

## Étude de cas sur l'utilisation de l'espace par des canards de surface à échelles journalière et annuelle grâce au suivi GPS

### Case study of the spatial behaviour of dabbling ducks on a daily and annual scale using GPS monitoring

Martzloff Dorian<sup>1,2</sup>, Rebout Nancy<sup>2</sup>, Huraux Thomas<sup>2,3</sup>, Boos Mathieu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Université de Strasbourg, Strasbourg, France

<sup>2</sup> Cabinet d'Expertise et de Recherche en Écologie Appliquée, Naturaconst@, Wilshausen, France

<sup>3</sup> Centre National de la Recherche Scientifique (UMR 7247 CNRS), Équipe Éthologie Cognitive et Sociale, Strasbourg, France

✉ Dorian Martzloff : dorian.martzloff@etu.unistra.fr

#### Résumé

Les zones humides sont des habitats ayant un rôle majeur dans la survie de nombreuses espèces, mais menacés par diverses pressions paysagères. Afin d'améliorer le suivi des populations qui y vivent et de développer des espaces qui leur seront favorables, il est indispensable de mieux connaître les habitudes spatiales des espèces concernées. La sarcelle d'hiver (*Anas crecca*) et le canard siffleur (*Mareca penelope*), deux espèces d'oiseaux migrateurs hivernant dans le nord de la France, représentent ainsi des sujets d'étude pertinents. Les activités et zones occupées par ces deux espèces varient à échelle journalière et annuelle, ce qui complexifie leur suivi. On se propose donc de déterminer comment le sexe, l'espèce, la période journalière (jour ou nuit) et la période annuelle (migration ou hivernage) influencent l'utilisation du milieu par ces espèces, en étudiant les surfaces utilisées. Pour cela, nous avons équipé de balises GPS et suivi douze oiseaux de leur zone d'hivernage jusqu'à leurs haltes migratoires. Les surfaces utilisées lors de leurs déplacements locaux (home range et core range) ont été modélisées par continuous-time stochastic process (CTSP) et analysées par modèles linéaires mixtes. Les surfaces utilisées par les canards siffleurs lors des haltes sont plus grandes qu'en période d'hivernage. Cette différence pourrait s'expliquer par la recherche active de nourriture dans un environnement inconnu afin de satisfaire des besoins énergétiques particuliers. Aucun des autres paramètres testés n'a eu d'effet significatif sur la surface utilisée. Une étude à plus grande échelle serait pertinente afin de confirmer ces résultats.

**Mots clés :** *Anas crecca*, *Mareca penelope*, sarcelle d'hiver, canard siffleur, hivernage, migration, halte, home range, CTSP, suivi de population

#### Abstract

Wetlands are a type of habitat that plays a key role in the survival of numerous species, but is subjected to various threats. Knowledge about the spatial behaviour of local species is mandatory to monitor their local populations and develop favourable areas. The Eurasian teal (*Anas crecca*) and wigeon (*Mareca penelope*) are two migratory species that winter in northern France and, therefore, represent relevant study species. Their activities and used areas differ depending on the daily and annual period, which makes their monitoring more challenging. We studied how factors such as sex, species, daily period (day or night) and annual period (wintering or migration) influenced the way those species used their local habitat, and particularly the surface areas they use. Thus, we equipped twelve birds with GPS collars and monitored them from their wintering ground to their migratory stopovers. The surface areas they used during their local movements (home range and core range) were determined using continuous-time stochastic processes (CTSP) and analysed using mixed linear models. The results show that the surface areas used by the Eurasian wigeon during stopovers are larger than the ones used during the wintering period. This could be explained by active foraging behaviours in an unknown environment to satisfy specific energetic needs. None of the other tested parameters had a significant effect on the used surface areas. A large scale-study would help to confirm these results.

**Keywords:** *Anas crecca*, *Mareca penelope*, Eurasian teal, Eurasian wigeon, wintering, migration, stopover, home range, CTSP, population monitoring

