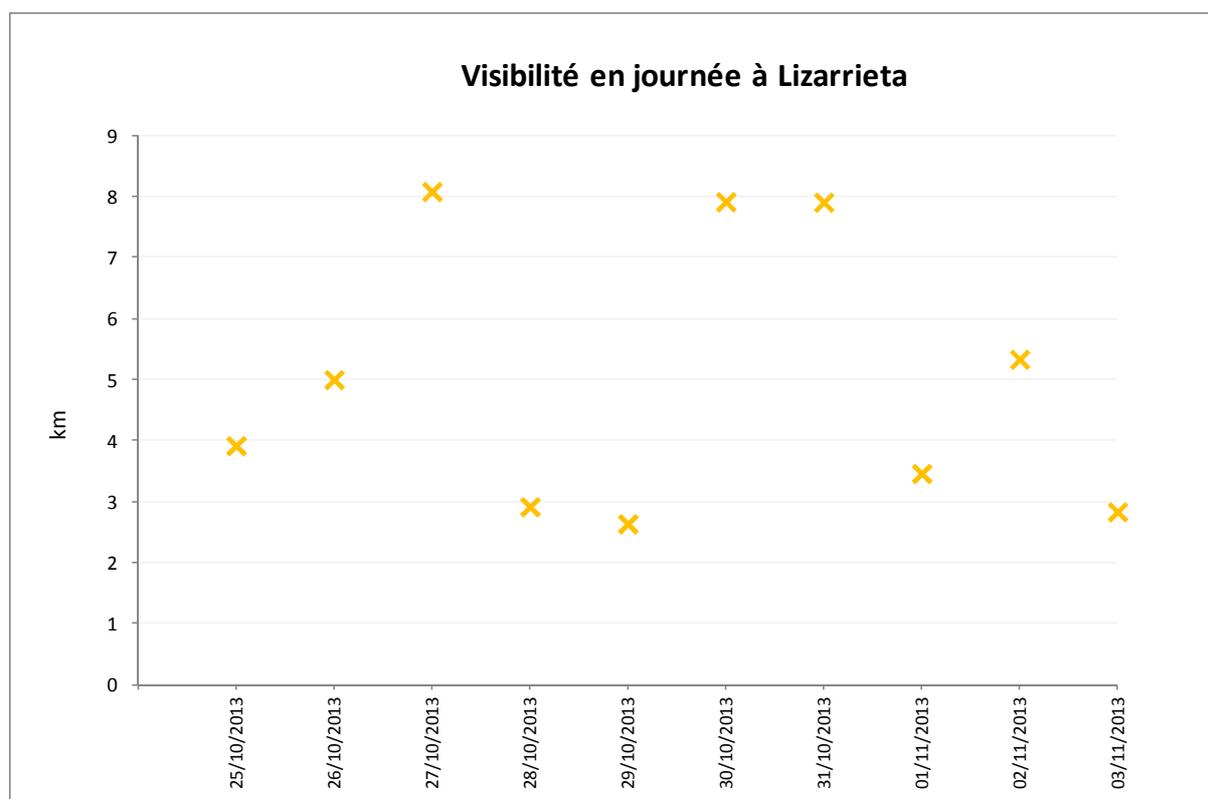


Figure 17. Visibilité en journée à Lizarrieta.

Tableau 7a. Détail horaire des conditions météo (précipitations et visibilité) du 25 au 29 octobre 2013 à Lizarrieta.

Date	Heure début	Indice pluviométrique	Visibilité	Commentaire météo
25/10/13	6	-	1	
25/10/13	7	-	2	
25/10/13	8	-	4	
25/10/13	9	-	4	
25/10/13	10	-	4	
25/10/13	11	-	5	
25/10/13	12	-	5	
25/10/13	13	-	5	
25/10/13	14	-	10	
25/10/13	15	++	2	averse
25/10/13	16	+	4	averse
25/10/13	17	-	1	
26/10/13	6	+	2	pluie, Vent du Sud
26/10/13	7	+	2	pluie, Vent du Sud
26/10/13	8	-	4	Vent du Sud
26/10/13	9	-	4	Vent du Sud
26/10/13	10	-	8	Vent du Sud
26/10/13	11	-	6	Vent du Sud
26/10/13	12	+	6	pluie, Vent du Sud
26/10/13	13	-	6	Vent du Sud
26/10/13	14	-	4	Vent du Sud
26/10/13	15	-	4	Vent du Sud
26/10/13	16	-	10	Vent du Sud
26/10/13	17	-	4	Vent du Sud
27/10/13	6	-	1	Vent du Sud jusqu'en milieu de journée
27/10/13	7	-	4	Vent du Sud jusqu'en milieu de journée
27/10/13	8	-	8	Vent du Sud jusqu'en milieu de journée
27/10/13	9	-	10	Vent du Sud jusqu'en milieu de journée
27/10/13	10	-	10	Vent du Sud jusqu'en milieu de journée
27/10/13	11	-	10	Vent du Sud jusqu'en milieu de journée
27/10/13	12	-	10	Vent du Sud jusqu'en milieu de journée
27/10/13	13	-	8	Vent du Sud jusqu'en milieu de journée
27/10/13	14	-	8	Vent du Sud jusqu'en milieu de journée
27/10/13	15	-	8	Vent du Sud jusqu'en milieu de journée
27/10/13	16	-	10	Vent du Sud jusqu'en milieu de journée
27/10/13	17	-	10	Vent du Sud jusqu'en milieu de journée
28/10/13	5	-	1	Vent du Sud
28/10/13	6	-	1	Vent du Sud
28/10/13	7	-	4	Vent du Sud
28/10/13	8	-	4	Vent du Sud
28/10/13	9	-	10	Vent du Sud
28/10/13	10	+	4	pluie, Vent du Sud
28/10/13	11	+	4	averse, Vent du Sud
28/10/13	12	+	2	averse, Vent du Sud
28/10/13	13	++	2	averse, Vent du Sud
28/10/13	14	++	1	brouillard, Vent du Sud
28/10/13	15	+++	1	brouillard, Vent du Sud
28/10/13	16	++	1	brouillard, Vent du Sud
29/10/13	6	-	1	
29/10/13	7	-	2	
29/10/13	8	-	2	
29/10/13	9	+	2	Pluie de 9h30 à 14h10
29/10/13	10	++	1	Pluie de 9h30 à 14h10
29/10/13	11	++	2	Pluie de 9h30 à 14h10
29/10/13	12	++	2	Pluie de 9h30 à 14h10
29/10/13	13	+	8	Pluie de 9h30 à 14h10
29/10/13	14	+	4	Pluie de 9h30 à 14h10
29/10/13	15	+	4	Pluie de 15h05 à 15h35
29/10/13	16	++	1	Pluie de 16h10 à la fin.

