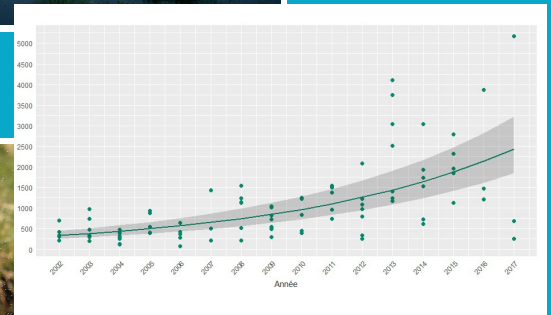
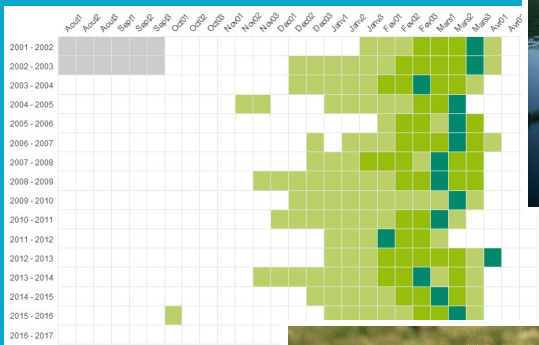


Suivi des Anatidés et de la Foulque macroule sur l'unité fonctionnelle « Baie des Veys - Marais de l'isthme du Cotentin »



Analyse des données 2001 à 2017

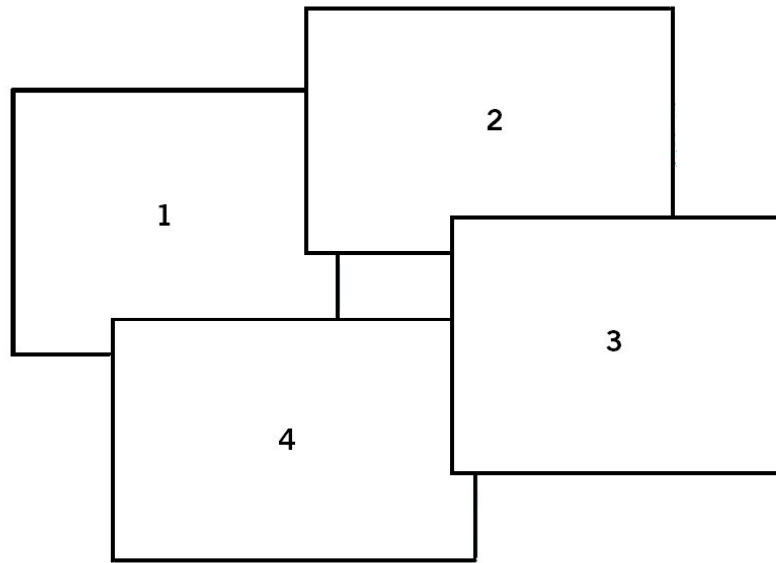


Illustration n°1 : Carte de chaleur représentant la phénologie du Canard pilet par cycle ©Fabien Verniest

Illustration n°2 : Photographie des marais blancs ©Guillaume Hédouin

Illustration n°3 : Evolution des effectifs hivernants de Canard souchet ©Fabien Verniest

Illustration n°4 : Photographie de Sarcelle d'hiver ©Maurice Guerard

Liste des observateurs

Un grand merci à l'ensemble des partenaires du Parc naturel régional des Marais du Cotentin et du Bessin ayant contribué à l'acquisition des données : la Fédération Départementale des Chasseurs de la Manche, le Groupe Ornithologique Normand et le Syndicat Mixte des Espaces Littoraux de la Manche. Nous remercions plus particulièrement les personnes ayant participé au suivi :

BACHELET Anthony, BLOND Mickaël, BOUYER Laurent, BUNEL Marie, CAILLOT Emmanuel, CHAPUT Karen, COLLAS Précillia, COURBOT Williams, DAVIGNON Dimitri, DROUET Marie-Noëlle, DUREL Jean-Luc, ELDER Jean-François, FILLOL Nicolas, FLAMBARD Nathalie, FROELICHER Antoine, GABET Ludivine, GALLOO Thierry, GOSSELIN Stéphane, GROSSIN Emmanuel, GUERIN David, HEDOUIN Guillaume, HEROUARD Anthony, HUAULT Manon, JEAN-BAPTISTE James, JORET Florent, KUHN Victoire, LAJOYE Georges, LEBARBEY Nathan, LECAPLAIN Benoît, LECONTE Christian, LEFEVRE Jean-Marc, LEMAITRE Thomas, MARIE Stéphane, MASQUEREL Lola, MENARD Hélène, MORDEL François, NEZOU Mathieu, PROVOST Sébastien, PURENNE Régis, QUESNEL Maxime, SCHMITT Emmanuel, VERNIEST Fabien, VIMARD Gilbert et WETTON Jean-Baptiste.



**FÉDÉRATION DÉPARTEMENTALE
DES CHASSEURS DE LA MANCHE**



Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Nicolas Fillol, Jean-François Elder et Thierry Galloo qui m'ont permis de réaliser cette mission, ont su m'orienter dans mes travaux et me fournir des commentaires constructifs et pertinents. Je les remercie également ainsi que Jérémy Monsimet pour avoir grandement contribué à la numérisation et mise en forme des données. Merci aussi à Laurent Alborino pour ses conseils avisés en SIG et cartographie et Sylvain Laurent pour ses avis pertinents sur les cartes et graphiques produits.

Je remercie également Matthieu Guillemain de l'ONCFS, Aurélien Besnard du CEFE et plus particulièrement Emmanuel Caillot de RNF qui ont pris le temps de nous conseiller sur les analyses et méthodes à mettre en œuvre.

Enfin je tiens à remercier chaleureusement l'ensemble de l'équipe du Parc naturel régional des Marais du Cotentin et du Bessin pour m'avoir accueilli dans la bonne humeur pendant presque deux ans.

Table des matières

Liste des observateurs.....	3
Remerciements.....	4
Table des matières.....	5
Avant-propos.....	7
Table des Figures.....	8
Table des Tableaux.....	10
Liste des Sigles et Abréviations.....	11
Introduction.....	13
1. Matériel et Méthodes.....	14
1.1. Zone d'étude.....	14
a. Description du territoire :	14
b. Sites d'étude :	14
1.2. Espèces étudiées.....	17
1.3. Protocole de suivi.....	18
1.4. Données utilisées.....	18
a. Obtention de la base de données principale :	18
b. Base de données « phénologie » :	23
c. Comparaison avec les autres échelles spatiales :	23
1.5. Analyse des données.....	24
a. Généralités sur les méthodes statistiques employées :	24
b. Démarche de modélisation :	25
c. Détail des modèles utilisés :	26
d. Outils SIG :	26
2. Résultats.....	27
2.1. Présentation générale.....	27
2.2. Tendances d'évolution : variations inter-annuelles.....	30
a. Tendances en période d'hivernage :	30
b. Tendances en période de migration post-nuptiale :	36
c. Tendances en période de migration pré-nuptiale :	38
d. Synthèse :	43
2.3. Rôle et intérêt biogéographiques.....	44
a. Intérêt de l'unité fonctionnelle et du complexe RNNDB – Polder :	44
b. Contribution aux échelles supérieures :	49
c. Relation entre les différentes échelles :	52
2.4. Phénologie : variations intra-annuelles.....	56
a. Phénologie comparée des espèces :	56
b. Phénologie spécifique :	64
c. Evolution de la phénologie :	69
2.5. Analyse des communautés.....	78
a. Similitudes entre remises :	78
b. Analyse spatio-temporelle :	81
2.6. Evolution de la répartition spatiale.....	86
3. Discussion.....	91
3.1. Interprétation des résultats.....	91
a. Présentation générale :	91

b. Tendances d'évolution :.....	91
c. Rôle et intérêt biogéographiques :.....	93
d. Phénologie :.....	94
e. Analyse des communautés :.....	95
f. Evolution de la répartition spatiale :.....	96
3.2. Limites de l'étude.....	97
3.3. Pistes d'améliorations du protocole.....	99
Conclusion.....	101
Références.....	103
Bibliographie.....	103
Logiciels et packages.....	104
Table des Annexes.....	105
Annexes.....	106

Avant-propos

Ce rapport présente les méthodes et résultats de l'analyse des données issues du protocole de suivi des remises diurnes réalisé sur le territoire du Parc naturel régional des Marais du Cotentin et du Bessin. Il fait suite à une mission de 6 mois réalisée fin 2017 - début 2018 et financée par le Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural (FEADER) et l'Agence de l'Eau Seine Normandie (AESN). Cette mission couvre les données de 2001 à 2017. L'analyse des données issues du suivi des limicoles côtiers a également été effectuée au cours de cette mission et fait l'objet d'un autre rapport d'étude.



UNION EUROPÉENNE

Fonds européen agricole pour
le développement rural :
l'Europe investit dans les
zones rurales

Table des Figures

<u>Figure 1</u> : Carte des remises diurnes de l'unité fonctionnelle.....	16
<u>Figure 2</u> : Schéma de la structure d'une unité fonctionnelle pour les anatidés en hivernage.....	17
<u>Figure 3</u> : Schéma de la structure des données.....	21
<u>Figure 4</u> : Répartition par taxon des individus observés sur l'unité fonctionnelle.....	28
<u>Figure 5</u> : Part de chaque remise dans le nombre d'individus mensuel moyen.....	29
<u>Figure 6</u> : Nombre d'individus mensuel moyen sur l'unité fonctionnelle.....	29
<u>Figure 7</u> : Evolution linéaire des effectifs hivernants sur l'unité fonctionnelle.....	31
<u>Figure 8</u> : Evolution non-linéaire des effectifs hivernants sur l'unité fonctionnelle.....	33
<u>Figure 9</u> : Evolution non-linéaire des effectifs hivernants sur le complexe RNNDB – Polder.....	35
<u>Figure 10</u> : Evolution linéaire des effectifs post-nuptiaux sur l'unité fonctionnelle.....	37
<u>Figure 11</u> : Evolution non-linéaire des effectifs post-nuptiaux sur l'unité fonctionnelle.....	38
<u>Figure 12</u> : Evolution linéaire des effectifs pré-nuptiaux sur l'unité fonctionnelle.....	40
<u>Figure 13</u> : Evolution non-linéaire des effectifs pré-nuptiaux sur l'unité fonctionnelle.....	42
<u>Figure 14</u> : Contribution de l'unité fonctionnelle et du complexe RNNDB – Polder aux effectifs régionaux et nationaux par espèce.....	49
<u>Figure 15</u> : Corrélation entre les effectifs de l'unité fonctionnelle et les effectifs à l'échelle régionale et nationale.....	53
<u>Figure 16</u> : Indice de présence moyen sur l'unité fonctionnelle par mois et par espèce.....	56
<u>Figure 17</u> : ACP sur les données moyennes de phénologie sur l'unité fonctionnelle.....	57
<u>Figure 18</u> : Variabilité de l'indice de présence moyen sur l'unité fonctionnelle par mois et par espèce.....	58
<u>Figure 19</u> : Indice de présence moyen sur le complexe RNNDB - Polder par mois et par espèce.....	59
<u>Figure 20</u> : Variabilité de l'indice de présence moyen sur le complexe RNNDB - Polder par mois et par espèce.....	60
<u>Figure 21</u> : ACP sur les données moyennes de phénologie sur le complexe RNNDB – Polder.....	61
<u>Figure 22</u> : Dendrogramme issu de la CHCP sur les données moyennes de phénologie sur le complexe RNNDB – Polder.....	62
<u>Figure 23</u> : Indice de présence au cours d'un cycle par espèce.....	64
<u>Figure 24</u> : Evolution de la phénologie par espèce.....	69

<u>Figure 25</u> : Part moyenne des espèces principales dans le peuplement annuel de chaque remise.....	78
<u>Figure 26</u> : ACP sur la part moyenne des espèces principales dans le peuplement annuel de chaque remise.....	79
<u>Figure 27</u> : Dendrogramme issu de la CHCP sur la part moyenne des espèces principales dans le peuplement annuel de chaque remise.....	80
<u>Figure 28</u> : Carte du peuplement total par remise.....	82
<u>Figure 29</u> : Carte du peuplement hivernal par remise.....	83
<u>Figure 30</u> : Carte du peuplement post-nuptial par remise.....	84
<u>Figure 31</u> : Carte du peuplement pré-nuptial par remise.....	85
<u>Figure 32</u> : Evolution de la part moyenne de chaque espèce par remise.....	86

Table des Tableaux

<u>Tableau I</u> : Description des variables de la base de données « principale ».....	20
<u>Tableau II</u> : Liste des taxons observés.....	27
<u>Tableau III</u> : Significativité des tendances temporelles hivernales sur l'unité fonctionnelle.....	30
<u>Tableau IV</u> : Significativité des tendances temporelles hivernales sur le complexe RNNDB – Polder.....	34
<u>Tableau V</u> : Significativité des tendances temporelles post-nuptiales sur l'unité fonctionnelle.....	36
<u>Tableau VI</u> : Significativité des tendances temporelles pré-nuptiales sur l'unité fonctionnelle.....	39
<u>Tableau VII</u> : Tendances temporelles des taxons étudiés selon la période du cycle considérée.....	43
<u>Tableau VIII</u> : Intérêt biogéographique de l'unité fonctionnelle en hivernage.....	45
<u>Tableau IX</u> : Intérêt biogéographique de l'unité fonctionnelle en période pré-nuptiale et post-nuptiale.....	46
<u>Tableau X</u> : Intérêt biogéographique du complexe RNNDB - Polder en hivernage.....	47
<u>Tableau XI</u> : Intérêt biogéographique du complexe RNNDB - Polder en période pré-nuptiale et post-nuptiale.....	48
<u>Tableau XII</u> : Corrélation entre les effectifs de l'unité fonctionnelle et ceux des échelles supra.....	52
<u>Tableau XIII</u> : Tendances temporelles hivernales sur les différentes échelles géographiques.....	55
<u>Tableau XIV</u> : Groupement des taxons selon leur phénologie.....	63

Liste des Sigles et Abréviations

ACP : Analyse en Composantes Principales

CAH : Classification Ascendante Hiérarchique

CHCP : Classification Hiérarchique sur Composantes Principales

ENMC : Effectifs Nationaux Moyens Comptés

ONCFS : Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage

RCFS : Réserve de Chasse et de Faune Sauvage

RNNDB : Réserve Naturelle Nationale du Domaine de Beauguillot

SyMEL : Syndicat Mixte des Espaces Littoraux de la Manche

ZNIEFF : Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique

ZPS : Zone de Protection Spéciale (Natura 2000)

ZSC : Zone Spéciale de Conservation (Natura 2000)

Introduction

L'interdépendance entre la Réserve Naturelle Nationale du Domaine de Beauguillot et d'autres remises diurnes du Cotentin en ce qui concerne les populations d'Anatidés a été mise en évidence dès l'évaluation du premier plan de gestion de la réserve (Elder *et al.*, 1994). L'étude de Schricke *et al.* (2001), réalisée dans le cadre du second plan de gestion de la RNNDB (Elder, 1995), a apporté un premier niveau de compréhension du fonctionnement de ces sites en unité fonctionnelle. Elle a également fait apparaître avec l'évaluation du second plan de gestion (Elder, 2000) la nécessité de la mise en place d'un suivi régulier et concerté des différentes remises diurnes appartenant à l'unité fonctionnelle « Baie des Veys – Marais de l'isthme du Cotentin » afin de répondre aux problématiques définies à une échelle biogéographique appropriée.