## Introduction

Les zones humides ont une importance écologique majeure, que ce soit pour la reproduction de nombreuses espèces migratrices ou en tant que zones d'hivernage ou de repos lors des migrations. Elles représentent donc des habitats privilégiés pour de nombreux oiseaux migrateurs (Boere et al.). Les zones humides de France sont particulièrement importantes pour les processus de migration de certaines espèces, le climat tempéré et la présence de nombreuses zones d'eau de volume important (gelant rarement en totalité en hiver) en faisant un lieu de séjour privilégié des oiseaux en période hivernale. Il est donc capital de préserver ces sites qui sont menacés par diverses pressions paysagères, pouvant perturber la conservation des oiseaux (Deceuninck et al. 2010). Parmi les espèces potentiellement touchées, on compte la sarcelle d'hiver (*Anas crecca*) et le canard siffleur (*Mareca penelope*), deux espèces d'oiseaux migrateurs chassables, hivernant en France et habitant les zones humides. Afin de garantir la gestion et le maintien des populations de ces deux espèces, leur suivi et la mise en place de zones adaptées à leurs modes de vie sont nécessaires. Ainsi, les Anatidés que sont la sarcelle d'hiver et le canard siffleur présentent un mode de vie caractérisé par des déplacements locaux journaliers étendus (Boos, observations personnelles). En période d'hivernage, les sarcelles d'hiver utilisent des zones géographiques différentes le jour et la nuit, appelées respectivement « remises » et « gagnages » (ONCFS 2019). Si les remises sont généralement liées à des activités de repos, et donc relativement limitées dans leur étendue spatiale, les gagnages correspondent à des activités de recherche de nourriture, et sont donc généralement plus étendus (Boos, observations personnelles). En période de reproduction et lorsque les températures sont particulièrement faibles, les sarcelles d'hiver sont amenées à fourrager en journée (Kear 2005, ONCFS 2019). Le canard siffleur, bien qu'il soit parfois amené à se nourrir de nuit (Kear 2005), se nourrit principalement en journée (Owen et al. 1979, Känel 2008). Ces deux espèces migratrices présentant un rythme d'activité variant à échelle journalière et annuelle, l'utilisation locale de l'espace qui en résulte devrait également varier à échelle journalière et annuelle. Ces variations temporelles d'activité et

d'utilisation du milieu sont des données majeures à considérer lors de la création d'espaces à privilégier, et représentent un défi pour le suivi de ces populations (encore trop limité spatialement par les différentes techniques actuelles). Connaître les modalités de l'utilisation locale du milieu par ces espèces, notamment les surfaces utilisées et leurs variations temporelles, semble donc nécessaire afin d'adapter et d'améliorer leur suivi.

Nous nous proposons donc de comparer les variations de la surface localement utilisée par deux espèces soumises à des pressions paysagères similaires dans leur habitat, la sarcelle d'hiver et le canard siffleur, en fonction de différents facteurs biologiques et temporels que sont le sexe, la période journalière (jour ou nuit), et la période annuelle (hivernage ou migration). Nous souhaitons ainsi étudier l'existence d'éventuelles différences d'utilisation de l'espace entre ces deux espèces, tout en répondant aux contraintes liées au comportement migratoire des oiseaux étudiés (différenciation des déplacements locaux et migratoires, haltes parfois très courtes, fréquences d'échantillonnage dépendant de l'environnement local...).

Nous prédisons que les surfaces utilisées soient plus étendues en période d'hivernage qu'en période de migration, la gestion de leurs réserves énergétiques par les individus en migration pouvant induire des comportements limitant l'exploration du milieu lors des haltes migratoires. Ainsi, certaines espèces d'oiseaux migrateurs modifient leurs habitudes alimentaires en période migratoire afin de maximiser leurs apports énergétiques d'origine alimentaire, tout en limitant leurs déplacements (Parrish 2000). Les sarcelles d'hivers se nourrissant principalement de matière végétale en période d'hivernage et principalement d'invertébrés en période de reproduction (Del Hoyo et al. 1992, ONCFS 2019), tout comme les canards siffleurs (Kear 2005), on peut supposer qu'il s'agit là de comportements similaires. Inversement, le fait que les oiseaux ne connaissent pas forcément leur milieu lors des haltes migratoires pourrait aboutir à une exploration plus importante, et, ainsi, à des surfaces utilisées plus importantes en période migratoire qu'en période d'hivernage, afin de satisfaire des besoins énergétiques particuliers.

Pour la sarcelle d'hiver, nous prédisons des différences journalières de surfaces utilisées marquées en période d'hivernage, et des différences moins marquées en période migratoire. En effet, le fourragement est principalement nocturne en période d'hivernage, alors que l'approche de la reproduction et les basses températures conduisent à du fourragement également diurne (Kear 2005, ONCFS 2019). Pour le canard siffleur, nous prédisons des différences journalières moins marquées. En effet, le fourragement est principalement diurne (Owen et al. 1979, Känel 2008), mais il peut également être nocturne (Kear 2005).

Ainsi, les deux espèces étudiées ayant des caractéristiques écologiques différentes, nous prédisons des différences entre les surfaces utilisées par ces deux espèces.

## Méthodes

### *Capture et équipement des individus avec les balises GPS*

Dans le cadre de cette étude, onze individus (cinq canards siffleurs et six sarcelles d'hiver) ont été capturés dans les Hauts-de-France (au niveau de la commune de Merlimont, Figure 1) et un individu (une sarcelle d'hiver) a été capturé en Normandie (au niveau de la commune de Terre-et-Marais). Les captures ont toutes eu lieu entre le 13/02/2019 et le 28/03/2019, grâce aux fédérations départementales des chasseurs du Pas-de-Calais et de la Manche placées sous arrêté préfectoral. Les douze individus ont été équipés d'un harnais permettant la fixation d'une balise GPS/GSM (de masse inférieure à 3% de la masse de l'animal) rechargeable à l'énergie solaire et programmée pour optimiser le nombre de relevés en fonction du niveau de charge, puis les oiseaux ont été relâchés (Boos, communications personnelles).