Tableau 7b. Détail horaire des conditions météo (précipitations et visibilité) du 30 octobre au 3 novembre 2013 à Lizarrieta.

Date	Heure début	Indice pluviométrique	Visibilité	Commentaire météo
30/10/13	6	-	1	Mer de nuage 1/8 à 0m
30/10/13	7	-	4	Mer de nuage 1/8 à 0m
30/10/13	8	-	10	Mer de nuage 1/8 à 0m
30/10/13	9	-	10	Mer de nuage 1/8 à 0m
30/10/13	10	-	10	
30/10/13	11	-	10	
30/10/13	12	-	10	
30/10/13	13	-	10	
30/10/13	14	-	10	
30/10/13	15	-	6	
30/10/13	16	-	10	
30/10/13	17	-	4	
31/10/13	6	-	1	Mer de nuage 1/8 à 0m.
31/10/13	7	-	2	Mer de nuage 1/8 à 0m.
31/10/13	8	-	8	
31/10/13	9	-	10	Mer de nuage 1/8 à 0m
31/10/13	10	-	10	
31/10/13	11	-	10	
31/10/13	12	-	10	
31/10/13	13	-	10	
31/10/13	14	-	10	
31/10/13	15	-	8	
31/10/13	16	-	8	
01/11/13	5	-	0	
01/11/13	6	-	0	
01/11/13	7	-	2	
01/11/13	8	-	2	
01/11/13	9	-	6	
01/11/13	10	-	6	
01/11/13	11	-	6	
01/11/13	12	-	6	
01/11/13	13	-	6	
01/11/13	14	++	4	pluie
01/11/13	15	+	3	pluie
01/11/13	16	++	2	pluie
01/11/13	17	-	2	
02/11/13	6	-	0	
02/11/13	7	+	2	pluie
02/11/13	8	-	4	
02/11/13	9	-	6	
02/11/13	10	-	6	
02/11/13	11	-	8	
02/11/13	12	-	8	
02/11/13	13	-	10	
02/11/13	14	+	8	pluie
02/11/13	15	-	6	
02/11/13	16	-	4	
02/11/13	17	-	2	
03/11/13	6	++	0	pluie, Début pluie 6h00, jusqu'à 10h00
03/11/13	7	+++	0	brouillard
03/11/13	8	++	1	brouillard, mer de nuage 1/8 à 0m
03/11/13	9	+	1	brouillard
03/11/13	10	+	2	brouillard
03/11/13	11	-	4	
03/11/13	12	+	4	averse
03/11/13	13	-	4	Début de la pluie à 13h15
03/11/13	14	-	4	
03/11/13	15	-	6	
03/11/13	16	-	6	
03/11/13	17	-	2	