Seize ans après le démarrage du protocole et à l'occasion de l'évaluation à mi-parcours du plan de gestion de la Réserve Naturelle Nationale du Domaine de Beauguillot (Elder & Blond, 2012), il semble pertinent de dresser un bilan de ce suivi en analysant les données qui en sont issues selon plusieurs angles. La plupart des problématiques abordées dans cette étude l'ont été de façon assez descriptive et graphique : c'est le cas de la phénologie, de l'analyse des communautés et de l'évolution de la répartition spatiale des individus. D'autres, comme l'analyse des tendances temporelles et la détermination du rôle biogéographique font l'objet, au moins en partie, d'analyses statistiques plus ou moins poussées : modélisation ou simples tests statistiques. En plus d'être analysées systématiquement à l'échelle de l'unité fonctionnelle, certaines thématiques sont également étudiées à l'échelle du complexe formé par la Réserve Naturelle Nationale du Domaine de Beauguillot et le Polder de Sainte-Marie-du-Mont, complexe qui constitue la remise diurne principale en termes de nombre d'individus. Cette étude se distingue des autres traitant des mêmes espèces sur la même zone géographique par la diversité des questionnements traités.

Afin de répondre aux problématiques précédemment présentées, nous nous sommes efforcés de répondre au cours de cette étude aux questions suivantes : « Comment varient les effectifs des populations au cours du temps ? » ; « Quels enjeux régionaux, nationaux et internationaux sont localisés sur l'unité fonctionnelle ? » ; « Comment varient les effectifs des populations au cours d'un cycle ? » ; « Observe-t-on une évolution temporelle dans la phénologie des populations ? » ; « Quelle est la composition des communautés des remises en fonction de la période ? » ou encore « Peut-on observer une évolution temporelle dans la répartition spatiale des effectifs spécifiques ? ».

Après une courte présentation de la zone d'étude et des espèces faisant l'objet du suivi, le protocole ainsi que les méthodes de traitement et d'analyse de données sont exposés. On développe dans la seconde partie du rapport les résultats du traitement des différentes problématiques exposées plus avant. Enfin la troisième et dernière partie du rapport est dédiée à l'interprétation des résultats de la partie précédente, à la description des différentes limites de l'étude ainsi qu'aux propositions d'amélioration du protocole de suivi.

1. Matériel et Méthodes

1.1. Zone d'étude

a. Description du territoire :

Le territoire étudié dans le cadre de ce suivi, à savoir le Parc naturel régional des Marais du Cotentin et du Bessin, est situé en région Normandie sur les départements de la Manche et du Calvados. Le classement de Parc naturel régional, obtenu en 1991 a été renouvelé pour la période 2010 – 2022 et son périmètre couvre un espace de 148 000 hectares au travers de ses 154 communes adhérentes. Zone rurale située entre plusieurs pôles économiques et touristiques d'importance, l'agriculture spécialisée dans l'élevage laitier ainsi que l'industrie agro-alimentaire spécialisée dans la transformation des produits laitiers, des légumes et des produits de la mer, jouent un rôle prépondérant dans l'économie du territoire. Le tourisme y tient également une place importante, à travers le tourisme de mémoire, le tourisme lié au littoral ou encore celui lié à la proximité de certains hauts lieux touristiques en périphérie du territoire (Bayeux, Cherbourg, Mont Saint-Michel, Caen, etc.).

Le PnrMCB constitue un territoire exceptionnel par divers aspects, notamment pour ses caractéristiques écologiques et paysagères. En effet, la majeure partie du territoire est composée d'un bocage dense et particulièrement préservé assurant une connectivité entre espaces à fort intérêt biologique ainsi que diverses fonction écologiques. On y trouve également près de 30 000 hectares de marais concernés par divers zonages de protection et d'étude de la biodiversité : ZNIEFF, convention RAMSAR, réserves naturelles, ZPS et ZSC. Les trois autres unités écologiques que compte le périmètre d'étude, à savoir les landes, les monts et le littoral, bien que plus faibles par leurs surfaces, occupent également une place importante dans le patrimoine naturel du territoire et présentent tout comme les zones humides de nombreux espaces naturels protégés.

b. Sites d'étude :

Les différents sites d'étude, appelés « remises diurnes » et présentés Figure 1, sont situés dans les marais du Cotentin ainsi qu'en Baie des Veys. La Douve, la Taute, l'Aure et la Vire se déversent dans cette dernière, située à l'Est du département de la Manche. D'une superficie de 5 000 ha, la Baie des Veys est composée d'un estran sablo-vaseux soumis à un marnage important, de vastes zones de schorre ainsi que de zones de pâturages et de cultures sur des polders. En ce qui concerne les marais du Cotentin, ils forment de vastes étendues pâturées et / ou fauchées l'été et régulièrement inondées en hiver du fait des précipitations et de la topographie. L'ensemble composé de la Baie des Veys et des marais du Cotentin est d'importance nationale et internationale pour de nombreuses espèces et est reconnu et protégé pour son patrimoine naturel (ZNIEFF, ZPS et ZSC, RAMSAR).

Le site d'étude principal est la Réserve Naturelle Nationale du Domaine de Beauguillot, dont la partie terrestre est propriété du Conservatoire du Littoral et gérée par le PnrMCB. Située en bordure

Nord-Ouest de la Baie des Veys, cette partie terrestre est composée de dunes, de prairies humides gérées par agro-pastoralisme et de canaux et fossés qui permettent leur mise en eau hivernale. La partie maritime, qui appartient au Domaine Public Maritime, correspond majoritairement à de la slikke à dominante sableuse et à un moyen schorre plus vaseux à couverture végétale plus dense.

Au Sud de la RNNDB, on retrouve le Polder de Sainte-Marie-du-Mont, propriété du Conservatoire du Littoral depuis 2006 et géré par le SyMEL. Cet espace, qui est une Réserve de Chasse et de Faune Sauvage depuis sa création en 1968, s'étend sur 115 ha et a vu ses milieux et sa gestion évoluer depuis les premières années de suivi : mise en herbe de la totalité du polder en 2007 et modification des modalités de gestion hydraulique (mise en eau) à partir de novembre 2009. Il est ainsi composé de prairies pâturées et fauchées ainsi que de canaux et fossés amphihalins. La RNNDB et le Polder forment une seule et même remise, de nombreux individus passant d'une entité à l'autre, même si pour certaines analyses les deux entités sont séparées du fait de la disparité de milieux et de peuplements.

Au Sud de la Baie des Veys, la Pointe de Brévands est constituée de 5 polders totalisant une surface de 183 hectares, également propriété du Conservatoire du Littoral et dont la gestion est assurée par le SyMEL. De nombreux fossés parcourent les prairies dont seules celles du Polder du Carmel sont inondées en hiver.

Plus en amont de la Douve, l'Espace Naturel Sensible des Ponts d'Ouve constitue un espace de 96 ha de prairies pâturées et fauchées plus ou moins inondées en hiver. Le site accueille de nombreux visiteurs, notamment à travers diverses animations tout au long de l'année. Le Conseil Départemental en est le propriétaire et le PnrMCB le gestionnaire.

Encore en amont, on retrouve la Tourbière de Baupte, dont une grande partie de l'emprise industrielle a été mise en eau et correspond désormais à un plan d'eau de 180 ha. L'exploitation de la tourbe est encore réalisée en périphérie de ce plan d'eau.

La vallée de la Taute accueille également un des sites d'étude : la Réserve de Chasse et de Faune Sauvage des Bohons. Cette réserve de 265 ha est composée essentiellement de prairies tourbeuses parcourues de fossés et de petits étangs exploitées par la fauche et le pâturage et dont la gestion est confiée à la Fédération des Chasseurs de la Manche.

Sous l'appellation « Vallée de la Douve », on distingue plusieurs remises plus temporaires utilisées par les oiseaux en fonction des conditions hydrologiques, comme les marais de Carquebut, Houesville et Beuzeville La Bastille. La superficie est variable en fonction de l'inondation et aucune gestion ni zonage de protection particulier n'est à signaler.

Plus au Nord, l'ancienne carrière de Marnes et de Calcaires de Fresville a été aménagée en plan d'eau avec un objectif à la fois pédagogique et de loisirs. Ce site, également d'intérêt géologique et paléontologique, est géré par le Parc naturel régional des Marais du Cotentin et du Bessin.

Enfin en bordure Nord-Ouest du Parc naturel, on retrouve le havre de Geffosses situé sur les communes de Geffosses et Anneville-sur-Mer. Cette Réserve de Chasse Maritime de 185 hectares de prés salés et de prairies humides est gérée par l'Association de chasse maritime de la Côte Ouest et la Fédération des Chasseurs de la Manche.

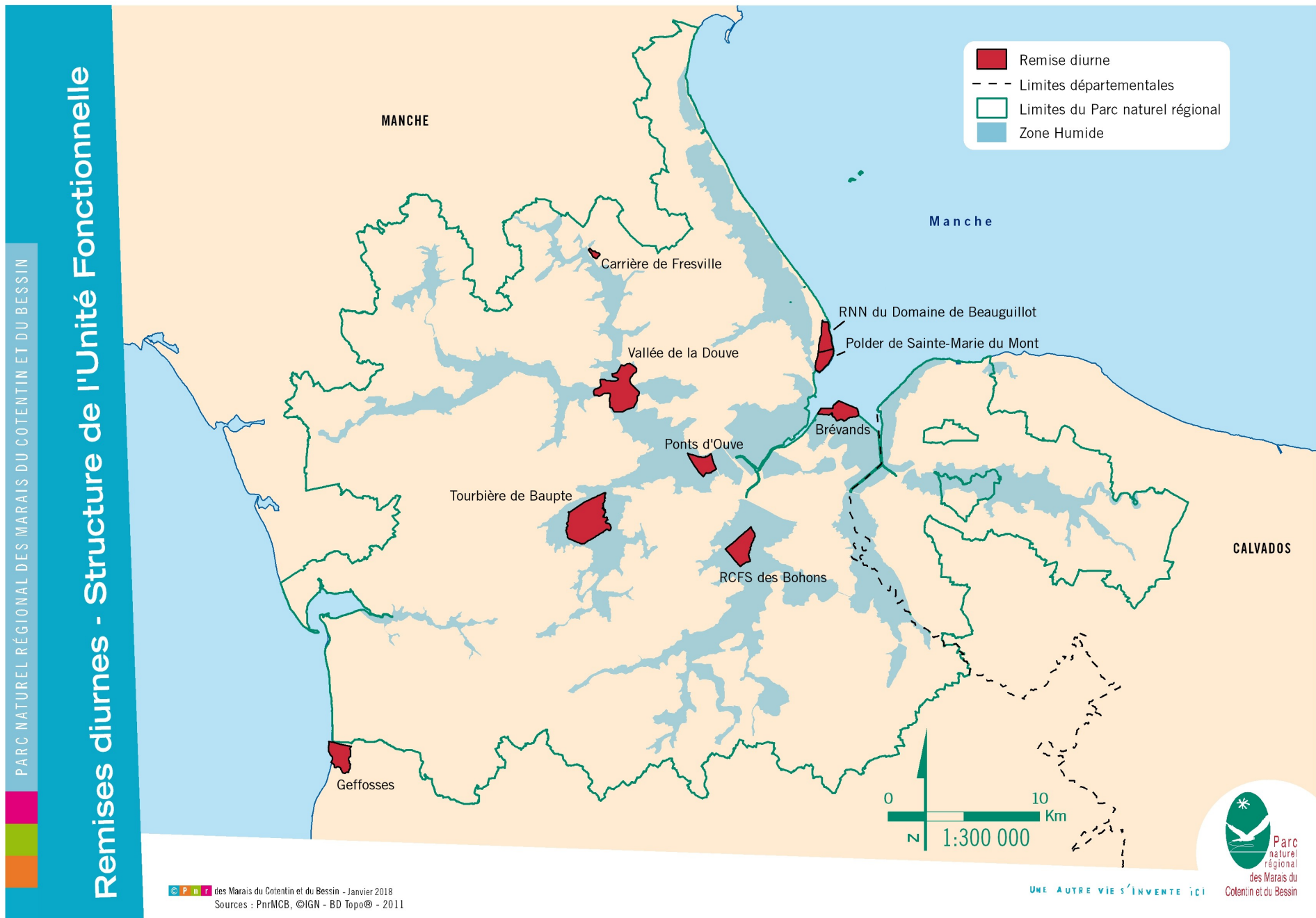


Figure 1 : Carte présentant les différentes remises diurnes suivies de l'Unité Fonctionnelle « Baie des Veys – Marais de l'isthme du Cotentin

1.2. Espèces étudiées

La Foulque macroule mise à part, les espèces citées dans cette étude appartiennent à la famille des Anatidés et les plus communément observées appartiennent à la sous-famille des Anatinés (canards). Les Anatidés, qui regroupent les Canards, les Cygnes et les Oies, possèdent des pattes palmées, un large bec, un long cou ainsi que des ailes étroites et pointues, morphologie à mettre en relation avec leurs habitats préférés, à savoir les milieux aquatiques. En période de migration et d'hivernage, ces espèces se rassemblent de jour sur des « remises diurnes », qui sont en général des espaces ouverts, non dérangés et présentant de l'eau libre, afin de s'y reposer et entretenir leur plumage. Les oiseaux quittent ensuite ces espaces le soir pour aller s'alimenter sur des zones de « gagnage » qui peuvent être des marais ou des prairies humides (Tamisier, 1976 *in* Elder, 2014). Une unité fonctionnelle est composée de l'ensemble des zones utilisées le jour et la nuit par une même population d'individus (cf. schéma Figure 2).

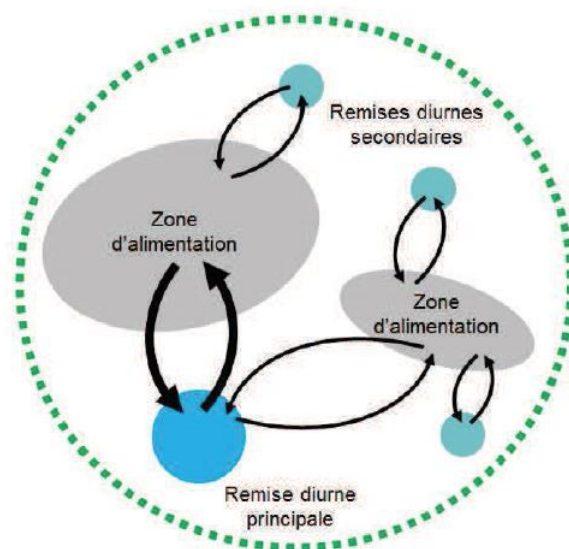


Figure 2 : Schéma présentant la structure d'une unité fonctionnelle pour les anatidés en hivernage (extrait de Elder (2014))

Le Tadorne de Belon (*Tadorna tadorna*) et le Cygne tuberculé (*Cygnus olor*) n'ont pas été intégrés aux analyses, le premier étant essentiellement côtier et le second ayant sa population extrêmement dispersée. On restera également prudent sur l'interprétation des résultats relatifs à la Bernache cravant (*Branta bernicla*), le protocole de suivi n'étant pas adapté à cette espèce plutôt côtière.

1.3. Protocole de suivi

Le protocole de suivi des remises diurnes réalisé sur l'unité fonctionnelle « Baie des Veys – Marais de l'isthme du Cotentin » a été initié suite aux conclusions de l'évaluation du second plan de gestion de la Réserve Naturelle Nationale du Domaine de Beauguillot (Elder, 2000) et d'une étude menée à l'échelle de l'unité fonctionnelle (Schricke *et al.*, 2001) mettant en évidence la nécessité de réaliser un suivi concerté sur plusieurs sites interdépendants à l'échelle de l'unité fonctionnelle.

Plusieurs différences sont notables entre ce suivi et le suivi national des effectifs hivernants des Anatidés et de la Foulque macroule. En effet ce dernier, coordonné par le réseau « Oiseaux d'eau & Zones humides » associant l'Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage ainsi que les Fédérations Départementales et Nationales des Chasseurs, préconise des comptages mensuels en période hivernale (ONCFS, 2017) alors que dans notre cas les comptages sont décennaires et réalisés du mois d'août au mois d'avril. Chaque remise diurne appartenant à l'unité fonctionnelle fait l'objet d'un comptage le plus exhaustif possible par un agent du Parc naturel régional des Marais du Cotentin et du Bessin ou par l'un des partenaires. Ce suivi a été initié sur l'unité fonctionnelle en Octobre 2001 (les suivis des mois d'août et de septembre n'ont pas été effectués lors des deux premiers cycles).