### *Enregistrement des positions GPS et obtention des données*

Les positions GPS des individus suivis ont été enregistrées de la date d'équipement de l'oiseau (entre le 13/02/2019 et le 29/03/2019) jusqu'au 07/05/2019. Les oiseaux ont ainsi été suivis entre six et douze semaines, avec une fréquence d'enregistrement moyenne d'un enregistrement toutes les 77 min pour les positions GPS retenues pour les étapes de traitement des données (Figure 2).

### *Traitement et analyse spatiale des données*

Le traitement des données a été effectué à l'aide des logiciels R (R Core Team 2019) et QGIS (Equipe de développement de QGIS 2019).

Nous avons déterminé si les positions GPS avaient été enregistrées de jour (entre l'heure de lever de soleil et l'heure de coucher de soleil de la même journée) ou de nuit (entre l'heure de coucher de soleil et l'heure de lever de soleil suivante). Nous avons ensuite calculé les distances parcourues et les vitesses entre les positions GPS successives pour chaque oiseau.

Après étude des données sur QGIS (comparaison des vitesses, distances et trajectoires des différents oiseaux), un seuil de distance et un seuil de vitesse entre positions GPS successives ont été définis afin de différencier quantitativement les déplacements locaux des déplacements migratoires. Un seuil de 24 km entre positions GPS successives a été défini et appliqué, au-dessus duquel les déplacements ont été considérés comme migratoires. Cependant, certains déplacements migratoires ont été relevés à intervalles de temps trop faibles pour que l'oiseau parcoure les 24 km. Afin de résoudre ce problème, un second seuil de 20 km/h a été défini et appliqué aux déplacements de moins de 24 km, au-dessus duquel les déplacements ont été considérés comme migratoires. Les positions GPS restantes ont été regroupées en segments locaux, des ensembles de positions GPS entre lesquelles l'oiseau avait eu des déplacements correspondant à une utilisation locale du milieu.

Afin de comparer l'utilisation du milieu par l'oiseau de jour et de nuit, le jeu de données a ensuite été séparé entre les positions GPS enregistrées de jour d'une part, et les positions GPS enregistrées de nuit d'autre part. Un même segment local pouvait donc être séparé en un segment local de jour et un segment local de nuit. Afin d'estimer, par la suite, les surfaces utilisées par les oiseaux étudiés, seuls les segments de plus de 30 positions GPS ont été conservés (Seaman et al. 1999).

Pour comparer l'utilisation du milieu par l'oiseau en période d'hivernage et en période migratoire, nous avons classifié les segments obtenus précédemment selon leur localisation : lorsque les oiseaux se trouvaient à proximité des zones de capture, ils ont été considérés en hivernage, le reste du temps, ils ont été considérés en halte migratoire.



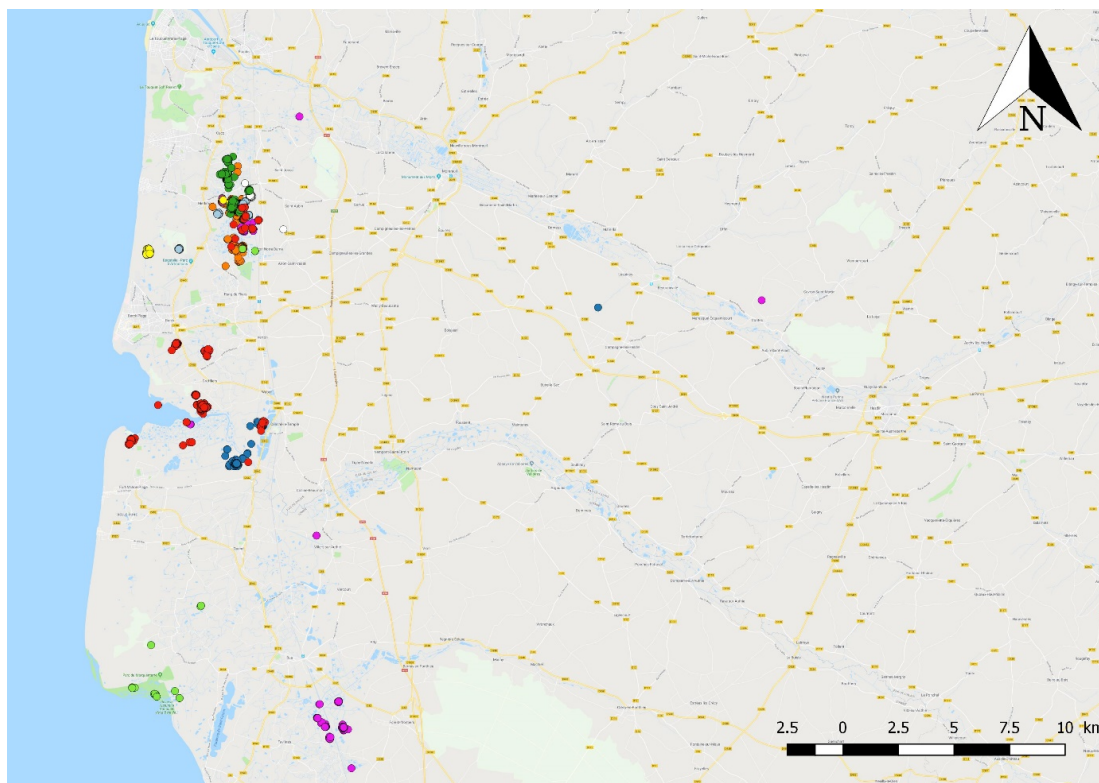


Figure 1 : Positions GPS des oiseaux suivis au niveau de leur site de capture (Merlimont, France) (fond de carte : Google Road, Map data ©2015 Google).