5.3. Directions de vol

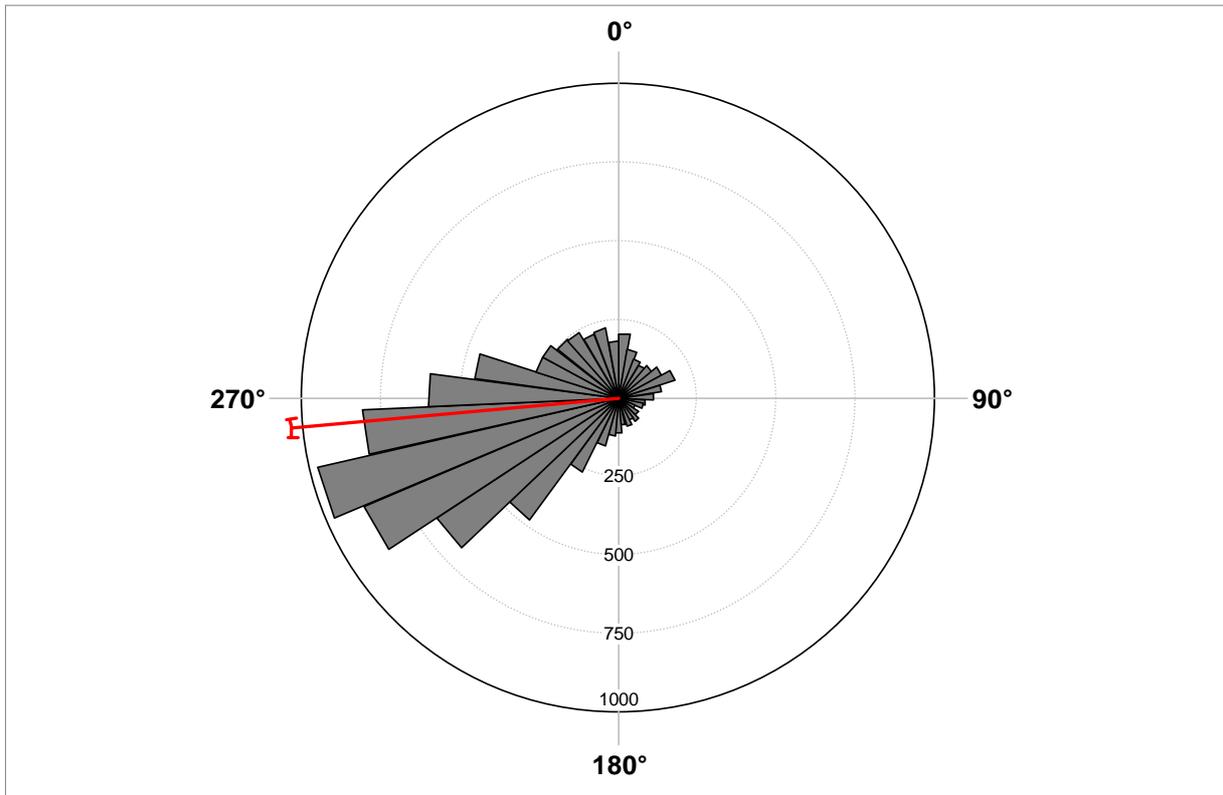


Figure 18. Directions de vol des cibles détectées de nuit au radar à Lizarrieta (moyenne=265°; écart-type circulaire=70°; Intervalle de Confiance 95%=263°/266°).

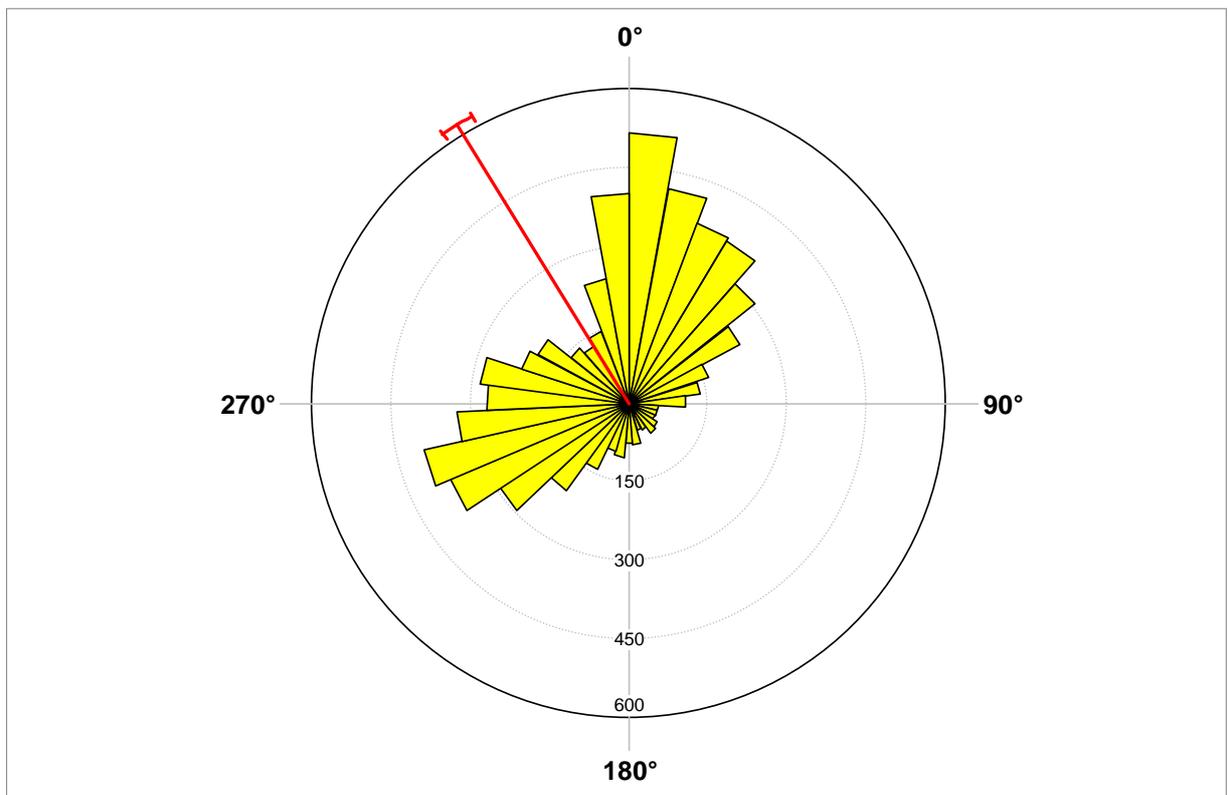


Figure 19. Directions de vol des cibles détectées de jour au radar à Lizarrieta (moyenne=328°; écart-type circulaire=88°; Intervalle de Confiance 95%=325°/331°).