Deux remises diurnes ne font actuellement plus l'objet d'un suivi : la carrière de Fresville dont l'intérêt est désormais marginal (dernier suivi lors du cycle 2015 – 2016) et le havre de Geffosses situé en marge de l'unité fonctionnelle (dernier suivi lors du cycle 2012 – 2013). Un calendrier de suivi allégé sur certaines remises diurnes (Tourbière de Baupte et RCFS des Bohons) a également été mis en place avec les partenaires.

1.4. Données utilisées

Les données utilisées issues du protocole décrit dans la section précédente couvrent la période 2001 à 2017, soit de l'année de mise en place du protocole à l'année de production de l'étude dont ce rapport fait l'objet.

a. Obtention de la base de données principale :

Historiquement, les données de suivi récoltées par l'ensemble des partenaires étaient transmises au personnel de la Réserve Naturelle Nationale du Domaine de Beauguillot, souvent au format papier. Ces données étaient ensuite intégrées à une base de données sous le logiciel SERENA (Système d'Echange de données pour les Réseaux d'Espaces Naturels) développé par l'association Réserves Naturelles de France, nécessitant un important travail de mutualisation et de numérisation. Plus récemment, il a été décidé de regrouper les différentes bases de données au format SERENA de la RNNDB et de les intégrer à la base de données SERENA du Parc naturel régional des Marais du

Cotentin et du Bessin (gestionnaire de la Réserve depuis peu) afin de simplifier l'extraction et l'utilisation de données. Ce choix a entraîné en 2017 une phase de mise en conformité des données issues de bases ayant une structure différente ainsi que la recherche de doublons, d'erreurs de saisie et d'incohérences dues à l'importante quantité de données ainsi qu'à la multiplicité des formats de stockage et des partenaires.

A partir de cette unique base de données SERENA, plusieurs étapes de traitement des données ont ensuite été effectuées afin d'obtenir une base de données au format tableur exploitable pour les différentes analyses :

- Suppression des taxons non pris en compte
- Suppression et renommage de champs
- Remise en forme pour l'import sous le logiciel d'analyse

Certains passages sur une remise ont eu lieu à des dates différentes pour une même décade. Dans le cas où ces passages sont effectués sur des points d'observation différents, comme pour la Réserve Naturelle Nationale du Domaine de Beauguillot, les effectifs de chaque espèce ont simplement été additionnés et une seule date a été conservée. Ces dates étant généralement très proches, on suppose que cela n'affecte quasiment pas les résultats obtenus. Par contre sur certaines remises, deux passages différents ont été réalisés sur le même point d'observation et constituent donc un « doublon ». Dans cette situation, on conserve alors le maximum pour chaque espèce et une seule date.

En ce qui concerne les imprécisions sur les effectifs, lorsqu'une plage de valeurs a été renseignée et non un nombre d'individus, la moyenne entre la valeur minimale et la valeur maximale a été exploitée. Par contre la seule indication d'une présence pour une espèce lors d'une observation nous a obligé à retirer l'observation du jeu de données pour l'espèce concernée (absence de données et non pas aucun individu observé). Les deux cas précédents ne concernent toutefois qu'une toute petite partie des données (une vingtaine d'observations).

Enfin l'hétérogénéité ainsi que la grande proportion de données manquantes ne permettent pas d'intégrer les facteurs environnementaux aux analyses.

La base de données dite « principale » ainsi obtenue est composée de 2 525 lignes et de 44 colonnes correspondant aux variables, détaillées dans le Tableau I ci-après. Certaines de ces variables ne sont pas utilisées dans les analyses mais sont prises en compte dans la construction d'autres variables. C'est le cas de certaines variables spécifiques présentant des effectifs trop faibles pour être analysés mais qui rentrent en compte dans le calcul des variables synthétiques ou encore l'analyse des peuplements (*Den_bic* utilisé dans le calcul de *Total_Anatidae* par exemple).

Tableau 1 : Description des variables présentes dans la Base de données « principale »

Variable	Type	Fonction	Description
<i>Aix_gal</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Aix galericulata</i>
<i>Ana_acu</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Anas acuta</i>
<i>Ana_bah</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Anas bahamensis</i>
<i>Ana_car</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Anas carolinensis</i>
<i>Ana_cly</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Anas clypeata</i>
<i>Ana_cre</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Anas crecca</i>
<i>Anas_sp</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts du Genre <i>Anas</i> indéterminés
<i>Ana_pen</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Anas penelope</i>
<i>Ana_pla</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Anas platyrhynchos</i>
<i>Ana_que</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Anas querquedula</i>
<i>Ana_str</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Anas strepera</i>
<i>Anatidae_sp</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts d'Anatidés indéterminés
<i>Ans_alb</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Anser albifrons</i>
<i>Ans_ans</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Anser anser</i>
<i>Ans_bra</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Anser brachyrhynchus</i>
<i>Ans_cae</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Anser caerulescens</i>
<i>Ans_fab</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Anser fabalis</i>
<i>Ans_ind</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Anser indicus</i>
<i>Anseriformes_sp</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts d'Anseriformes indéterminés
<i>Ayt_fer</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Aythya ferina</i>
<i>Ayt_ful</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Aythya fuligula</i>
<i>Ayt_mar</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Aythya marila</i>
<i>Bra_ber</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Branta bernicla</i>
<i>Bra_ber_nig</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Branta bernicla nigricans</i>
<i>Bra_can</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Branta canadensis</i>
<i>Bra_leu</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Branta leucopsis</i>
<i>Bra_ruf</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Branta ruficollis</i>
<i>Buc_cla</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Bucephala clangula</i>
<i>Den_bic</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Dendrocygna bicolor</i>
<i>Ful_atr</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Fulica atra</i>
<i>Mel_nig</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Melanitta nigra</i>
<i>Mel_alb</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Mergellus albellus</i>
<i>Mer_mer</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Mergus merganser</i>
<i>Mer_ser</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Mergus serrator</i>
<i>Net_ruf</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Netta rufina</i>
<i>Som_mol</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Somateria mollissima</i>

Variable	Type	Fonction	Description
Total_Anatidae	Entier positif	Variable expliquée	Nombre total de contacts d'Anatidés et Foulque macroule
ID	Entier positif	-	Identifiant de l'observation
Remise	Catégorielle	Variable explicative	Remise diurne échantillonnée
Cycle	Catégorielle	Variable explicative	Cycle de l'observation
Cycle_Q	Entier positif	Variable explicative	Numéro du cycle de l'observation
Decade	Catégorielle	Variable explicative	Mois et décade de l'observation
Date	Catégorielle	Variable explicative	Date de l'observation au format JJ/MM/AAAA
Date_Jul	Entier positif	Variable explicative	Date en jours juliens (le 1 correspond au 1 ^{er} Août)

Chacune des 2 525 lignes (que l'on appelle un individu statistique) correspond ainsi à l'observation d'une remise, lors d'une décade au cours d'un mois d'une année. La remise « Brévands » lors de la seconde décade du mois de Mars 2008 constitue une observation (et donc une ligne) par exemple. La structure de la base de données principale est représentée Figure 3 ci-dessous.

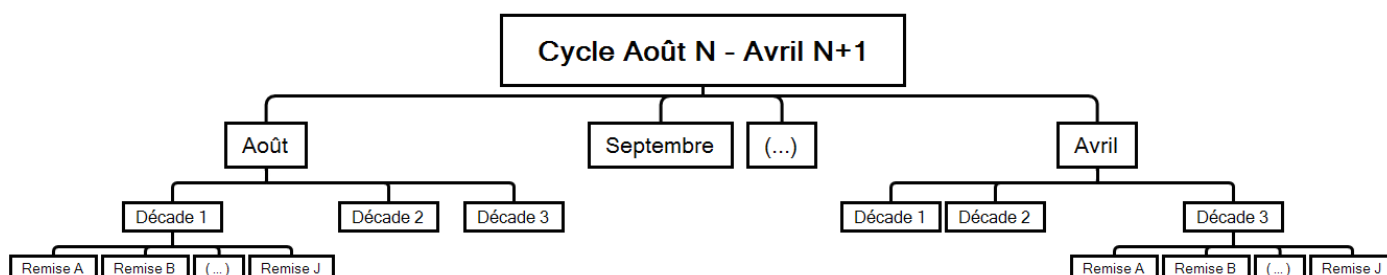


Figure 3 : Schéma présentant la structure de nos données. Exemple pour un cycle lambda

L'analyse de cette base de données permet de traiter les points suivants :

- §2.1 – Les graphiques et résultats présentés dans cette section sont obtenus à partir de calculs effectués sur ces données (moyenne mensuelle réalisée sur l'ensemble des cycles)
- §2.2 – L'analyse des tendances d'évolution est effectuée à partir de ces données
- §2.5 – On utilise ces données pour caractériser les communautés : peuplement moyen par période, peuplement annuel moyen et peuplement à partir du nombre d'individus total
- §2.6 – A partir de ces données, on établit l'évolution au cours du temps de la contribution de chaque remise pour les espèces principales (effectif moyen annuel par observation)

En ce qui concerne le second point, plutôt que de considérer un seul comptage par cycle comme c'est le cas certaines études qui s'appuient sur le dénombrement des oiseaux à la mi-janvier ou encore un résumé de plusieurs observations (maximum ou moyenne par exemple), nous avons choisi d'utiliser l'ensemble des comptages effectués sur des plages de 3 mois correspondant à la période du cycle analysée : décembre - janvier - février pour l'hivernage, octobre – novembre - décembre pour la migration post-nuptiale et février - mars - avril pour la migration pré-nuptiale. Ainsi, 9 comptages (3 décades * 3 mois) sont utilisés par cycle pour la détermination des tendances temporelles. Ce choix a été principalement motivé par diverses raisons :

- Il nous permettait d'obtenir un échantillon suffisant pour mettre en œuvre de façon raisonnable des méthodes statistiques, ce qu'une seule observation par cycle rendait impossible.
- Nous avons supposé que les comptages à une seule date seraient plus sensibles qu'une plage de données à un léger décalage dans le temps de la phénologie plus importante.
- Le dénombrement d'individus à une seule date est plus sensible à des conditions d'observations particulières (météorologiques, hydrologiques, etc.) qu'une plage de données impliquant une période plus importante et donc une plus grande variation des conditions d'observation, atténuant l'effet de conditions exceptionnelles.

Il est nécessaire de préciser qu'un grand nombre de relevés a été retiré des analyses des tendances lorsque la couverture de l'unité fonctionnelle était trop faible en termes de nombre de remises suivies, notamment quand le suivi d'au moins une des remises principales n'a pas été effectué. Ainsi nous n'avons pas pu tenir compte de plus de la moitié des relevés pour certaines périodes (migration pré-nuptiale et post-nuptiale).

Deux variables synthétiques ont été utilisées pour caractériser les communautés. L'indice de biodiversité de Shannon (variable *Shannon*, formule 1 ci-après), tient compte à la fois de la richesse spécifique et de la répartition des individus entre les espèces (Shannon & Weaver, 1949 in Peet, 1974). L'indice d'équitabilité de Pielou (variable *Pielou*, formule 2 ci-après), lui, est calculé à partir de l'Indice précédent et évalue uniquement la répartition des individus entre les différentes espèces (Pielou, 1967 in Peet, 1974). Plus la répartition des individus entre espèces est équilibrée, plus cet indice se rapproche de 1, son maximum.

$$(1) \quad H' = -\left(\sum_{i=1}^S p_i \times \ln(p_i)\right)$$

Avec :

H' : Indice de biodiversité de Shannon

p_i : part d'individus de l'espèce i

R : Indice d'équitabilité de Pielou

$\ln(\)$: Fonction logarithme népérien

S : Diversité spécifique

$$(2) \quad R = \frac{H'}{\ln(S)}$$

b. Base de données « phénologie » :

Contrairement au cas de la base de données principale, chaque variable spécifique ne correspond pas à un effectif mais au rapport entre l'effectif observé lors d'un relevé sur l'unité fonctionnelle et l'effectif maximum obtenu lors du même cycle à la même échelle. Chaque variable est donc comprise entre 0 et 1 inclus. Le même procédé est utilisé pour l'étude du complexe RNNDB – Polder. Les taxons les plus rares ne sont pas traités de même que les cycles pour lesquels une espèce n'est pas observée (plutôt que de fixer à 0 ou à 1 l'ensemble des rapports du cycle).

L'analyse de cette base de données permet de traiter les points suivants :

- §2.4.a – Phénologie comparée : du fait de l'absence de données décennales pour certaines remises, l'analyse est réalisée sur les mois et non sur les décades à l'échelle de l'unité fonctionnelle, contrairement au complexe RNNDB – Polder. Le rapport obtenu est multiplié par 100 afin d'en faciliter la compréhension.
- §2.4.b – Même méthodologie que ci-dessus pour l'obtention des diagrammes radar
- §2.4.c – Même méthodologie que ci-dessus pour la visualisation des décalages de phénologie, à ceci près que les cycles ayant peu ou pas d'effectifs pour une espèce sont tout de même représentés

c. Comparaison avec les autres échelles spatiales :

A partir des données de comptages réalisés à la mi-janvier extraites de la base de données principale présentée plus avant, il est possible d'évaluer l'intérêt des remises diurnes et de l'unité fonctionnelle en hivernage :

- L'intérêt est international si l'on compte lors de la seconde décade de janvier au moins 1 % des effectifs estimés de la population biogéographique (critère d'importance internationale « RAMSAR » n°6).
- On peut également considérer qu'un site présente une importance internationale si plus de 20 000 Anatidés sont dénombrés lors de ce même comptage de la mi-janvier (critère d'importance internationale « RAMSAR » n°5).
- L'intérêt est national si l'on compte lors de la seconde décade de janvier au moins 1 % des Effectifs Nationaux Moyens Comptés (ENMC) de la décennie concernée.
- On considère que l'intérêt est régional si l'on compte lors de la seconde décade de janvier au moins 20 % des effectifs recensés sur l'ensemble de la région à la même période (J-F. Elder, 2017, *comm. pers.*).

L'intérêt international en période de migration pré-nuptiale et post-nuptiale est également déterminé.

L'évolution de la contribution à l'échelle nationale au cours du temps et la relation unité fonctionnelle / France sont caractérisées par rapport aux effectifs recensés l'année concernée à chaque échelle plutôt que par rapport aux ENMC.

Ces différents seuils et effectifs de référence sont déterminés à partir des comptages réalisés sur l'ensemble du réseau de sites participant aux comptages d'oiseaux d'eau de Wetlands International à la mi-janvier. Ils sont extraits des synthèses annuelles du dénombrement d'Anatidés et de Foulques hivernant en France à la mi-janvier (Gaudart *et al.*, 2001 à 2017). L'intérêt et la contribution ne sont pas calculés pour l'année 2017 en l'absence de l'ensemble des données des différentes échelles.

L'analyse de ces données permet de traiter la section §2.3 – Rôle et intérêt biogéographiques

1.5. Analyse des données

a. Généralités sur les méthodes statistiques employées :

Les analyses factorielles réalisées sont des Analyses en Composantes Principales (ACP) puisque les variables utilisées sont quantitatives. La classification qui s'en suit est une Classification Ascendante Hiérarchique. L'approche utilisée ici pour l'exploration et la représentation des données multivariées est une Classification Hiérarchique sur Composantes Principales (CHCP). Elle combine une Analyse en Composantes Principales (ACP) suivie d'une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH).

Le test de corrélation entre variables quantitatives utilisé est celui de Spearman, la distribution des variables concernées n'étant pas Gaussienne. Le risque de première espèce α est fixé à 5 % (on rejette l'hypothèse nulle si p -value < 0,05), toutefois on restera très prudent sur les effets ayant une significativité située entre 0,05 et 0,01 comme conseillé dans Zuur *et al.* (2009) étant donné la complexité de certains modèles utilisés. L'ensemble des analyses statistiques a été réalisé sur le logiciel libre R (R Core Team, 2016). Un tableau détaillant les principaux packages utilisés pour cette étude est présenté en Annexe 1.