Figure 1. GPS positions of the tracked birds around their capture site (Merlimont, France) (basemap: Google Road, Map data ©2015 Google).

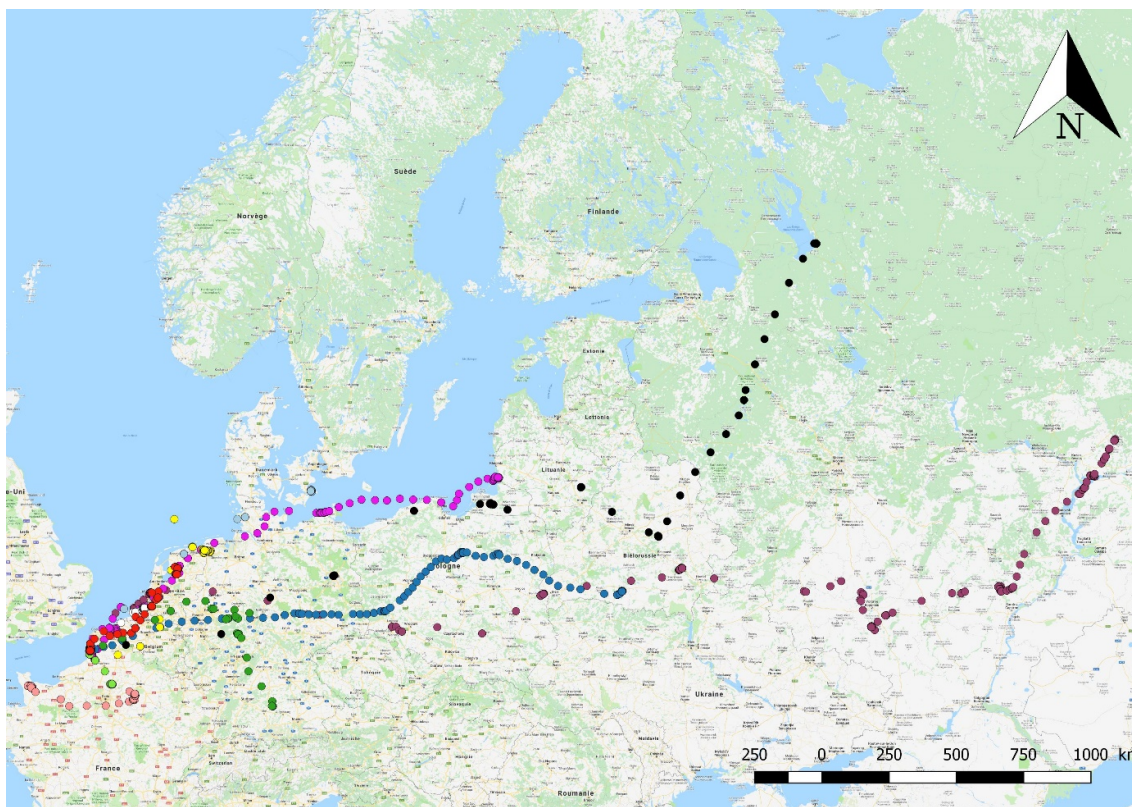


Figure 2 : Positions GPS des oiseaux suivis à travers l'Europe (fond de carte : Google Road, Map data ©2015 Google).

Figure 2. GPS positions of the tracked birds across Europe (basemap: Google Road, Map data ©2015 Google).

## *Estimation des surfaces utilisées*

Chaque segment a été analysé afin de déterminer la surface potentiellement utilisée correspondante, à l'aide du logiciel libre R (R Core Team 2019) et du package ctm (Fleming et al. 2019). Pour cela, nous avons généré des modèles de type continuous-time stochastic process (CTSP) adaptés à chaque segment. Ces modèles ont été choisis en raison de leur robustesse face aux irrégularités d'échantillonnage, comme c'est le cas pour nos données, et car ils prennent en compte les éventuelles corrélations spatiales et temporelles des données (Calabrese et al. 2016).