Les directions de vol ont varié fortement entre le jour et la nuit, mais dans les deux cas elles ont été largement influencées par la topographie, et les vallées pénétrant le massif d'est en ouest (Fig. 17 et 18).

De nuit, la grande majorité des cibles se sont déplacées vers l'ouest-sud-ouest, apparemment contraintes dans leurs déplacements par le relief (Fig. 18 à comparer avec la carte topographique de la figure 4). La moyenne de 265° est assez représentative des directions de vol empruntées par les cibles de l'échantillon. Contrairement à ce qui a été observé précédemment à Lindus, les trajectoires pouvant être assimilées à de la "rétro-migration" sont peu représentées, ce qui reflète une activité de vol nettement dominée par les migrateurs, et de francs comportements de traversée du col.

De jour en revanche, l'allure du diagramme circulaire est très différente (Fig. 19). Les trajectoires orientées à l'ouest-sud-ouest se détachent toujours nettement, mais une grande proportion de cibles s'est aussi déplacée dans le sens inverse de la migration. Cette division des directions de vol en deux secteurs quasiment opposés génère une moyenne qui ne reflète pas la réalité. Au moins trois éléments peuvent expliquer cette distribution des directions de vol, tout à fait atypiques en période de migration : 1) la "rétro-migration" des oiseaux hésitant à passer le col en raison du relief perçu comme un obstacle au franchissement ; 2) l'activité d'oiseaux locaux comme les vautours à condition que ceux-ci privilégient une direction de vol orientée au nord-nord-est, ce qui semble assez peu probable ; et 3) une "rétro-migration" accentuée par les incessantes détonations provenant des postes de chasse situés sur les crêtes et qui, pendant la journée, sont susceptibles de provoquer des demi-tour chez les oiseaux. S'il ne s'agit ici que d'une hypothèse, ce phénomène a été documenté sur d'autres sites d'étude ayant des configurations comparables (comm. pers., rapport confidentiel 2013).

5.4. Activité de vol

A la différence de Lindus un mois plus tôt, l'activité de vol a été plus élevée de nuit que de jour (Fig. 20 et 21), ce qui correspond à une observation courant en période de migration (Alerstam 2009 ; Newton 2007). Sur un cycle de 24 heures, les deux "vagues" de migration sont là encore bien visibles mais elle diffèrent quelque peu de Lindus: la vague de jour n'a pas connu une forte augmentation aux premières heures du jour et son intensité est restée assez constante, tandis que la vague nocturne a commencé soudainement à l'heure 18 (voire un peu avant), son intensité a été irrégulière au cours des heures suivantes mais a augmenté dans la seconde moitié de la nuit jusqu'au lever du jour, où elle a chuté brutalement (Fig. 20).