La distribution des variables-réponse n'étant pas Gaussienne, les modèles utilisés font partie de la grande famille des modèles généralisés qui permettent de s'affranchir de l'hypothèse de normalité de la variable expliquée et d'utiliser d'autres distributions. Dans le cas de comptages d'effectifs (entiers non négatifs), il est ainsi possible d'utiliser une distribution de Poisson ou Binomiale Négative. C'est d'ailleurs cette dernière qui a été préférée, les données étant fortement sur-

dispersées (variance bien plus grande que la moyenne), choix validé par le Likelihood Ratio Test. Les modèles généralisés les plus communs sont les modèles linéaires généralisés (GLM) qui permettent l'utilisation de modèles linéaires classiques pour des variables-réponses n'ayant pas une distribution normale. Leur utilisation en écologie et notamment en ornithologie est largement documentée (Atkinson *et al.*, 2006 ; Soldaat *et al.*, 2007 ; Zuur *et al.*, 2009) . Toutefois, parce que les GLM ne permettent que de tester des effets linéaires, il est parfois intéressant de visualiser des effets non linéaires plus complexes à l'aide de modèles additifs (Atkinson *et al.*, 2006 ; Soldaat *et al.*, 2007), appelés GAM dans leur version généralisée, bien qu'ils ne permettent pas d'obtenir de formule mathématique et qu'ils soient donc plus difficiles à interpréter (Visser, 2004). Il paraissait donc pertinent de combiner l'utilisation à la fois des GLM et des GAM dans notre approche analytique.

Toutefois la structure de nos données implique la corrélation entre observations : on suppose par exemple que deux observations réalisées lors de la même décennie sont plus susceptibles de se ressembler que deux observations issues de décennies différentes. L'utilisation de modèles mixtes (contenant à la fois une partie fixe et une partie aléatoire) permet de tenir compte de cette corrélation entre observations et de la structure imbriquée de nos données (cf. Figure 3), de généraliser les résultats à l'ensemble de la population et de ne pas utiliser trop de degrés de liberté, chose impossible en considérant l'ensemble des variables en tant qu'effets fixes. La variable *Decade*, à l'origine de corrélations entre observations, ne nous intéressant pas pour l'analyse des tendances temporelles a donc été considérée en effet aléatoire et non en effet fixe.

Ainsi il a été décidé d'utiliser des GLM et GAM dans leur version « mixte », c'est-à-dire des GLMM et GAMM (Zuur *et al.*, 2009). Les caractéristiques générales des modèles utilisés dans les différentes sections du rapport sont détaillées dans les prochains paragraphes. L'effet non-linéaire choisi est de type « Thin plate regression spline » (Wood, 2003).

b. Démarche de modélisation :

Pour chaque modèle ajusté, la démarche utilisée est celle conseillée dans Zuur *et al.* (2009) :

- Exploration des données : cette étape réalisée en amont de l'analyse elle-même permet de valider et préparer au mieux la phase d'analyse *stricto sensu*. Par visualisation de chaque variable sur graphiques de type « *box-plot* » ou « *dot-plot* », on caractérise les valeurs extrêmes (ou « *outliers* »). Le cas échéant, l'observation peut-être retirée du jeu de données. On détermine ensuite le type de distribution à utiliser pour la modélisation à partir des histogrammes des variables-réponse ainsi que de leurs moyennes et variances. Enfin le tracé de graphes (X,Y) permet d'identifier les relations entre variables-réponses et variables explicatives. Cette étape permet d'identifier le type de relation à spécifier dans les modèles (linéaire, quadratique ou autre).
- Sélection du modèle statistique : on commence par ajuster le modèle initial contenant l'ensemble des variables explicatives jugées pertinentes. On sélectionne ensuite le

« meilleur » modèle en supprimant pas-à-pas les variables dont l'effet fixe n'est pas significatif jusqu'à obtenir un modèle ne contenant que des variables ayant un effet significatif.

- Validation du modèle sélectionné : cette étape, essentiellement graphique, permet de révéler d'éventuels problèmes avec le modèle final et d'estimer sa qualité. On peut ainsi détecter une éventuelle hétéroscédasticité en traçant les résidus du modèle en fonction de la variable-réponse estimée par le modèle et des problèmes d'indépendance en repérant des patterns dans des graphiques représentant les résidus en fonction des variables explicatives présentes ou non dans le modèle. Enfin on estime la normalité des résidus du modèle en traçant des diagrammes Quantile-Quantile (QQ plot) et on peut déterminer la qualité prédictive d'un modèle en traçant les valeurs estimées par le modèle en fonction de celles observées.

c. Détail des modèles utilisés :

Pour l'analyse des tendances temporelles, la variable *Cycle* est utilisée en tant que variable quantitative (appelée alors *Cycle_Q*) alors que la variable *Decade* a été incluse dans les modèles en tant qu'effet aléatoire, nous permettant ainsi de tenir compte de la corrélation entre observations réalisées lors d'une même décennie.

Enfin un effet non linéaire pour la variable *Cycle_Q* a également été intégré aux modèles d'analyse des tendances non linéaires. Les modèles statistiques utilisés pour l'analyse des tendances temporelles sont donc de type GLMM et GAMM. Les modèles 1 et 2 ci-dessous sont les modèles complets utilisés respectivement pour l'analyse des tendances linéaires et non linéaires.

$$(1) \quad Y \sim \text{Cycle_Q} + 1 | \text{Decade}$$

$$(2) \quad Y \sim s(\text{Cycle_Q}) + 1 | \text{Decade}$$

Avec :

Y : la variable expliquée

Cycle_Q : l'effet linéaire modélisé pour la variable *Cycle_Q*

$s(\text{Cycle_Q})$: l'effet non-linéaire modélisé pour la variable *Cycle_Q*

$1 | \text{Decade}$: l'ordonnée à l'origine varie selon la variable *Decade* (effet aléatoire)

d. Outils SIG :

Le logiciel libre QGIS (Quantum GIS Development Team, 2016) ainsi que le logiciel ArcGIS® (ESRI, 2016) ont été utilisés pour les traitements et analyses SIG ainsi que pour la production de cartes.

2. Résultats

2.1. Présentation générale

Le jeu de données analysé compte un total de 2 775 652 individus appartenant à 33 taxons de la famille des Anatidés (hors Tadornes et Cygnes) ou à l'espèce Foulque macroule. Le Tableau II ci-dessous présente par taxon le nombre d'individus observés toutes remises, cycles et décades confondus. On constate Figure 4 ci-après que les peuplements sont largement dominés par les espèces du Genre *Anas* comme la Sarcelle d'hiver qui dépasse le million d'individus observés ainsi que le Canard siffleur qui dépasse les 700 000 individus. Arrivent ensuite le Canard colvert, le Canard souchet, le Canard pilet et la Foulque macroule, autour des 200 000 individus environ. Les Oies et Bernaches sont également bien représentées, notamment avec l'Oie cendrée, la Bernache nonnette, la Bernache cravant et l'Oie rieuse, placées respectivement en 7^{ème}, 9^{ème}, 12^{ème} et 13^{ème} position. Au delà du 14^{ème} place occupée par la Sarcelle d'été, les taxons affichent moins de 100 individus observés et ne feront par conséquent pas l'objet d'analyses spécifiques dans ce rapport.

Tableau II : Liste des taxons observés classés par nombre d'individus total décroissant. Le nombre d'individus toutes espèces confondues dans le Tableau ne correspond pas à celui énoncé dans le paragraphe ci-avant car les anatidés non identifiés ne sont pas comptabilisés dans ce tableau.

Taxon	Nombre d'individus	Taxon	Nombre d'individus
<i>Anas crecca</i>	1 001 294	<i>Melanitta nigra</i>	40
<i>Anas penelope</i>	734 772	<i>Anser brachyrhynchus</i>	37
<i>Anas platyrhynchos</i>	289 373	<i>Mergus serrator</i>	16
<i>Anas clypeata</i>	218 539	<i>Anser fabalis</i>	11
<i>Anas acuta</i>	196 783	<i>Aythya marila</i>	8
<i>Fulicula atra</i>	178 751	<i>Mergellus albellus</i>	8
<i>Anser anser</i>	47 475	<i>Anser caerulescens</i>	3
<i>Anas strepera</i>	36 896	<i>Anser indicus</i>	3
<i>Branta leucopsis</i>	27 532	<i>Branta ruficollis</i>	3
<i>Aythya ferina</i>	14 920	<i>Aix galericulata</i>	2
<i>Aythya fuligula</i>	12 513	<i>Branta canadensis</i>	2
<i>Branta bernicla</i>	9 505	<i>Mergus merganser</i>	2
<i>Anser albifrons</i>	2 519	<i>Anas bahamensis</i>	1
<i>Anas querquedula</i>	1 832	<i>Anas carolinensis</i>	1
<i>Bucephala clangula</i>	91	<i>Branta bernicla nigricans</i>	1
<i>Somateria mollissima</i>	62	<i>Dendrocygna bicolor</i>	1
<i>Netta rufina</i>	57	Total	2 773 053

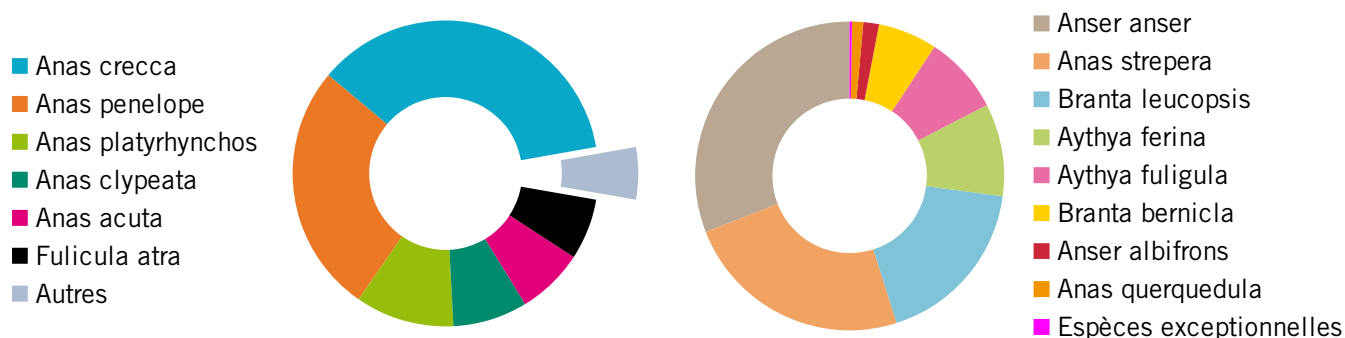


Figure 4 : Répartition par taxon des individus observés sur l'unité fonctionnelle, à gauche des principales espèces et à droite des espèces plus occasionnelles ou exceptionnelles (représentées par la catégorie « Autres » dans le diagramme de gauche)

La Figure 5 ci-après permet de visualiser les disparités d'effectifs entre remises diurnes de l'unité fonctionnelle au cours d'un cycle. On constate ainsi que la remise la plus importante en nombre d'individus est la Réserve Naturelle Nationale du Domaine de Beauguillot et que le complexe qu'elle forme avec le Polder de Sainte-Marie-du-Mont accueille près de la moitié des effectifs de l'unité fonctionnelle « Baie des Veys – Marais de l'isthme du Cotentin » une grande partie de l'année. On remarque également l'importance de la Vallée de la Douve en période hivernale et pré-nuptiale, de la tourbière de Baupte surtout en début de cycle et de la Réserve de Chasse et de Faune Sauvage des Bohons. Les autres remises présentent un intérêt plus limité voire même marginal comme le Havre de Geffosses et la Carrière de Fresville dont le suivi a été abandonné. Sur la Figure 6, on constate que les effectifs augmentent progressivement en période de migration post-nuptiale jusqu'à atteindre plus de 14 000 individus en moyenne en fin d'hivernage. Les effectifs diminuent alors de façon radicale puisque que le nombre d'individus est divisé par six entre mars et avril. On peut également observer que les effectifs du Canard colvert et de la Foulque macroule restent stables au cours du cycle sauf en période de migration pré-nuptiale où ils diminuent contrairement aux effectifs des autres espèces hivernantes dont la phénologie est sensiblement différente.

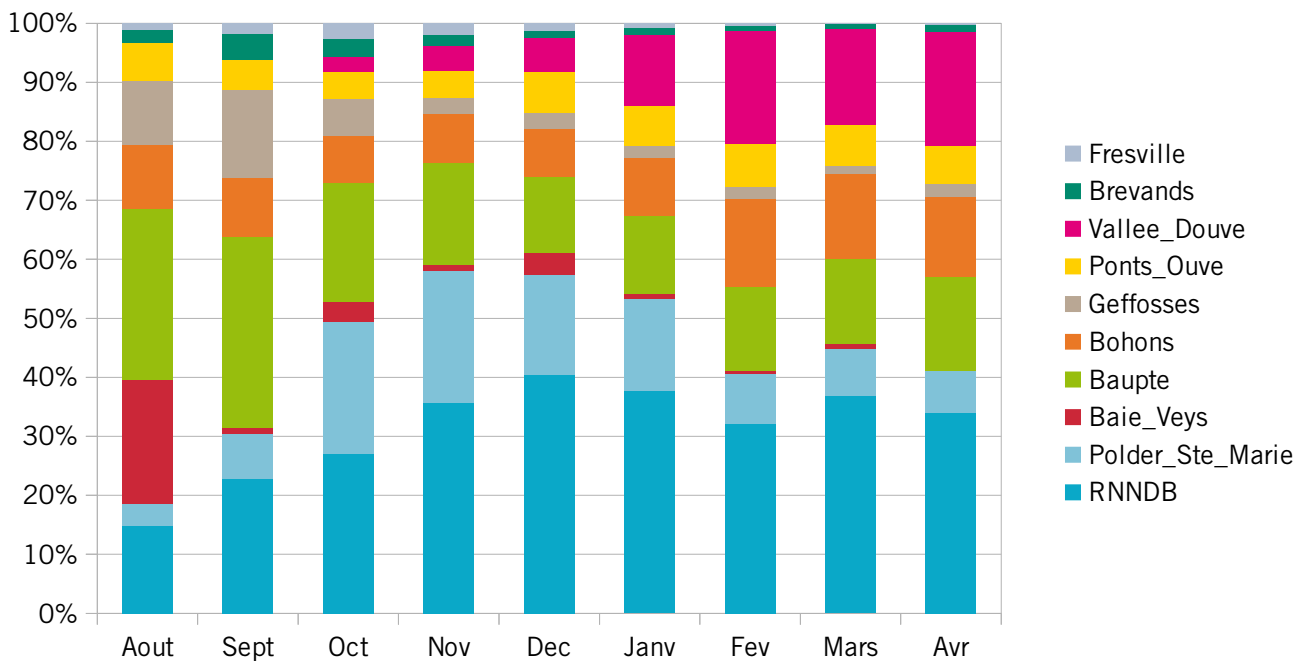


Figure 5 : Part de chaque remise dans le nombre d'individus mensuel moyen tous taxons confondus

