



Programme
national

éolien-biodiversité

ADEME - MEEDDAT - SER/FEE - LPO

ÉTUDE DES MOUVEMENTS D'OISEAUX PAR RADAR

- ANALYSE DES DONNEES EXISTANTES -



Novembre 2008

Expertise et gestion des espaces naturels • Assistance à la mise en place de politiques environnementales
Communication visuelle • Edition scientifique naturaliste • Formation professionnelle • Voyages • Photothèque

Siège Social :
22, bd Maréchal Foch – BP 58 – 34140 Mèze
Tél : 04 67 18 46 20 – Fax : 04 67 18 46 29
e-mail : siegesocial@biotope.fr

BIOTOPE / GREET Agence Nord – Littoral :
ZA de la Maie, avenue de l'Europe – 62720 Rincent
Tél : 03 21 10 51 52 – Fax : 03 21 10 51 85
e-mail : greet@biotope.fr

Introduction

L'utilisation du radar pour la détection des oiseaux et le suivi de leurs déplacements a été développée dans plusieurs pays (Pays-Bas, Danemark, Allemagne, Etats-Unis...). En France, GREET Ing, devenu depuis BIOTOPE / GREET utilise cette technique depuis 2003 dans le cadre des études préalables à l'installation de parcs éoliens. Près d'une cinquantaine de sites ont déjà fait l'objet d'un suivi par radar au cours de ces cinq dernières années. Aucune compilation ni synthèse de ces données n'a pour l'instant été présentée.

La Ligue pour la Protection des Oiseaux a demandé à l'agence BIOTOPE / GREET de produire une analyse des données existantes de manière à alimenter les travaux en cours sur l'éolien et la biodiversité et de compléter les informations collectées par le plan national « migration ».

Ce rapport présente donc l'analyse de la base de données regroupant les informations collectées par radar entre 2003 et la fin de l'année 2007.

ÉTUDE DES MOUVEMENTS D'OISEAUX PAR RADAR - ANALYSE DES DONNEES EXISTANTES -

Sommaire

I.	OBJECTIFS DE L'ÉTUDE.....	5
II.	TYPOLOGIE DES MOUVEMENTS D'OISEAUX	6
II.1.	LES MOUVEMENTS MIGRATOIRES.	6
II.1.1.	Les mouvements migratoires diurnes.	6
II.1.2.	Les mouvements migratoires nocturnes.....	7
II.1.3.	Les mouvements de fuite.	7
II.1.4.	Les mouvements locaux.....	8
II.2.	L'ALTITUDE DE VOL DES OISEAUX.	8
III.	ASPECTS METHODOLOGIQUES	10
III.1.	SOURCES DES DONNEES.....	10
III.2.	METHODE D'ÉTUDE DE L'AVIFAUNE PAR RADAR	10
III.3.	METHODES ET LIMITES DES ETUDES PAR RADAR	12
III.3.1.	Apports des études par radar.....	12
III.3.2.	Limites de l'étude par radar	13
III.3.3.	Exploitation des résultats	14
III.4.	BASE DE DONNEES RADAR	15
III.5.	LIMITES DE LA PRESENTE ANALYSE.....	15
III.6.	CONDITIONS DES OBSERVATIONS.....	16
III.6.1.	Sites étudiés par radar	16
III.6.2.	Durée et période d'observation.....	17
IV.	TAILLE DES FLUX DÉTECTÉS PAR RADAR	20
IV.1.	DIFFERENCES INTER SITES	20

IV.2.	ÉVOLUTION JOURNALIERE	27
IV.3.	ÉVOLUTION ANNUELLE.....	30
IV.4.	DIFFERENCES ENTRE LES FLUX DIURNES ET NOCTURNES	31
V.	ALTITUDES DE VOL	33
V.1.	ÉVOLUTION JOURNALIERE	33
V.2.	ÉVOLUTION ANNUELLE.....	34
VI.	PHÉNOMÈNES PARTICULIERS.....	42
VI.1.	LES DORTOIRS	42
VI.1.1.	Les Étourneaux sansonnets	42
VI.1.2.	Les Martinets.....	43
VI.1.3.	Les Hirondelles	44
VI.1.4.	Les Grues cendrées.....	46
VI.2.	L'ARRIVEE A TERRE DES RAPACES MIGRATEURS DANS LE GOLFE DU LION.....	47
VI.3.	LE BAGUAGE DES OISEAUX.....	48
VI.4.	L'IDENTIFICATION DES TRAJECTOIRES.....	50
VII.	CONCLUSION DE L'ÉTUDE.....	51
VIII.	BIBLIOGRAPHIE	52

Figures :

Figure 1 :	Image radar prise en mode de balayage vertical présentée sous forme de graphique, montrant un exemple des mouvements observés au cours d'une nuit ..	11
Figure 2 :	L'unité AVISCAN	12
Figure 3 :	Sites étudiés par radar en France.....	16
Figure 4 :	Nombre de données disponibles par plage horaire	17
Figure 5 :	Nombre de données disponibles par mois	17
Figure 6 :	Nombre de données disponibles par période et par département.....	18
Figure 7 :	Nombre de sites suivis par période et par département	18
Figure 8 :	Durée du suivi par radar par site et par saison	19
Figure 9 :	Importance des flux migratoires diurnes et nocturnes en hivernage	25
Figure 10 :	Importance des flux migratoires diurnes et nocturnes en migration prénuptiale	25
Figure 11 :	Importance des flux migratoires diurnes et nocturnes en migration de nidification.....	26
Figure 12 :	Importance des flux migratoires diurnes et nocturnes en migration de migration postnuptiale.....	26
Figure 13 :	Évolution journalière du MTR moyen toutes périodes confondues	27
Figure 14 :	Évolution journalière du MTR moyen en période de migration prénuptiale... ..	27
Figure 15 :	Évolution journalière du MTR moyen en période de migration postnuptiale ..	28
Figure 16 :	Évolution journalière du MTR moyen au cours de l'année	29
Figure 17 :	Évolution décadaire du MTR moyen.....	30
Figure 18 :	Évolution décadaire du MTR diurne moyen	31
Figure 19 :	Évolution décadaire du MTR nocturne moyen	31
Figure 20 :	Proportion des flux diurnes et nocturnes (toutes périodes confondues).....	31

Figure 21 : Évolution mensuelle de la proportion des flux diurnes et nocturnes.....	32
Figure 22 : Évolution journalière des altitudes de vol moyennes toutes périodes confondues	33
Figure 23 : Distribution verticale des vols en périodes diurne et nocturne	34
Figure 24 : Évolution journalière des altitudes de vol moyennes en période de migration prénuptiale	35
Figure 25 : Évolution journalière des altitudes de vol moyennes en période de migration postnuptiale.....	35
Figure 26 : Évolution mensuelle des altitudes de vol moyennes (jour + nuit)	37
Figure 27 : Évolution mensuelle des altitudes de vol diurnes moyennes.....	38
Figure 28 : Évolution mensuelle des altitudes de vol nocturnes moyennes	38
Figure 29 : Évolution des altitudes de vol nocturnes au Cap Gris-Nez (62) au cours de la saison de migration postnuptiale.....	41
Figure 30 : Vol d'Étourneaux en baie de l'Aiguillon (22 km)	42
Figure 31 : Vol d'Étourneaux en Champagne (12 km).....	43
Figure 32 : Décollage de Martinets (Apus sp) (vers 22h).....	43
Figure 33 : Mouvements nocturnes de Martinets (Apus sp) en "dortoir" au-dessus de la mer (vers 01h).....	44
Figure 34 : Mouvements d'Hirondelles en soirée, formation du dortoir dans une roselière	45
Figure 35 : Décollage d'un dortoir d'Hirondelles à l'aube	45
Figure 36 : Arrivée des Grues cendrées au lac du Der au crépuscule	46
Figure 37 : Prise d'altitude des rapaces en arrivant au-dessus de la terre	47
Figure 38 : Réponse des Alouettes des champs à la repasse	48
Figure 39 : Effet de la repasse sur les mouvements nocturnes	49
Figure 40 : Passereaux quittant un site de halte en début de nuit.....	49
Figure 41 : Exemple de cartographie des trajectoires	50

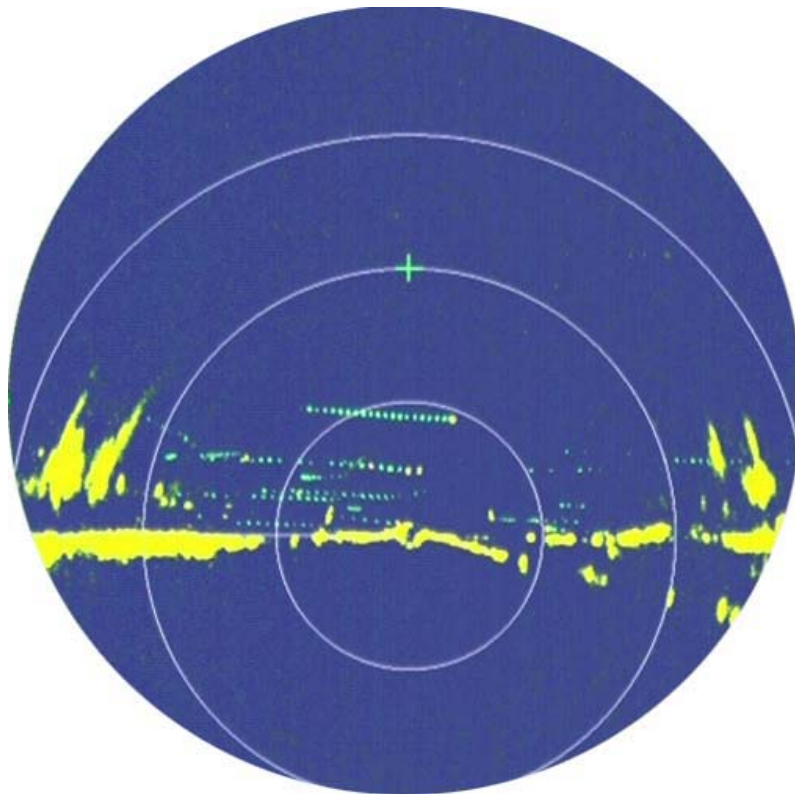
Tableaux :

Tableau 1 : Importance des flux en période prénuptiale.....	21
Tableau 2 : Importance des flux en période de reproduction.....	22
Tableau 3 : Importance des flux en période postnuptiale.....	24
Tableau 4 : Importance des flux en période hivernale.....	24
Tableau 5 : Altitudes de vol au cours des migrations pré et postnuptiales	34
Tableau 6 : Altitudes de vol moyennes et médianes au cours des migrations pré et postnuptiales	36
Tableau 7 : Altitudes de vol par mois	39

I. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Les objectifs sont multiples :

- présenter la technique de suivi des mouvements d'oiseaux par radar et les différentes applications,
- avoir des indicateurs homogènes et comparables d'un site à l'autre permettant de qualifier un site en terme de flux migratoire,
- disposer d'une cartographie des différents sites étudiés par radar montrant l'intensité du passage migratoire,
- présenter des phénomènes particuliers détectés au cours des suivis par radar.



II. TYPOLOGIE DES MOUVEMENTS D'OISEAUX

II.1. LES MOUVEMENTS MIGRATOIRES.

La France se situe sur deux voies migratoires majeures à l'échelle de l'Europe du Nord-Ouest :

- la voie migratoire dite « atlantique »,
- la voie migratoire dite « vallée du Rhône / Méditerranée.

Ces deux principales voies font partie d'un vaste réseau de voies de déplacements qui relie l'Europe à l'Afrique.

De manière générale, on sépare :

- la migration pré-nuptiale, qui concerne les Oiseaux qui gagnent les sites de reproduction après avoir hiverné au Sud de l'Europe et en Afrique (directions principales des mouvements : Sud / Nord ; Sud – Ouest / Nord – Est) ;
- la migration post-nuptiale, qui prend place après la reproduction des Oiseaux et qui permet aux Oiseaux de rejoindre les quartiers d'hiver (directions principales des mouvements : Nord / Sud ; Nord – Est / Sud – Ouest).

Ces phénomènes affectent l'ensemble des Oiseaux migrateurs à différentes échelles. En effet, tous les Oiseaux ne migrent pas jusqu'en Afrique : certaines espèces du Nord de l'Europe migrent jusqu'au Sud de la mer du Nord (Oies...) et descendent plus au Sud en cas de vagues de froid (mouvements de fuite).

Les périodes de migration varient énormément d'une espèce à l'autre et selon les conditions climatiques. On considère que la migration pré-nuptiale s'étale de fin janvier à mai et que les passages post-nuptiaux débutent fin juin pour se terminer en novembre.

Certaines espèces ne passent que quelques semaines dans nos régions, le temps de pondre et d'élever les jeunes, puis repartent vers le Sud.

Au cours de l'année, on distingue donc :

- la période nuptiale, qui correspond à la recherche du site de nidification, à la parade, la ponte, la couvaison et l'élevage des poussins jusqu'à l'envol ;
- la période internuptiale, qui correspond à la dispersion des jeunes, à la migration post-nuptiale, à l'hivernage et à la migration pré-nuptiale.

II.1.1. LES MOUVEMENTS MIGRATOIRES DIURNES.

Les espèces migrant de jour en milieu terrestre peuvent être trouvées parmi les familles suivantes : Cormorans, Ardéidés, Anatidés, rapaces diurnes, Limicoles, Laridés, Colombidés, Picidés, Alouettes, Bergeronnettes, Pipits, Accenteurs, Mésanges, Moineaux, Corvidés, Fringilles, Bruants.

Les flux sont très importants et prennent place plus ou moins toute l'année, avec des pics d'abondance assez marqués entre mars et mai et entre juillet et novembre.

Plusieurs centaines de milliers d'oiseaux transitent par la France chaque année de jour et peuvent être ainsi dénombrés.

II.1.2. LES MOUVEMENTS MIGRATOIRES NOCTURNES.

Outre les espèces de la catégorie précédente, qui peuvent également migrer de nuit en quantité plus ou moins importante, les espèces migrant de nuit sont principalement des Ardéidés, des Anatidés, des Limicoles, des Rallidés et des Passereaux. Parmi ces derniers, les familles les plus importantes sont représentées par les Sylviidés, les Muscicapidés, les Turdidés, les Alaudidés, etc.

Les flux sont excessivement importants et prennent place à des périodes bien déterminées de l'année, avec des pics d'abondance assez marqués pour chaque espèce ou famille.

Le flux migratoire nocturne est de loin supérieur au flux visible : en effet, on estime que plusieurs millions d'oiseaux transitent ainsi par la Manche chaque année.

Il est clair qu'en dehors de moyens d'investigation très particuliers comme les radars, le piégeage ou les caméras thermosensibles, il n'est pas possible de percevoir directement ces flux migratoires de manière fiable. Les méthodes indirectes par écoute nocturne ou observation du disque lunaire au télescope s'avèrent partielles et souvent très biaisées.

II.1.3. LES MOUVEMENTS DE FUITE.

En cas de conditions météorologiques particulièrement défavorables, vagues de froid hivernales ou tempêtes automnales notamment, des mouvements de fuite importants peuvent se déclencher. Les espèces concernées sont les Anatidés, les Limicoles, les Rallidés, les Rapaces et les Passereaux dans le premier cas, les oiseaux de mer *sensu lato* dans le second.

Les flux peuvent être très importants. Ils prennent place à des périodes bien déterminées de l'année, notamment en octobre - novembre pour les fuites liées aux tempêtes, et entre décembre et février pour les vagues de froid hivernal.

Ces mouvements, exceptionnels, liés à des épisodes météorologiques particuliers, sont importants car ils interviennent à un moment crucial de la survie des individus voire des populations.

II.1.4. LES MOUVEMENTS LOCAUX.

Ces déplacements concernent aussi bien les oiseaux nicheurs, que les migrateurs en transit ou les hivernants. Il s'agit de déplacements à faible distance, le plus souvent à vocation de recherche alimentaire.

Les flux sont très importants et prennent place toute l'année. Leur répartition spatiale ou temporelle est variable avec des modes toutefois récurrents.

Plusieurs dizaines de milliers d'oiseaux sont concernés. Sans investigation complémentaire, il n'est pas toujours aisé ni possible sur le terrain de séparer les mouvements locaux des mouvements migratoires proprement dits.

II.2. L'ALTITUDE DE VOL DES OISEAUX.

Le suivi visuel de la migration pendant près d'une trentaine d'années (littoral de la mer du Nord et de la Manche, col de l'Escrinet, falaises de Carolles, littoral audois, estuaire de la Gironde, cols pyrénéens...) ainsi que les études globales (Eastwood, 1967) ou fines (Spaans & al., 1995 ; 1996; van der Winden & al., 1996 ; van der Winden & al., 1997 ; Dirksen & al., 1995 ; 1996 ; 1997) menées par radar nous renseignent, dans les grandes lignes, sur le comportement des oiseaux en vol.

L'altitude de vol est très variable, selon les espèces, l'heure du jour et les saisons. Les paramètres qui influencent la hauteur à laquelle les espèces migrent sont à la fois intrinsèques aux espèces et extrinsèques.

Parmi les facteurs intrinsèques, on peut signaler que de fortes variations existent au sein des familles ou groupes biologiques.

Les Passereaux migrent généralement à faible altitude le jour et à plus haute altitude la nuit ; ici encore des variations très importantes existent selon les conditions météorologiques et les espèces. On sait notamment grâce aux études fines menées par radar que les oiseaux migrateurs élèvent leur altitude moyenne de vol la nuit par rapport au jour.

Il faut savoir que sans moyen de détection particulier (radar, etc.), la plupart des oiseaux volant à plus de 200 m d'altitude échappe aux observateurs.

De même latéralement, avec un biais évident lié à la taille des espèces et du nombre des individus au sein des groupes, le rayon de détection des espèces en vol peut être estimé raisonnablement à 200 mètres.

On sait aussi, toujours grâce aux études par radar, que les oiseaux volent de manière beaucoup plus concentrée pendant la journée et plus généralement lorsque les conditions de visibilité sont bonnes. *A contrario*, de nuit les oiseaux volent sur des fronts migratoires beaucoup plus larges (Eastwood, 1967).

Des études plus récentes et beaucoup plus précises ont été menées aux Pays-Bas à l'aide d'un radar de bateau modifié afin de définir les altitudes de migration des oiseaux pour des projets d'aménagement potentiellement meurtriers pour les migrateurs. Ces études

visaient à connaître les déplacements des Anatidés en fonction de la marée (Spaans & al., 1995 ; 1996), l'altitude des vols nocturnes de canards (van der Winden & al., 1996 ; Dirksen & al., 1997) et de Limicoles (Dirksen & al., 1995 ; 1996 ; van der Winden & al., 1997).

Elles concluent aux faits suivants :

- dans la plupart des sites d'étude, beaucoup d'oiseaux volent à moins de 100 m d'altitude la nuit, fréquemment même à moins de 75 m d'altitude ;
- il existe une tendance générale pour des altitudes de vol plus élevées par vent arrière (vent portant), quelle que soit la saison ;
- il existe également une tendance générale pour des altitudes de vol plus faibles par vent de face, quelle que soit la saison ;
- ces deux dernières observations sont variables selon les sites et les espèces ;
- il existe des différences significatives d'altitude de vol entre les espèces.

III. ASPECTS METHODOLOGIQUES

III.1. SOURCES DES DONNEES

Les données proviennent d'études par radar effectuées à travers toute la France entre 2003 et 2007. Ces études sont :

- des études préalables à l'installation d'éoliennes,
- des suivis par radar de sites d'étude de la migration,
- des phases de test et de calibrage du matériel.

Pour des raisons de confidentialité, les sites ne sont pas nommés mais sont numérotés.

III.2. METHODE D'ÉTUDE DE L'AVIFAUNE PAR RADAR

Le protocole et le contexte général d'utilisation d'un radar dans les interactions avec les projets éoliens ont été décrits dans un rapport spécifique réalisé pour le compte de l'ADEME (GREET Ingénierie, 2005). Le protocole employé est le fruit d'un travail de trois années de R & D mené en partenariat entre E.E.D. et le GREET Ingénierie, alternant les phases de mise au point et de tests. Il a été décrit de manière complète dans un dossier spécifique ⁽¹⁾ réalisé pour l'ADEME.

Le radar permet de détecter et de localiser précisément les mouvements d'oiseaux dans l'espace, de jour comme de nuit, ainsi que de donner une altitude de vol précise pour chaque contact.

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

Nous avons utilisé l'unité mobile d'étude des déplacements d'Oiseaux baptisée AviScan. AviScan a été développé en partenariat entre E.E.D² et GREET Ingénierie, devenu depuis BIOTOPE / GREET.

Son rayon d'action maximum est de 96 milles nautiques. L'échelle la plus utilisée en position horizontale est fixée à 3 milles nautiques ce qui équivaut à 5 556 mètres. Des utilisations à une échelle plus fine ont été faites pour visualiser les déplacements locaux et les comportements particuliers (échelles 0,75 MN et 0,5 MN). En balayage vertical, l'échelle utilisée est 1,5 MN.

¹ GOVAERE, A., DEVOS, S., RAEVEL, P., ELLEBOODE, C. & Y. CAPON, 2005. – Étude des mouvements d'Oiseaux par radar. Applications aux parcs éoliens. ADEME / GREET Ingénierie / E.E.D., Sophia Antipolis, 205 pp

² www.espace-eolien.fr

L'ordinateur d'analyse capture une image radar toutes les minutes (sauf cas particuliers). C'est à partir de cette image que seront effectuées les analyses (calculs des MTR en vertical, numérisation des trajectoires en horizontal).

Les trois principales positions utilisées sont :

- horizontale pour la mise en évidence de la distribution spatiale des oiseaux
- verticale pour la mise en évidence des hauteurs de vol des oiseaux.
- oblique (à 45°) pour la mise en évidence des directions de vol des oiseaux volant à une altitude élevée.

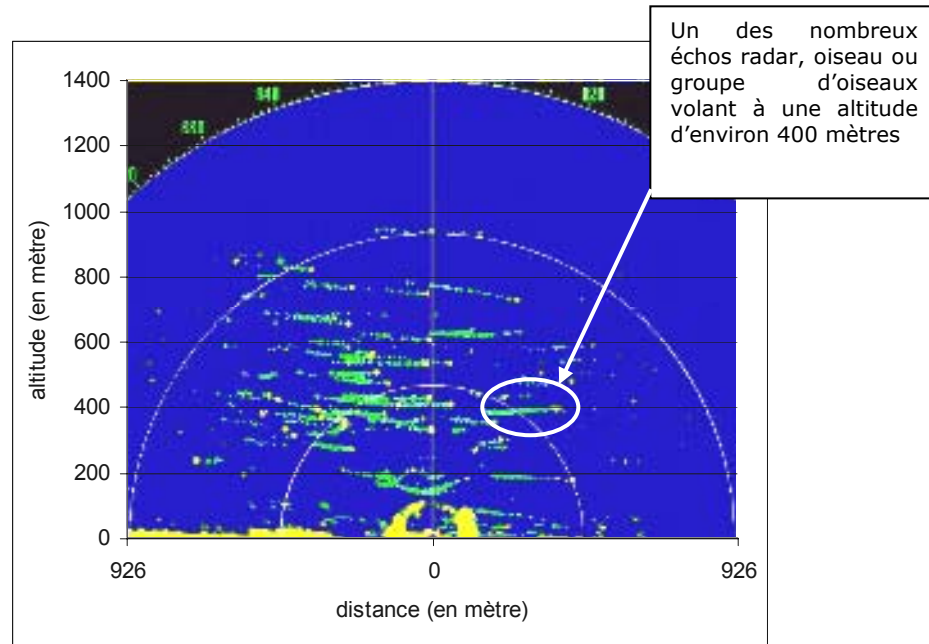


Figure 1 : Image radar prise en mode de balayage vertical présentée sous forme de graphique, montrant un exemple des mouvements observés au cours d'une nuit

De manière théorique, au cours d'un cycle de 24 heures, les 3 positions du radar sont alternées :

- de jour, le balayage horizontal est privilégié par rapport au balayage vertical (environ 40-45 minutes par heure contre 15-20 minutes pour le vertical) ;
- de nuit, le balayage vertical est utilisé préférentiellement, avec des séances d'une dizaine de minutes par heure en horizontal ou 45°, de manière à établir les directions de vol et les éventuels couloirs de passage.