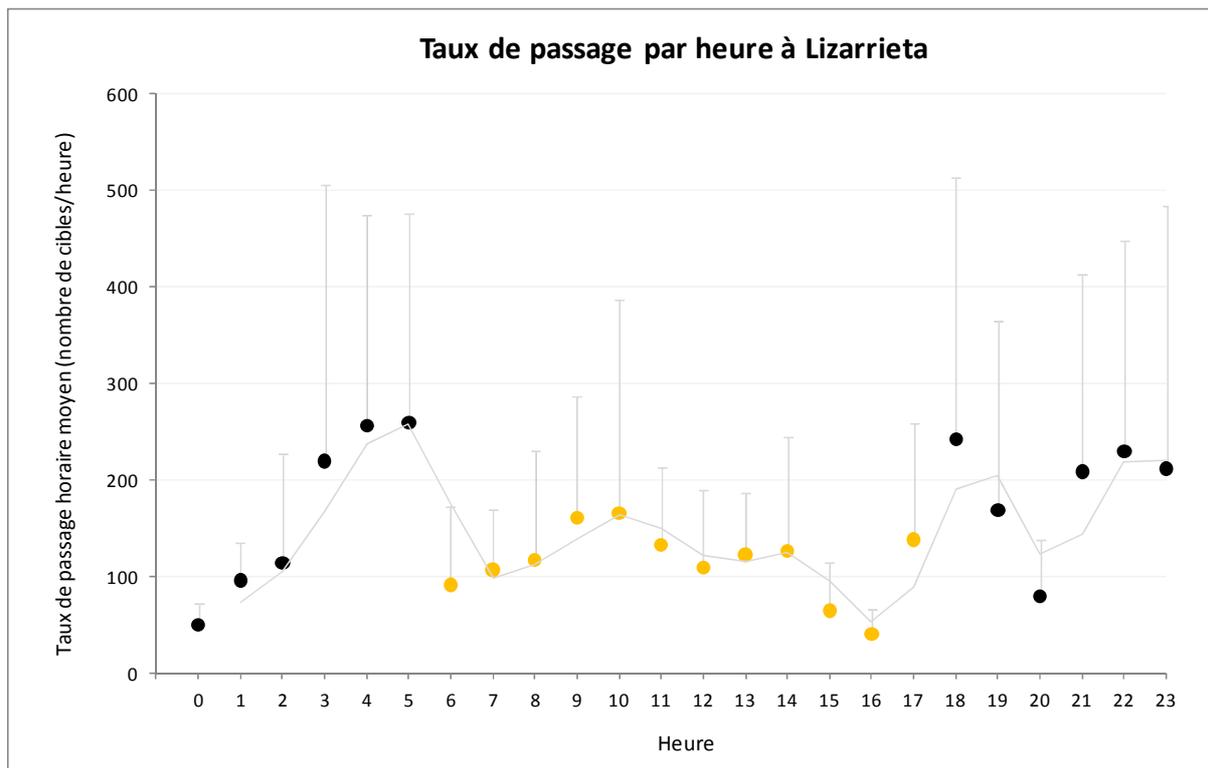


Figure 20. Taux de passage horaire moyen par heure des cibles détectées au radar à Lizarieta. Comme pour le reste du rapport, les heures sont exprimés en UTC. Le zénith solaire est à 11:47 le 25/10/2013.

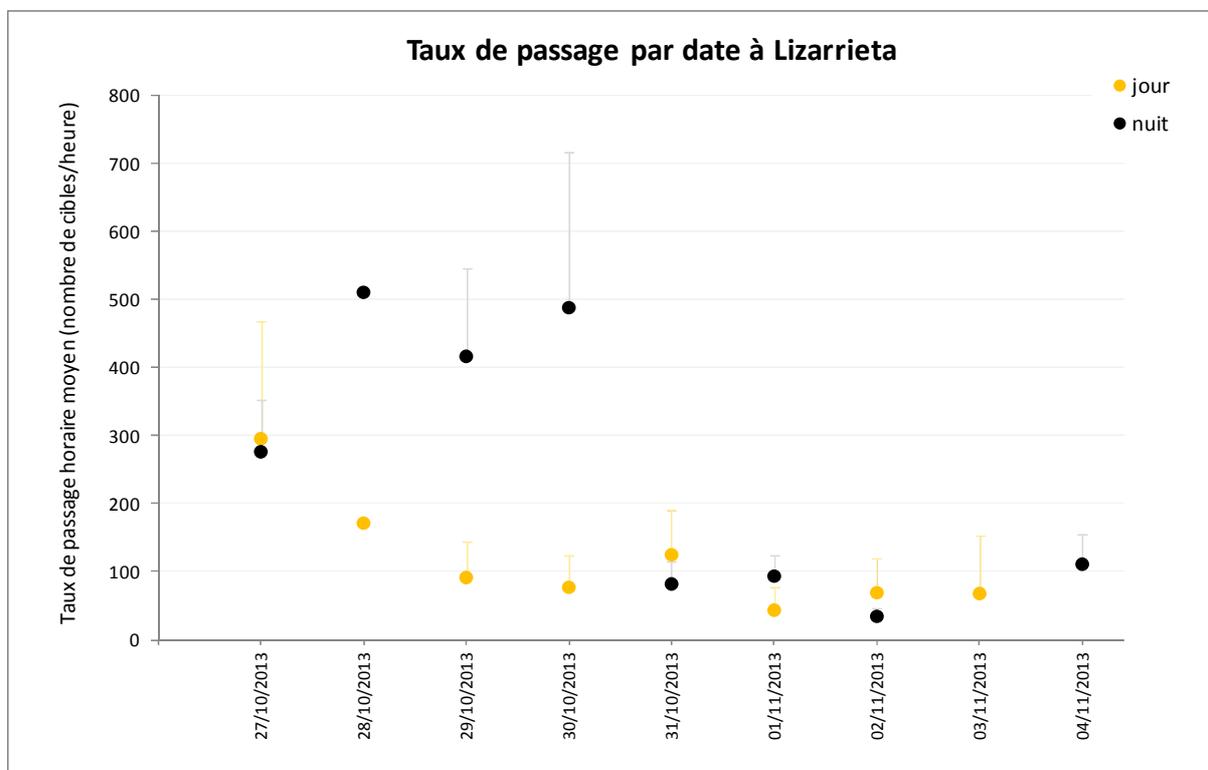


Figure 21. Taux de passage horaires moyens par date des cibles détectées par radar à Lizarieta. Pour les nuits, la date de la seconde moitié de la nuit compte pour toute la nuit (la nuit du 27/10 sur la figure correspond à la nuit du 26 au 27/09).

L'activité diurne a été décroissante du 27/10 au 29/10, puis s'est stabilisée au cours des dates suivantes (Fig. 21). De nuit en revanche, l'activité a été très élevée au cours des 4 premières nuits comparativement aux 4 dernières nuits.

Les "trous" dans l'échantillonnage, dus surtout aux précipitations ont pu contribuer à accentuer certaines différences entre dates qui apparaissent finalement significatives de nuit, ou au contraire ont pu favoriser une certaine homogénéité des résultats de jour. En voici la liste exhaustive :

- la nuit du 26 au 27/10 (nuit du 27/10 à la figure 21) n'inclut que les heures 2 à 5 ;
- la nuit du 27 au 28/10 (nuit du 28/10 à la figure 21) n'inclut que les heures 18 et 19 ;
- la nuit du 28 au 29/10 (nuit du 29/10 à la figure 21) n'inclut pas les heures 0 à 3 ;
- le 29/10 n'inclut pas les heures 9 à 20 ;
- la nuit du 29 au 30/10 (30/10 à la figure 20) n'inclut pas les heures 0 à 2 ;
- le 1/11 n'inclut pas les heures 14 à 17 ;
- la nuit du 2 au 3/11 (3/11 à la figure 21) n'a pas de données du tout (pluie) ;
- et le 3/11 n'inclut pas les heures 6 à 11.