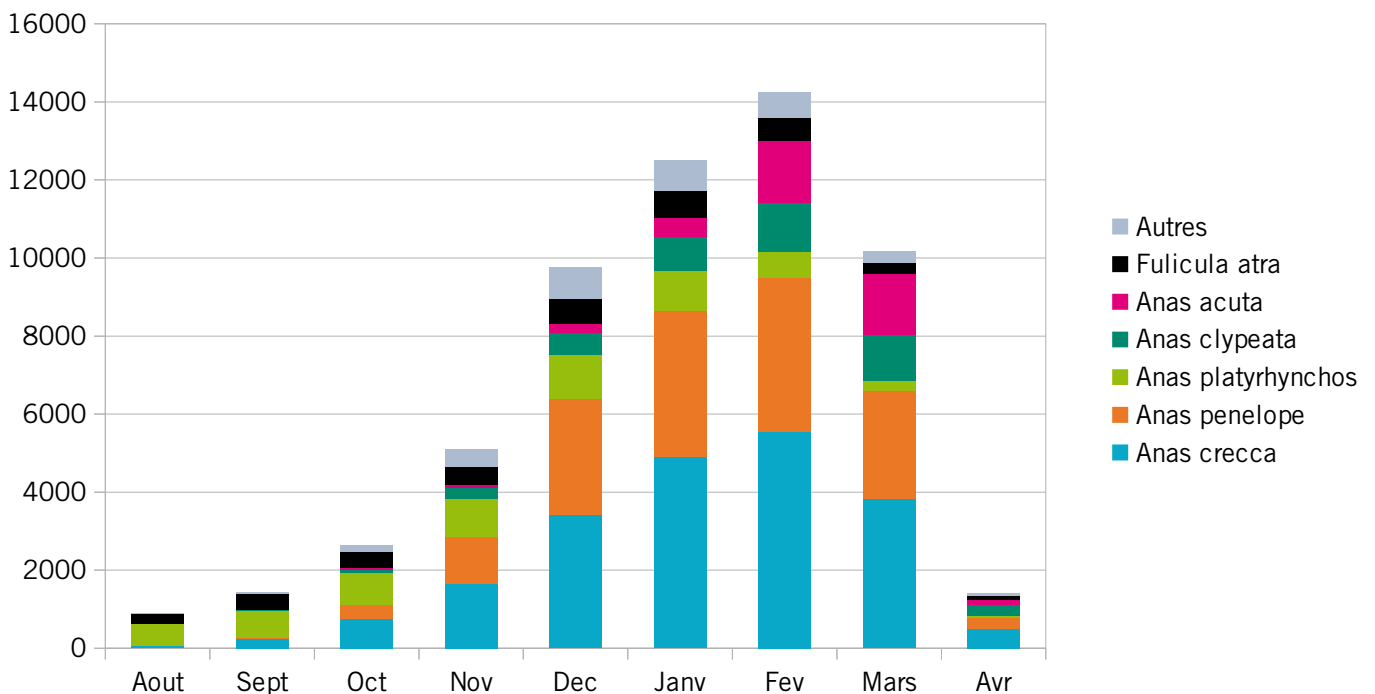


Figure 6 : Nombre d'individus mensuel moyen observé sur l'ensemble de l'unité fonctionnelle pour les six espèces principales

2.2. Tendances d'évolution : variations inter-annuelles

a. Tendances en période d'hivernage :

Unité fonctionnelle

Afin de ne pas surcharger le rapport, seuls les graphiques les plus pertinents ou concernant les espèces principales sont présentés et commentés, les autres figurent en annexe. Le Tableau III ci-dessous synthétise les résultats de la modélisation statistique appliquée aux tendances temporelles en période d'hivernage sur l'ensemble de l'unité fonctionnelle « Baie des Veys – Marais de l'isthme du Cotentin ». On constate immédiatement que mis-à-part les canards plongeurs, tous les anatidés testés présentent une tendance temporelle positive et souvent fortement significative d'après les modèles linéaires généralisés mixtes.

Tableau III : Significativité des tendances temporelles hivernales linéaires et non-linéaires par taxon sur l'unité fonctionnelle, classés par nombre total d'individus décroissant. Le symbole entre parenthèses indique le signe du coefficient du terme « Cycle_Q » ; « NS » : non significatif ; « * » : significativité à 5 % ; « ** » : significativité à 1 % ; « *** » : significativité à 1 %. « AIC » désigne le critère d'Akaïké du modèle optimal et « ddl » le nombre de degrés de liberté de la courbe modélisée. Les espèces principales sont figurées en gras.

Taxon	GLMM			GAMM	
	Cycle_Q	AIC	s(Cycle_Q)	ddl	AIC
Sarcelle d'hiver	(+) ^{***}	1612,1	***	7,28	71,4
Canard siffleur	(+) ^{***}	1539,9	***	6,12	89,1
Canard colvert	(+) ^{***}	1292,7	***	7,23	47,9
Canard souchet	(+) ^{***}	1340	***	1	144,6
Canard pilet	(+) ^{***}	1264,4	***	2,67	147
Foulque macroule	(+) [*]	1246,5	***	5,56	88,6
Oie cendrée	(+) ^{***}	1070,7	***	5,38	108,2
Canard chipeau	(+) ^{***}	1046,2	***	7,23	145,9
Bernache nonnette	(+) ^{***}	677,4	***	8,6	347,6
Fuligule milouin	NS	951,4	**	5,85	270,5
Fuligule morillon	NS	909	***	6,66	212,3
Oie rieuse	(+) ^{**}	596,5	***	5,54	330,4
Garrot à œil d'or	NS	144,6	***	3,38	478,3
Total Anatidés	(+) ^{***}	1744,2	***	5,8	27,1

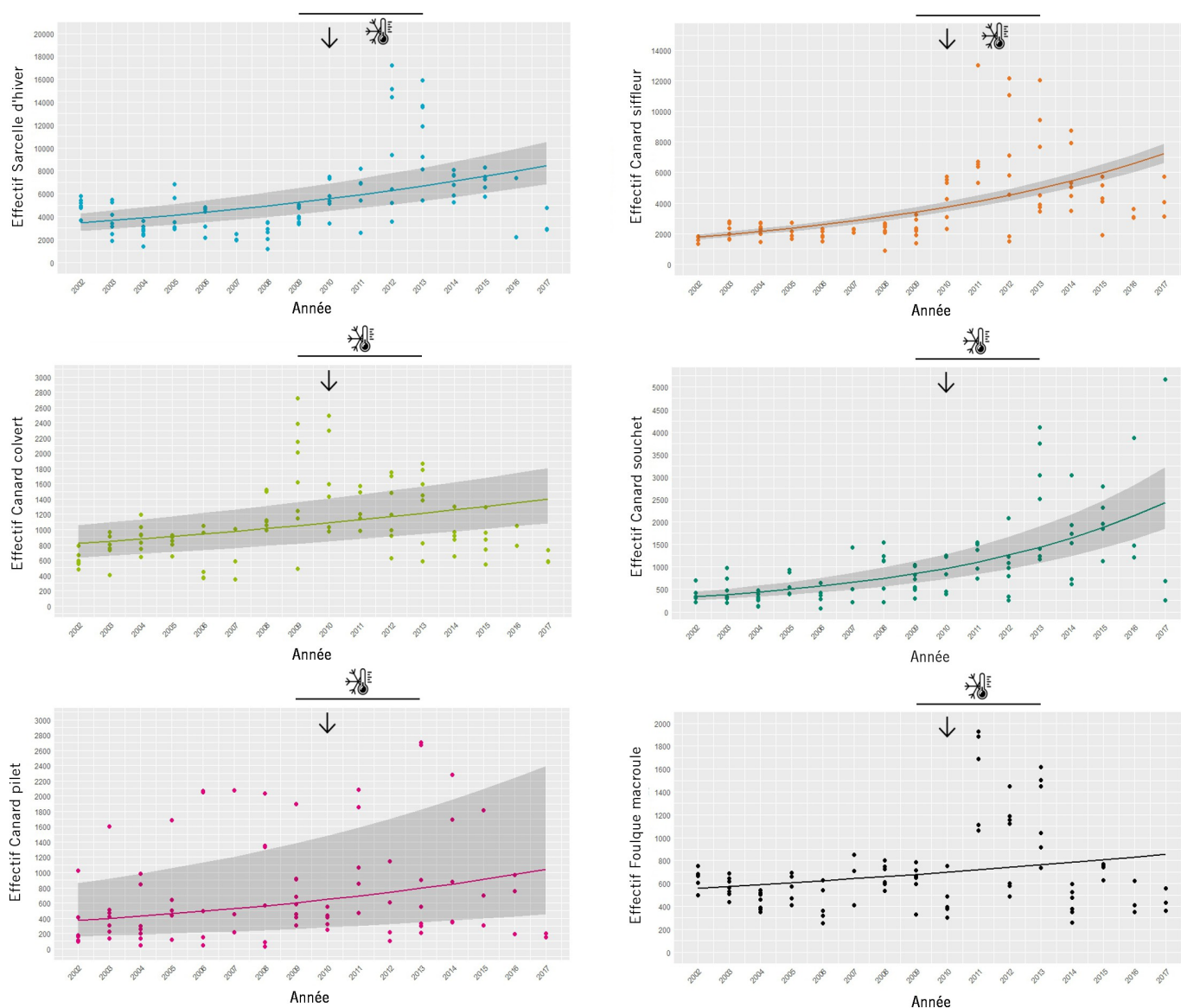


Figure 7a : Evolution des effectifs hivernants entre 2002 et 2017 sur l'unité fonctionnelle. Les points représentent les valeurs observées et les courbes en train plein le modèle statistique de type GLMM. Les zones grisées représentent les écart-types (très faibles pour la Foulque macroule) de l'effet aléatoire de la décennie de l'observation. La mise en eau du polder (flèche) et les cycles concernés par une vague de froid (ligne horizontale) sont représentés.

On remarque sur la Figure 7 ci-dessus une augmentation globale des effectifs au cours du temps accompagnée pour plusieurs espèces d'un fort accroissement dans le début des années 2010 suivi d'une légère diminution, notamment pour les taxons les plus observés comme la Sarcelle d'hiver, le Canard siffleur et la Foulque macroule, ce qui explique la tendance de l'ensemble des individus. Ces graphiques mettent également en évidence les limites des modèles de type GLMM qui s'ajustent mal à des courbes non monotones (croissantes sur certains intervalles et décroissantes sur d'autres) et sous-estiment ici systématiquement les effectifs lors des pics de densité d'individus

dans le début des années 2010. On note également ci-après que le modèle prévoit une croissance de type exponentielle pour les Bernaches nonnettes, du fait de leur forte augmentation entre 2009 et 2012, surestimant ainsi assez largement les effectifs des dernières années de suivi alors que la croissance observée s'est fortement ralentie, devenant plus linéaire qu'exponentielle.

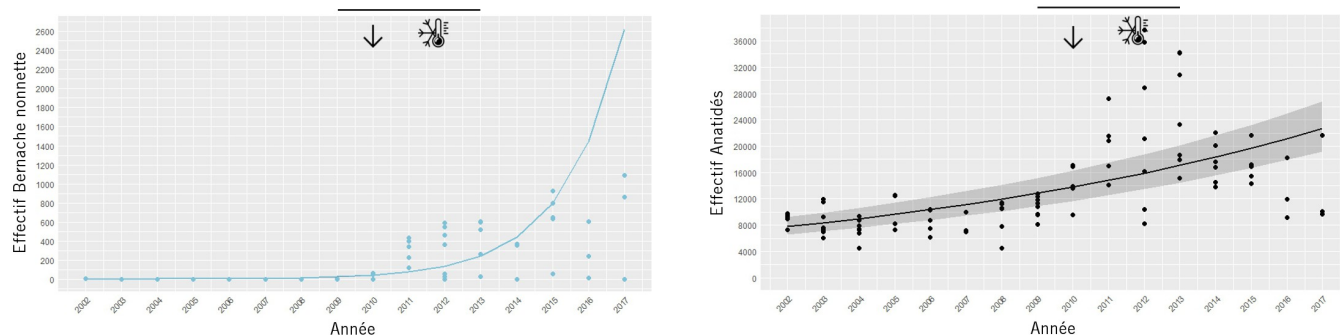


Figure 7b : Evolution des effectifs hivernants entre 2002 et 2017 sur l'unité fonctionnelle. Les points représentent les valeurs observées et les courbes en train plein le modèle statistique de type GLMM. Les zones grisées représentent les écart-types (très faibles pour la Bernache nonnette) de l'effet aléatoire de la décade de l'observation. La mise en eau du polder (flèche) et les cycles concernés par une vague de froid (ligne horizontale) sont représentés.

En ce qui concerne les modèles de type GAMM, on remarque dans le Tableau III précédent que la tendance temporelle non-linéaire est significative pour tous les taxons et que l'effet optimal détecté est linéaire uniquement pour le Canard souchet, les autres courbes présentant globalement beaucoup de variations (et donc un grand nombre de degrés de liberté). Cela confirme l'intérêt de combiner des GLMM et des GAMM dans le traitement d'une même problématique. En effet, on retrouve sur la Figure 8 ci-après la forte augmentation de la Sarcelle d'hiver, du Canard siffleur, du Canard chipeau et de la Foulque macroule dans la fin des années 2000 et début des années 2010 suivie d'une diminution d'effectifs les années suivantes. A l'inverse, les populations du Canard pilet et de l'Oie cendrée semblent s'être stabilisées sur les derniers cycles après une croissance plus ou moins conséquente. L'accroissement des effectifs de Bernache nonnette s'est également ralenti ces dernières années d'après ce type de modèle.

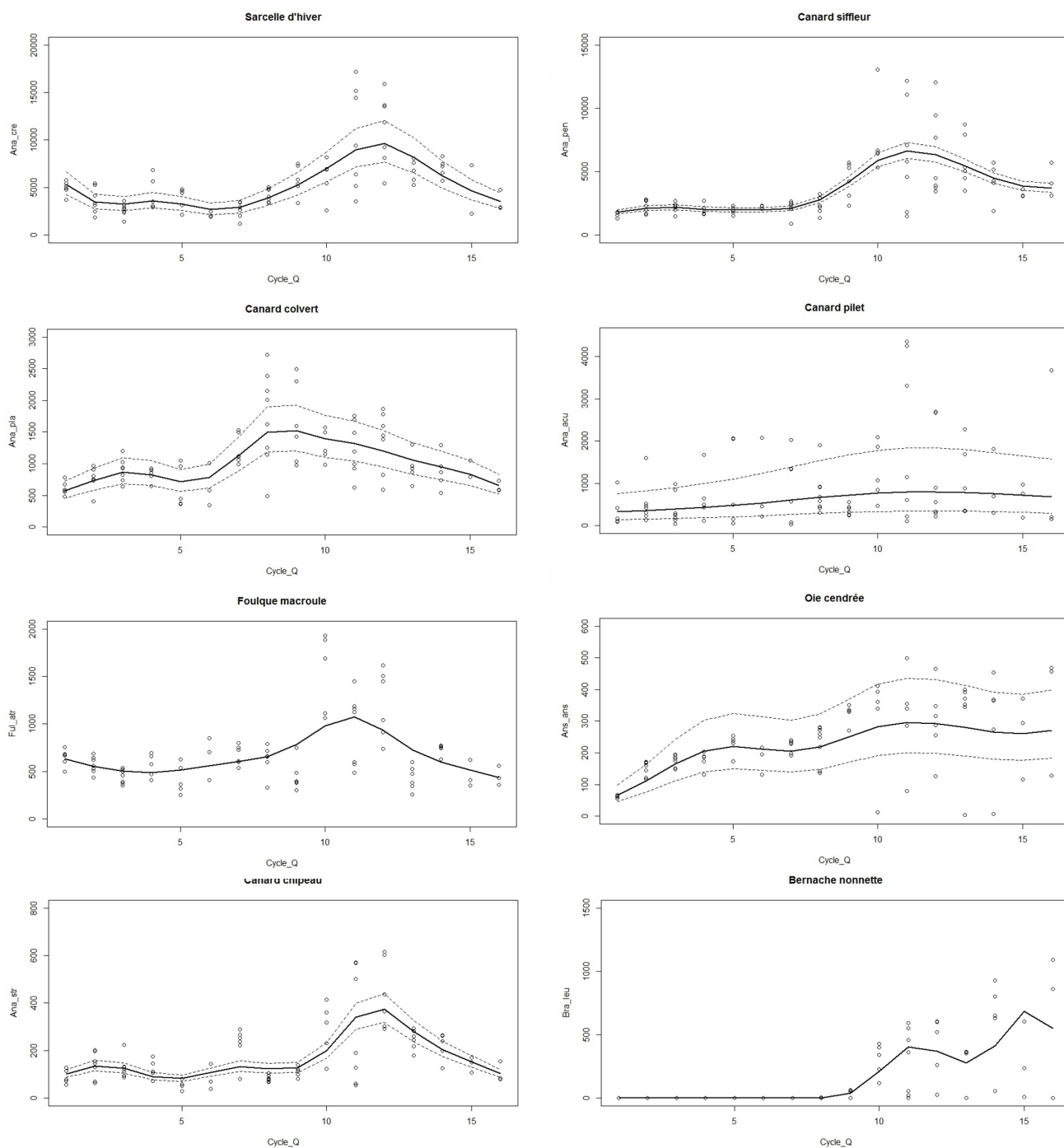


Figure 8 : Evolution des effectifs hivernants entre 2002 et 2017 sur l'unité fonctionnelle. Les cercles représentent les valeurs observées et les courbes en train plein le modèle statistique de type GAMM. Les tirets représentent les écart-types (très faibles pour la Foulque macroule et la Bernache nonnette) de l'effet aléatoire de la décade de l'observation.