En réalité, de nuit, le radar a été préférentiellement utilisé en vertical.

Seules les informations collectées en mode de balayage vertical sont analysées automatiquement (logiciel de comptage des échos mobiles) et intégrées dans la base de données « radar ». Ce sont ces informations qui sont utilisées pour la présente analyse. Les données issues du balayage horizontal sont quant à elles éparses et ne sont pour l'instant pas compilées dans une base de données permettant une analyse globale.



Figure 2 : L'unité AVISCAN

III.3. METHODES ET LIMITES DES ETUDES PAR RADAR

III.3.1. APPORTS DES ETUDES PAR RADAR

L'utilisation du radar permet de décrire avec précision le phénomène migratoire et l'ensemble des déplacements d'oiseaux sur un secteur :

- quantification précise et standardisée des déplacements diurnes et nocturnes ;
- directions de vol ;
- hauteurs de vol ;
- vitesses de vol ;
- différences journalières et saisonnières...

De nuit, le phénomène migratoire échappe à toute observation visuelle. Le radar est donc indispensable pour détecter le flux migratoire nocturne, par ailleurs bien plus important que les mouvements diurnes.

Les applications de l'étude des mouvements d'oiseaux par radar sont nombreuses. Le radar permet à la fois de préciser les mouvements d'oiseaux locaux et renseigne sur la migration nocturne, totalement ignorée jusqu'alors dans la majorité des suivis migratoire, à l'exception de la technique du baguage. Plusieurs échelles de travail sont utilisées :

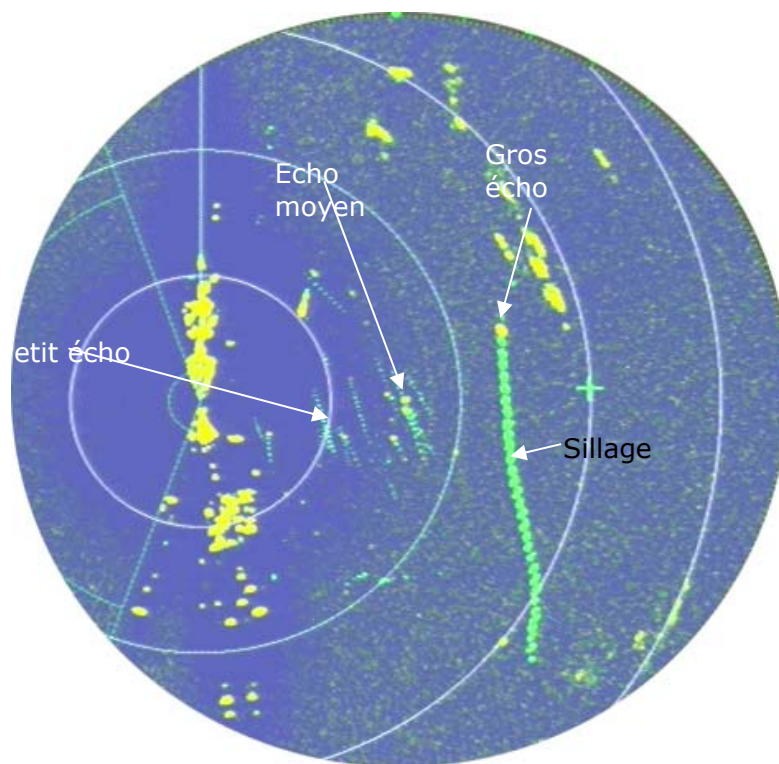
- À une large échelle, le radar permet d'aborder les grands axes de migration, l'intensité migratoire, les vitesses de vol...
- À une échelle moyenne, il est possible de mettre en évidence le fonctionnement écologique d'un secteur d'étude (zones de repos ou d'alimentation, mouvements locaux...).
- Enfin, à une échelle très fine, le radar permet de cartographier très précisément les axes empruntés par les oiseaux, les hauteurs de vol au-dessus et les angles de décollage / atterrissage des oiseaux.

Le radar constitue donc une source d'information de première importance pour les études d'impact de projets éoliens et les suivis de parcs éoliens existants. Il complète également les suivis de la migration sur les sites suivis par les méthodes 'classiques' (observations visuelles, baguage...). Enfin, il apporte des informations sur le fonctionnement écologique des sites (zones de gagnage, dortoirs, mouvements d'oiseaux liés aux marées...).

III.3.2. LIMITES DE L'ETUDE PAR RADAR

Le radar ne permet généralement pas de déterminer les espèces, ni les effectifs de chaque contact (écho ou point radar).

Sauf exception, on ne peut pas différencier un gros oiseau d'un groupe de petits oiseaux en vol compact.



L'unité de comptage est donc l'écho. Il peut parfois s'agir d'échos parasites (Insectes, chauves-souris, phénomènes météorologiques, avions, ...). Dans ce cas, les caractéristiques de la trajectoire (vitesse, allure générale, taille, comportement) et l'expérience de l'observateur servent à supprimer les échos parasites.

Les obstacles rencontrés par les ondes radar sont représentés sur l'écran de contrôle par des taches jaunes. Les taches jaunes fixes sont des obstacles immobiles (arbres, reliefs, culture ondulant, vagues...).

Les points jaunes en mouvements (= échos radar) sont des Oiseaux, des Chauves-souris, des avions, des voitures...

Le sillage vert derrière ces cibles mobiles représente les précédentes positions de l'écho. La durée de conservation de ce sillage est réglable. Le sillage permet de matérialiser les trajectoires des échos radar.

III.3.3. EXPLOITATION DES RESULTATS

Seule l'exploitation des résultats issus du balayage vertical est présentée ici.

III.3.3.1. Définition du MTR

Afin de mesurer l'intensité du flux migratoire, on définit le nombre d'échos volant à toutes les altitudes traversant une ligne horizontale fictive d'un kilomètre perpendiculaire au front principal de la migration en une heure (Migration Traffic Rate – MTR ou intensité migratoire horaire). Cette notion est largement utilisée dans la plupart des études radar (Black, 2000b, 2000c ; Cooper, 1998 ; Liechti et Bruderer, 1995 ; Lowery, 1951 ; Riviera et Bruderer, 1998 ; Zehnder et al., 2002 ...).

$$\text{MTR} = \text{nombre d'échos} / \text{km} / \text{h.}$$

On a donc utilisé cette notion pour qualifier le flux des déplacements locaux et migratoires, heure après heure.

En additionnant ces différents MTR obtenus à partir du mode de balayage vertical, on a une idée du nombre d'échos qui ont survolé le site d'étude durant la période d'observation.

On peut ainsi estimer le nombre d'échos radar (oiseaux seuls ou groupes) ayant traversé la zone d'étude durant la nuit (entre le coucher et le lever du soleil) en additionnant les différents MTR. On définit ainsi le NMT (Night Migration Total ou intensité migratoire nocturne totale).

Afin d'avoir des valeurs de NMT les plus proches possibles de la réalité, il faut se baser sur des MTR calculés sur les différentes tranches horaires de la nuit. Il faut additionner les différents MTR et non multiplier un MTR obtenu par exemple à 22h.

$$\text{NMT} = \text{MTR}_{19\text{h}} + \text{MTR}_{20\text{h}} + \text{MTR}_{21\text{h}} + \dots + \text{MTR}_{5\text{h}} + \text{MTR}_{6\text{h}} + \text{MTR}_{7\text{h}}$$

Et non $12 \times \text{MTR}_{\text{Xh}}$, car en effet, l'intensité du flux migratoire varie au cours de la nuit.

On définit également le DMT (Day Migration Total) qui équivaut aux mouvements diurnes et le 24MT (jour + nuit), qui représente le flux total par cycle de 24h (de 12h à 12h).

III.3.3.2. Altitudes de vol

Les altitudes de vol sont mesurées par rapport à l'altitude du radar. Pour la représentation graphique, les altitudes de vol sont regroupées par classe de 100 m. Afin que l'écho soit visible sur l'écran, le radar augmente artificiellement la taille du signal reçu. L'altitude obtenue est donc précise à environ 10-20 mètres près. C'est pour cette raison que les classes d'altitude de 100 m sont utilisées.

Afin de caractériser les altitudes de vol, on définit les altitudes moyennes et médianes (altitude en dessous laquelle 50% du flux est passé).

Ces altitudes moyennes et médianes sont ensuite comparées à d'autres valeurs obtenues à la même période sur d'autres sites.

III.4. BASE DE DONNEES RADAR

L'ensemble des informations collectées par le radar en position verticale est rassemblé dans un tableur Excel. Une donnée correspond à une ligne de ce tableur. Sont notées :

- la période biologique (migration pré-nuptiale, nidification, migration post-nuptiale, nidification, hivernage)
- le mois,
- l'année,
- la décennie,
- la date précise,
- la plage horaire (en heure légale et en temps universel TU),
- jour ou nuit (pour chaque décennie, la durée du jour et de la nuit est adaptée),
- le site (une position du radar correspond à un site),
- la zone biogéographique (ex : Beauce, basse vallée du Rhône, baie d'Audierne...),
- le département,
- le secteur géographique (façade atlantique, intérieur des terres, Sud-Est de la France...),
- l'altitude de la position du radar,
- la durée de l'enregistrement analysée,
- le MTR total,
- le détail des MTR partiels par plage de 100 mètres de hauteur (0-100m, 100-200m, ... 2700-2800m),
- l'altitude médiane de la plage horaire,
- l'altitude moyenne de la plage horaire,
- le nombre d'échos pris en compte dans l'analyse.

Ces différents champs permettent de faire des requêtes par site, par date, par période...

III.5. LIMITES DE LA PRESENTE ANALYSE

L'estimation des effectifs est effectuée sur la base d'un comptage de tous les échos radar en mouvement enregistrés à un intervalle régulier (en général une minute). Les valeurs sont en réalité beaucoup plus élevées. Un grand nombre de points traversent le faisceau radar pendant cette minute et disparaissent de l'écran de contrôle avant l'enregistrement suivant. Le temps d'apparition d'un écho sur l'écran varie entre 1 et environ 30 secondes selon la taille du point, sa distance au radar et l'angle avec lequel il coupe le faisceau. Les effectifs annoncés sont donc considérés comme des valeurs minimales. Cela ne change cependant pas la répartition altitudinale des flux ni les valeurs des altitudes moyennes et médianes.

L'autre limite réside dans le fait que les données ont été collectées à l'aide d'un seul radar. Cela rend délicate les comparaisons inter sites, les données n'ayant pas été collectées simultanément sur plusieurs sites.

III.6. CONDITIONS DES OBSERVATIONS

III.6.1. SITES ETUDIÉS PAR RADAR

Les emplacements des observations par radar correspondent aux sites sur lesquels BIOTOPE / GREET est intervenu ces cinq dernières années dans le cadre d'études spécifiques. Au total, le radar a été positionné sur 62 sites à travers toute la France.



Figure 3 : Sites étudiés par radar en France

III.6.2. DUREE ET PERIODE D'OBSERVATION

Au total, 5 466 données sont disponibles dans la base des données collectées par le radar en position verticale. Une donnée correspond à une plage horaire d'une heure au cours de laquelle des enregistrements par radar ont été effectués (la durée d'enregistrement au cours d'une heure varie de 1 à 60 minutes). Les 5 466 données correspondent donc en réalité à 3 927 heures d'enregistrements réels réparties sur 424 journées différentes (entre juillet 2003 et novembre 2007). Au total, 2 934 102 échos radar ont été enregistrés et figurent dans la base de données. L'altitude de ces échos est disponible pour 2 677 202 d'entre eux.

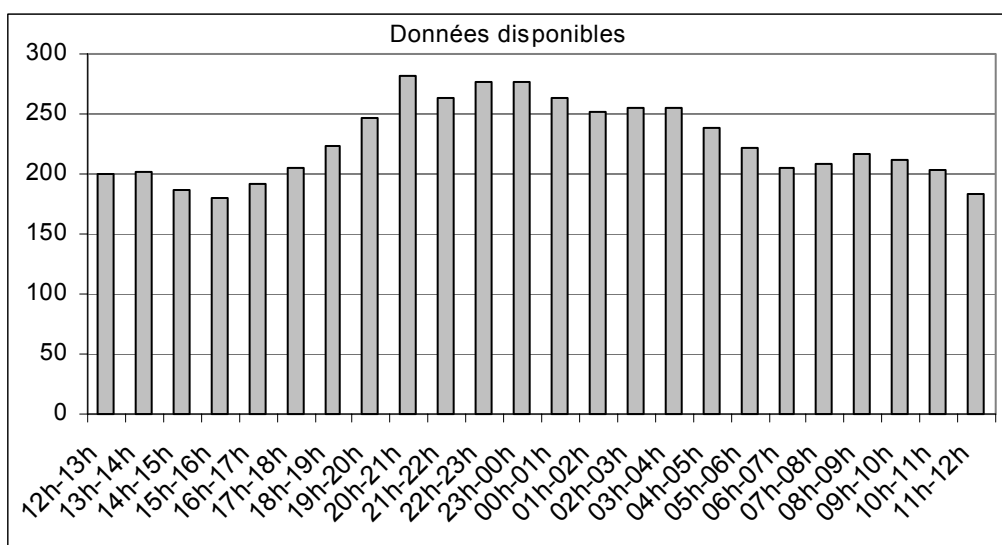


Figure 4 : Nombre de données disponibles par plage horaire

Ainsi, près de 200 données ont été collectées entre 12 et 13h, contre 282 entre 20h et 21h TU.

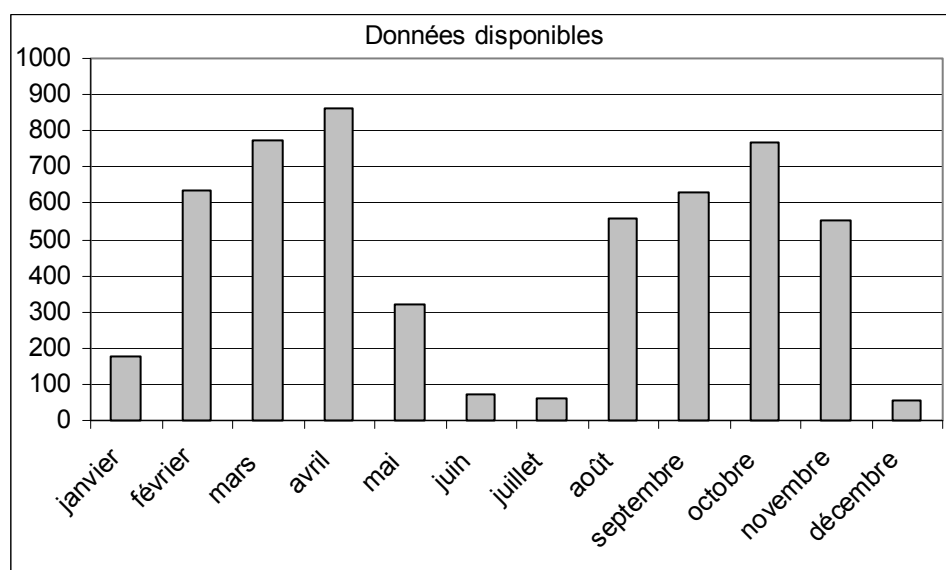


Figure 5 : Nombre de données disponibles par mois

Les mois les plus suivis correspondent aux périodes migratoires pré et postnuptiales. Les mois de juin - juillet (nidification) et décembre - janvier (hivernage) ont fait l'objet de

moins d'études radar. Ces mois correspondent également aux périodes où les oiseaux sont moins mobiles, davantage liés à un territoire (surtout en période de nidification).

Département	Hivernage	Migration pré-nuptiale	Reproduction	Migration post-nuptiale
Aisne				8
Ardèche		1200		174
Aube				30
Cantal				82
Drôme		171		273
Eure-et-Loire				422
Finistère				70
Haut-Rhin		26		2
Hérault		129	32	56
Isère		91		178
Loire				142
Loire-Atlantique			35	415
Manche				12
Marne				14
Morbihan				42
Nord	50			63
Pas-de-Calais	477	605	19	431
Somme	7			135
Vendée		70		
Yonne				44
TOTAL	534	2 292	86	2 554

Figure 6 : Nombre de données disponibles par période et par département

Département	Hivernage	Migration pré-nuptiale	Reproduction	Migration post-nuptiale
Aisne				1
Ardèche		8		5
Aube				2
Cantal				1
Drôme		7		8
Eure-et-Loire				3
Finistère				1
Haut-Rhin		1		1
Hérault		1	1	1
Isère		4		4
Loire				1
Loire-Atlantique			1	4
Manche				1
Marne				1
Morbihan				2
Nord	1			1
Pas-de-Calais	1	1	1	7
Somme		2		4
Vendée		1		
Yonne				1
TOTAL	2	25	3	49

Figure 7 : Nombre de sites suivis par période et par département

Durée du suivi radar pour chaque saison sur les différents sites étudiés

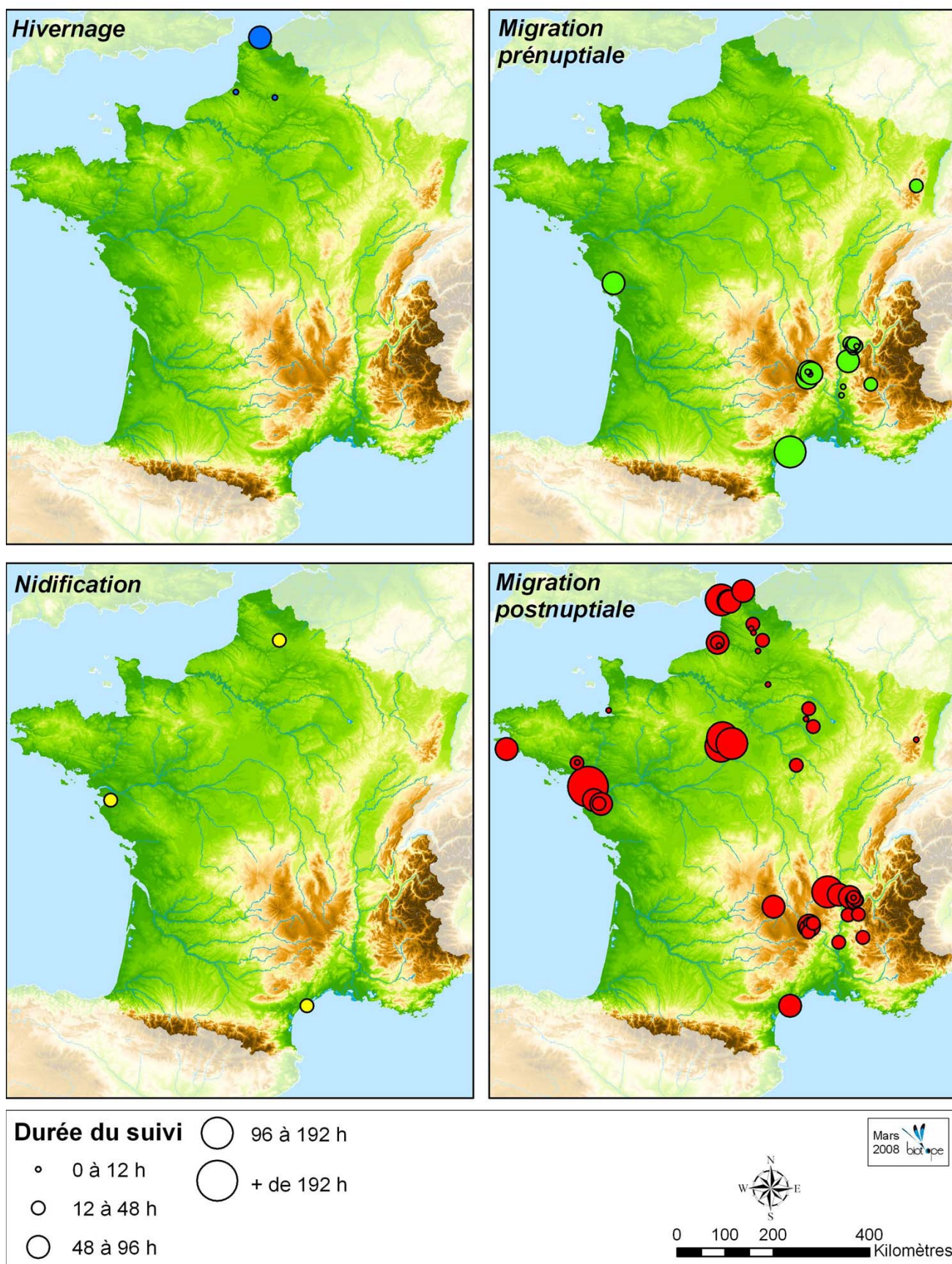


Figure 8 : Durée du suivi par radar par site et par saison

IV. TAILLE DES FLUX DÉTECTÉS PAR RADAR

IV.1. Différences inter sites

La différence d'importance du flux migratoire entre les sites est présentée sous deux formes :

- le MTR moyen (de jour, de nuit, total)
- le flux total enregistré (de jour = DMT, de nuit = NMT, total = 24MT)

Les tableaux suivants présentent ces valeurs pour la migration pré-nuptiale, pour la période de reproduction, pour la migration post-nuptiale et pour l'hivernage.

Si la comparaison entre sites via le flux total enregistré est sujette à certaines limites (voir II.5), l'utilisation des MTR moyen permet davantage de comparer l'importance des flux entre différents sites.

On remarque que le MTR moyen est plus important lors de la migration post-nuptiale que lors de la remontée pré-nuptiale. Cela s'explique par la mortalité importante subie par les oiseaux (notamment les individus de l'année) lors de la migration et l'hivernage.

Les flux nocturnes sont toujours supérieurs à ceux notés de jour (voir aussi IV.4), excepté lors de la période hivernale (les mouvements étant très faibles à cette période).