Dans ce contexte impliquant un échantillonnage altéré par les précipitations générant des interruptions, nous conseillons une grande prudence dans l'interprétation de la figure 21.

Par ailleurs, nous avons expliqué avec Lindus pourquoi les deux méthodes d'étude (radar et observation directe) génèrent des résultats, et notamment des valeurs, qui ne sont pas comparables, entres autres parce qu'elles utilisent des unités différentes (la cible pour le radar, l'individu pour le spotteur), et parce que les espèces détectées ne sont pas les mêmes (les passereaux ne sont pas dénombrés par les spotteurs, Tab. 8). Les dénombrements visuels présentés par date, pour les pigeons et pour les autres espèces (Fig. 22 et 23) sont néanmoins présentés à titre indicatif, et pourront être éventuellement comparés à la figure 14, en tenant comptes des différences entres les deux sites (pression d'observation, volume de la sphère visuelle, conditions météorologiques et atmosphériques, etc.).

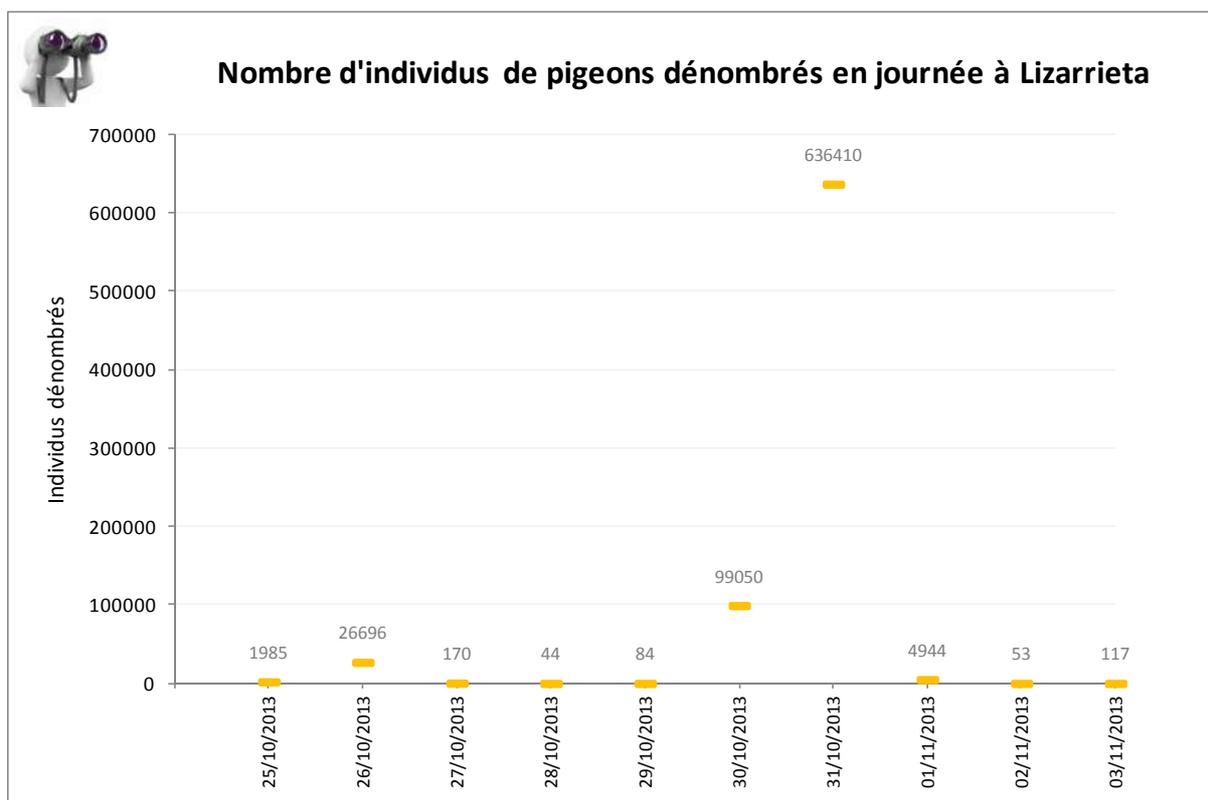


Figure 22. Dénombrements des observations visuelles de pigeons, par date à Lizarrieta.