Complexe RNNDB - Polder

Il est également intéressant de déterminer les tendances temporelles à l'échelle du complexe composé de la Réserve Naturelle Nationale du Domaine de Beauguillot et du Polder de Sainte-Marie-du-Mont. En effet ce complexe accueille en période hivernale près de la moitié des effectifs d'anatidés. Les résultats de la modélisation sont présentés dans le Tableau IV ci-dessous. On remarque tout d'abord que les tendances linéaires sont globalement moins significatives que pour les modèles ajustés précédemment à l'échelle de l'unité fonctionnelle. En outre, elles restent inchangées sauf pour les canards plongeurs où elles n'étaient pas significatives.

Tableau IV : Significativité des tendances temporelles hivernales linéaires et non-linéaires par taxon sur le complexe RNNDB - Polder, classés par nombre total d'individus décroissant. Le symbole entre parenthèses indique le signe du coefficient du terme « Cycle_Q » ; « NS » : non significatif ; « * » : significativité à 5 % ; « ** » : significativité à 1 % ; « *** » : significativité à 1 %. « AIC » désigne le critère d'Akaïké du modèle optimal et « ddl » le nombre de degrés de liberté de la courbe modélisée. Les espèces principales sont figurées en gras.

Taxon	GLMM			GAMM	
	Cycle_Q	AIC	s(Cycle_Q)	ddl	AIC
Sarcelle d'hiver	(+)*	2374,2	***	7,67	100,5
Canard siffleur	(+)**	2409,7	***	8,14	191,4
Canard colvert	(+)**	1698,3	***	6,02	143,7
Canard souchet	(+)**	1925,7	***	4,93	252,2
Canard pilet	(+)*	1965,1	***	3,45	262,2
Foulque macroule	(+)**	1744	***	5,64	83,2
Oie cendrée	(+)**	1774,6	***	5,67	219,8
Canard chipeau	(+)**	1456,3	***	7,75	229,4
Bernache nonnette	(+)**	1134,3	***	8,13	564,1
Fuligule milouin	(-)*	1081	***	6,88	320,4
Fuligule morillon	(+)**	484,4	***	5,97	503,2
Oie rieuse	(+)*	977,3	***	6,8	514,1
Total Anatidés	(+)**	2591,6	***	7,72	29

En ce qui concerne les tendances non-linéaires des autres taxons, visibles Figure 9 ci-après, on retrouve de grandes similitudes avec les tendances à l'échelle de l'unité fonctionnelle, qui peuvent s'expliquer par le fait que le complexe constitue la remise d'hivernage principale. Toutefois on remarque que le pic d'individus maximum semble situé quelques cycles avant celui de l'unité fonctionnelle. On constate également que pour certaines espèces les grandes variations sont

respectées mais on observe une plus grande variabilité sur les périodes qui semblaient stables, comme pour les effectifs du Canard siffleur. Enfin on note pour le Canard souchet une diminution du nombre d'individus observés sur les derniers cycles, tendance que l'on ne retrouve pas à l'échelle de l'unité fonctionnelle.

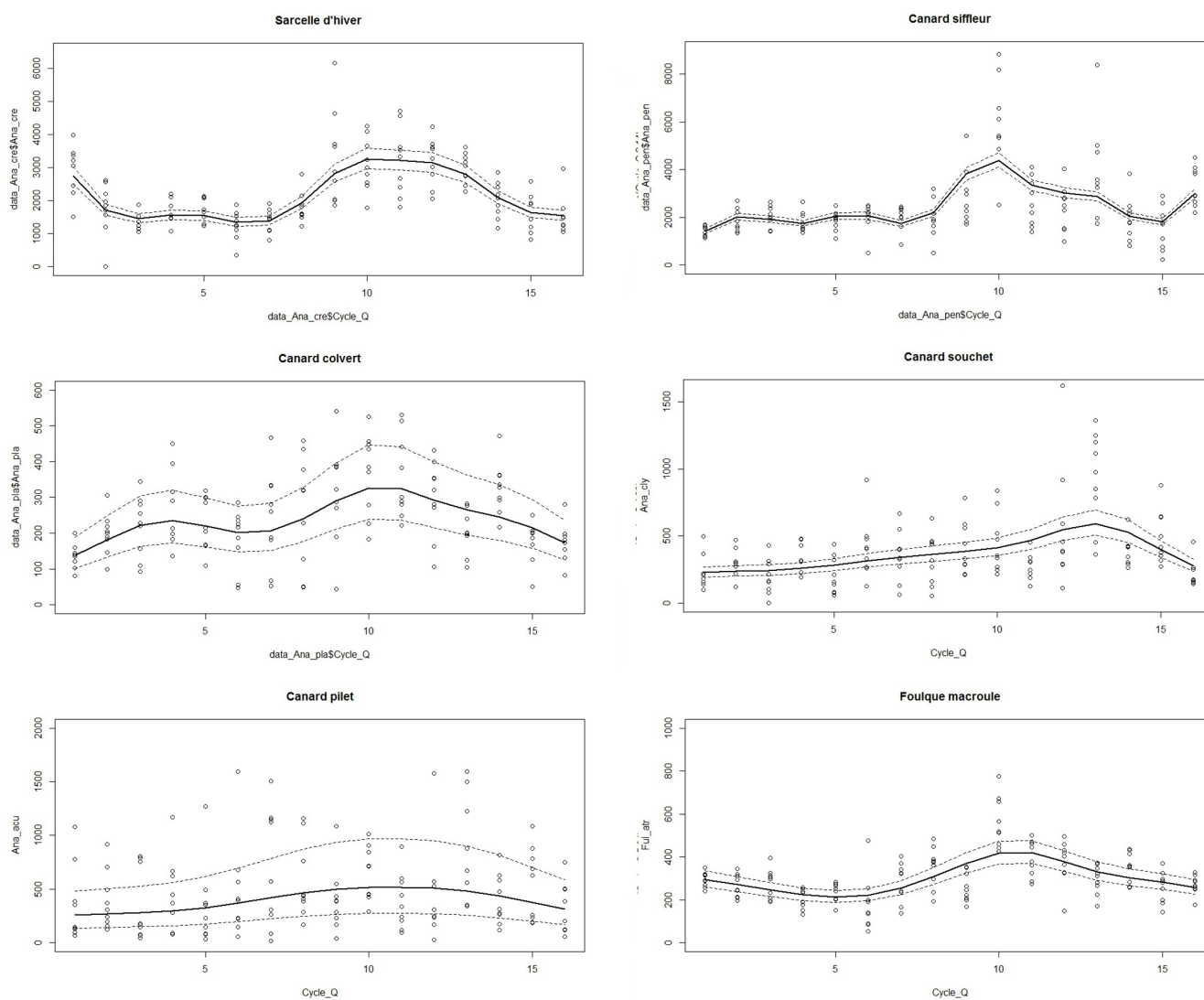


Figure 9 : Evolution des effectifs hivernants entre 2002 et 2017 sur sur le complexe RNNDB - Polder. Les cercles représentent les valeurs observées et les courbes en train plein le modèle statistique de type GAMM. Les tirets représentent les écart-types de l'effet aléatoire de la décade de l'observation.

b. Tendances en période de migration post-nuptiale :

En ce qui concerne la période migration post-nuptiale, on constate dans le Tableau V ci-dessous une augmentation significative des effectifs de 8 taxons au cours du temps, notamment parmi les espèces les plus communes. On retrouve ainsi la même tendance pour les anatidés observés toutes espèces confondues. On remarque notamment sur la Figure 10 ci-après l'augmentation particulièrement marquée des effectifs d'Oie cendrée par rapport aux populations du genre *Anas*. Toujours d'après les modèles de type GLMM, seul le Fuligule milouin voit sa population diminuer en effectifs alors que les quatre dernières espèces ont des populations stables. L'apport des modèles de type GAMM est moins évident que précédemment : en effet, le modèle n'a pas convergé pour deux espèces, ne détecte pas de tendance non-linéaire significative pour deux autres et ajuste un effet optimal linéaire pour encore deux autres taxons. Ainsi pour le Canard chipeau, la Bernache nonnette, le Fuligule milouin et l'Oie rieuse, on renvoie aux résultats des GLMM alors que pour le Canard pilet et la Bernache cravant, on ne détecte aucune tendance, linéaire ou non.

Tableau V : Significativité des tendances temporelles post-nuptiales linéaires et non-linéaires par taxon sur l'unité fonctionnelle, classés par nombre total d'individus décroissant. Le symbole entre parenthèses indique le signe du coefficient du terme « Cycle_Q » ; « NS » : non significatif ; « * » : significativité à 5 % ; « ** » : significativité à 1 % ; « *** » : significativité à 1 %. « AIC » désigne le critère d'Akaïké du modèle optimal et « ddl » le nombre de degrés de liberté de la courbe modélisée. Les espèces principales sont figurées en gras et celles dont le suivi est moins adapté en italique.

Taxon	GLMM			GAMM	
	Cycle_Q	AIC	s(Cycle_Q)	ddl	AIC
Sarcelle d'hiver	(+)**	1126,5	***	6,05	95,3
Canard siffleur	(+)**	1101	***	2,64	139
Canard colvert	(+)**	958,4	***	3,9	29,6
Canard souchet	(+)**	894,1	***	3,96	161,9
Canard pilet	NS	747,5	NS	-	-
Foulque macroule	NS	924,6	***	7,02	95,2
<i>Oie cendrée</i>	(+)**	787,2	***	2,31	107,3
<i>Canard chipeau</i>	(+)**	704,7	**	1	176
<i>Bernache nonnette</i>	(+)**	273,9		Non convergence	
<i>Fuligule milouin</i>	(-)**	686,8	**	1	221,3
<i>Fuligule morillon</i>	NS	643,6	***	7,04	191,1
<i>Bernache cravant</i>	NS	373,1	NS	-	-
<i>Oie rieuse</i>	(+)**	236,8		Non convergence	
Total Anatidés	(+)**	1221,1	***	4,33	55,9

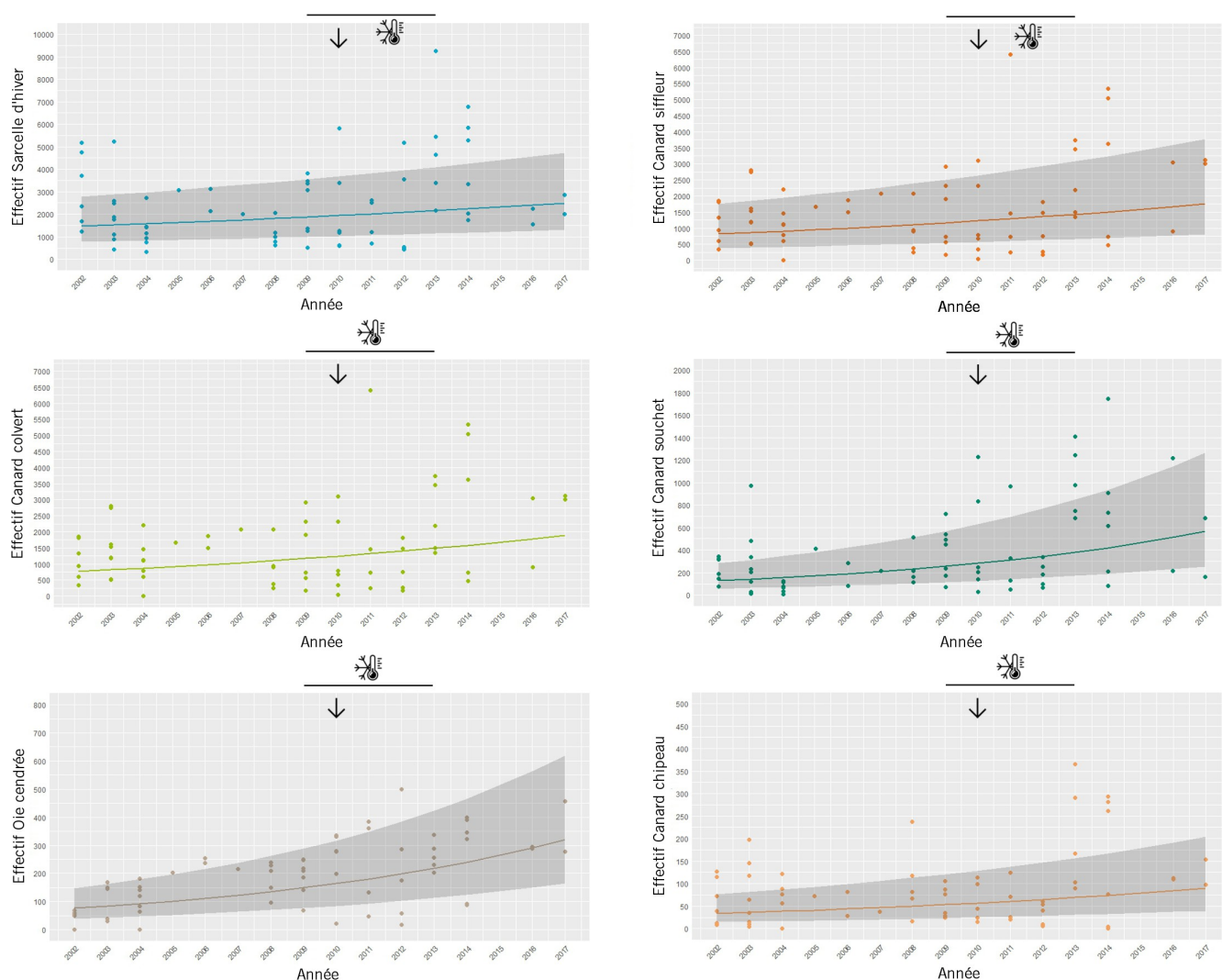


Figure 10 : Evolution des effectifs post-nuptiaux entre 2002 et 2017 sur l'unité fonctionnelle. Les points représentent les valeurs observées et les courbes en train plein le modèle statistique de type GLMM. Les zones grisées représentent les écart-types (très faibles pour le Canard colvert) de l'effet aléatoire de la décennie de l'observation. La mise en eau du polder (flèche) et les cycles concernés par une vague de froid (ligne horizontale) sont représentés.

Sur la Figure 11 ci-après on retrouve la proximité à un modèle GLMM pour l'Oie cendrée et le Canard siffleur. On relève également des similarités avec la période d'hivernage pour la Sarcelle d'hiver et le Canard souchet, avec une augmentation des effectifs assez constante après quelques cycles avant une décroissance lors des dernières années de suivi. Enfin on constate chez le Canard colvert une augmentation de la présence post-nuptiale en première partie du suivi puis une diminution en seconde partie, alors que les variations en période hivernale semblaient plus complexes.