Les variogrammes de chaque segment ont d'abord été générés. Ces variogrammes permettent de visualiser graphiquement la semivariance de position en fonction de la durée entre les observations. Un variogramme n'atteignant pas une asymptote traduit parfois un animal n'ayant pas atteint les limites de la surface potentiellement utilisée au cours des observations : il n'est donc pas recommandé d'utiliser de telles données dans le cadre d'une estimation de l'utilisation du milieu (Calabrese et al. 2016). Ainsi, les segments pour lesquels les variogrammes n'avaient pas de comportement asymptotique ont été éliminés. Plusieurs variogrammes présentaient des pics après avoir atteint une asymptote (potentiellement liés à un début de comportement migratoire en fin de segment), et d'autres variogrammes présentaient des fluctuations périodiques régulières malgré des pics d'intensité constante (probablement liées à l'analyse séparée des données de jour et de nuit). Ces types de variogrammes, bien que n'atteignant pas de claire asymptote, ont été conservés car ils présentaient un comportement asymptotique que nous avons considéré comme traduisant un animal ayant atteint les limites géographiques du milieu potentiellement utilisé.

Les paramètres servant de base à l'estimation des modèles CTSP ont été calculés automatiquement pour chaque segment (afin d'éviter tout biais dans le choix des modèles), puis les différents modèles adaptés à chaque segment ont été estimés et le modèle ayant l'AICc la plus faible a été retenu. Le modèle CTSP retenu a donc varié selon le segment considéré.

À partir de ces modèles, les surfaces utilisées correspondant à chaque segment ont été estimées par weighted autocorrelated kernel density estimation pondérée (weighted AKDE). Cette technique a été préférée aux techniques d'estimation classiques, car elle est plus adaptée aux jeux de données présentant des corrélations spatiales et temporelles entre

positions (Calabrese et al. 2016). Deux surfaces ont été calculées : la plus petite surface dans laquelle on a une probabilité de 0,50 de trouver l'animal à un instant  $t$ , appelée ici R50 (correspondant au « core range », le cœur d'activité de l'animal), et la plus petite surface dans laquelle on a une probabilité de 0,95 de trouver l'animal à un instant  $t$ , appelée ici R95 (correspondant au « home range », plus étendu que le « core range » car prenant également en compte les déplacements de type exploratoire).

## *Analyses statistiques*

Les estimations des surfaces de core range R50 et de home range R95 pour chaque segment ont été analysées à l'aide du logiciel libre R (R Core Team 2019).

Suite à un diagnostic visuel, nous avons constaté que deux segments présentaient des valeurs de R50 et R95 extrêmes (le segment de jour et le segment de nuit d'une même halte). Des déplacements migratoires semblaient avoir été inclus au début du segment en raison d'un comportement migratoire singulier de l'oiseau concerné, et les surfaces estimées qui en résultaient étaient anormalement élevées en conséquence. Nous avons éliminé les deux segments concernés, et nous avons utilisé tous les 45 autres segments. Malgré tout, inclure ces valeurs extrêmes ne modifiait pas les résultats obtenus par la suite.

Nous avons utilisé des modèles linéaires mixtes à l'aide du package lme4 (Bates et al. 2015) afin d'exprimer les variables R50 et R95 en fonction des facteurs fixes « espèce », « sexe », « période journalière » (jour ou nuit), « période annuelle » (hivernage ou migration) et des interactions entre « espèce » et « période journalière », entre « espèce » et « période annuelle » et entre « période journalière » et « période annuelle », avec la variable « individu » en facteur aléatoire afin de tenir compte des répétitions des individus, les modèles étant pondérés par le nombre d'observations de chaque segment en utilisant l'argument « weight ». Nous avons choisi d'étudier ces interactions car nous savons que le cycle d'activité et les comportements de chaque espèce étudiée varient différemment à échelle journalière et annuelle, et nous voulons tester de quelle façon ces variations influencent leur utilisation du milieu. Après inspection visuelle et afin de vérifier l'hypothèse de normalité des résidus, nous avons choisi comme variables cibles R50 et R95 transformées par logarithme népérien. Pour chacune de nos variables cibles, nous avons testé les différentes combinaisons de ces variables explicatives (Burnham et al. 2002). L'utilisation du critère Akaike