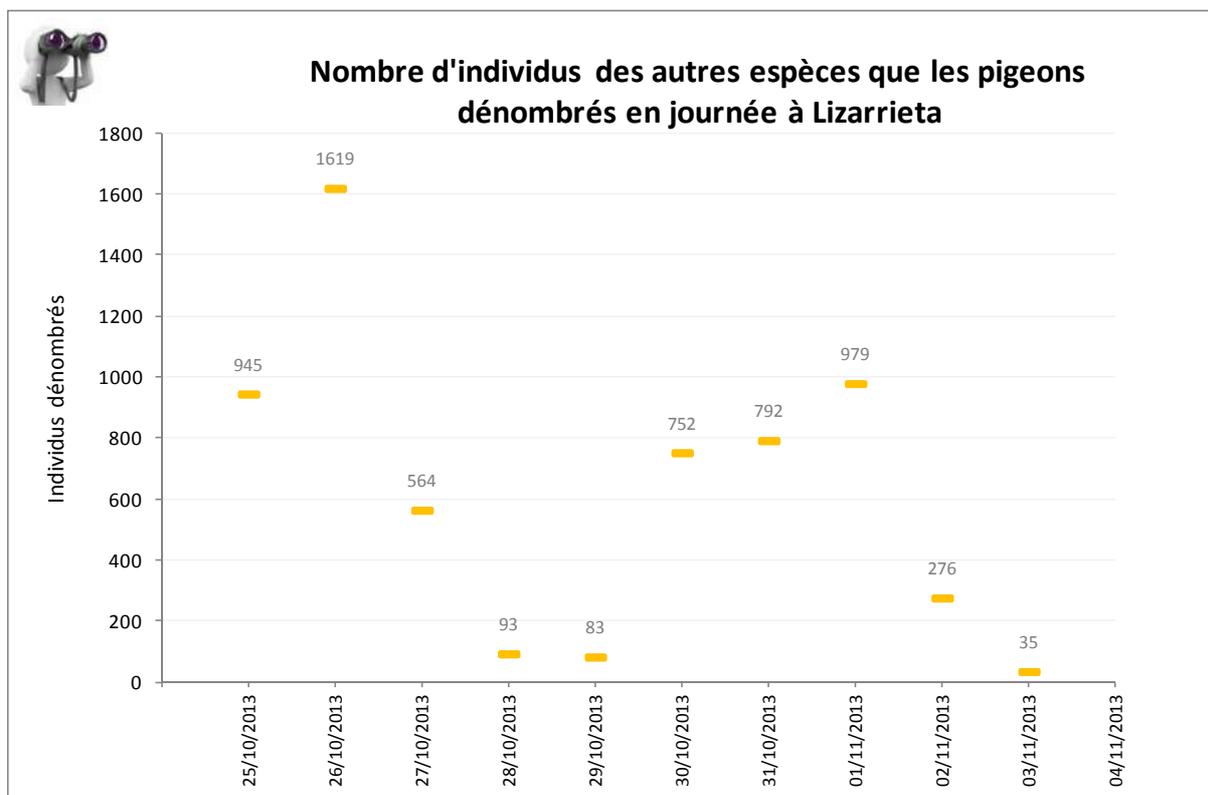


Figure 23. Dénombrements des observations visuelles des autres espèces que les pigeons, par date à Lizarrieta.

Tableau 8. Espèces et effectifs observés par les spotteurs à Lizarieta du 27 octobre au 3 novembre 2013 (données LPO Aquitaine).

Nom vernaculaire	Nom latin	effectifs cumulés
Balbuzard pêcheur	<i>Pandion haliaetus</i>	1
Bécassine des marais	<i>Gallinago gallinago</i>	6
Busard des roseaux	<i>Circus aeruginosus</i>	7
Busard Saint-Martin	<i>Circus cyaneus</i>	17
Buse variable	<i>Buteo buteo</i>	25
Epervier d'Europe	<i>Accipiter nisus</i>	26
Faucon crécerelle	<i>Falco tinnunculus</i>	9
Faucon émerillon	<i>Falco columbarius</i>	9
Faucon hobereau	<i>Falco subbuteo</i>	1
Faucon indéterminé	<i>Falco sp.</i>	2
Faucon pèlerin	<i>Falco peregrinus</i>	2
Goéland brun	<i>Larus fuscus</i>	10
Goéland indéterminé	<i>Larus sp.</i>	212
Grand Cormoran	<i>Phalacrocorax carbo</i>	551
Grand Gravelot	<i>Charadrius hiaticula</i>	1
Grue cendrée	<i>Grus grus</i>	1707
Héron cendré	<i>Ardea cinerea</i>	1
Léiothrix jaune	<i>Leiothrix lutea</i>	11
Milan royal	<i>Milvus milvus</i>	345
Mouette rieuse	<i>Chroicocephalus ridibundus</i>	1
Oie cendrée	<i>Anser anser</i>	6
Pigeon biset domestique	<i>Columba livia domestica</i>	1
Pigeon colombin	<i>Columba oenas</i>	520
Pigeon indéterminé	<i>Columba sp.</i>	712077
Pigeon ramier	<i>Columba palumbus</i>	28274
Vanneau huppé	<i>Vanellus vanellus</i>	616
Vautour fauve	<i>Gyps fulvus</i>	8

6. CONCLUSION

Cette campagne d'étude à Lindus et Lizarieta a montré que les deux sites peuvent faire l'objet d'un suivi ornithologique par radar, et que la logistique et la topographie le permettent. Les résultats apportent des informations complémentaires aux observations visuelles réalisées de jour par les observateurs de la LPO Aquitaine, notamment concernant l'activité nocturne, les directions de vol et sur les variations de l'activité de vol sur un cycle de 24 heures et entre dates.