Signalons également que les flux détectés en période de reproduction sont liés :

- de jour, à l'importance des mouvements de recherche de nourriture,
- de nuit, à d'importants mouvements de Martinets (voir VI.1) ainsi qu'à des mouvements migratoires (fin de la migration pré-nuptiale en mai, début de la migration post-nuptiale en juillet).

département	site	MTR moyen			Flux total			Flux mini		Flux maxi		Ecart-type		Nb heures suivies			
	n°	J	N	Total	DMT	NMT	24MT	J	N	J	N	J	N	J	N	Total	
Ardèche	4	506	784	631	21 761	27 456	49 217	0	82	3 720	4 140	764	960	43	35	78	
	5	155	294	224	49	2 056	2 105	0	15	1 015	948	207	253	45	44	89	
	6	49	228	210	304	506	810	49	52	49	622	-	164	1	9	10	
	7	76	169	116	6 973	12 945	19 918	16	89	133	230	48	72	4	3	7	
	8	650	268	520	25 338	5 360	30 698	0	5	4 316	1 537	1 261	409	39	20	59	
	9	337	489	407	168 687	212 591	381 278	0	1	4 684	4 535	626	737	501	435	936	
	10	93	709	278	654	2 128	2 782	0	373	443	956	158	301	7	3	10	
	11	67	642	381	336	3 853	4 189	31	516	111	795	38	105	5	6	11	
	Total Ardèche		347	481	409	224 102	266 895	490 998									
	Drôme	6	1 747	566	1 312	20 963	3 963	24 926	76	241	5 401	840	2 036	239	12	7	19
		7	593	1 498	1 204	7 710	40 440	48 150	25	226	2 423	3 324	708	1 082	13	27	40
8		346	554	453	6 236	10 525	16 761	7	197	1 152	903	355	229	18	19	37	
9		190	529	340	5 502	12 164	17 666	51	38	660	1 276	149	391	29	23	52	
10		117	63	90	235	126	361	113	55	122	71	6	11	2	2	4	
11		1 218	1 496	1 357	2 435	2 991	5 426	140	874	2 295	2 117	1 524	879	2	2	4	
12		551	298	433	4 412	2 089	6 501	106	96	910	585	316	166	8	7	15	
Total Drôme		565	831	701	47 492	72 300	119 792										
Haut-Rhin	1	1 835	6 269	4 394	20 189	94 042	114 232	8	1 979	6 470	11 420	2 774	3 106	11	15	26	
Total Haut-Rhin		1 835	6 269	4 394	20 189	94 042	114 232										
Hérault	1	249	741	440				18	20	2 228	3 751	280	893	79	50	129	
Total Hérault		249	741	440	19 679	37 055	56 733										
Isère	1	1 284	344	657	2 567	1 377	3 944	232	141	2 335	439	1 487	138	2	4	6	
	2	97	500	316	1 554	9 496	11 050	6	67	296	1 598	102	522	16	19	35	
	3	525	394	453	7 351	6 700	14 051	9	6	5 377	1 104	1 430	377	14	17	31	
	4	741	798	768	7 415	7 179	14 594	111	434	1 650	1 322	494	330	10	9	19	
Total Isère		450	505	480	18 887	24 753	43 640										
Pas-de-Calais	1	87	107	96	26 782	31 558	58 340	6	2	536	1 631	71	175	309	296	605	
Total Pas-de-Calais		87	107	96	26 782	31 558	58 340										
Vendée	1	811	1 246	1 159	11 349	69 765	81 113	20	85	2 420	5 050	724	1 352	14	56	70	
Total Vendée		811	1 246	1 159	11 349	69 765	81 113										
TOTAL PÉRIODE PRÉNUPTIALE		311	538	421	368 480	596 367	964 847							1 184	1 108	2 292	

Tableau 1 : Importance des flux en période prénuptiale

département	site n°	MTR moyen			Flux total			Flux mini		Flux maxi		Ecart-type		Nb heures suivies		
		J	N	Total	DMT	NMT	24MT	J	N	J	N	J	N	J	N	Total
Hérault	1	523	5 590	1 948	12 032	50 306	62 337	70	1 462	2 097	11 626	439	3 558	23	9	32
Total Hérault		523	5 590	1 948	12 032	50 306	62 337									
Loire-Atlantique	1	523	736	436	6 424	8 829	15 254	30	213	1 628	1 080	395	225	23	12	35
Total Loire-Atlantique		523	736	436	6 424	8 829	15 254									
Pas-de-Calais	1	720	1 713	1 504	2 878	25 698	28 576	252	424	1 560	3 916	589	871	4	15	19
Total Pas-de-Calais		720	1 713	1 504	2 878	25 698	28 576									
TOTAL PÉRIODE DE REPRODUCTION		427	2 356	1 235	21 334	84 833	106 167							50	36	86

Tableau 2 : Importance des flux en période de reproduction

département	site n°	MTR moyen			Flux total			Flux mini		Flux maxi		Ecart-type		Nb heures suivies		
		J	N	Total	DMT	NMT	24MT	J	N	J	N	J	N	J	N	Total
Aisne	1		1 222	1 222		9 774	9 774		348		2 514		804		8	8
Somme Aisne			1 222	1 222		9 774	9 774									
Ardèche	1	365	1 131	774	5 109	18 100	23 208	18	41	1 463	3 036	400	989	14	16	30
	2	308	143	190	1 847	2 140	3 987	34	27	1 125	209	436	47	6	15	21
	3	557	1 999	1 223	11 707	35 989	47 696	8	35	1 836	4 807	621	1 775	21	18	39
	4	97	359	273	1 840	14 007	15 847	15	46	308	1 166	79	268	19	39	58
	5	324	150	210	2 914	2 553	5 468	28	34	1 303	486	409	118	9	17	26
Somme Ardèche		339	693	553	23 416	72 790	96 206									
Aube	1		95	95		285	285		60		123		32		3	3
	2	1 974	945	1 136	9 870	20 798	30 668	78	90	4 866	3 156	2 098	822	5	22	27
Total Aube		1 974	843	1 032	9 870	21 083	30 953									
Cantal	1	976	1 355	1 216	29 291	70 442	99 734	53	116	4 373	3 804	1 253	890	30	52	82
Total Cantal		976	1 355	1 216	29 291	70 442	99 734									
Drôme	1	292	2 647	1 691	3 799	50 302	54 102	92	292	888	9 001	224	2 272	13	19	32
	2	3 406	4 009	3 796	20 434	44 097	64 531	308	1 302	4 438	4 864	1 548	1 175	6	11	17
	3	880	1 409	1 287	2 640	14 092	16 732	285	1 047	1 443	2 160	580	363	3	10	13
	4	880	3 947	2 347	10 557	43 421	53 979	682	1 184	1 693	8 148	299	2 154	12	11	23
	5	156	433	277	4 063	8 658	12 720	53	79	353	2 661	66	635	26	20	46
	6	413	513	467	8 256	11 807	20 063	63	128	1 365	1 380	351	421	20	23	43
	7	73	613	365	2 037	20 225	22 262	14	82	292	2 343	57	753	28	33	61
	8	648	2 393	1 704	9 713	55 040	64 753	64	154	2 996	6 763	894	2 127	15	23	38

département	site	MTR moyen			Flux total			Flux mini		Flux maxi		Ecart-type		Nb heures suivies		
	n°	J	N	Total	DMT	NMT	24MT	J	N	J	N	J	N	J	N	Total
Total Drôme		500	1 651	1 132	61 500	247 642	309 142									
Eure-et-Loire	1	449	1 098	724	37 720	68 055	105 775	18	195	1 941	4 359	405	701	84	62	146
	2	245	429	330	19 622	29 594	49 216	28	45	1 443	1 385	246	304	80	69	149
	3	206	211	209	11 975	14 546	26 521	10	8	1 063	622	179	135	58	69	127
Total Eure-et-Loire		312	561	430	69 317	112 195	181 512									
Finistère	1	341	1 106	1 018	2 730	68 543	71 272	27	8	1 308	3 867	417	991	8	62	70
Total Finistère		341	1 106	1 018	2 730	68 543	71 272									
Haut-Rhin	1		657	657		1 314	1 314		351		963		432		2	2
Total Haut-Rhin			657	657		1 314	1 314									
Hérault	1	268	2 193	921	9 915	41 673	51 588	18	122	759	6 928	152	2 386	37	19	56
Total Hérault		268	2 193	921	9 915	41 673	51 588									
Isère	1	208	696	507	7 490	39 676	47 166	20	34	759	3 029	177	877	36	57	93
	2	377	1 955	1 477	3 770	44 970	48 740	49	385	1 583	4 228	446	1 137	10	23	33
	3	182	114	152	2 724	1 371	4 095	12	71	534	140	187	23	15	12	27
	4	56	154	97	391	772	1 163	15	91	107	203	30	46	7	5	12
	5	64	3 679	2 567	256	33 113	33 370	42	610	88	6 335	19	1 968	4	9	13
Total Isère		203	1 131	756	14 632	119 902	134 534									
Loire	1		230	584	410	16 116	42 045	2	73	1 868	5 445	328	809	804	70	72
Total Loire		230	584	410	16 116	42 045	58 161									
Loire-Atlantique	1	1 260	971	1 147	180 202	89 361	269 563	65	166	14 243	4 366	1 992	720	143	92	235
	2	284	486	396	7 953	17 024	24 977	18	55	2 035	5 304	456	1 149	28	35	63
	3	183	595	400	3 288	11 895	15 183	65	112	444	2 547	104	759	18	20	38
	4	124	321	201	5 953	9 954	15 907	3	12	732	1 199	130	360	48	31	79
Total Loire-Atlantique		833	720	785	197 396	128 234	325 630									
Manche	1	54	133	94	325	799	1 124	31	62	71	273	14	90	6	6	12
Total Manche		54	133	94	325	799	1 124									
Marne	1	3 068	1 593	1 698	3 068	20 707	23 775	3 068	730	3 068	2 606	0	483	1	13	14
Total Marne		3 068	1 593	1 698	3 068	20 707	23 775									
Morbihan	1		824	824		6 595	6 595		359		1 204		313		8	8
	2	428	3 324	2 387	4 706	76 442	81 148	146	360	2 110	11 751	568	3 766	11	23	34
Total Morbihan		428	2 679	2 089	4 706	83 037	87 743									

département	site n°	MTR moyen			Flux total			Flux mini		Flux maxi		Ecart-type		Nb heures suivies		
		J	N	Total	DMT	NMT	24MT	J	N	J	N	J	N	J	N	Total
Nord	1	174	1 849	626	8 012	31 438	39 451	43	620	630	4 170	147	871	46	17	63
Total Nord		174	1 849	626	8 012	31 438	39 451									
Pas-de-Calais	1	1 181	3 295	2 942	8 264	115 318	123 582	84	312	2 922	578	1 266	3 220	7	35	42
	2	180	283	275	180	3 400	3 580	180	55	180	610		188	1	12	13
	3	1 410	123	337	1 410	613	2 023	1 410	76	1 410	188		41	1	5	6
	4	515	160	196	515	1 441	1 956	515	62	515	291		101	1	9	10
	5	170	358	291	11 233	42 925	54 158	15	48	795	2 016	181	328	66	120	186
	6	189	188	188	3 968	8 646	12 614	53	32	548	808	127	148	21	46	67
	7	293	236	260	8 486	9 215	17 701	63	73	932	474	187	182	29	39	68
Total Pas-de-Calais		270	683	550	34 056	181 558	215 614									
Somme	1	401	627	537	6 009	14 410	20 419	78	168	1 974	1 088	537	295	15	23	38
	2		842	842		6 737	6 737		381		1 302		362		8	8
	3	372	513	500	372	5 126	5 498	372	140	372	1 092		325	1	10	11
	4	346	772	592	11 407	34 736	46 143	24	30	1 930	3 296	388	753	33	45	78
Total Somme		363	709	584	17 788	61 009	78 797									
Yonne	1	119	102	108	2 021	2 751	4 772	17	21	390	600	92	119	17	27	44
Total Yonne		119	102	108	2 021	2 751	4 772									
TOTAL PÉRIODE POSTNUPTIALE		447	924	713	504 161	1 316 935	1 821 096							1 129	1 425	2 554

Tableau 3 : Importance des flux en période postnuptiale

département	site n°	MTR moyen			Flux total			Flux mini		Flux maxi		Ecart-type		Nb heures suivies		
		J	N	Total	DMT	NMT	24MT	J	N	J	N	J	N	J	N	Total
Nord	1	170	532	286	5 765	8 516	14 281	50	73	443	3 520	79	993	34	16	50
Total Nord		170	532	286	5 765	8 516	14 281									
Pas-de-Calais	1	79	39	57	17 289	10 138	27 427	5	0	1 099	436	90	53	218	259	477
Total Pas-de-Calais		79	39	57	17 289	10 138	27 427									
Somme	1		25	25		75	75		18		36		10		3	3
	2		52	52		209	209		36		65		13		4	4
Total Somme			41	41		284	284									
TOTAL PÉRIODE D'HIVERNAGE		91	67	79	23 054	18 938	41 992							252	282	534

Tableau 4 : Importance des flux en période hivernale

Comparaison des flux migratoires diurnes et nocturnes en saison d'hivernage

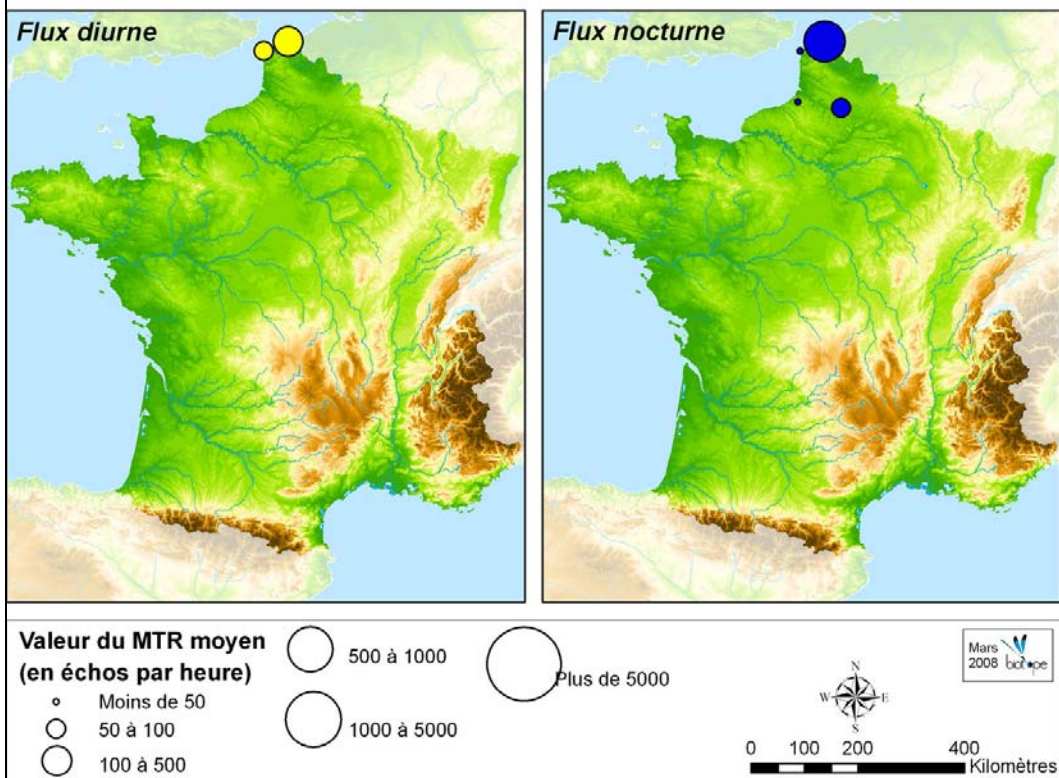


Figure 9 : Importance des flux migratoires diurnes et nocturnes en hivernage

Comparaison des flux migratoires diurnes et nocturnes lors de la migration prénuptiale

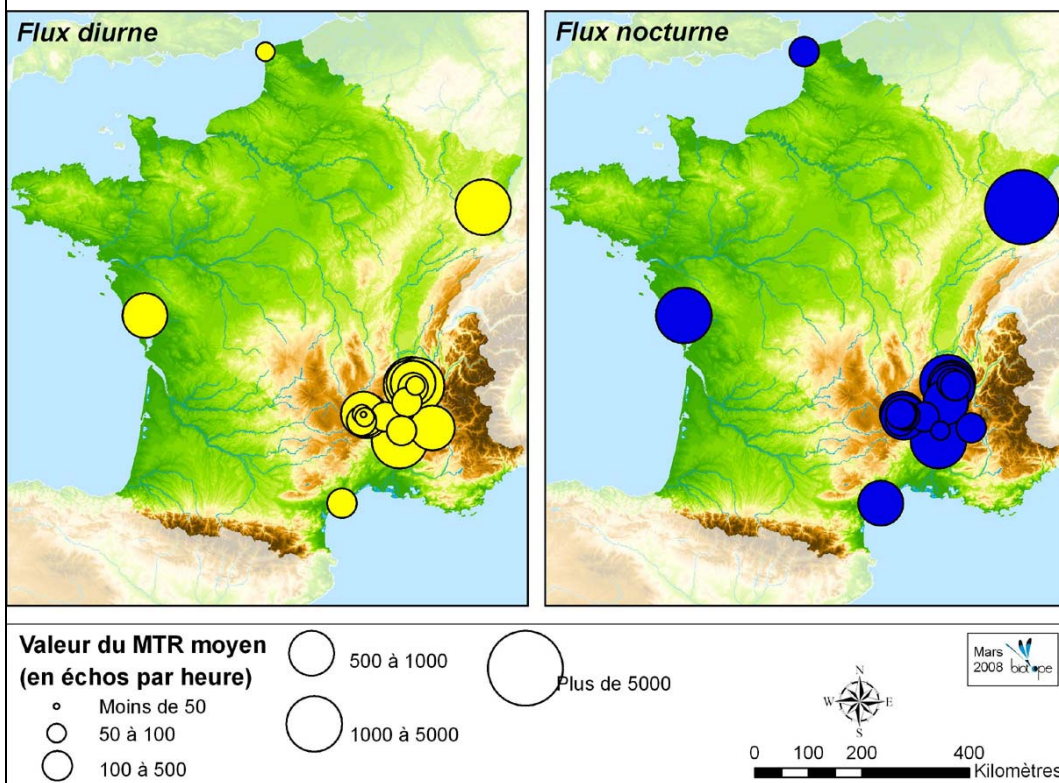


Figure 10 : Importance des flux migratoires diurnes et nocturnes en migration prénuptiale

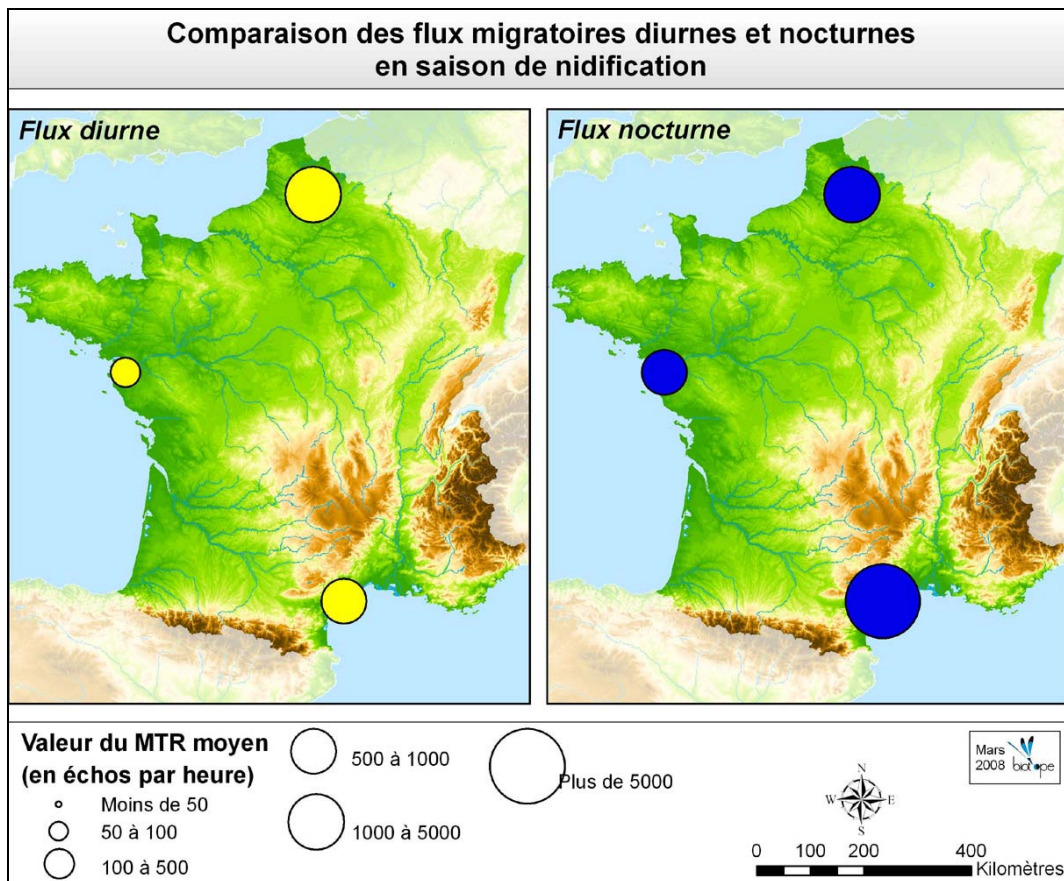


Figure 11 : Importance des flux migratoires diurnes et nocturnes en migration de nidification

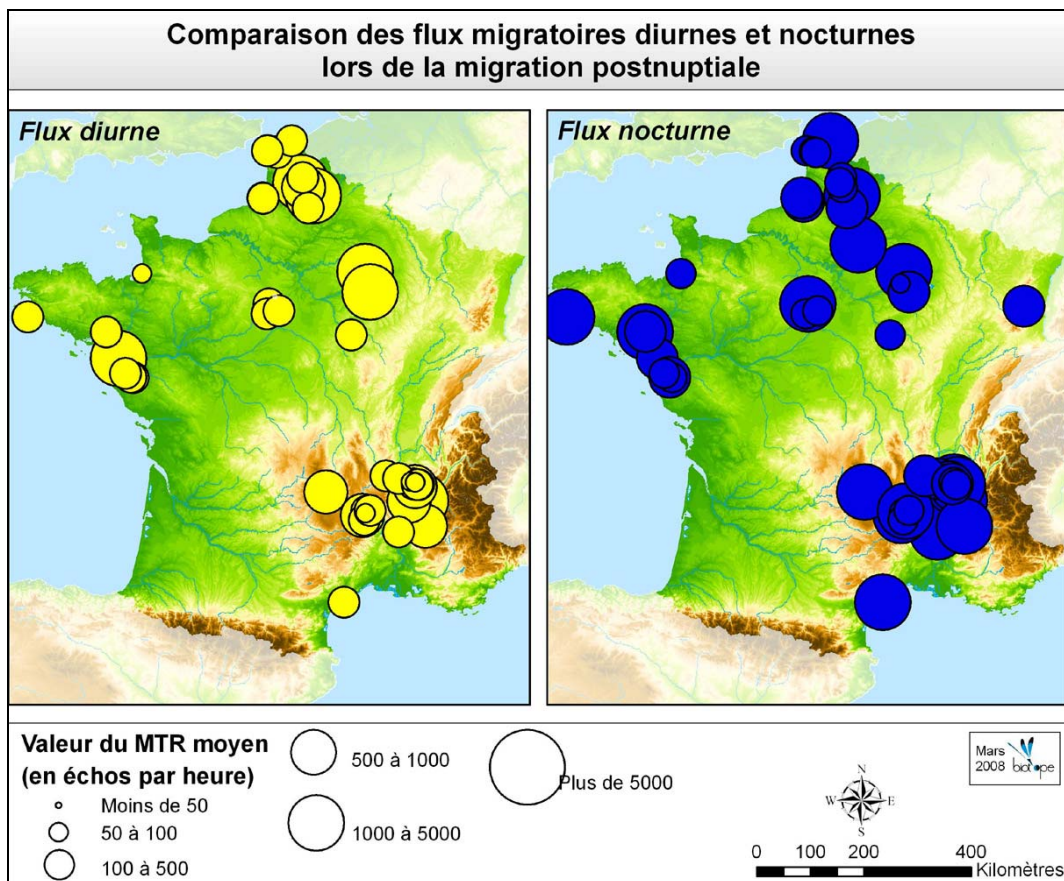


Figure 12 : Importance des flux migratoires diurnes et nocturnes en migration de migration postnuptiale

IV.2. Évolution journalière

L'évolution générale des MTR moyen au cours d'un cycle de 24 heures montre plusieurs phases (voir Figure 13) :

- une augmentation du flux en soirée, jusqu'à 21h TU ;
- une diminution des flux au cours de la seconde partie de la nuit ;
- une reprise de l'activité dans la matinée ;
- une diminution de l'activité en fin d'après-midi.