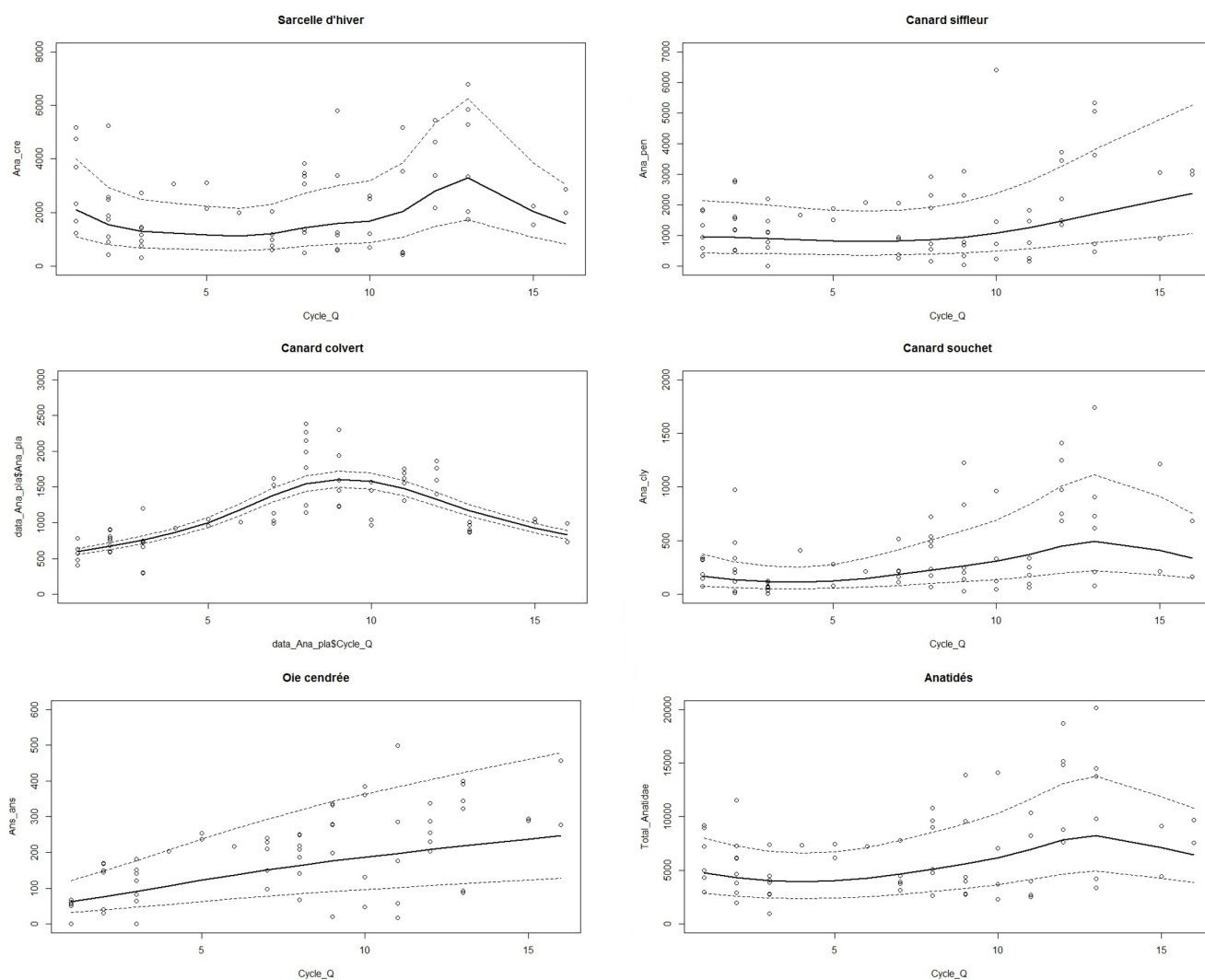


Figure 11 : Evolution des effectifs post-nuptiaux entre 2002 et 2017 sur l'unité fonctionnelle. Les cercles représentent les valeurs observées et les courbes en train plein le modèle statistique de type GAMM. Les tirets représentent les écart-types de l'effet aléatoire de la décade de l'observation.

c. Tendances en période de migration pré-nuptiale :

On remarque tout d'abord dans le Tableau VI ci-après l'absence de tendance négative et l'accroissement des effectifs de 8 espèces, notamment parmi les plus communément observées, ainsi que de l'ensemble des anatidés. En revanche les canards plongeurs ne présentent pas de tendance linéaire, comme c'était déjà le cas pour la période d'hivernage. On constate Figure 12 ci-après que les écart-types matérialisant la variabilité due à la décade d'observation sont plus importants que pour la période d'hivernage pour certaines espèces, notamment la Sarcelle d'hiver et le Canard siffleur, du fait de fortes variations d'effectifs entre le mois de février et le mois d'avril (cf. §2.4 Phénologie : variations intra-annuelles). Certaines courbes modélisées à l'aide de GLMM indiquent une forte augmentation du nombre d'individus pour le Canard souchet, le Canard chipeau

et la Bernache cravant par exemple. On constate encore une fois les limites du modèle pour la Bernache nonnette, avec une impossibilité de s'adapter à des effectifs d'abord nuls, puis croissant de façon exponentielle et enfin de façon linéaire. On retrouve chez la somme des individus une augmentation modeste, très proche de celle de la Sarcelle d'hiver.

Tableau VI : Significativité des tendances temporelles pré-nuptiales linéaires et non-linéaires par taxon sur l'unité fonctionnelle, classés par nombre total d'individus décroissant. Le symbole entre parenthèses indique le signe du coefficient du terme « Cycle_Q » ; « NS » : non significatif ; « * » : significativité à 5 % ; « ** » : significativité à 1 % ; « *** » : significativité à 1 ‰. « AIC » désigne le critère d'Akaïk du modèle optimal et « ddl » le nombre de degrés de liberté de la courbe modélisée. Les espèces principales sont figurées en gras et celles dont le suivi est moins adapté en italique.

Taxon	GLMM			GAMM	
	Cycle_Q	AIC	s(Cycle_Q)	ddl	AIC
Sarcelle d'hiver	(+) ^{***}	1103,5	^{***}	5,83	99
Canard siffleur	(+) ^{***}	1068,3	^{***}	4,99	114,4
Canard colvert	(+) [*]	822,2	^{***}	5,77	97,6
Canard souchet	(+) ^{***}	949,2	^{***}	2,4	98,3
Canard pilet	NS	980,8	NS	-	-
Foulque macroule	NS	829,2	NS	-	-
Oie cendrée	NS	528,7	NS	-	-
Canard chipeau	(+) ^{***}	715,8	^{***}	7,85	117,2
Bernache nonnette	(+) ^{***}	292,6		Non convergence	
Fuligule milouin	NS	609,4	NS	-	-
Fuligule morillon	NS	632,9	^{***}	6,04	157,7
<i>Bernache cravant</i>	(+) [*]	169,4		Non convergence	
Oie rieuse	(+) ^{**}	280,3		Non convergence	
Sarcelle d'été	NS	293	NS	-	-
Garrot à œil d'or	NS	143	^{**}	2,72	281,2
Total Anatidés	(+) ^{***}	1212,7	^{***}	5,18	

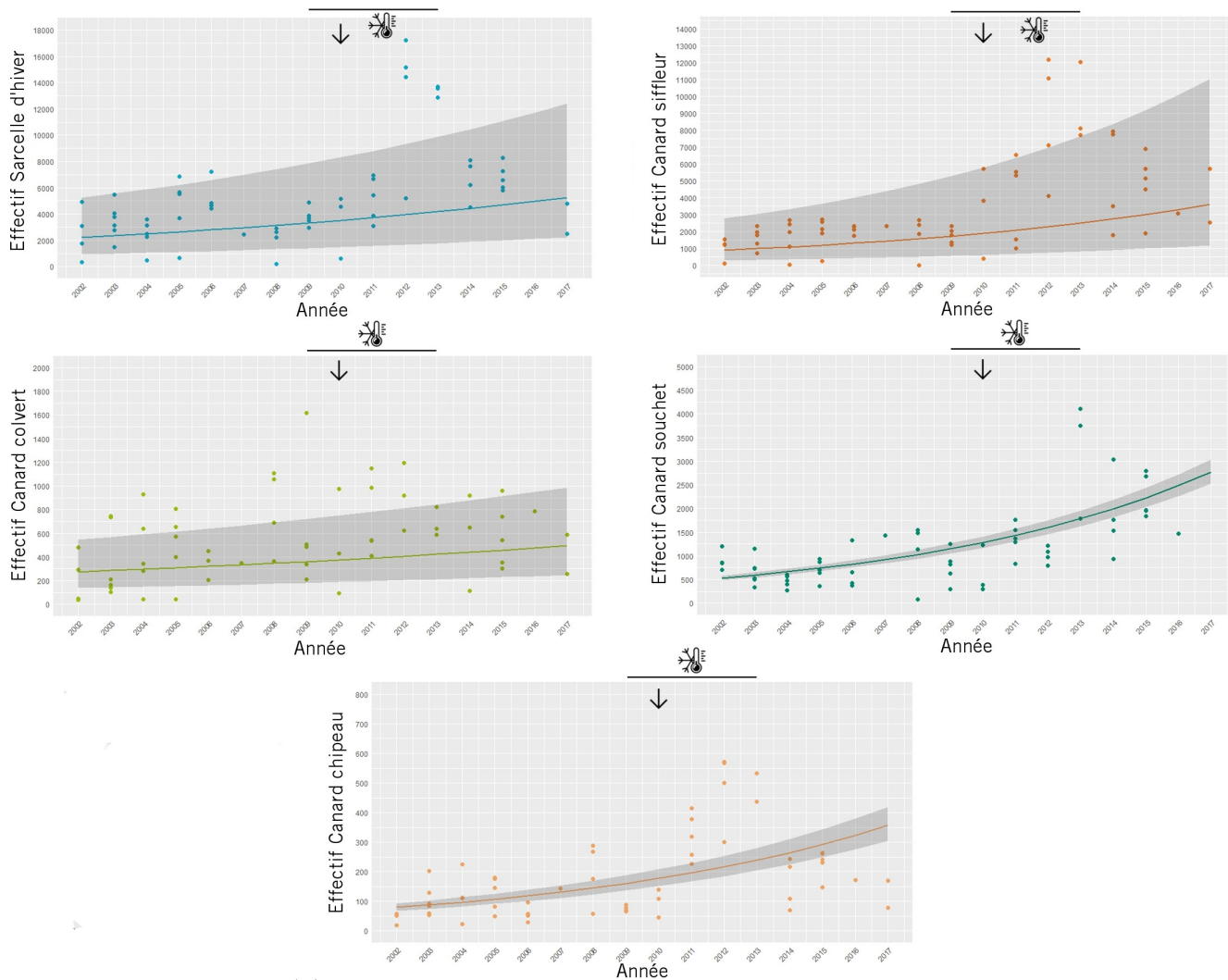


Figure 12a : Evolution des effectifs en période pré-nuptiale entre 2002 et 2017 sur l'unité fonctionnelle. Les points représentent les valeurs observées et les courbes en train plein le modèle statistique de type GLMM. Les zones grisées représentent les écart-types de l'effet aléatoire de la décade de l'observation. La mise en eau du polder (flèche) et les cycles concernés par une vague de froid (ligne horizontale) sont représentés.

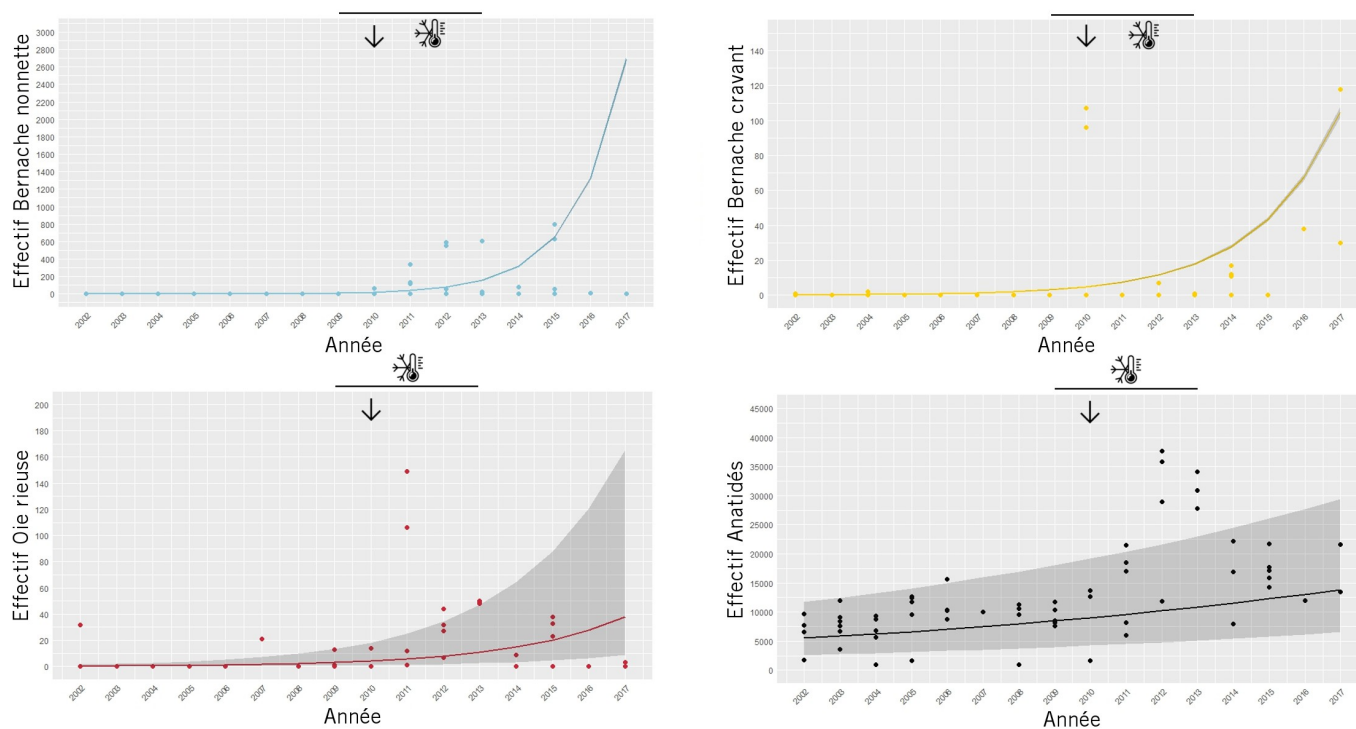


Figure 12b : Evolution des effectifs en période pré-nuptiale entre 2002 et 2017 sur l'unité fonctionnelle. Les points représentent les valeurs observées et les courbes en train plein le modèle statistique de type GLMM. Les zones grisées représentent les écart-types (très faibles pour la Bernache nonnette et la Bernache cravant) de l'effet aléatoire de la décade de l'observation. La mise en eau du polder (flèche) et les cycles concernés par une vague de froid (ligne horizontale) sont représentés.

Huit modèles de type GAMM permettent de préciser les résultats, six d'entre eux concernant des espèces pour lesquelles une tendance positive avait été détectée par les GLMM. On retrouve des courbes d'évolution très proches de celles obtenues pour la période d'hivernage pour la Sarcelle d'hiver, le Canard siffleur et le Canard chipeau. Pour les espèces du genre *Anas* excepté le Canard souchet, on constate cette même première période de stabilité des effectifs suivie d'une forte croissance dans le début des années 2010 puis d'un recul ces dernières années. En revanche pour l'ensemble des espèces traitées ainsi que pour le Canard colvert, la tendance est plus proche de celle modélisée en période post-nuptiale, bien que la courbe soit plus aplatie que précédemment pour ce dernier. Enfin on observe à nouveau chez le Canard souchet une forte proximité à la fois à la courbe de tendance hivernale mais aussi au modèle de type GLMM, avec une croissance exponentielle.