Parmi les résultats, les éléments les plus remarquables sont les suivants :

- des directions de vol influencées fortement par le relief de jour à Lindus et Lizarieta, mais aussi dans une moindre mesure à Lindus de nuit ;
- un effet de reflux ("rétro-migration") visible bien que marqué à Lindus de jour comme de nuit, et à Lizarieta quasiment inexistant de nuit, mais très prononcé de jour ;
- des flux diurnes nettement plus élevés de jour que la nuit à Lindus, et inversement un mois plus tard des flux sensiblement plus élevés à Lizarieta de nuit ;

- une vague de migrateurs nocturnes déclenchée soudainement par la tombée de la nuit, et une vague de migrateurs diurnes, avec un schéma très prononcé à Lindus, et plus discret à Lizarrieta ;
- une faible corrélation entre les taux de passages mesurés au radar et ceux mesurés par les spotteurs.

Ce travail montre aussi que le radar n'a pas vocation à se substituer aux observateurs, puisque radar et spotteurs n'ont pas les mêmes objectifs. Les deux méthodes présentent des différences importantes concernant 1) les unités (la cible pour le radar, l'individu pour l'observateur), 2) ce qui est mesuré (toutes les cibles volantes pour le radar, les oiseaux de grande taille pour l'observateur) et 3) leurs biais respectifs (voir pages 10, 19, 22 et 32). Ces différences renforcent le caractère complémentaire des deux méthodes, produisant des résultats qui doivent être comparés avec prudence, en tous cas en tenant bien compte de ces différences méthodologiques.

La comparaison entre des résultats provenant de différentes études radar est peu recommandée lorsque les caractéristiques des sites diffèrent trop largement, que le matériel utilisé diffère ou que le même matériel est utilisé mais avec des paramètres différents. Par exemple, entre Lindus et Lizarrieta, la proportion de zones d'ombre (et par conséquent le volume d'étude échantillonné) a varié entre les deux sites d'étude, ce qui empêche toute comparaison quantitative de l'activité de vol. S'il avait été différent entre Lindus et Lizarrieta, l'angle de l'antenne (celui donné par la charnière ajoutée au radar d'origine) aurait aussi eu un effet de réduction ou d'accroissement du volume d'étude.

Parmi les améliorations envisageables, l'utilisation d'un radar vertical permettrait d'apporter des informations sur les hauteurs de vol et leurs variations dans le temps.

Outre l'intérêt scientifique, la présence du labo radar pourrait être mise à profit dans le cadre d'actions de sensibilisation du public, notamment à Lizarrieta où le nombre de visiteurs est particulièrement élevé. Un panneau d'information plastifié constituerait un minimum, peu coûteux d'une part, et d'autre part peu contraignant pour les spotteurs qui souhaitent rester concentrés sur leur tâche. Si à l'avenir l'objectif de communication était valorisé sur un site de suivi de la migration, le labo radar pourrait servir de support à un communicant dans le cadre d'interventions auprès du grand public. Lindus, Lizarrieta et Organbidexka sont des lieux de convergence pour les oiseaux certes, mais aussi pour les personnes, ornithologues, amateurs de nature ou simples visiteurs en vacances passant en nombre chaque année au Pays-Basque, et plus ou moins sensibles aux enjeux environnementaux. Le mélange entre nature et technologie offre un cadre qui attise les curiosités et

facilite les échanges avec le public, et donc la transmission de messages, a fortiori sur ces zones particulièrement fréquentées.

7. RÉFÉRENCES CITÉES DANS CE DOCUMENT

Alerstam T. (2009). Flight by night or day? Optimal daily timing of bird migration. *Journal of Theoretical Biology*. 258: 530-536.

Azimut (2013). Etude par radar de l'activité de vol des oiseaux à la Pointe de Grave pendant la migration pré-nuptiale 2013. Rapport d'étude LPO France et LPO Aquitaine. 33 pages.

Bruderer B., & Liechti F. (1998). Flight behaviour of nocturnally migrating birds in coastal areas - crossing or coasting. *Journal of Avian Biology*. 29:499-507.

Cabreraz-Cruz S.A., Mabee T.J., Patraca R.V. (2013). Using theoretical flight speeds to discriminate birds from insects in radar studies. *The Condor* 115:263-272.

Gorham P.W. (2013). Ballooning spiders: the case of electrostatic flight. *Biological Physics* (submitted).

Hüppop O., Dierschke J., Klaus-Michael E., Fredreich E., & Hill R. (1998). Bird migration studies and potential collision risk with offshore wind turbines. *Ibis*. 148 (1): 90-109.

Larkin R.P. (1991). Flight speeds observed with radar, a correction: slow "birds" are insects. *Behavioral Ecology and Sociology* 29:221-224.

Newton I. (2007). *The migration ecology of birds*. Academic press. 984 pages.

Reynolds D.R. (2013). Beating the odds in the aerial lottery: passive dispersers select conditions at takeoff that maximize their expected fitness on landing. *The American Naturalist* 181(4).

Reynolds D.R., Chapman J.W., Edwards A.S, Smith A.D., Wood C.R., Barlow J.F. & Woiwod I.P. (2007). Radar studies of the vertical distribution of insects migrating over southern Britain: the influence of temperature inversions on nocturnal layer concentrations. *Bulletin of Entomological Research* 95 (3):259-274.

Ridley J.R. & Smith A.D. (2002). Design considerations for an harmonic radar to investigate the flight of insects at low altitude. *Computers and Electronics in Agriculture* 35:151-169.