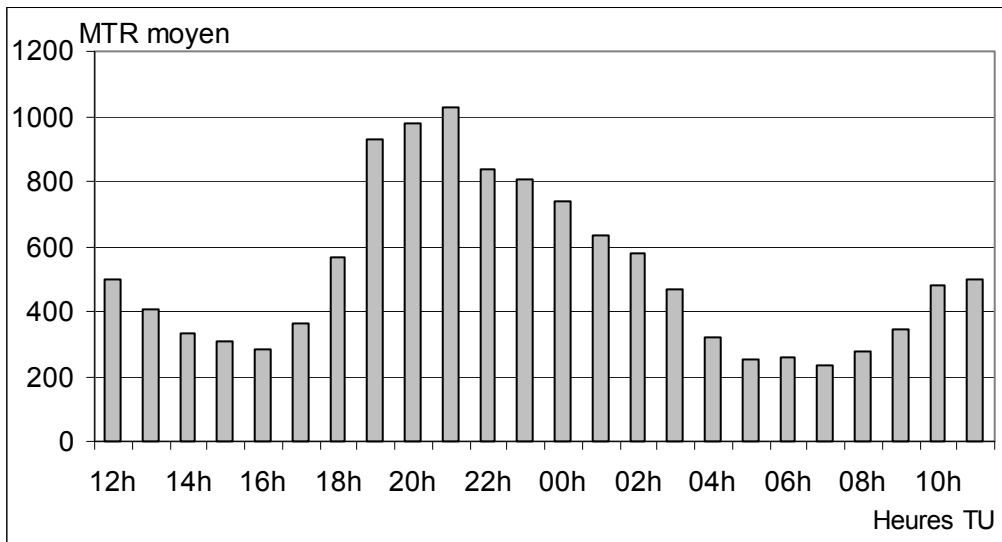


Figure 13 : Évolution journalière du MTR moyen toutes périodes confondues

Cette tendance générale est en réalité différente selon la saison. Ainsi, en période de migration prénuptiale, on observe une augmentation très rapide du flux vers 19h TU. Le pic d'activité est ensuite atteint vers 21h. La diminution progressive en cours de nuit est conforme au schéma général. La reprise d'activité vers 10h est davantage marquée. Elle correspond au démarrage de la migration diurne d'Hirondelles et de Martinets, ainsi que de rapaces qui attendent les heures chaudes pour démarrer la migration (voir Figure 14). En période de migration postnuptiale, le schéma est davantage conforme à la situation générale (voir Figure 15).

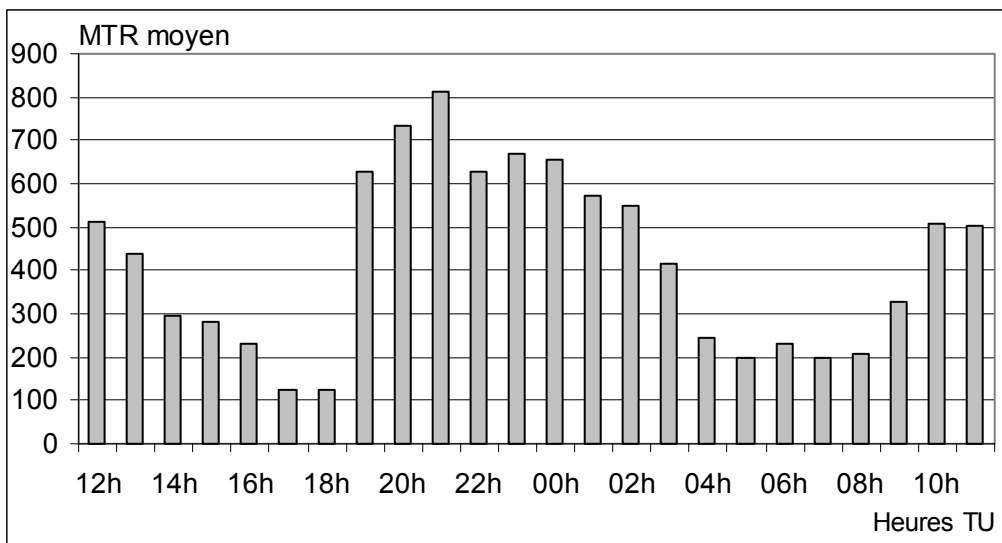


Figure 14 : Évolution journalière du MTR moyen en période de migration prénuptiale

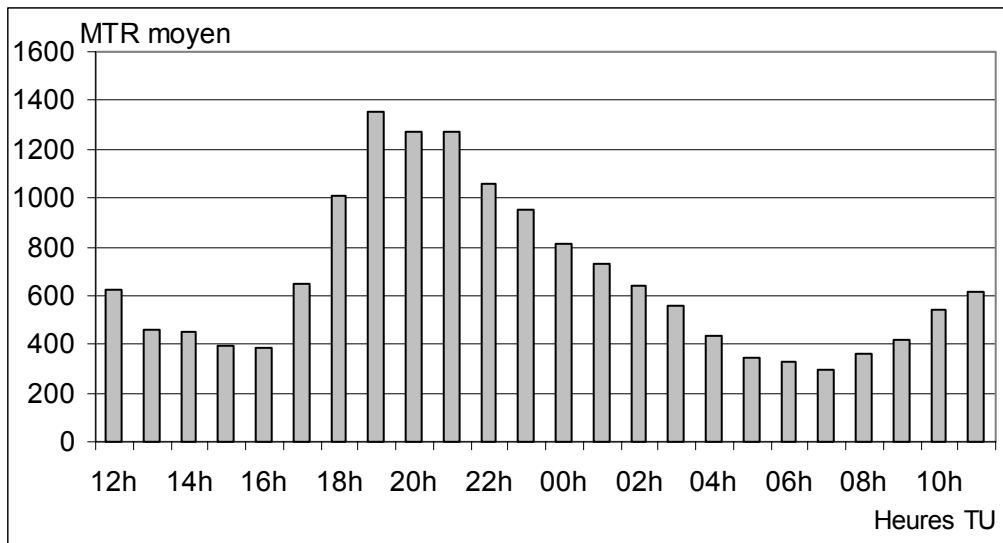
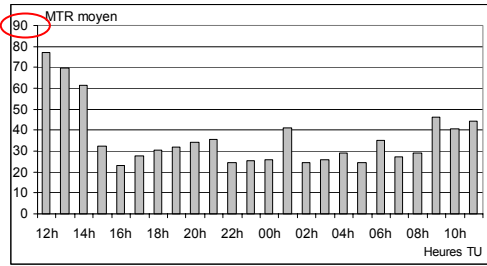


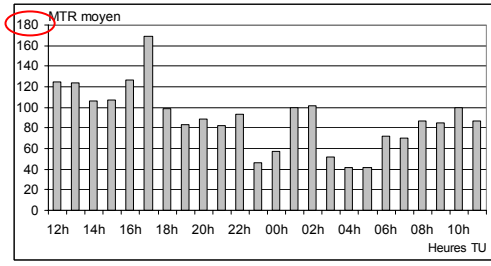
Figure 15 : Évolution journalière du MTR moyen en période de migration postnuptiale

Tout au long de l'année, on observe une évolution du schéma journalier des mouvements d'oiseaux (voir Figure 16). Les mouvements nocturnes importants notés en période de nidification s'expliquent par :

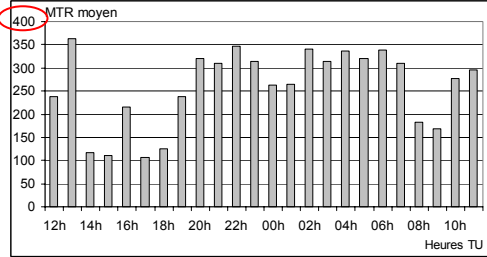
- la fin de la migration pré-nuptiale en mai,
- le début de la migration post-nuptiale en juillet,
- d'importants dortoirs de Martinets noirs (voir VI.1.2).



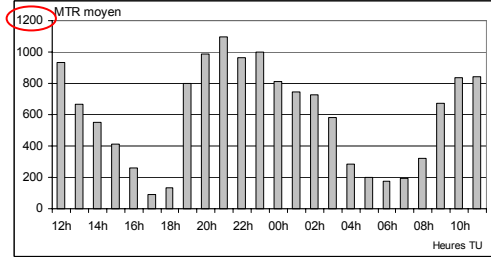
Janvier



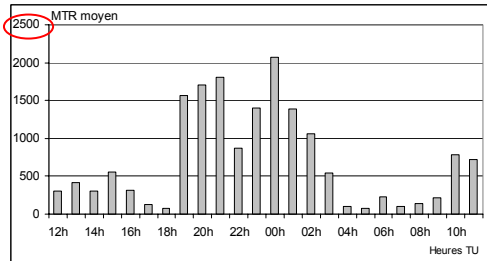
Février



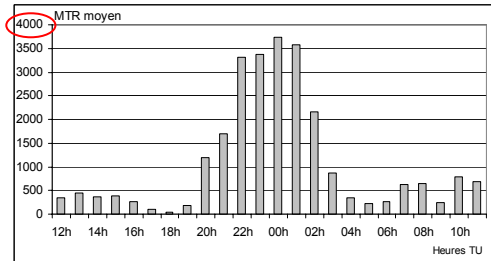
Mars



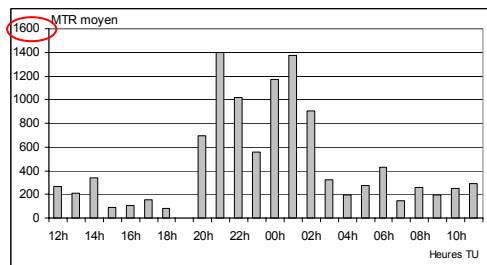
Avril



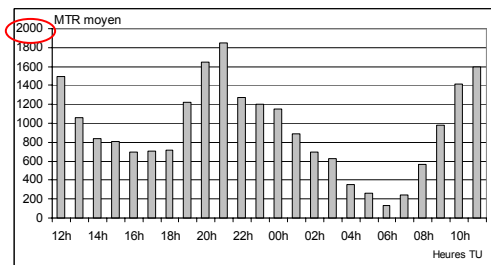
Mai



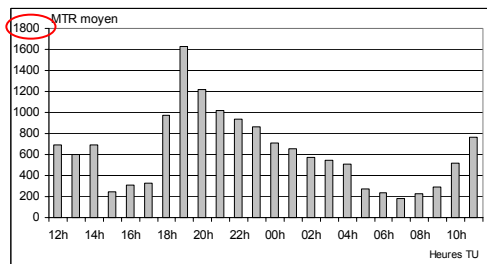
Juin



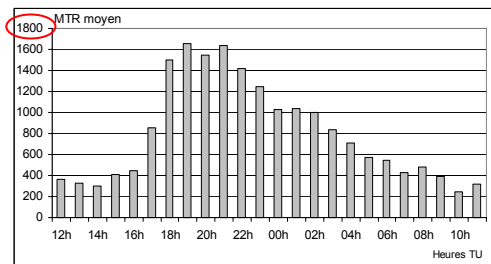
Juillet



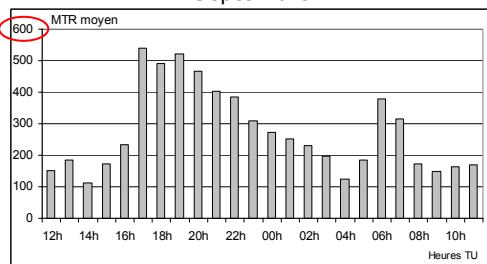
Août



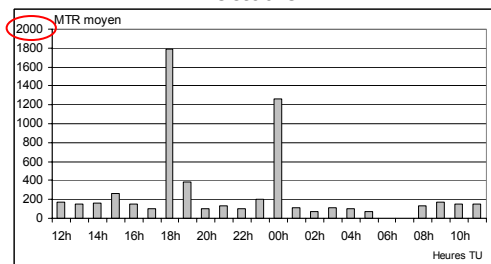
Septembre



Octobre



Novembre



Décembre

* Attention, échelle des ordonnées différentes selon les graphiques

Figure 16 : Évolution journalière du MTR moyen au cours de l'année

IV.3. Évolution annuelle

L'évolution de la taille des flux détectés par radar au cours d'une année complète illustre relativement bien les différentes périodes du cycle biologique des oiseaux (voir Figure 17).

Au cours de l'hiver, les mouvements sont très faibles et concernent des oiseaux en hivernage, qui se déplacent localement sur de courtes distances ou qui fuient devant des conditions météorologiques défavorables (mouvement de fuite).

Les premiers mouvements liés à la migration prénuptiale sont détectés mi-mars. Signalons toutefois que la faiblesse de l'échantillon des sites étudiés en février ne permet pas d'avoir une vision correcte des premiers mouvements de remontée du mois de février. La migration prénuptiale bat son plein de mi-mars à mi-mai.

Les importants mouvements nocturnes détectés entre mi-mai et début août correspondent généralement à sites sur lesquels des dortoirs de Martinets noir (*Apus apus*) ont été notés (voir chapitre V). De jour, les mouvements détectés à cette période correspondent à la fois à des concentrations d'Hirondelles chassant en altitude dans des nuages d'insectes et à des mouvements pendulaires entre des colonies de reproduction et des zones d'alimentation.

La migration postnuptiale débute fin juillet. Les mouvements détectés par radar augmentent au cours du mois d'août et septembre (migration des fauvelles paludicoles et forestières... de nuit, migration des rapaces, des cigognes, ... de jour). Le flux plafonne au cours de la première décennie d'octobre. Cela correspond à la période de migration des Fringilles de jour et des grands Turdidés (grives et merles) ainsi que des Alouettes de nuit. La migration d'automne se termine fin octobre - début novembre, les mouvements détectés en novembre étant beaucoup plus faibles.

Les mouvements migratoires de l'automne concernent davantage d'individus que ceux du printemps (forte mortalité au cours de la migration postnuptiale, mortalité hivernale...). On retrouve logiquement cette tendance dans les observations par radar : l'importance du flux prénuptial est inférieure à celui de l'automne.

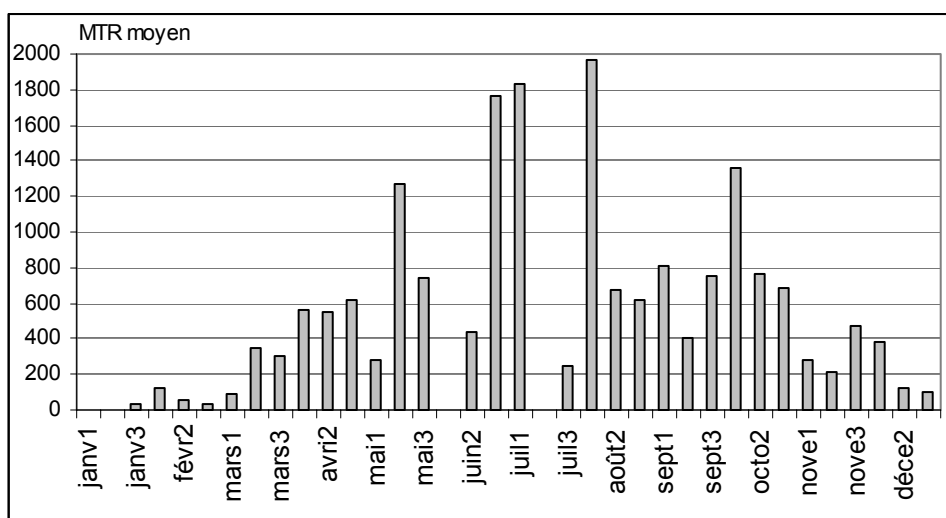


Figure 17 : Évolution décadaire du MTR moyen

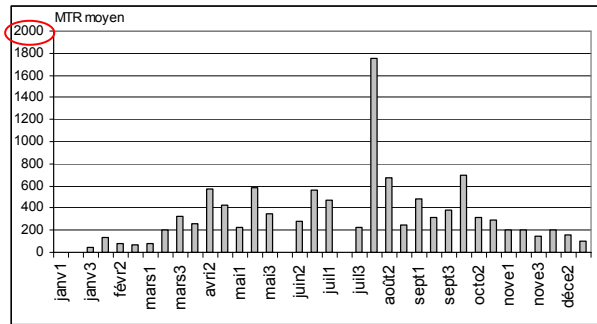


Figure 18 : Évolution décadaire du MTR diurne moyen

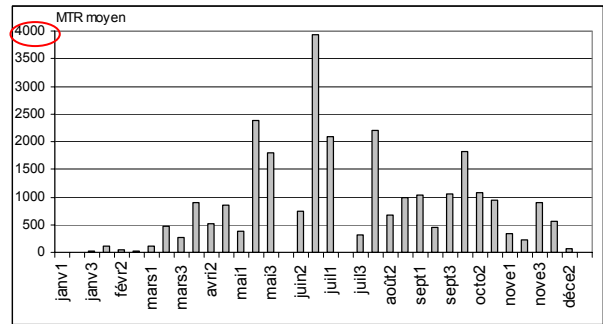


Figure 19 : Évolution décadaire du MTR nocturne moyen

IV.4. Différences entre les flux diurnes et nocturnes

Le radar permet d'étudier les mouvements nocturnes, ce que très peu de méthodes permettent de faire de manière directe. L'importance des flux nocturnes est généralement sous estimé ou mal connu. L'utilisation du radar montre que près de 72% des mouvements sont nocturnes (voir Figure 20).

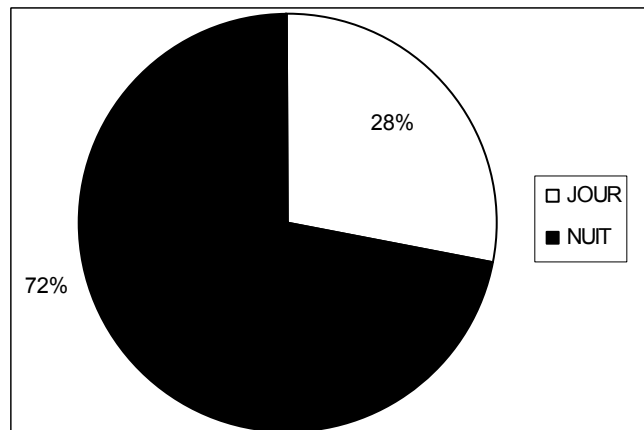


Figure 20 : Proportion des flux diurnes et nocturnes (toutes périodes confondues)

Cette tendance varie cependant au cours de la saison. Au cours de la migration prénuptiale, le flux nocturne représente 60% des vols alors qu'il atteint 71% au cours de la migration postnuptiale.

L'évolution annuelle montre (Figure 21) que les mouvements diurnes sont majoritaires en janvier (mouvements très faibles) puis que la part des mouvements nocturnes augmente au cours de la migration prénuptiale. Entre mai et juillet, de gros mouvements nocturnes attribués à des dortoirs de Martinets (chapitre V) biaise les résultats. Durant l'automne, la migration est principalement nocturne, avec un maximum en octobre (80%). À la fin de la période postnuptiale, les mouvements sont plus faibles et la proportion du flux diurne augmente.