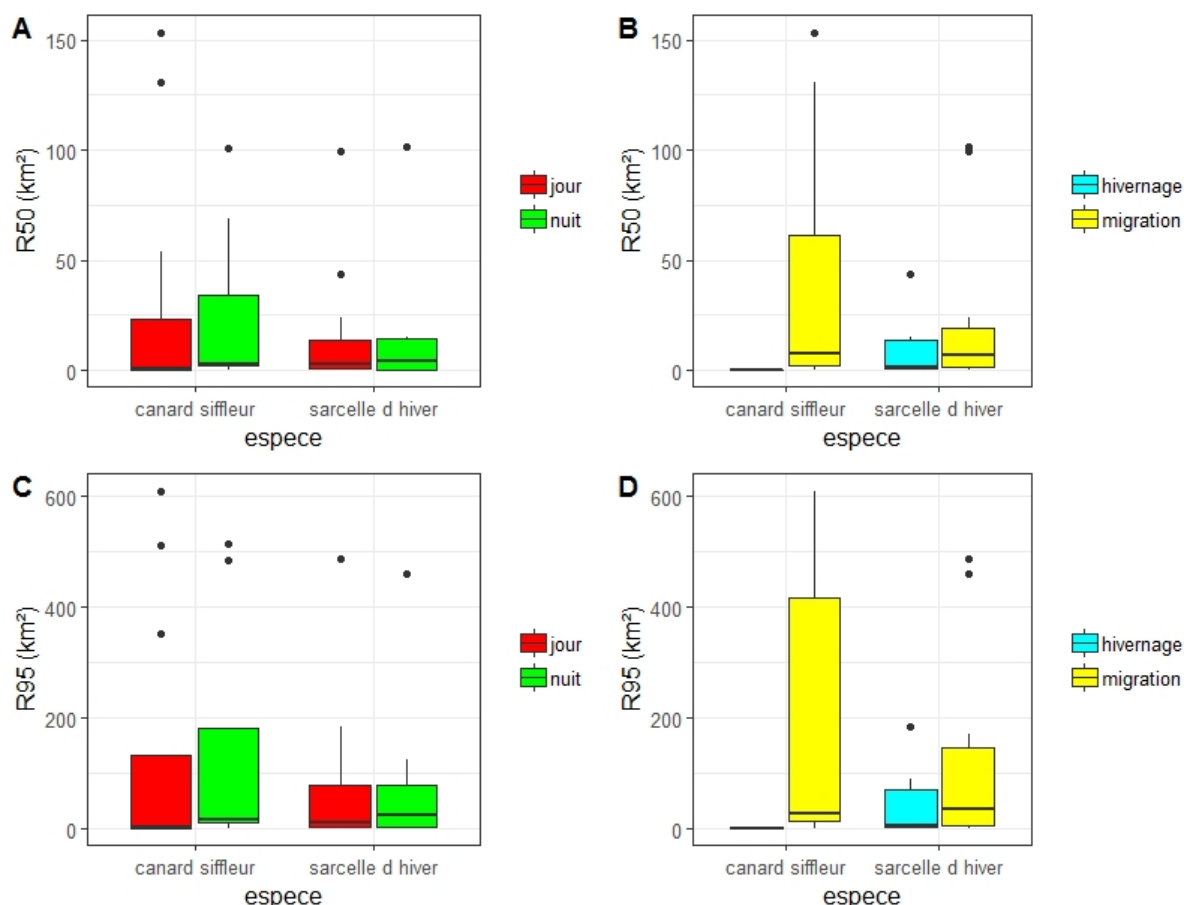


Figure 3 : Surfaces de core range R50 en fonction de la période journalière (A) et de la période annuelle (B), et surfaces de home range R95 en fonction de la période journalière (C) et de la période annuelle (D).

Figure 3. R50 core range surface areas depending on the daily (A) and annual periods (B), and R95 home range surface areas depending on the daily (C) and annual periods (D).

(AICc) nous a permis d'évaluer la pertinence de chaque modèle et ainsi d'effectuer la sélection de modèle. Le modèle ayant la valeur d'AICc la plus faible est souvent considéré comme le modèle correspondant le mieux aux données. Cependant, les modèles dont l'AICc est comprise entre l'AICc le plus faible et l'AICc le plus faible plus deux unités sont considérés comme équivalents pour l'adéquation aux données (Burnham et al. 2002). Afin de sélectionner un unique meilleur modèle, nous avons calculé la relative variable importance (RVI) pour l'ensemble des variables explicatives à l'aide du package MuMIn (Barton 2019). Conserver le modèle se trouvant dans notre intervalle d'AICc défini précédemment et ne contenant que des variables dont la RVI était d'au moins 0,7 nous a permis de ne sélectionner que les variables significatives dans le meilleur modèle, pour chacune de nos variables cibles (Burnham et al. 2002, Symonds et al. 2011). Une fois ces modèles sélectionnés, nous avons étudié l'effet des interactions grâce à des tests post hoc à l'aide du package emmeans (Lenth 2019).

## Résultats

Nous avons analysé les surfaces de core range R50 et de home range R95 utilisées selon l'espèce, la période journalière et la période annuelle considérées (Figure 3, Tableau 1, Tableau 2).

Les meilleurs modèles pour chacune de nos variables cibles contiennent la variable « période annuelle », la variable « espèce » et l'interaction entre « espèce » et « période annuelle ». Cette dernière a un effet significatif pour  $\ln(R50)$  et  $\ln(R95)$ .

Les tests post hoc ont montré que les surfaces utilisées par le canard siffleur en période migratoire sont significativement plus grandes que celles qu'il utilise en période d'hivernage pour le core range R50 ( $t = -6,59$ ,  $P < 0,001$ ) et le home range R95 ( $t = -6,15$ ,  $P < 0,001$ ). Ce n'est pas le cas de la sarcelle d'hiver pour R50 ( $t = -1,94$ ,  $P = 0,21$ ) et R95 ( $t = -2,17$ ,  $P = 0,13$ ) (Tableau 3).