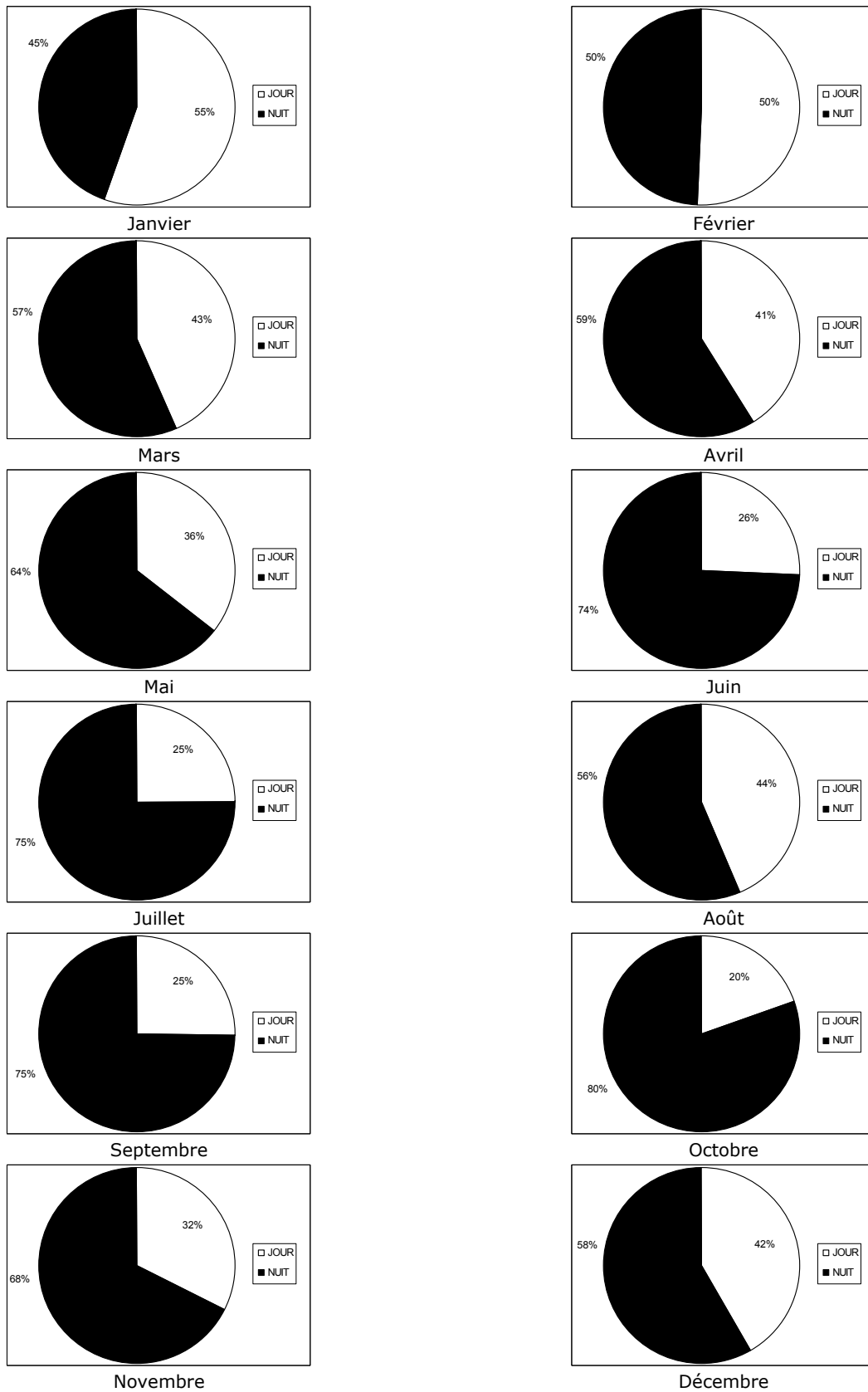


Figure 21 : Évolution mensuelle de la proportion des flux diurnes et nocturnes

V. ALTITUDES DE VOL

V.1. Évolution journalière

Le schéma général de l'évolution journalière des altitudes de vol (voir Figure 22) est sensiblement identique à celui de la taille des flux :

- une augmentation progressive des altitudes de vol en soirée qui correspond au décollage des oiseaux et à la prise d'altitude progressive ;
- une stagnation des altitudes de vol au cœur de la nuit, lorsque les oiseaux ont atteints leur altitude de croisière ;
- une diminution des altitudes de vol en fin de nuit, les migrateurs nocturnes perdant de l'altitude pour se poser en toute fin de nuit ;
- une augmentation rapide et brève des altitudes de vol au lever du jour. On remarque régulièrement en effet à l'aube un passage migratoire à haute altitude, très limité dans sa durée. L'explication peut venir de la poursuite de la migration par des espèces migratrices sur de longues distances et en altitude (canards, limicoles...). Cette hypothèse reste cependant à valider ;
- de jour, les altitudes de vol sont inférieures à celles observées de nuit. Elles sont également généralement assez stables au cours de journée.

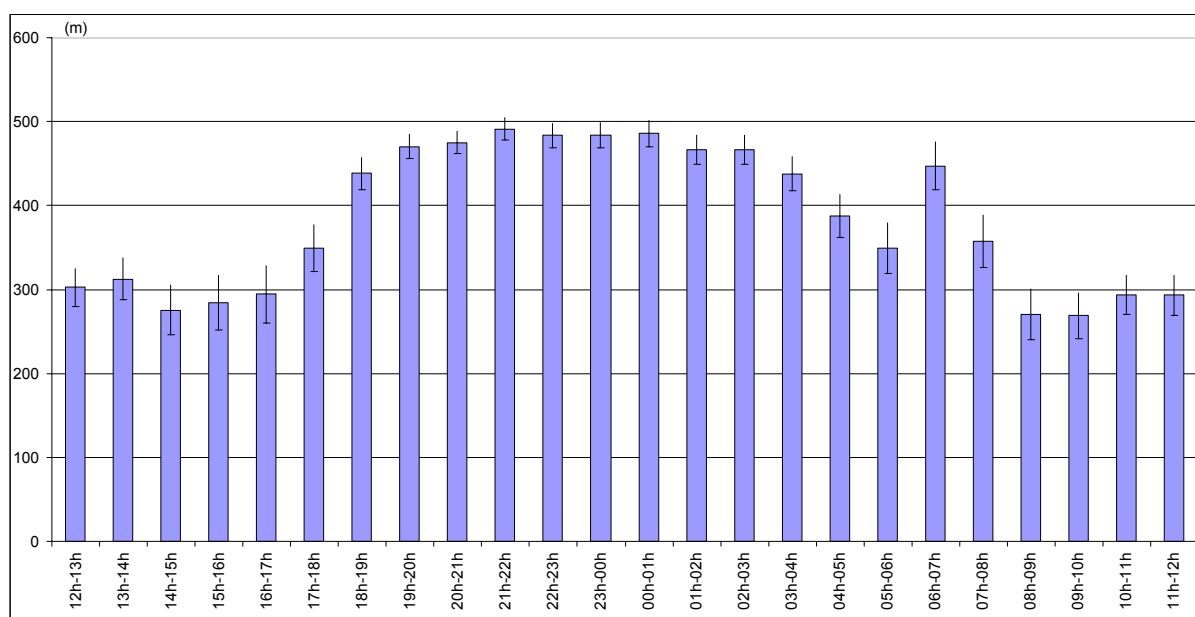


Figure 22 : Évolution journalière des altitudes de vol moyennes toutes périodes confondues

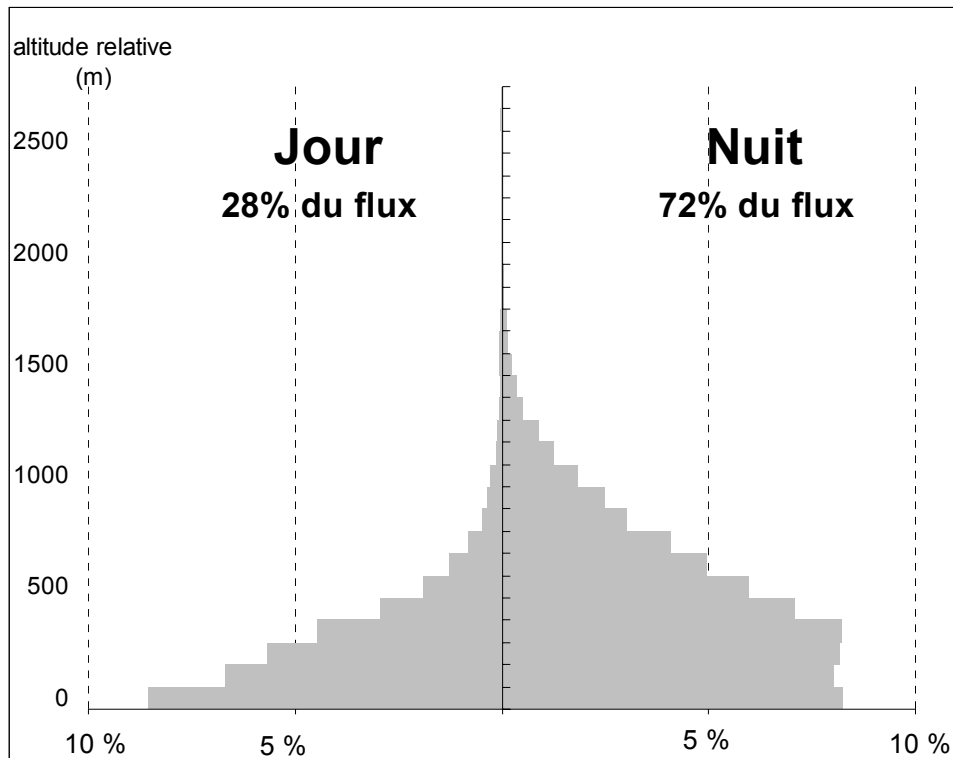


Figure 23 : Distribution verticale des vols en périodes diurne et nocturne

V.2. Évolution annuelle

On observe une différence assez marquée entre les périodes migratoires pré et postnuptiales. Au printemps, les migrateurs volent sensiblement plus haut, aidés en cela par des vents portants (Elkins, 1996).

	Migration pré-nuptiale		Migration postnuptiale	
	Jour	Nuit	Jour	Nuit
Altitude moyenne	365 m	533 m	270 m	428 m
Altitude médiane	281 m	468 m	205 m	358 m

Tableau 5 : Altitudes de vol au cours des migrations pré et postnuptiales

Sur les graphiques suivants, on a représenté les altitudes de vol moyennes et l'écart-type de chaque valeur.

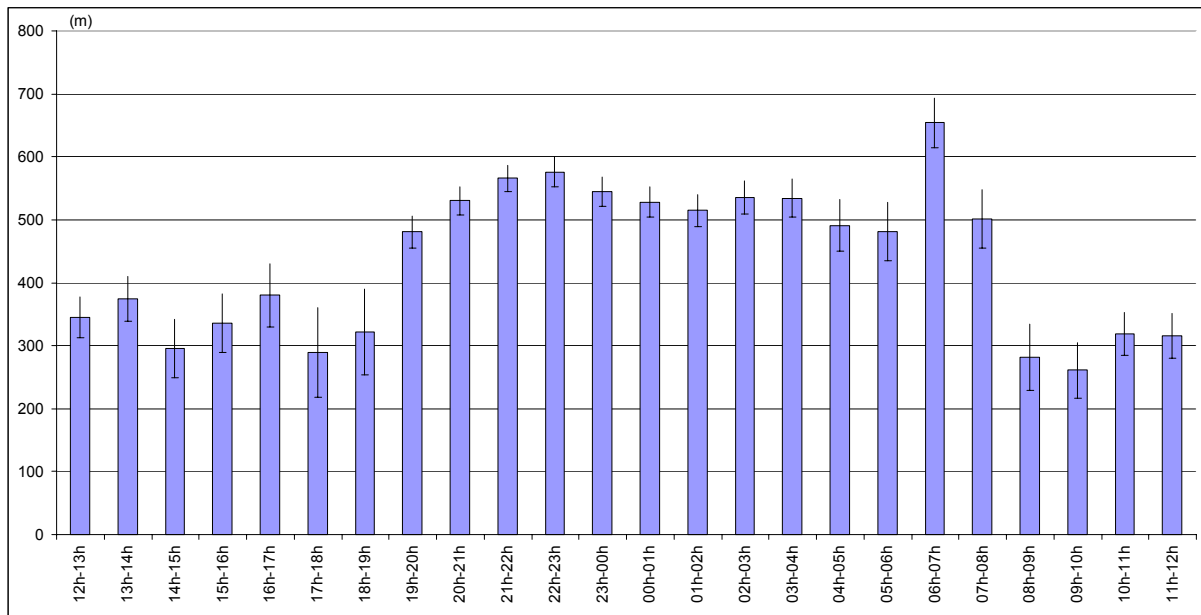


Figure 24 : Évolution journalière des altitudes de vol moyennes en période de migration prénuptiale

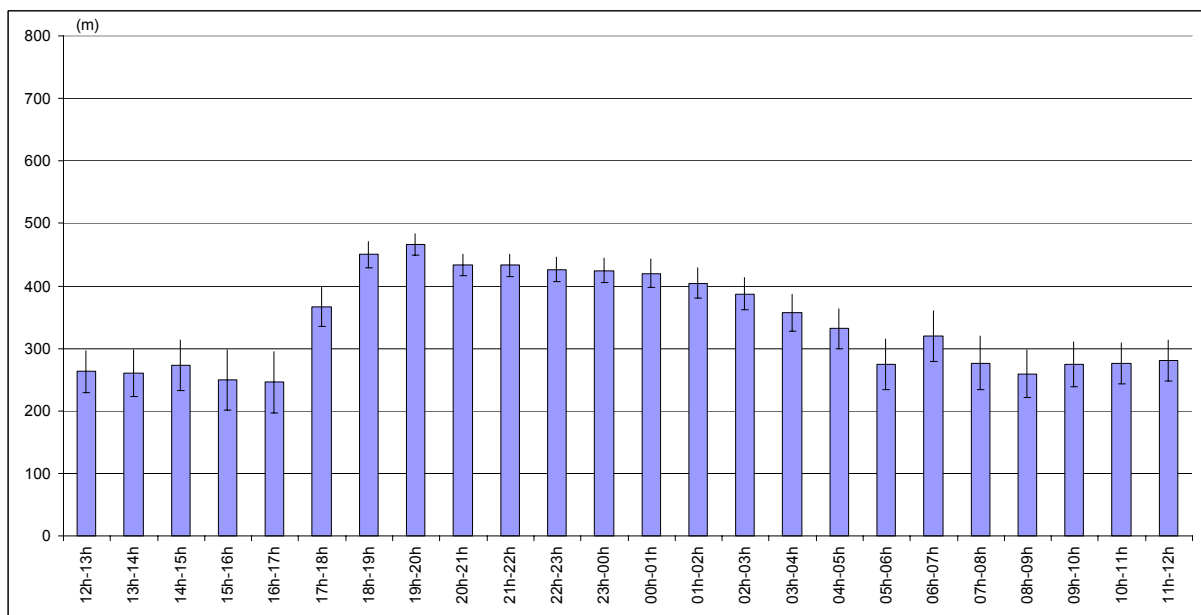


Figure 25 : Évolution journalière des altitudes de vol moyennes en période de migration postnuptiale

On remarque que la variabilité est plus forte de jour que de nuit et est sensiblement plus élevée en période prénuptiale (voir tableau suivant). Cela peut s'expliquer par la présence de mouvements locaux à basse altitude plus importants de jour que de nuit (et sans doute davantage au printemps qu'à l'automne).

Heures	Migration pré-nuptiale			Migration post-nuptiale		
	Altitudes moyennes	Ecart-type	Altitudes médianes	Altitudes moyennes	Ecart-type	Altitudes médianes
12h-13h	346	33	303	263	33	219
13h-14h	375	35	275	260	38	208
14h-15h	295	46	246	273	40	234
15h-16h	336	46	289	250	49	189
16h-17h	380	51	308	246	50	187
17h-18h	289	71	227	366	31	297
18h-19h	322	67	262	450	21	358
19h-20h	481	25	420	467	17	387
20h-21h	531	23	477	434	17	357
21h-22h	566	21	505	433	18	367
22h-23h	576	24	533	426	19	363
23h-00h	544	23	496	425	20	359
00h-01h	528	24	469	420	23	358
01h-02h	515	26	427	404	25	343
02h-03h	536	26	451	387	26	326
03h-04h	534	30	451	357	29	291
04h-05h	491	41	409	331	32	265
05h-06h	481	47	384	275	40	171
06h-07h	654	40	379	320	41	191
07h-08h	502	47	255	277	43	182
08h-09h	282	52	183	259	38	180
09h-10h	261	45	217	274	36	220
10h-11h	318	34	275	276	33	231
11h-12h	315	36	276	281	33	238

Tableau 6 : Altitudes de vol moyennes et médianes au cours des migrations pré et post-nuptiales

De mars à juin (le faible nombre de sites suivis en juin rendant cette dernière donnée peu fiable), soit au cours de la migration prénuptiale, les altitudes de vol sont maximales. D'août à octobre (soit en migration postnuptiale), elles sont inférieures et restent relativement stables. Elles diminuent ensuite à la fin de la période migratoire et restent à des niveaux assez bas en période hivernale (mouvements locaux).

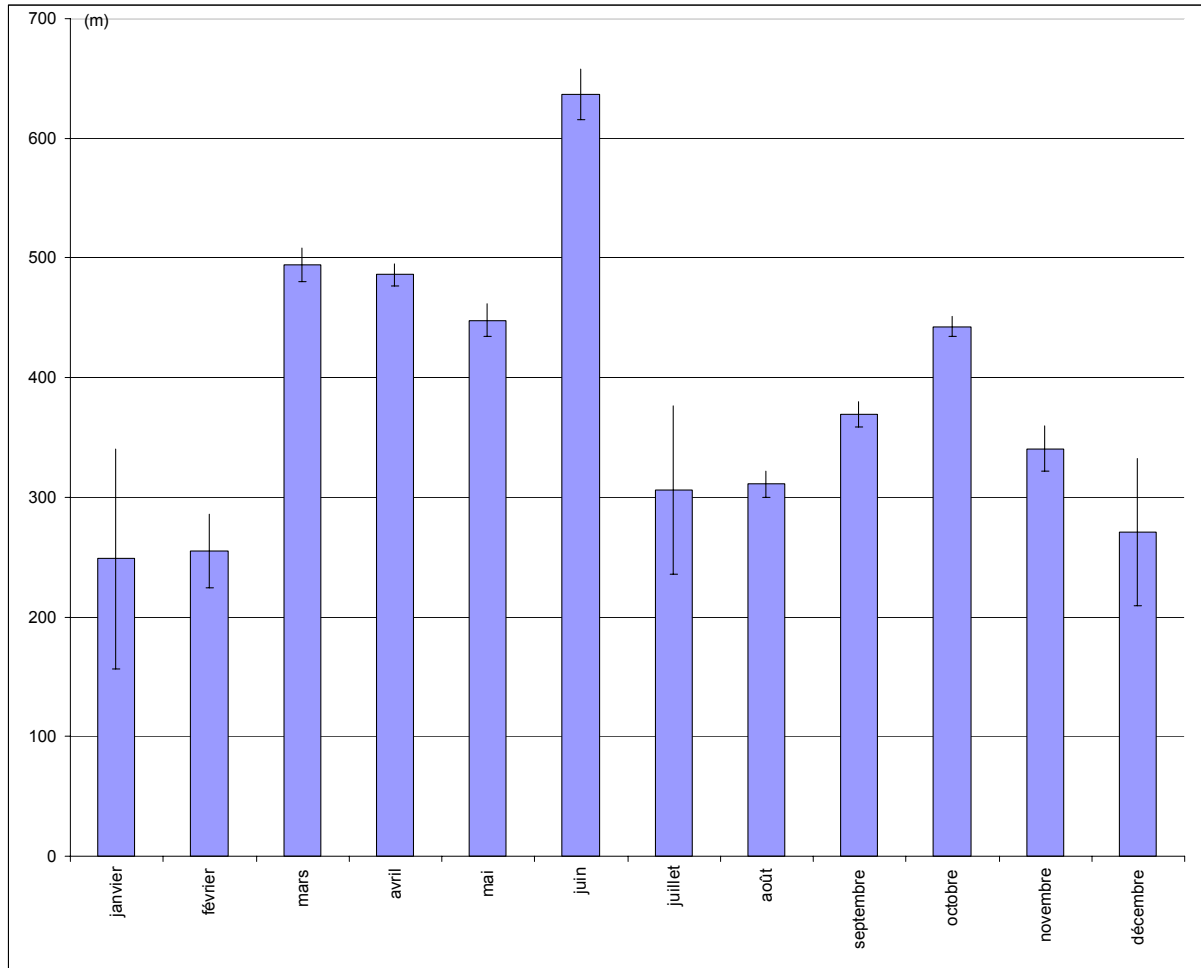


Figure 26 : Évolution mensuelle des altitudes de vol moyennes (jour + nuit)

La variabilité à l'intérieur d'un même mois est faible (voir tableau suivant) pendant les mois de migrations pré et postnuptiales (de l'ordre de 10 à 20 m). En revanche, elle augmente en hiver et en juillet. Cela peut s'expliquer par plusieurs hypothèses :

- pendant la migration, les oiseaux réagiraient de la même façon aux conditions météorologiques d'un mois donné,
- La pression d'échantillonnage étant plus faible en hiver et en juillet et plus forte durant les périodes migratoires, la variabilité est supérieure, les effectifs enregistrés sont également plus faibles à ces périodes.
- en hiver, des mouvements migratoires en altitude (fuite devant une vague de froid) peuvent s'ajouter aux mouvements locaux à basse altitude, augmentant ainsi la variabilité,
- en juillet, la présence de mouvements nocturnes de martinets (dortoirs) en altitude sur certains sites a pu augmenter la variabilité.