## Discussion

L'objectif de cette étude était de déterminer les modalités d'utilisation locale de l'espace par la sarcelle d'hiver et le canard siffleur, deux espèces migratrices de canards de surface. En étudiant certains facteurs influençant cette utilisation de l'espace, nous souhaitons ainsi en tirer des informations permettant d'adapter et d'améliorer le suivi des espèces étudiées. Les facteurs « sexe » et « période journalière » n'ont pas eu d'effet significatif sur les surfaces occupées. En revanche, les surfaces utilisées par les canards siffleurs lors des haltes migratoires étaient plus grandes que les surfaces qu'ils utilisent en période d'hivernage. Cette

différence significative n'a pas été observée chez la sarcelle d'hiver.

Le faible nombre d'individus composant notre échantillon nous amène toutefois à considérer et interpréter ces résultats avec précautions. Malgré cela, on pourrait expliquer les différences annuelles de surfaces utilisées par le canard siffleur par des comportements exploratoires plus nombreux dans un environnement inconnu pour les animaux, liés notamment à des activités de recherche alimentaire lors des haltes, afin de répondre à des besoins énergétiques particuliers liés au contexte migratoire. Cependant, cette explication est à nuancer, car les sarcelles d'hiver sont également soumises à ce

**Tableau 1 : Surfaces moyennes des core range R50 et des home range R95 selon l'espèce et la période journalière considérées.**

Table 1. Mean R50 core range and R95 home range surface areas by species and daily period.

Espèce	Période journalière	R50 moyennes (km <sup>2</sup> )	R95 moyennes (km <sup>2</sup> )
		± erreur standard	± erreur standard
Canard siffleur	Jour	30,12 ± 15,80	130,95 ± 64,80
	Nuit	23,92 ± 12,34	139,69 ± 70,51
Sarcelle d'hiver	Jour	15,55 ± 7,82	78,27 ± 38,25
	Nuit	23,92 ± 8,89	73,70 ± 40,67

**Tableau 2 : Surfaces moyennes des core range R50 et des home range R95 selon l'espèce et la période annuelle considérées.**

Table 2. Mean R50 core range and R95 home range surface areas by species and annual period.

Espèce	Période annuelle	R50 moyennes (km <sup>2</sup> )	R95 moyennes (km <sup>2</sup> )
		± erreur standard	± erreur standard
Canard siffleur	Hivernage	0,23 ± 0,11	1,56 ± 0,62
	Migration	38,35 ± 13,43	187,95 ± 60,31
Sarcelle d'hiver	Hivernage	7,67 ± 3,41	36,57 ± 15,27
	Migration	23,80 ± 11,64	122,98 ± 54,72

**Tableau 3 : Moyennes estimées des core range R50 et home range R95 des modèles retenus (retransformées de l'échelle logarithmique vers l'échelle initiale).**

Table 3. Estimated means of the R50 core ranges and R95 home ranges of the chosen models (backtransformed from the natural logarithmic scale to the initial scale)

Espèce	Période annuelle	R50 moyennes (km <sup>2</sup> )	R95 moyennes (km <sup>2</sup> )
		± erreur standard	± erreur standard
Canard siffleur	Hivernage	0,12 ± 0,10	0,87 ± 0,68
	Migration	12,87 ± 10,09	62,18 ± 47,94
Sarcelle d'hiver	Hivernage	1,22 ± 0,95	5,96 ± 4,55
	Migration	6,83 ± 5,72	38,67 ± 31,63

contexte migratoire mais ne présentent pas pour autant le même type de variations annuelles significatives. Les surfaces plus importantes observées en période migratoire chez le canard siffleur pourraient ainsi être expliquées par d'autres comportements liés à la migration, qu'il convient d'explorer. Les sarcelles d'hiver ayant des différences d'activité journalières selon la période annuelle considérée, on pouvait s'attendre à observer des différences significatives entre les surfaces utilisées de nuit et celles utilisées de jour, au moins en période d'hivernage. Il semblerait que ces différences d'activité n'aient finalement pas d'effet sur les surfaces utilisées. Cependant, au vu de l'écologie de cette espèce, ces différences journalières de surfaces utilisées pourraient malgré tout exister, bien que nous n'ayons pas pu les mettre en évidence ici. Avec un échantillon plus grand d'individus suivis sur une période plus longue, il serait donc intéressant de tester l'effet de l'interaction triple entre les facteurs « espèce », « période journalière » et « période annuelle ». Enfin, suivre des individus jusqu'à leur site de reproduction pourrait permettre de mettre en évidence d'éventuelles différences de surface utilisée entre mâles et femelles qui n'ont pas pu être observées ici.

En conclusion, au vu des différences entre les surfaces utilisées à échelle annuelle, certaines pistes peuvent être avancées pour le suivi des deux espèces étudiées. Si l'on souhaite réaliser un comptage localisé au niveau de zones que l'on sait fréquentées par des canards siffleurs, il semble judicieux de le réaliser en période d'hivernage, ces oiseaux utilisant des surfaces bien moins étendues qu'en période migratoire. On limite ainsi le risque d'omettre un oiseau en déplacement hors de la zone étudiée lors du comptage. En cas de prospection et de comptages randomisés sur une surface plus importante, la probabilité de croiser les oiseaux serait plus importante en période migratoire qu'en période d'hivernage, leurs déplacements locaux étant plus importants durant cette période. Il serait intéressant de se servir de radars ornithologiques afin de dénombrer les oiseaux en période migratoire. En particulier, se baser sur l'altitude moyenne de vol migratoire des espèces étudiées pourrait permettre de ne dénombrer que les oiseaux en migration à l'aide de tels radars. L'utilisation de radars dans une optique de conservation présente des perspectives intéressantes (Schmid et al. 2019).