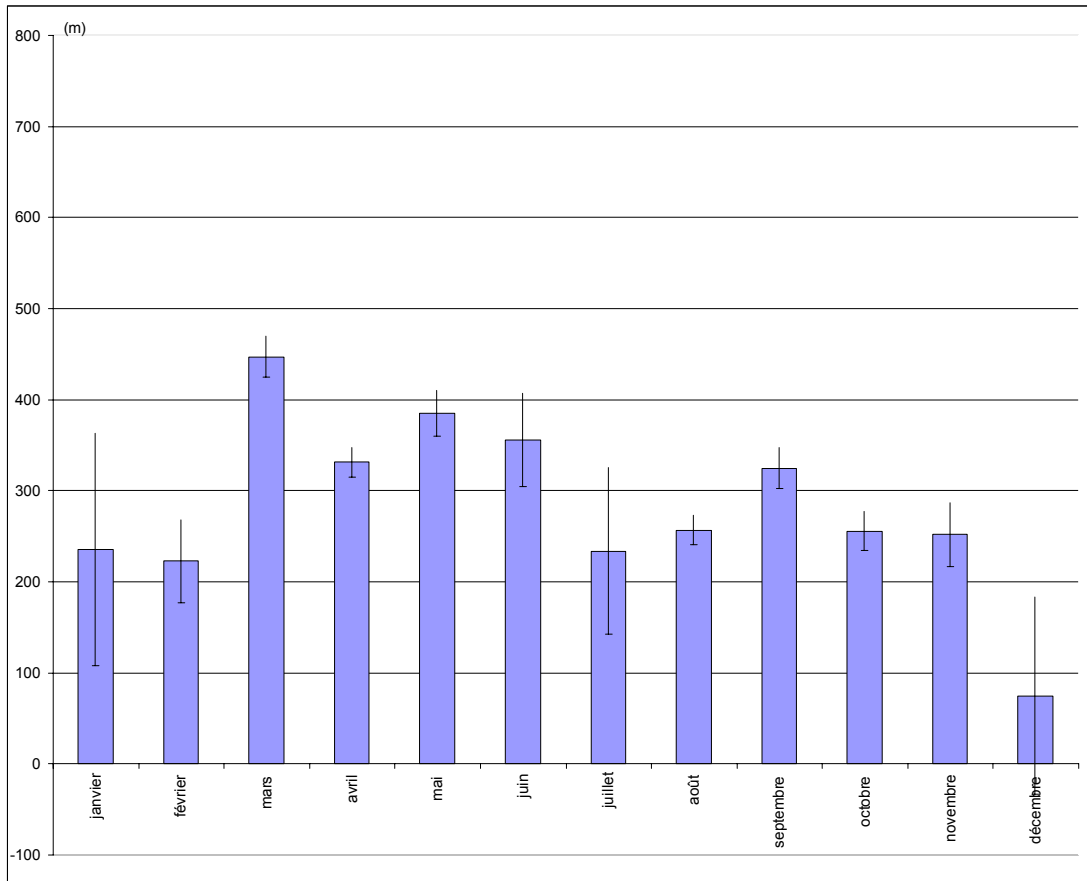


Figure 27 : Évolution mensuelle des altitudes de vol diurnes moyennes

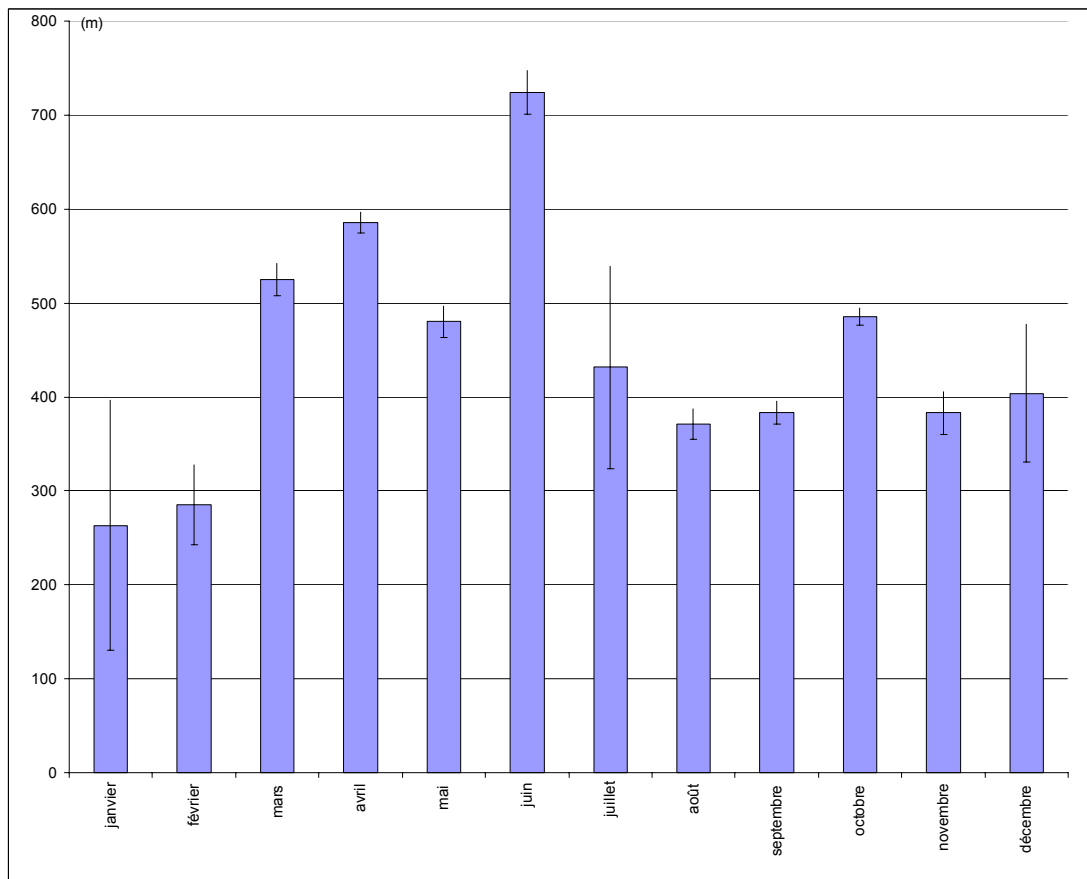
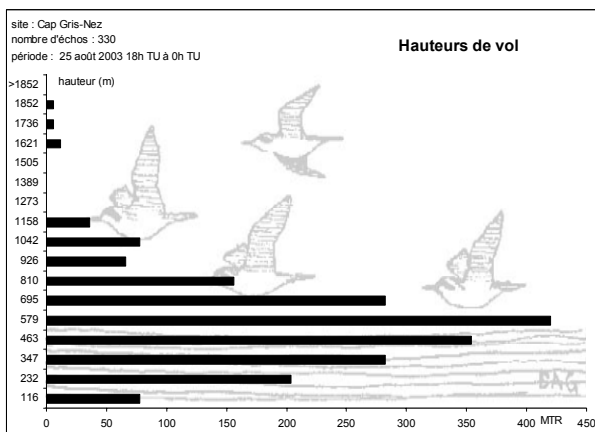


Figure 28 : Évolution mensuelle des altitudes de vol nocturnes moyennes

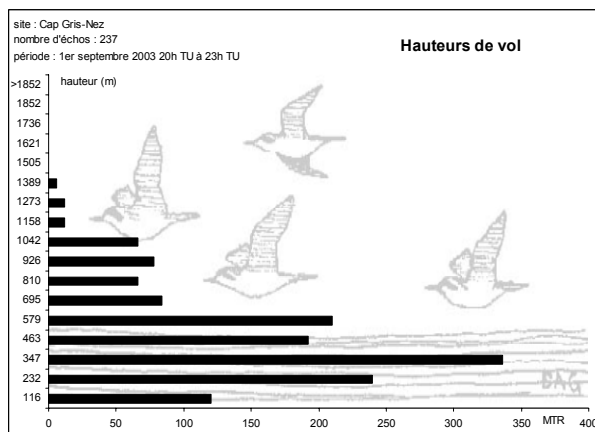
	Altitudes moyennes				Altitudes médianes	
	Jour	Ecart-Type	Nuit	Ecart-Type	Jour	Nuit
Janvier	236	127	263	133	202	230
Février	219	45	283	42	95	203
Mars	452	23	518	17	258	444
Avril	331	16	585	11	282	540
Mai	385	25	480	17	317	411
Juin	356	51	724	23	227	676
Juillet	234	92	432	108	93	367
Août	257	16	371	16	219	282
Septembre	325	22	384	12	257	332
Octobre	253	22	486	9	169	422
Novembre	252	35	383	23	163	291
Décembre	75	108	404	74	55	389
Total année	309		472		233	403

Tableau 7 : Altitudes de vol par mois

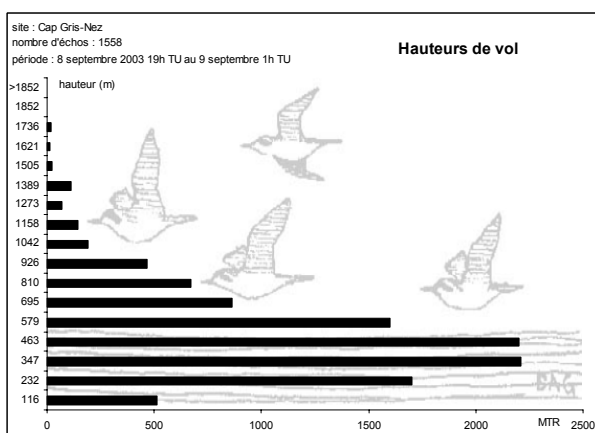
En réalité, cette synthèse portant sur plusieurs dizaines de sites répartis à travers toute la France, les différences au cours de l'année sont en partie masquées. Un suivi sur l'ensemble de la saison postnuptiale au Cap Gris-Nez (62) a montré des différences importantes dans les altitudes de vol (figures suivantes).



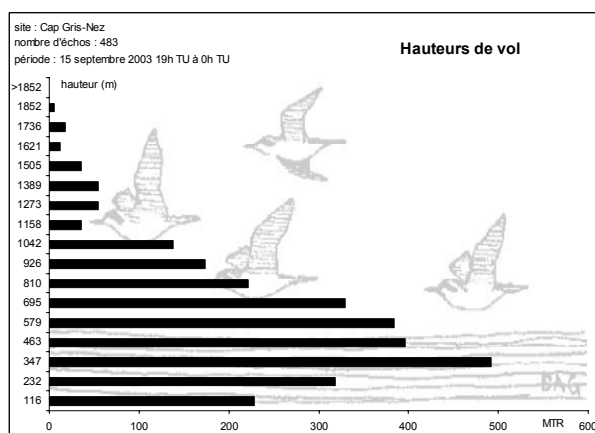
Hauteurs de vol le 25 août 2003



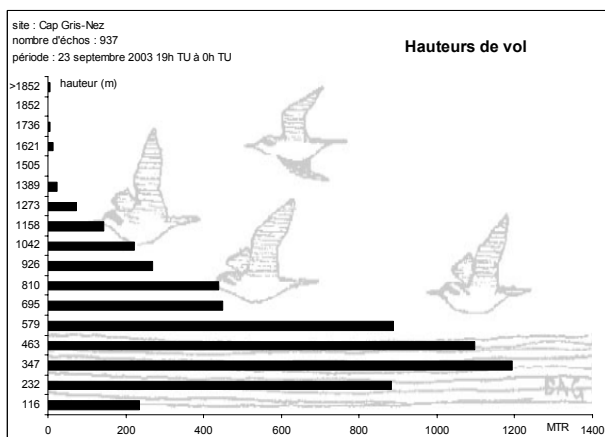
Hauteurs de vol le 1er septembre 2003



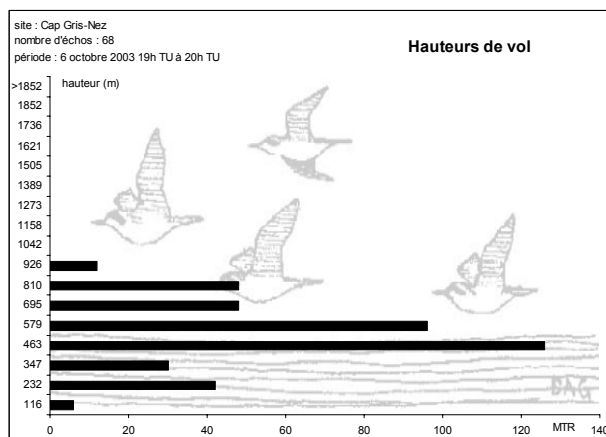
Hauteurs de vol le 8 septembre 2003



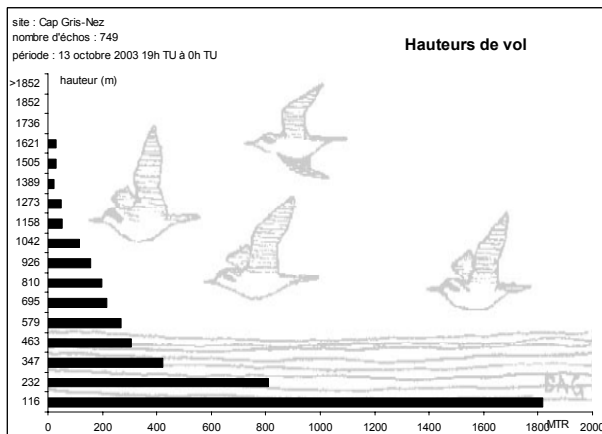
Hauteurs de vol le 15 septembre 2003



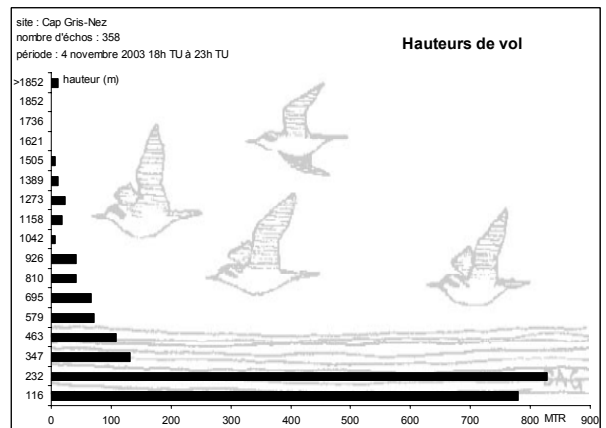
Hauteurs de vol le 23 septembre 2003



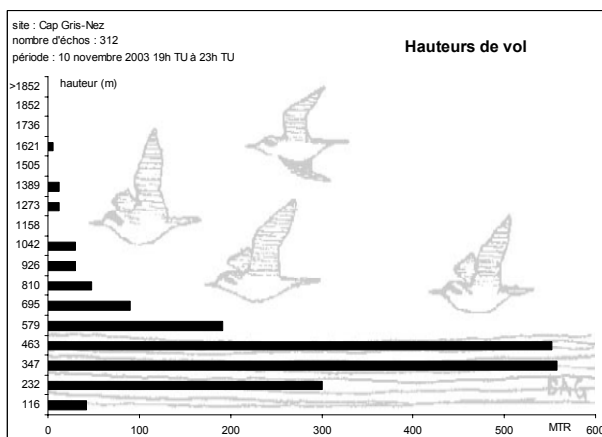
Hauteurs de vol le 6 octobre 2003



Hauteurs de vol le 13 octobre 2003



Hauteurs de vol le 4 novembre 2003



Hauteurs de vol le 10 novembre 2003

On observe nettement deux tendances :

- jusqu'au début du mois d'octobre, la majorité des oiseaux vole à une altitude comprise entre 200 et 700 mètres ;
- à partir de la mi-octobre, les altitudes de vol sont beaucoup plus basses. La majorité du flux migratoire prend place au ras du sol, à une altitude inférieure à 300 mètres. La présence d'un brouillard épais le 10 novembre 2003 a vraisemblablement obligé les migrateurs à augmenter légèrement la hauteur de vol.

Figure 29 : Évolution des altitudes de vol nocturnes au Cap Gris-Nez (62) au cours de la saison de migration postnuptiale

Tiré de Govaere & al. (2005)

VI. PHÉNOMÈNES PARTICULIERS

L'utilisation du radar permet de détecter des phénomènes particuliers, difficilement observables autrement, du moins dans leur entièreté.

VI.1. Les dortoirs

Le rassemblement de plusieurs centaines voire milliers d'individus en dortoir est un phénomène tout à fait intéressant à suivre par radar. En effet, cette technique permet de visualiser la taille des vols (notamment les immenses vols d'étourneaux) ou la provenance des oiseaux.

VI.1.1. LES ÉTOURNEAUX SANSONNETS

À plusieurs reprises, d'immenses vols d'Étourneaux sansonnets (*Sturnus vulgaris*) ont été notés par le radar et confirmés par des observations visuelles. Si le dénombrement du nombre d'individus est impossible par radar, la technique permet de mesurer la taille du vol. Ainsi, des vols de plusieurs dizaines de kilomètres de large ont été détectés (voir figures suivantes).

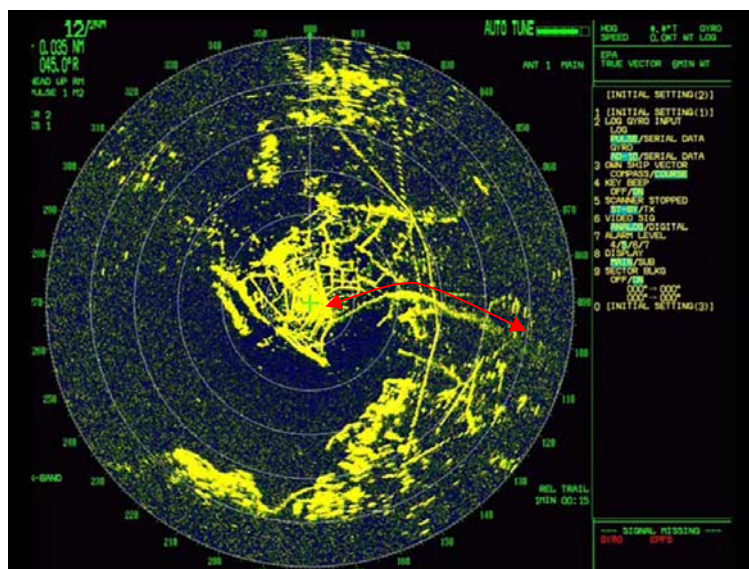


Figure 30 : Vol d'Étourneaux en baie de l'Aiguillon (22 km)

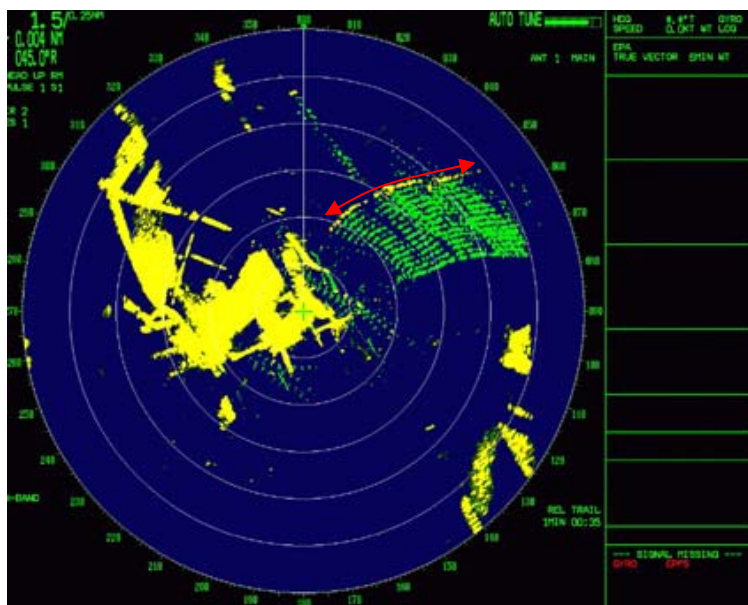


Figure 31 : Vol d'Etourneaux en Champagne (12 km)

VI.1.2. LES MARTINETS

D'importants mouvements nocturnes ont été notés dans le fond du Golfe du Lion entre les mois de juin et juillet. Des observations visuelles et auditives au crépuscule ont permis d'identifier ces trajectoires comme étant des Martinets (*Apus sp.*). Il s'agit probablement soit d'oiseaux cerclant toute la nuit (le Martinet noir *Apus apus* « dort » en vol) soit d'individus non reproducteurs qui entament déjà une migration vers le Sud. Des conditions météorologiques particulières peuvent également amener les martinets nichant dans le Nord de l'Europe à effectuer un périple de plus de mille kilomètres vers le Sud à la recherche de nourriture pour nourrir les jeunes restés au nid.

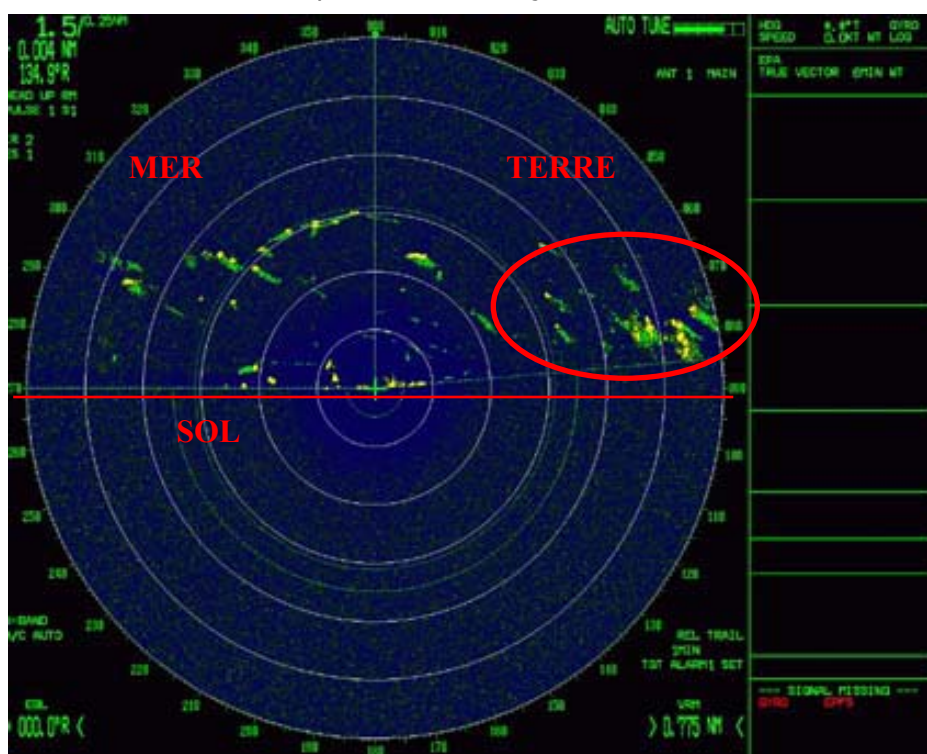


Figure 32 : Décollage de Martinets (*Apus sp*) (vers 22h)



Figure 33 : Mouvements nocturnes de Martinets (*Apus sp*) en "dortoir" au-dessus de la mer (vers 01h)

VI.1.3. LES HIRONDELLES

Les rassemblement d'Hirondelles (Hirondelles rustiques *Hirundo rustica* et Hirondelles de rivage *Riparia riparia*) sont également très bien détectés par le radar. Un suivi par radar dans l'estuaire de la Loire a permis de mettre ce phénomène en évidence. Ce sont en effet plusieurs milliers d'individus qui rejoignent une roselière au crépuscule pour y passer la nuit (voir Figure 34). À l'aube, elles quittent la roselière et se dispersent dans toutes les directions (voir Figure 35).