Il y a enfin certaines nuances à apporter à cette étude. Tout d'abord, les estimations d'utilisation

locale de l'espace sont basées sur des concepts tels que le domaine vital, concept dont l'application en contexte de halte migratoire peut porter à débat. En outre, la séparation des segments entre jour et nuit a pu être un frein à l'estimation d'un modèle CTSP optimal, car source de variations : il serait intéressant de réitérer les estimations en regroupant les segments de jour et de nuit. Enfin, l'absence de différences de surfaces utilisées à échelle journalière semble mettre en évidence les limites liées à la taille de notre échantillon. Une réitération de cette étude à plus grande échelle semble donc nécessaire afin de mieux comprendre les comportements des espèces étudiées, et ainsi d'optimiser le suivi et la protection de ces populations et du milieu qu'elles occupent. Une étude complémentaire en ce sens est prévue.

## Remerciements

Nous remercions Anna P. Nesterova pour son aide et ses conseils précieux lors des différentes étapes de cette étude, l'équipe Éthologie Cognitive et Sociale du CNRS UMR 7247 (Strasbourg) pour son accueil, et les Fédérations Départementales des Chasseurs du Pas-De-Calais et de la Manche, placées sous arrêté préfectoral (B. Bigot, R. Wamberg, M. Defosses, D. Guerin, G. Fautrat), grâce à qui les captures nécessaires à cette étude ont pu être effectuées. Nous sommes reconnaissants à la Fédération Nationale des Chasseurs et à l'ISNEA pour leurs contributions financières ayant permis l'achat des balises GPS.

## Bibliographie

- Barton, K. 2019. MuMIn: Multi-model inference. R package version 1.43.6. <https://CRAN.R-project.org/package=MumIn>.
- Bates, D., M. Maechler, B. Bolker, and S. Walker. 2015. Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software* 67:1-48.
- Boere, G., and T. Dodman. (n.d.). Module 1: understanding the flyway approach to conservation.
- Burnham, K. P., and D. R. Anderson. 2002. Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach. Second edition. Springer-Verlag, New York.
- Calabrese, J. M., C. H. Fleming, and E. Gurarie. 2016. ctm: An R package for analyzing animal relocation data as a continuous-time stochastic process. *Methods in Ecology and Evolution* 7:1124-1132.
- Deceuninck, B., and C. Fouque. 2010. Canards



- dénombrés en France en hiver : importance des zones humides et tendances. *Ornithos* 17:266-283.
- Del Hoyo, J., A. Elliott, and J. Sargatal. 1992. *Handbook of the Birds of the world – Volume 1*. Lynx Edicions, Spain.
- Équipe de développement de QGIS. 2019. Système d'information géographique QGIS. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>.
- Fleming, C. H., and J. M. Calabrese (2019). *ctmm: continuous-time movement modeling*. R package version 0.5.6. <https://CRAN.R-project.org/package=ctmm>.
- Känel, A. 2008. Winter feeding ecology of wigeon *Anas penelope* at the Ouse Washes, England. *Ibis* 123:438-449.
- Kear, J. 2005. Ducks, geese and swans: general chapters, species accounts (Anhima to Salvadorina). Oxford University Press, Oxford, UK.
- Lenth, R. 2019. *emmeans: estimated marginal means, aka least-squares means*. R package version 1.3.4. <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>.
- Owen, M., and G. J. Thomas. 1979. The feeding ecology and conservation of wigeon wintering at the Ouse Washes, England. *Journal of Applied Ecology* 16:795-809.
- Oncfs. 2019. La sarcelle d'hiver. <http://www.oncfs.gouv.fr/Programmes-de-recherches-ru71/La-Sarcelle-dhiver-ar114>.
- Parrish, J. D. 2000. Behavioral energetic and conservation implications of foraging plasticity during migration. *Studies in Avian Biology* 20:53-70.
- R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Schmid, B., S. Zugg, S. Votier, J. Chapman, M. Boos, and F. Liechti. 2019. Size matters in quantitative radar monitoring of animal migration: estimating monitored volume from wingbeat frequency. *Ecography* 42:931-941.
- Seaman, D. E., J. J. Mills, B. J. Kernohan, G. C. Brundige, K. J. Raedeke, and R. A. Gitzen. 1999. Effects of sample size on kernel home range estimates. *The Journal of Wildlife Management* 63:739-747.
- Symonds, M. R. E., and A. Moussalli. 2011. A brief guide to model selection, multimodel inference and model averaging in behavioural ecology using Akaike's information criterion. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 65:13-21.