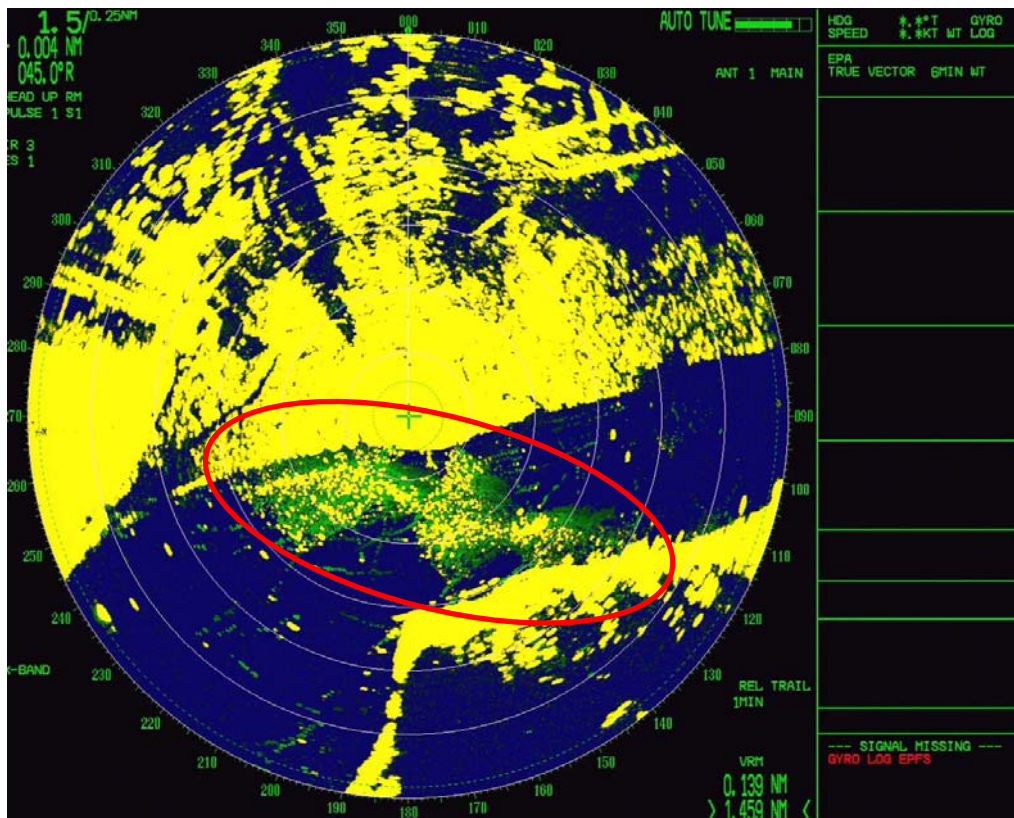


Figure 34 : Mouvements d'Hirondelles en soirée, formation du dortoir dans une roselière

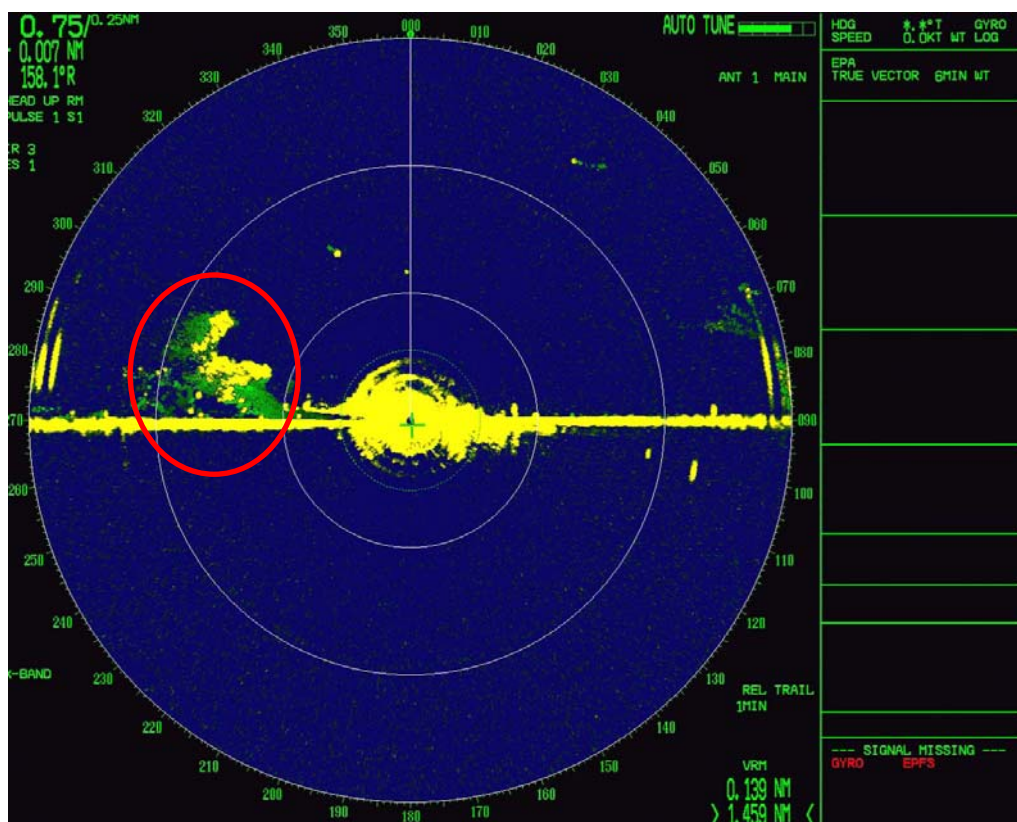


Figure 35 : Décollage d'un dortoir d'Hirondelles à l'aube

VI.1.4. LES GRUES CENDREES

Des observations par radar aux alentours du lac du Der (51) ont permis de détecter les trajectoires des vols arrivant vers le lac à la tombée de la nuit. L'allure en "V" des vols est alors bien visible (voir Figure 36).

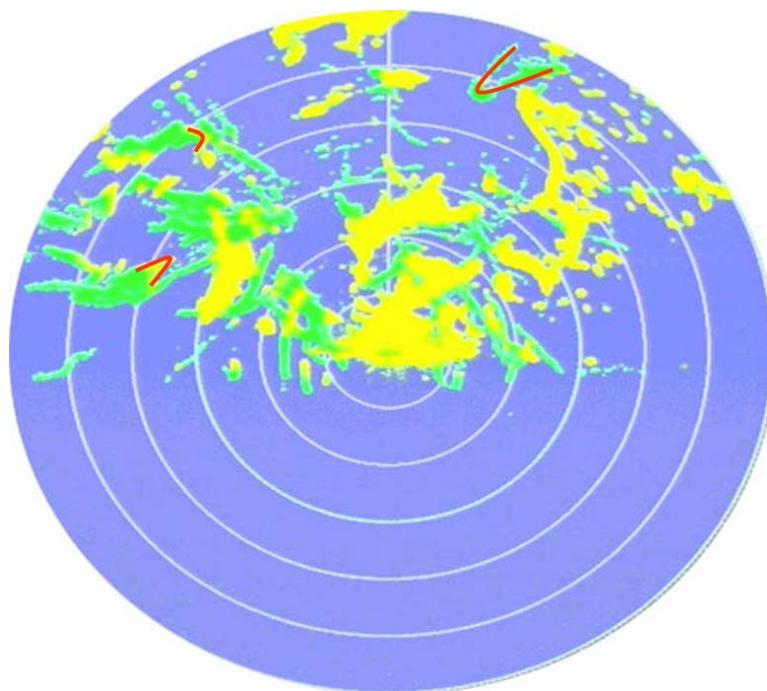


Figure 36 : Arrivée des Grues cendrées au lac du Der au crépuscule

VI.2. L'arrivée à terre des rapaces migrateurs dans le Golfe du Lion

Le radar a également permis de suivre les rapaces migrateurs lors de leur arrivée à terre dans le fond du Golfe du Lion au printemps. Ces oiseaux arrivent en vol battu, au ras des vagues. Sitôt après avoir atteint la terre, ils profitent des courants thermiques ascendants (pompes) et prennent très rapidement de l'altitude sans effort (vol plané). Ils "glissent" ensuite de thermiques en thermiques et échappent ainsi à tout moyen d'observation. Ce phénomène a notamment été observé pour le Busard des roseaux (*Circus aeruginosus*), le Balbuzard pêcheur (*Pandion haliaetus*)...

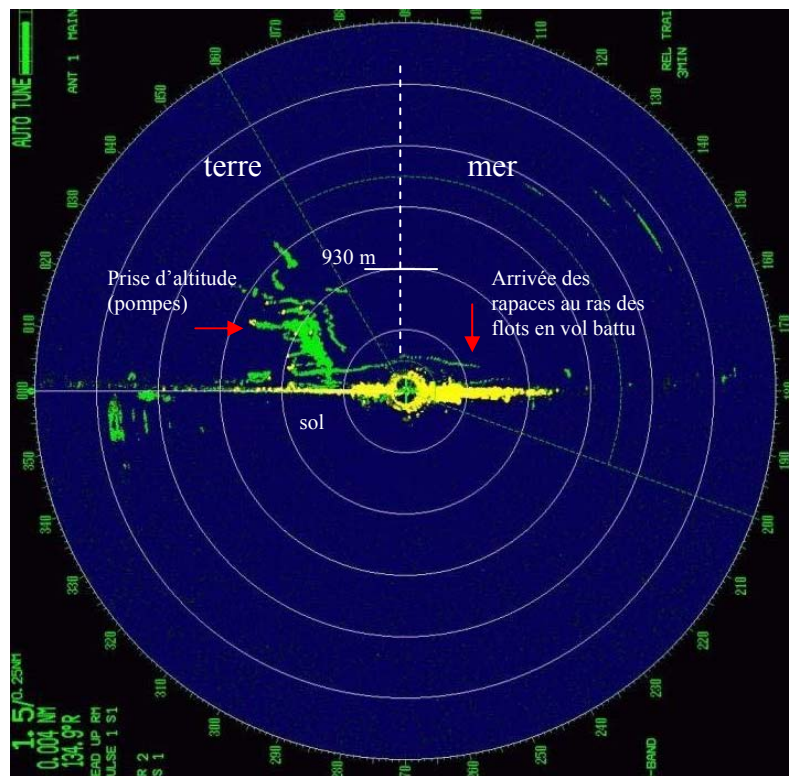


Figure 37 : Prise d'altitude des rapaces en arrivant au-dessus de la terre

VI.3. Le baguage des oiseaux

Le radar a été utilisé à plusieurs reprises sur des sites de captures des oiseaux à des fins de baguage, notamment :

- lors de séances de captures nocturnes des Alouettes des champs (*Alauda arvensis*),
- de nuit, les séances de captures débutant à l'aube.

L'utilisation du radar a permis de compléter les informations collectées par les bagueurs :

- importance du flux,
- altitudes de vol,
- directions de vol,
- réponse à la repasse (diffusion du chant pour attirer les espèces recherchées).

Les tests réalisés lors de séances nocturnes de captures des Alouettes ont montré une forte attirance de cette espèce pour la repasse (voir Figure 37).

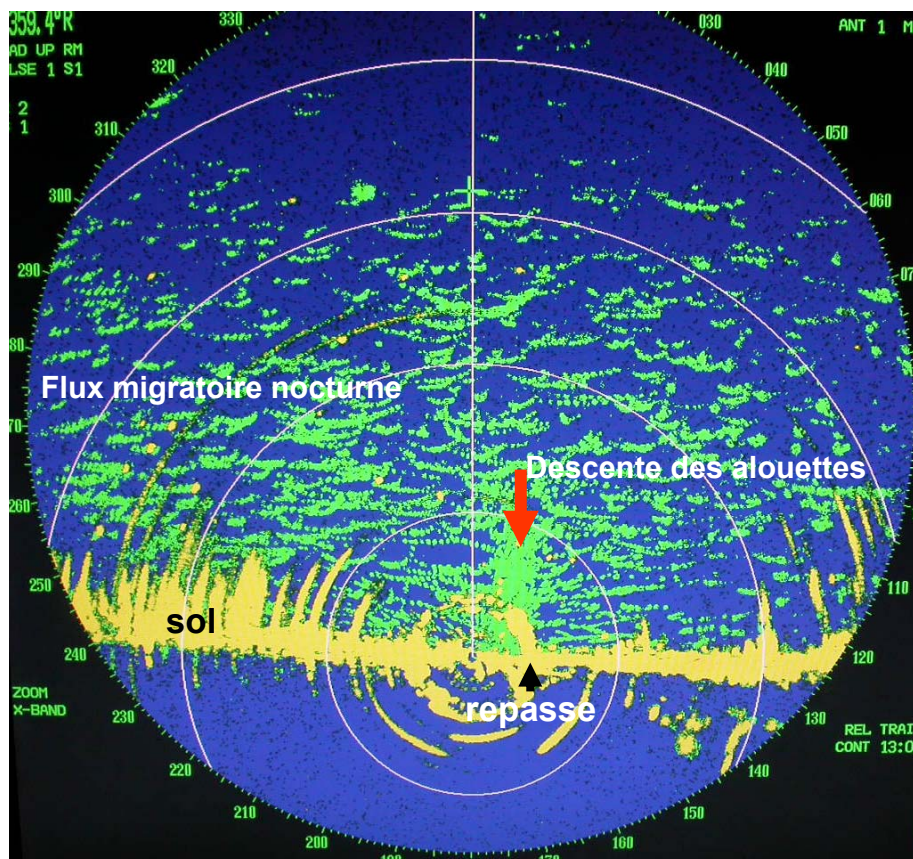


Figure 38 : Réponse des Alouettes des champs à la repasse

Des tests ont également été menés en roselière pour tester la réponse à la repasse des oiseaux migrant la nuit. Les résultats montrent qu'en début de nuit, ils sont peu sensibles à la repasse, l'altitude de vol plus élevée ne facilitant de plus pas la réaction. En fin de

nuits, le radar permet par contre de visualiser très précisément les mouvements de descente vers la roselière (voir Figure 39).

À l'inverse, le radar permet d'observer le flux qui décolle du site de halte migratoire en début de nuit (voir Figure 40).

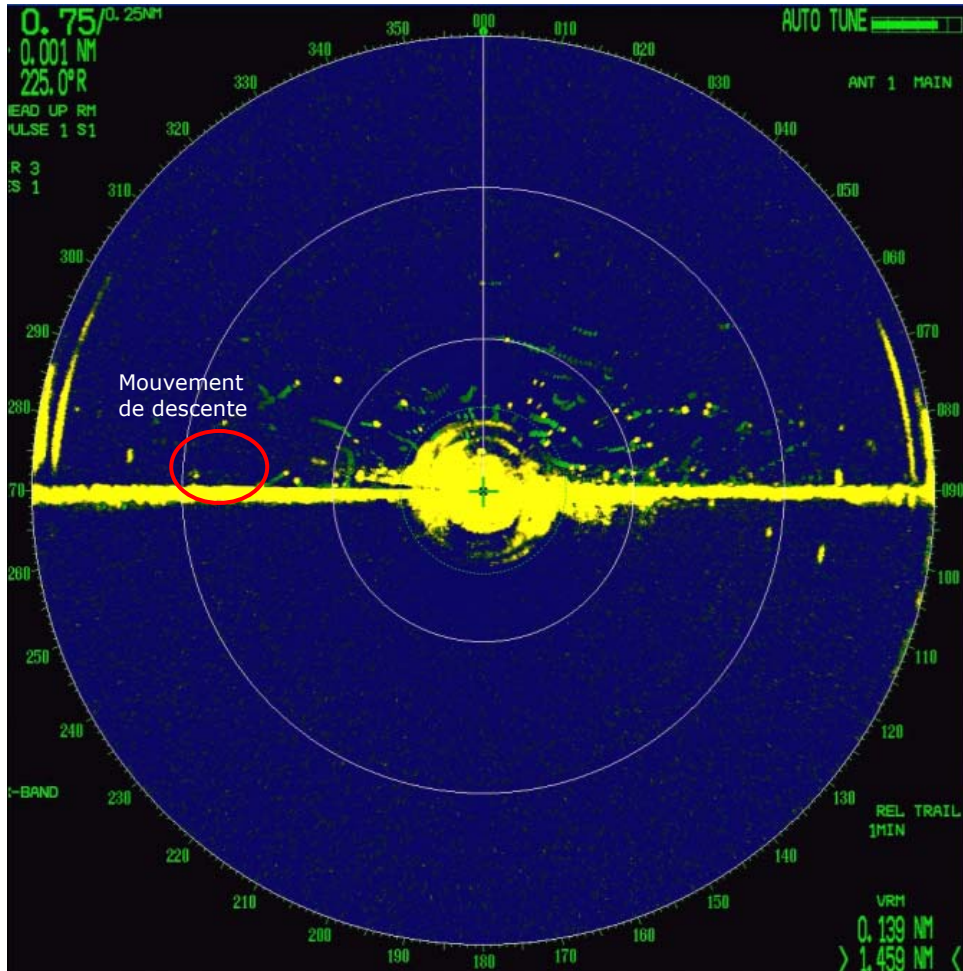


Figure 39 : Effet de la repasse sur les mouvements nocturnes

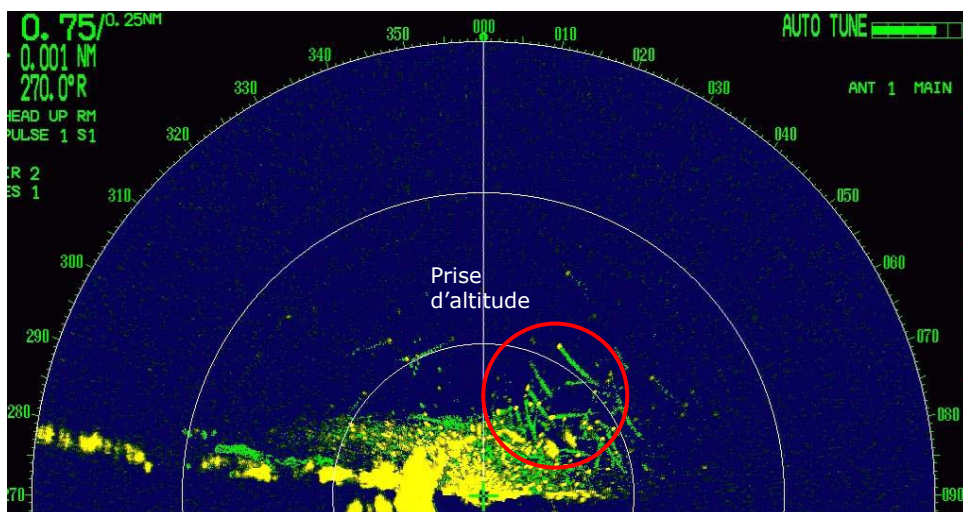


Figure 40 : Passereaux quittant un site de halte en début de nuit

VI.4. L'identification des trajectoires

La plupart du temps l'identification directe des trajectoires à partir des seules images radar n'est pas possible. Seules quelques signatures typiques et allures d'échos permettent à un opérateur expérimenté de déterminer de quel grand type d'oiseaux il s'agit (vol en V des Grues, front de passereaux...).

Dans le cas où des observations visuelles sont réalisées simultanément au suivi par radar (radar en balayage horizontal), il est possible de corrélérer les deux sources d'information et d'identifier des trajectoires. Cela permet de réaliser des cartes présentant, pour chaque espèce, les principales trajectoires.

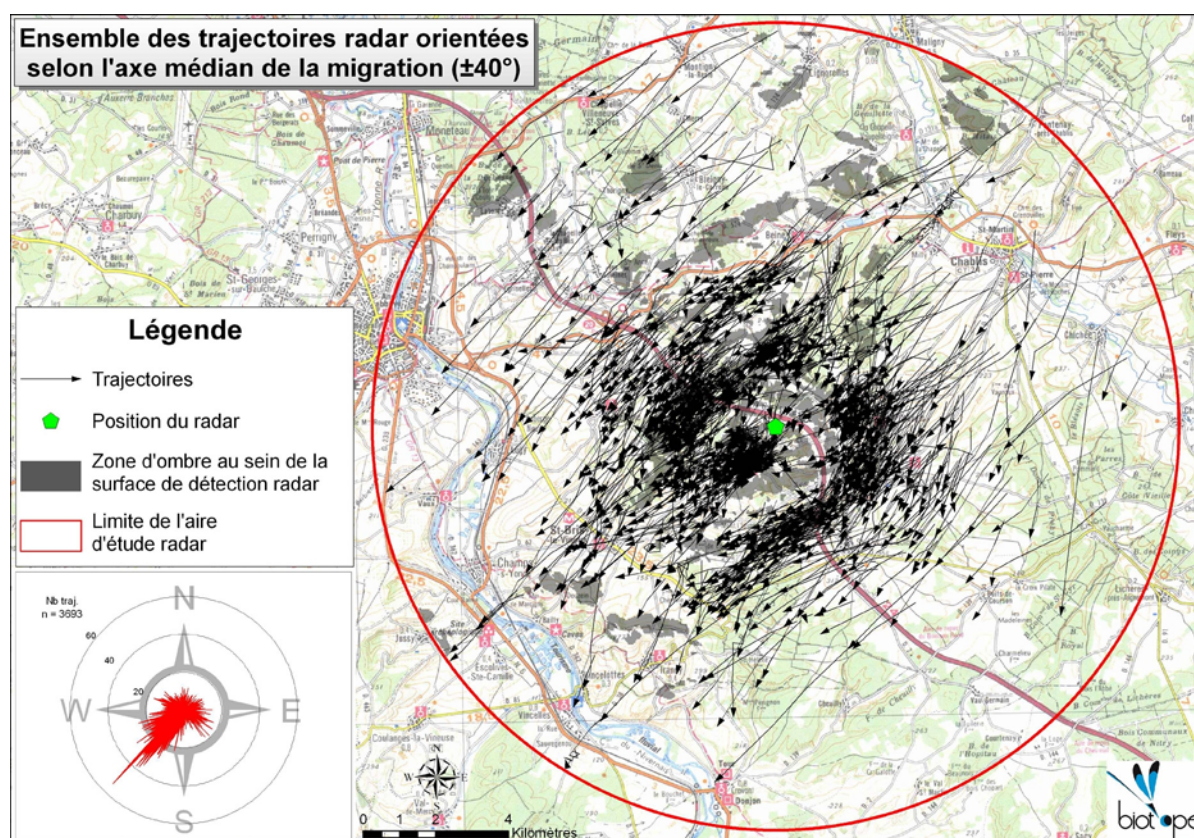


Figure 41 : Exemple de cartographie des trajectoires

VII. CONCLUSION DE L'ÉTUDE

La technique radar est utilisée dans plusieurs pays d'Europe et aux Etats-Unis pour suivre les mouvements d'oiseaux. L'utilisation du radar renseigne précisément sur les flux d'oiseaux (directions de vol, altitudes de vol, ...) et ce de jour comme de nuit.

L'ensemble des informations sur l'importance des flux et les altitudes de vol sont rassemblées dans une base de données comprenant près de 3 millions d'échos radar enregistrés sur 62 sites en France entre 2003 et 2007. L'analyse de cette base permet de dégager de grandes tendances au niveau national :

- les flux notés en période de migration postnuptiale sont supérieurs ceux notés au printemps lors de la migration pré-nuptiale,
- on observe un net pic de migration en début de nuit,
- les mouvements pré-nuptiaux sont observés de mars à mi-mai ; les mouvements postnuptiaux d'août à début novembre (avec un pic début octobre),
- d'importants mouvements sont enregistrés en période de nidification. Ils sont attribués à la fois à des échanges locaux et à des migrants,
- le flux nocturne est de loin supérieur au flux diurne (72% des mouvements sont nocturnes),
- la proportion entre le flux diurne et le flux nocturne varie au cours de l'année (60% de mouvements nocturnes au printemps, 71% à l'automne),
- les altitudes de vol diurnes sont inférieures à celles des mouvements nocturnes,
- les altitudes de vol sont maximales en début de nuit ; elles décroissent progressivement en seconde partie de nuit,
- les altitudes de vol au printemps sont plus élevées qu'à l'automne,
- pour un même site, on observe une tendance à la diminution des altitudes de vol au cours de la période postnuptiale.

Le radar peut également s'avérer très utile pour étudier des phénomènes particuliers (dortoirs, fonctionnement écologique d'un site, lien avec le baguage, planeurs dans les ascendances thermiques...).

La corrélation avec des observations visuelles permet également de cartographier très précisément les trajectoires de certaines espèces. Ces deux techniques sont parfaitement complémentaires.

VIII. BIBLIOGRAPHIE

- ABIES, 1997. – *Suivi ornithologique du parc éolien de Port-la-Nouvelle*. Rapport final. Géokos consultants, LPO Aude. 66 pp.
- ABIES, 2001. – *Évaluation de l'impact du parc éolien d'Al Koudia Al Baïda (péninsule Tingitane, Maroc) sur l'avifaune migratrice post-nuptiale*.
- ALERSTAM, T., 1993. – *Bird Migration*. Cambridge University Press. 420 pp.
- BLACK, J. E., 2000a. – Radar studies of the 1997-2000 spring migrations at Brock University : a comparison of birds detected overhead and birds observed on the ground at Toronto. *Brock Physics Report PR-2000-4*. 8 pp.
- BLACK, J. E., 2000b. – Radar studies of the 1999 spring migration at Brock University : the Buffalo Weather Radar. *Physics Report 2000-2*. 16 pp.
- BLACK, J. E., 2000c. – *Application of weather radar to monitoring numbers of birds in migration*. Rough outline of a presentation given at the AFO/Wilson/GCBO meeting symposium on weather data ornithology, Galveston, Texas. April 2000.
- BRIGGS, B., 1996. – *Birds and wind turbines: RSPB policy and practice*. Presentation to ITE Conference Birds and wind turbines : can they co-exist ? Royal Society for the Protection of Birds. 10 pp.
- BRUDERER, B. & LIECHTI, F., 1998 – Étude des migrations transméditerranéennes au moyen du radar. Directions de la migration nocturne en automne près de Malaga et à Majorque. Actes du 36e colloque interrégionale d'ornithologie, Neufchâtel (Suisse), 1996. *Nos Oiseaux*, suppl. 2 : 51-60.
- BRUDERER, B., 1997a. – The Study of Bird Migration by Radar. Part 1: The technical basis. *Naturwissenschaften* 84: 1-8.
- BRUDERER, B., 1997b. – The Study of Bird Migration by Radar. Part 2: Major achievements. *Naturwissenschaften* 84: 45-54.
- BRUDERER, B., 1996. – Research on bird migration in the area of the Alps (Switzerland) 1980-1995. *Ornithol. Beob.* 93: 119-130.
- BUURMA, L. S., 2002. – Vragen bij de zichtbare trek over Nederland. pp 19-29 in LWVT & SOVON, 2002. – *Vogeltrekover Nederland 1976 – 1993*. Schuyt & Co, Haarlem. 432 pp.
- CAPSONI, C & VIGORITA, V., 1998. – *Study of bird migration across the Alps by means of radars observations*. Proceedings of the 1st Meeting of the European Ornithologists' Union. Biol. Cons. Fauna, 102 : 144.
- CHRISTENSEN, T. K., CLAUSAGER, I. & PETERSEN, I. K., 2001. – *Base-line investigations of birds to an offshore wind farm at Horns Rev : results and conclusions 2000/2001*. NERI report. 21 pp.
- CHRISTENSEN, T. K., CLAUSAGER, I. & PETERSEN, I. K., 2001. – *Base-line investigations of birds in relation to an offshore wind farm at Horns Rev, and results from the year of construction*. NERI report. 65 pp.
- CHRISTENSEN, T. K., CLAUSAGER, I. & PETERSEN, I. K., 2001. – *Status report of seabird surveys at Horns Rev, 2000/2001*. Neri report. 22 pp.
- CHRISTENSEN, T. K., HOUNISEN, J. P., CLAUSAGER, I. & PETERSEN, I. K., 2004. – *Visual and radar observations of birds in relation to collision risk at the Horns Rev offshore wind farm*. NERI report. 48 pp.
- CIHAK, K, HROMADKO, M & HROMADKOVA, V., 1990. – Long – term observation of the nocturnal passage of birds using a headlight. *Bird Census and Atlas Studies*. XI International Conference on Bird Census and Atlas Work. Institute of Applied Ecology and Ecotechnology Agricultural University, Prague. p 89-93.
- CLAUSAGER, I. & H. NØHR, 1995. – *Vindmøllers indvirkning på fugle. Status over viden og perspektiver*. Faglig rapport fra DMU, nr. 147. 51 pp.
- CROCKFORD, N.J., 1992. – *A review of the possible impacts of windfarms on birds and other wildlife*. Joint Nature Conservation Committee, JNCC report No. 27, Peterborough, UK.
- CURRY, R. & KERLINGER, P., 2002. – *Avian risk assessment for the Allegheny heights wind power project, Garrett County, Maryland*. Curry & Kerlinger, L.L.C. 44 pp.
- DESHOLM, M., KAHLERT, J., PETERSEN, I. K. & CLAUSAGER, I., 2002. – *Base-line investigations of birds in relation to an offshore windfarm at Rødsand : results and conclusions, 2001*. NERI report. 50 pp.
- DESHOLM, M., 2004. – *Birds studies – results from Nysted Offshore Windfarm*. Conférence Offshore Windfarms and the Environment Horns Rev and Nysted Offshore Windfarms. Billund, septembre 2004
- DIETZ, R., TEILMANN, J. & LAIDRE, K., 2001. – *Satellite tracking as a tool to study potential effects of offshore wind farm on seals at Rødsand*. NERI technical report. University of Washington, Seattle. 43 pp.
- DIRKSEN, S., SPAANS, A. L. & VAN DER WINDEN, J., 1996. – *Nachtelijke trek en vlieghoogtes van steltlopers over de noordelijke havendam van Ijmuiden*. *Sula* 10(4) : 129-142.
- DIRKSEN, S., SPAANS, A. L. & VAN DER WINDEN, J., 1995. – *Nachtelijke trek en vlieghoogtes van steltlopers over de noordelijke havendam van Ijmuiden, voorjaar 1995*. Bureau Waardenburg bv. DLO – Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek. 33 p + annexes.
- DIRKSEN, S., SPAANS, A. L., VAN DER WINDEN, J. & VAN DEN BERGH, L. M. J, 1996. – *Vogelhinder door windturbines. Landelijk onderzoekprogramma, deel 2 : nachtelijke vlieghoogtemetingen van duikeenden in het Ijsselmeergebied*. Bureau Waardenburg bv. DLO – Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek. 68 p + annexes.
- DRENT, R., BOTH, C, GREEN, M., MADSEN, J. & PIERSMA, T., 2003. – Pay-offs and penalties of competing migratory schedules. *Oikos* vol 103 : 274-292.
- EASTWOOD, E., 1967. – *Radar Ornithology*. Methuen & Co Ltd. 278 pp.

- ELKINS, N., 1996. – *Les Oiseaux et la météo*. Delachaux & Niestlé. 218 pp.
- EVANS OGDEN, L. J., 1996. – *Collision course : the hazards of lighted structures and windows to migrating birds*. World Wildlife Fund Canada and the Fatal Light Awareness Program. 46 pp.
- EVANS, W.R., 2000. – *Applications of Acoustic Bird Monitoring for the Wind Power Industry*. In PNAWPPM -III, p141-152.
- GAUTHREAUX, S., 1994. – *Suggested practices for monitoring bird populations, movements and mortality in wind resource areas*. National Avian-Wind Power Planning Meeting Proceedings. 20 pp.
- GOVAERE, A., DEVOS, S., RAEVEL, P., ELLEBOODE, C. & Y. CAPON, 2005. – *Étude des mouvements d'Oiseaux par radar. Applications aux parcs éoliens*. ADEME / GREET Ingénierie / E.E.D., Sophia Antipolis, 205 pp.
- GUILLEMETTE, M., LARSEN, J.K. & I. CLAUSAGER, 1997. – *Effekt af Tunø Knob vindmøllepark på fuglelivet*. Faglig rapport fra DMU, nr. 209. 33 pp.
- GUILLEMETTE, M., LARSEN, J.K. & I. CLAUSAGER, 1998. – *Impact assessment of an offshore wind park on sea ducks*. National Environmental Research Institute, Denmark. 61pp. – NERI Technical Report n°227.
- GUILLEMETTE, M., LARSEN, J.K. & I. CLAUSAGER, 1999. – *Assessing the impact of the Tunø Knob wind park on sea ducks : the influence of food resources*. National Environmental Research Institute, Denmark. 21pp. – NERI Technical Report n°263.
- HAGEMEIJER, E.J.M & BLAIR, M.J (Editors), 1997. – *The EBBC Atlas of European Breeding Birds : Their Distribution and Abundance*. T & A.D Poyser, London. 903 p.
- HARMATA, A.R, PODRUZNY, K.M., ZELENAK, J.R. & MORRISON, M., 2000. – *The use of radar in evaluations of avian-wind development projects: Norris Hill Wind Resource Area, Montana*. In PNAWPPM-III, p162-163.
- HERRMANN, N. & F. SUEUR, 2002. – *Recherche bibliographique commentée sur les impacts des parcs éoliens sur l'avifaune et les chiroptères*. Ventura S.A. Groupe Ornithologique Picard. 23 pp.
- HOFFMAN, E., ASTRUP, J., LARSEN, F. & MUNCH-PETERSEN, S., 2000. – *Effects of marine windfarms on the distribution of fish, shellfish and marine mammals in the Horns Rev area*. ELSAMPROJEKT A/S, Danish Institute for Fisheries Research. 42 pp.
- HORCH, P., 2003. – *Les installations éoliennes sont-elles compatibles avec les Oiseaux? Bulletin d'information de la Station ornithologique de Sempach*. Déc. 2003. 2 pp.
- JANSS, G., 2001. – *Incidences of wind turbines on raptors in Southern Spain*. WWGBP, World Raptor Conference, Sevilla, September 2001.
- KAHLERT, J., DESHOLM, M., CLAUSAGER, I. & PETERSEN, I. K., 2000. – *Environmental impact assessment of an offshore windpark at Rødsand : technical report on birds*. NERI report commissioned by SEAS distribution 2000. 60 pp.
- KAHLERT, J., DESHOLM, M., PETERSEN, I. K. & CLAUSAGER, I., 2001. – *Base-line investigations of birds in relation to an offshore windfarm at Rødsand : results and conclusions, 2000*. NERI report. 42 pp.
- KELLY, T.A., 2000. – *Radar, remote sensing and risk management*. In PNAWPPM-III, p152-161.
- KERLINGER, P., 2001a. – *Phase 1 : Avian risk assessment for the Meyersdale windpower project, Somerset county, Pennsylvania*. Curry & Kerlinger, LLC., Meyersdale Windpower LLC. 50 pp.
- KERLINGER, P., 2001b. – *Spring migration of birds at the Meyersdale windpower project, Somerset county, Pennsylvania : a risk assessment*. Curry & Kerlinger, LLC., Meyersdale Windpower LLC. 25 pp.
- KERLINGER, P., 2002. – *Autumn migration of hawks and other birds at the Meyersdale windpower project, Somerset county, Pennsylvania : a risk assessment*. Curry & Kerlinger, LLC., Meyersdale Windpower LLC. 21 pp.
- KERLINGER, P., 2003a. – *Summary report on avian risk studies at the Meyersdale windpower project site. Meyersdale, Pennsylvania : 2001-2002*. Curry & Kerlinger, LLC., Meyersdale Windpower LLC. 5 pp.
- KERLINGER, P., 2003b. – *FAA Lighting of wind turbines and bird collisions*. Curry and Kerlinger, LLC, 19 pp.
- KINGSLEY, A. & WITTHAM, B., 2001. – *Potential impacts of wind turbines on birds at North Cape, Prince Edward Island*. Bird Studies Canada, Atlantic Region. Prince Edward Island Energy Corporation. 31 pp.
- KRÜGER, T. & GARTHE, S., 2001. – *Flight altitudes of coastal birds in relations to wind direction and speed. Atlantic Seabirds 3(4): 203-216*.
- LANGSTON, R.W.H. & PULLAN, J.D., 2002. – *Windfarms and Birds: an analysis of the effects of windfarms on birds, and guidance on environmental assessment criteria and site selection issues*. BirdLife. Conseil de l'Europe. 37 pp.
- LARSEN, J., K. & MADSEN, J., 2000. – *Effects of wind turbines and other physical elements on field utilization by pink-footed geese (Anser brachyrhynchus) : a landscape perspective. Landscape Ecology : 755-764*.
- LENSINK, R. & VAN GASTEREN, H., 2002. – *Inleiding*. pp 9-17 in LWVT & SOVON, 2002. – *Vogeltrek over Nederland 1976 – 1993*. Schuyt & Co, Haarlem. 432 pp.
- LIECHTI, F. & BRUDERER, B., LARDELLI, R. & PETER, D., 1995. – *The Alps, a weather dependent obstacle for nocturnal autumn migration? Avocetta 19 : 68*.
- MANVILLE, A. M. II. 2000. *The ABCs of avoiding bird collisions at communication towers: the next steps*. Proceedings of the Avian Interactions Workshop, December 2, 1999, Charleston, SC. Electric Power Research Institute (in press).
- MARTI MONTES, R. & BARRIOS JAQUE, L., 1995. – *Effects of windturbine power plants on the avifauna in the Campo de Gibraltar region. Summary of the final report*. Environmental Agency of the Regional Government of Andalusia – Spanish Ornithological Society. 23pp.
- MEAD, C. J., 1982. – *The possible impact of wind power generators on flying birds*. Research Report n°6. B.T.O. – Nature Conservancy Council. 15 pp.
- MEEK, E.R., RIBBANS, J.B., CHRISTER, W.G., DAVEY, P.R. & HIGGINSON, I., 1993. – *The effects of aero-generators on a moorland bird population in the Orkney Islands, Scotland. Bird Study 40 : 140-143*.
- MERCK, T. & VON NORDHEIM, H., 2000. – *Technische Eingriffe in Marine Lebensräume. Tagungsband*. BfN – Skripten 29. Bundesamt für Naturschutz.
- METOC, 2000. – *An assessment of the environmental effects of offshore wind farms*. Report to ETSU/DTI. ETSU W/35/00543/REP. www.dti.gov.uk/renewable

- MITSCHKE, A., GARTHE, S. & HÜPPOP, O., 2001. – *Erfassung der Verbreitung, Häufigkeiten und Wanderungen von See- und Wasservögeln in der deutschen Nordsee*. BfN Skripten 34. Bundesamt für Naturschutz. 100 pp.
- MORRISON, M. L., 1998 – *Avian Risk and Fatality Protocol*. 11 pp.; NREL Report No. SR-500-24997.
- MORRISON, M. L.; POLLOCK, K. H.; OBERG, A. L.; SINCLAIR, K. C., 1998. – *Predicting the Response of Bird Populations to Wind Energy-Related Deaths*. Collection of the 1998 ASME Wind Energy Symposium Technical Papers Presented at the 36th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, 12-15 January 1998, Reno, Nevada. New York: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc. (AIAA) and American Society of Mechanical Engineers (ASME); pp. 157-164; NREL Report No. CP-500-25009.
- MORRISON, M.L. & POLLOCK, K.H., 1997. – *Development of a practical modelling framework for estimating the impact of wind technology on bird populations*. NREL / SR-440 23088, 42 pp.
- MORRISON, M.L. & POLLOCK, K.H., 2000. – *Development of a practical modelling framework for estimating the impact of wind technology on bird populations*. In PNAWPPM-III, p183-188.
- MUSTERS, C.J.M., NOORDERVLIET, M.A.W. & W.J. TER KEURS, 1995. – *Bird casualties and wind turbines near the Kreekrak sluices of Zeeland*. Environmental Biology Leiden University. Leiden (NL), 28 pp.
- MUSTERS, C.J.M., NOORDERVLIET, M.A.W. & W.J. TER KEURS, 1996. – *Bird casualties caused by a wind energy project in an estuary*. *Bird Study* 43 :124-126.
- PEDERSEN, M.B. & POULSEN, E., 1991. – *En 90m/2MW vindmølles indvirkning på fuglelivet. Fugles reaktioner på opførelsen og idriftsættelsen af Tjæreborgmøllen ved Danske Vadehav*. Danske Vildtundersøgelser, Hæfte 47, Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Flora- og Faunøkologi, Kalø.
- PERCIVAL, S. & T. PERCIVAL, 2001. – *Otterham proposed wind farm. Breeding bird and habitat survey 2001*. Powergen Renewables Development Ltd / Ecology Consulting, Durham, 12 pp. + ann.
- PERCIVAL, S. M., 2001. – *Assessment of the effects of offshore wind farms on birds. Executive summary*. ETSU W/13/00565/REP. 5 pp.
- PETERSEN, I. K. & CLAUSAGER, I., 2000. – *VVM-redegørelse for havvindmøllepark på Omø Stålgrunde. Teknisk rapport vedrørende fugle*. Rapport fra DMU. 71 pp.
- PETERSEN, I. K., CLAUSAGER, I., CHRISTENSEN, T. K., 2004. – *Bird numbers and distribution in the Horns Rev offshore wind farm area*. NERI Report. 36 pp.
- PIM Wind Power, nd. – *Joint-Venture Project Proposal to Enerquest (30 MW Wind Farm in Western US)*. 20 pp.
- PNAWPPM, 1995. – *Proceedings of the National Avian-Wind Power Planning Meeting, Denver, CO, July 1994*. Report DE95-004090. RESOLVE Inc. Washington, D.C., and LGL, Ltd., King City, Ont. 145 p.
- PNAWPPM-II, 1996. – *Proceedings of National Avian-Wind Power Planning Meeting III, Palm Springs, CA, Sept. 1995*. Prepared for the Avian Subcommittee of the National Wind Coordinating Committee by RESOLVE Inc., Washington, D.C., and LGL, Ltd., King City, Ont. 152 p.
- PNAWPPM-III, 2000. – *Proceedings of National Avian-Wind Power Planning Meeting III, San Diego, CA, May 1998*. Prepared for the Avian Subcommittee of the National Wind Coordinating Committee by LGL, Ltd., King City, Ont. 202 p.
- PNAWPPM-IV, 2001. – *Proceedings of the National Avian-Wind Power Planning Meeting IV, Carmel, CA, May 16-17, 2000*. Prepared for the Avian Subcommittee of the National Wind Coordinating Committee, by RESOLVE, Inc., Washington, D.C., Susan Savitt Schwartz, ed., 179 p.
- SMALLWOOD, K. S., THELANDER, C. & SPIEGEL, L., 2003. – *Raptor mortality at the Altamont pass wind resource area*. Bio Resource Consultants. National Renewable Energy Laboratory. 61 pp.
- SPAANS, A. L., VAN DER WINDEN, J., VAN DEN BERGH, L. M. J. & DIRKSEN, S., 1995. *Vogelhinder door windturbines. Landelijk onderzoekprogramma, deel 1 : verkennend onderzoek naar vliegbewegingen in getijdengebieden*. Bureau Waardenburg bv. DLO – Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek. 35 pp + annexes.
- STILL, D., LITTLE, B. & LAWRENCE, S., 1995. – *The effect of windturbines on the bird population at Blyth*. ETSU, Haugh Lane Industrial Estate, Hexham.
- TASKER, M. L., WEBB, A., HALL, A. J., PIENKOWSKI, M., W. & LANGSLOW, D. R., 1987. – *Seabirds in the North Sea*. Final report of phase 2 of the Nature Conservancy Council Seabirds at Sea Project. November 1983 – October 1986. 336 pp.
- THELANDER, C.G. & RUGGES, L., 2000. – *Avian Risk Behaviour and fatalities at the Altamont Wind Resources Area*. NREL/500-27545 [www.nrel.gov] 28p.
- TULP, I., SCHEKKERMAN, H., LARSEN, J. K., VAN DER WINDEN, J., VAN DE HATERD, R. J. W., VAN HORSSSEN, P., DIRKSEN, S. & SPAANS, A. L., 1999. – *Nocturnal flight activity of sea ducks near the windfarm Tunø Knob in the Kattegat*. Bureau Waardenburg bv. DLO – Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek. 69 pp.
- VAN DER WINDEN, J., DIRKSEN, S., VAN DEN BERGH, L.M.J. & SPAANS, A. L., 1996. – *Nachtelijke vliegbewegingen van duikeenden bij het Windpark Lely in het IJsselmeer*. Bureau Waardenburg bv. DLO – Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek. 31 pp.
- VAN DER WINDEN, J., SPAANS, A. L. & DIRKSEN, S., 1997. – *Nachtelijke aanvaringskansen van vogels met windturbines in getijden – en semi-offshore gebieden*. Nederlandse Duurzame Energie Conferentie, 17-18 november 1997. p 212-213.
- VAN DER WINDEN, J., SPAANS, A. L., VAN DEN BERGH, L. M. J. & DIRKSEN, S., 1997. *Vogelhinder door windturbines. Landelijk onderzoekprogramma, deel 1 : nachtelijke vlieghoogtemetingen van getijdentrek in het Deltagebied*. Bureau Waardenburg bv. DLO – Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek. 73 pp + annexes.
- VERNER, J., 1981. – *Measuring responses of avian communities to habitat manipulations*. *Studies in Avian Biology* n° 6 : 543-547.
- WERNHAM, C. V., TOMS, M.P., MARCHANT, J.H., CLARCK, J.A., SIRIWARDENA, G.M. & BAILLIE, S.R. (Eds), 2002. – *The Migration Atlas : movements of the birds of Britain and Ireland*. T. & A. D. Poyser, London. 884 pp.
- WESTERN ECOSYSTEM TECHNOLOGY, Inc. & NORTHWEST WILDLIFE CONSULTANTS, Inc., 2003. – *Stateline Wind Project Wildlife Monitoring Annual Report. Results for the Period July 2001 – December 2002*. FPL Energy Statelines Technical Advisory Committee, Oregon Office of Energy. 66 pp.

- WINKELMAN J.E., 1984. - *Bird impact by middle-sized wind turbines - on flight behaviour, victims, and disturbance (Dutch, English summary)*. RIN-report 84/7, Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Arnhem.
- WINKELMAN J.E., 1985a. - Bird impact by middle-sized wind turbines - on flight behaviour, victims, and disturbance (Dutch, English summary). *Limosa* 58: 117-121.
- WINKELMAN J.E., 1985b. Impact of medium-sized wind turbines on birds: a survey on flight behaviour, victims, and disturbance. *Neth. J. Agric. Sci.* 33: 75-78.
- WINKELMAN J.E., 1988. - *Methodologische aspecten vogelonderzoek SEP-proefwindcentrale Oosterbierum (Fr.), deel 1: onderzoeksopzet, nachtstudies en slachtofferonderzoek, voorjaar 1984 - herfst 1987*. RIN-report 88/46, Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Arnhem.
- WINKELMAN J.E., 1989. - *Vogels en het windpark nabij Urk (NOP) : aanvaringsslachtoffers en verstoring van pleisterende eenden, ganzen en zwanen*. RIN-Rapport 89/15.
- WINKELMAN J.E., 1990. - *Impact of the wind park near Urk, Netherlands, on birds: bird collision victims and disturbance of wintering waterfowl*. Acta SS Congressus Internationalis Ornithologici, Christchurch, New Zealand, Supplement, Programme and Abstracts: 402-403.
- WINKELMAN J.E., 1992a. - *Methodologische aspecten vogelonderzoek Sep-proefwindcentrale Oosterbierum (Fr.), deel 2 (1988-1991)*. RIN-Rapport 92/6.
- WINKELMAN J.E., 1992b. - *The impact of the Sep Wind Park near Oosterbierum (Fr.), The Netherlands, on birds. 1. Collision victims*. RIN-Rapport 92/2.
- WINKELMAN J.E., 1992c. - *The impact of the Sep Wind Park near Oosterbierum (Fr.), The Netherlands, on birds. 2. Nocturnal collision risks*. RIN-Rapport 92/3.
- WINKELMAN J.E., 1992d. - *The impact of the Sep Wind Park near Oosterbierum (Fr.), The Netherlands, on birds. 3. Flight behaviour during daylight*. RIN-Rapport 92/4.
- WINKELMAN J.E., 1992e. - *The impact of the Sep Wind Park near Oosterbierum (Fr.), The Netherlands, on birds. 4. Disturbance*. RIN-Rapport 92/5.
- WINN TINGLEY, M., 2003. - *Effects of offshore wind farms on birds. "Cuisinarts of the Sky or just tilting at windmills?"*. Thesis, Harvard University. 117 pp.
- YOUNG, D. P., JR.; ERICKSON, W. P.; STRICKLAND, M. D.; GOOD, R. E.; SERNKA, K. J., 2003. - *Comparison of Avian Responses to UV-Light-Reflective Paint on Wind Turbines* : Subcontract Report, July 1999-December 2000. 67 pp.; NREL Report No. SR-500-32840.