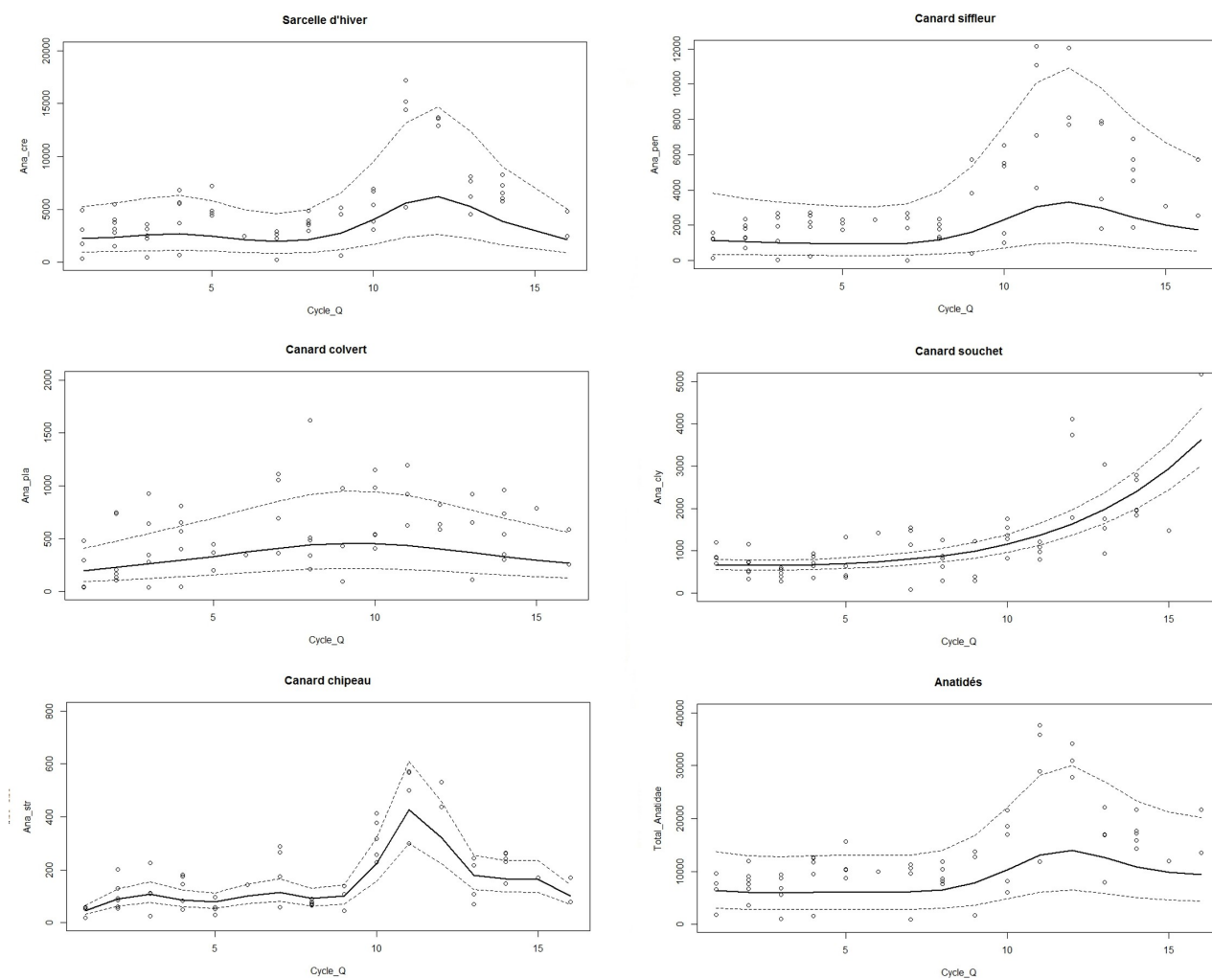


Figure 13 : Evolution des effectifs pré-nuptiaux entre 2002 et 2017 sur l'unité fonctionnelle. Les cercles représentent les valeurs observées et les courbes en train plein le modèle statistique de type GAMM. Les tirets représentent les écart-types de l'effet aléatoire de la décade de l'observation.

d. Synthèse :

Comme on le constate dans le Tableau VII ci-dessous, le bilan de ces tendances d'évolution temporelles est très positif : sur les 44 tendances temporelles linéaires testées à l'échelle de l'unité fonctionnelle « Baie des Veys - Marais de l'isthme du Cotentin », 29 tendances sont positives pour une seule négative (*Fuligule milouin* en période post-nuptiale). Les tendances en période d'hivernage sont particulièrement bonnes puisqu'à l'exception des canards plongeurs, toutes les espèces présentent une augmentation de leurs effectifs.

Tableau VII : Tendances temporelles des taxons étudiés selon la période du cycle considérée. « ↑ » correspond à une augmentation des effectifs, « ↓ » à une diminution, « → » à des effectifs stables et « ↕ » à des effectifs fluctuant. Les espèces principales sont figurées en gras et celles dont le suivi est moins adapté en italique.

Taxon	Hivernage		Migration (Unité fonctionnelle)	
	Unité fonctionnelle	RNNDB - Polder	Post-nuptiale	Pré-nuptiale
Sarcelle d'hiver	↑	↑	↑	↑
Canard siffleur	↑	↑	↑	↑
Canard colvert	↑	↑	↑	↑
Canard souchet	↑	↑	↑	↑
Canard pilet	↑	↑	→	→
Foulque macroule	↑	↑	→	→
Oie cendrée	↑	↑	↑	→
Canard chipeau	↑	↑	↑	↑
Bernache nonnette	↑	↑	↑	↑
Fuligule milouin	→	↓	↓	→
Fuligule morillon	↕	↑	→	→
<i>Bernache cravant</i>	Non effectué	Non effectué	→	↑
Oie rieuse	↑	↑	↑	↑
Sarcelle d'été	Non effectué	Non effectué	Non effectué	→
Garrot à œil d'or	→	Non effectué	Non effectué	→
Total Anatidés	↑	↑	↑	↑

Les modèles de type GAMM (Modèles Additifs Généralisés Mixtes) permettent de nuancer ces tendances : pour certaines espèces majoritaires comme la Sarcelle d'hiver, le Canard siffleur ou le Canard chipeau, les populations semblent avoir fortement augmenté dans le début des années 2010 avant de décroître lors des derniers cycles étudiés. On retrouve logiquement ces mêmes variations pour l'ensemble des Anatidés, même ceux ayant une phénologie assez éloignée comme le Canard colvert, bien que l'augmentation soit moins brutale et plus précoce chez ce dernier. Le

Canard pilet, ne présente pas de tendance particulière en dehors de l'hivernage où il est en légère progression. En revanche on observe chez le Canard souchet une croissance exponentielle des effectifs hivernaux et pré-nuptiaux sans décrochage lors des dernières années.

Les résultats sont également très favorables pour les Oies et Bernaches, avec l'augmentation exceptionnelle (exponentielle puis stable) des effectifs de Bernache nonnette toutes périodes confondues et la hausse continue des effectifs d'Oie cendrée en période post-nuptiale et d'hivernage ainsi que celle des Bernaches cravant détectées par le protocole en période pré-nuptiale. Des tendances sont bien plus difficiles à dégager chez les canards plongeurs du fait d'effectifs plus fluctuants. On observe tout de même un pic de présence chez le Fuligule morillon sur la fin des années 2000. Enfin la Foulque macroule présente la même évolution en hivernage que la Sarcelle d'hiver mais ses effectifs sont bien plus variables en dehors de cette période de l'année.

On remarquera également la grande similarité entre les tendances sur des périodes différentes chez certaines espèces, similarité à mettre en parallèle avec la phénologie : certaines espèces hivernantes « tardives » comme le Canard siffleur ou le Canard souchet ont des tendances très similaires entre la période d'hivernage et la période de migration qui suit.

Enfin en ce qui concerne le complexe que forment la Réserve Naturelle Nationale du Domaine de Beauguillot et le Polder de Saint-Marie-du-Mont, le bilan est tout autant positif que pour l'unité fonctionnelle puisque sur les 13 tendances hivernales linéaires, 12 sont significativement positives. En effet, seul le Fuligule milouin est en régression, notamment avec une chute des effectifs ces dernières années. Bien que l'on observe globalement plus de variabilité, la ressemblance avec les tendances de l'unité fonctionnelle sont frappantes chez un grand nombre d'espèces. On remarque néanmoins que l'augmentation des effectifs semble légèrement plus précoce et moins brutale. On note également la diminution des effectifs de Canard souchet depuis trois cycles ainsi qu'une courbe de tendance du Fuligule morillon très proche de la tendance globale, ce qui n'est pas le cas pour l'unité fonctionnelle.

2.3. Rôle et intérêt biogéographiques

a. Intérêt de l'unité fonctionnelle et du complexe RNNDB – Polder :

L'intérêt de l'unité fonctionnelle en hivernage pour les principales espèces est présenté dans le Tableau VIII ci-après. On constate tout d'abord l'intérêt international pour les Anatidés en général trois années de suite puisque le seuil des 20 000 oiseaux appartenant à cette famille est franchi de 2011 à 2013. L'unité fonctionnelle « Baie des Veys – Marais de l'isthme du Cotentin » présente un intérêt remarquable pour le Canard souchet, la Sarcelle d'hiver et le Canard pilet, les seuils internationaux pour ces espèces étant régulièrement dépassés. Pour ces trois espèces, l'intérêt semble d'ailleurs de plus en plus élevé. Les effectifs de Canard siffleur, Bernache nonnette, Oie cendrée et Oie rieuse caractérisent également un fort intérêt à l'échelle nationale et on remarque pour la Bernache nonnette la régularité de cet intérêt depuis l'année 2010. Enfin le Canard chipeau

et le Canard colvert présentent un intérêt moindre alors que les effectifs de la Foulque macroule à la mi-janvier ne permettent même pas de dépasser le seuil d'intérêt régional.

Tableau VIII : Intérêt de l'unité fonctionnelle en hivernage pour les principales espèces entre 2002 et 2016. « I » correspond à un intérêt international, « N » à un intérêt national et « R » indique un intérêt régional. Les espèces principales sont figurées en gras.

Taxon	Intérêt de l'unité fonctionnelle à la mi-janvier														
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Sarcelle d'hiver	I	I	N	N	N	N	N	I	I	I	I	I	I	I	I
Canard siffleur	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Canard colvert	R	R	R		R		R	R			R				
Canard souchet	N	N	N	N	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Canard pilet	N	N	N	N	N	N	N	I	N	I	I	N	I	N	I
Foulque macroule															
Oie cendrée	R	N	N	N	R	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Canard chipeau	R	R	R	R	R	R	R	R			R	N	R		
Bernache nonnette	N	R	R	N					N	N	N	N	N	N	N
Oie rieuse	N	R	N	N		N		N	N	R	N	N	N	N	R
Total Anatidés										I	I	I			

Dans le Tableau IX ci-après, on constate que l'intérêt à l'échelle biogéographique en migration pré-nuptiale concerne les mêmes espèces qu'en période d'hivernage, bien que le seuil soit systématiquement franchi pour le Canard pilet et le Canard souchet, et ce plusieurs fois. En revanche, l'intérêt biogéographique en période de migration post-nuptiale est plus faible pour ces deux espèces. bien que le seuil soit dépassé en Décembre 2010 pour le Canard chipeau et le Canard siffleur qui jusque-là n'avaient qu'un intérêt au mieux national en hivernage et en migration pré-nuptiale.

Tableau IX : Intérêt biogéographique de l'unité fonctionnelle en période de migration post-nuptiale (en haut) et pré-nuptiale (en bas) pour les principales espèces entre 2002 et 2016. Les lettres correspondent à l'initiale du mois au cours duquel le seuil d'intérêt biogéographique est dépassé (« O », « N » et « D » pour post-nuptial, « F », « M » et « A » pour pré-nuptial). Les espèces principales sont figurées en gras.

Taxon	Intérêt de l'unité fonctionnelle en migration post-nuptiale														
	2001 - 2002	2002 - 2003	2003 - 2004	2004 - 2005	2005 - 2006	2006 - 2007	2007 - 2008	2008 - 2009	2009 - 2010	2010 - 2011	2011 - 2012	2012 - 2013	2013 - 2014	2014 - 2015	2015 - 2016
Sarcelle d'hiver	D	D							D	D	D	D	ND		
Canard siffleur										D					
Canard colvert															
Canard souchet		D		D		D	D	ND	D	D		ND	ND	ND	D
Canard pilet										D					
Foulque macroule															
Oie cendrée															
Canard chipeau										D					
Bernache nonnette															
Oie rieuse															
Total Anatidés										D			D		
Taxon	Intérêt de l'unité fonctionnelle en migration pré-nuptiale														
Sarcelle d'hiver	F	FM		FM	M				F	FM	FM	FM	FM	FM	F
Canard siffleur															
Canard colvert															
Canard souchet	FMA	FMA	FM	FMA	FMA	FMA	FMA	FM	FM	FM	FM	FMA	FM	FM	FM
Canard pilet	FM	FM	FM	FM	FM	FM	FM	FM	FM	FM	FM	FMA	FM	FM	FM
Foulque macroule															
Oie cendrée															
Canard chipeau															
Bernache nonnette															
Oie rieuse															
Total Anatidés	F	F	FM	F	F										

Il est possible de réaliser le même travail pour le complexe composé de la Réserve Naturelle Nationale du Domaine de Beauguillot et du Polder de Sainte-Marie-du-Mont. On note alors que le Tableau X ci-dessous présentant l'intérêt de ce complexe en période d'hivernage est assez proche de l'équivalent pour l'unité fonctionnelle (cf. Tableau VIII). En effet, 40 cases diffèrent sur les 150 au total, soit une similarité de 73,3 % des deux tableaux. On remarque également que les taxons pour lesquels l'intérêt de l'unité fonctionnelle en hivernage était faible (au plus régional) ne franchissent presque plus aucun seuil. En outre, bien que l'intérêt soit plus rarement international, on retrouve une très forte importance de cette remise pour le Canard pilet, le Canard souchet et la Sarcelle d'hiver. On remarque enfin que pour les Oies et Bernaches représentées, l'intérêt est exactement le même entre l'unité fonctionnelle et le complexe RNNDB – Polder. En effet, la grande majorité des effectifs à la mi-janvier de ces espèces au sein de l'unité fonctionnelle sont accueillis sur la Réserve Naturelle Nationale du Domaine de Beauguillot et / ou le Polder de Sainte-Marie-du-Mont. A l'inverse, on constate pour le Canard souchet une différence importante entre les deux tableaux pour les années 2010 à 2013, années pour lesquelles on dépasse le seuil international pour l'unité fonctionnelle alors que l'on reste en deçà du seuil régional pour le complexe RNNDB – Polder. On l'explique par l'accueil d'importants effectifs sur d'autres remises diurnes, notamment la tourbière de Baupte pour un grand nombre de cycles et plus ponctuellement en vallée de la Douve.

Tableau X : Intérêt du complexe RNNDB - Polder en hivernage pour les principales espèces entre 2002 et 2016. « I » correspond à un intérêt international, « N » à un intérêt national et « R » indique un intérêt régional. Les espèces principales sont figurées en gras.

Taxon	Intérêt du complexe RNNDB – Polder à la mi-janvier														
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Sarcelle d'hiver	N	N	N	N	N	R	N	N	I	N	N	N	N	N	N
Canard siffleur	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Canard colvert															
Canard souchet	R	R	R	N		R	I	I					I	I	I
Canard pilet	R	N	R	N	N	N	N	N	N	I	N	N	I	N	I
Foulque macroule															
Oie cendrée	R	N	N	N	R	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Canard chipeau		R													
Bernache nonnette	N	R	R	N					N	N	N	N	N	N	N
Oie rieuse	N	R	N	N		N		N	N	R	N	N	N	N	R

Enfin on relève dans le Tableau XI ci-dessous que l'intérêt biogéographique en migration pré-nuptiale est atteint chaque cycle et souvent plusieurs fois pour le Canard pilet et le Canard souchet ce qui est loin d'être le cas au 15 janvier ainsi qu'en migration post-nuptiale. On constate également l'absence d'intérêt biogéographique de la Sarcelle d'hiver sur la migration alors que le seuil est franchi à la mi-Janvier 2010.

Tableau XI : Intérêt biogéographique du complexe RNNDB – Polder en période de migration post-nuptiale (en haut) et pré-nuptiale (en bas) pour les principales espèces entre 2002 et 2016. Les lettres correspondent à l'initiale du mois au cours duquel le seuil d'intérêt biogéographique est dépassé (« O », « N » et « D » pour post-nuptial, « F », « M » et « A » pour pré-nuptial). Les espèces principales sont figurées en gras.

Taxon	Intérêt du complexe RNNDB – Polder en migration post-nuptiale														
	2001 - 2002	2002 - 2003	2003 - 2004	2004 - 2005	2005 - 2006	2006 - 2007	2007 - 2008	2008 - 2009	2009 - 2010	2010 - 2011	2011 - 2012	2012 - 2013	2013 - 2014	2014 - 2015	2015 - 2016
Sarcelle d'hiver															
Canard siffleur															
Canard colvert															
Canard souchet						D		D	D	D			ND	N	D
Canard pilet										D					
Foulque macroule															
Oie cendrée															
Canard chipeau															
Bernache nonnette															
Oie rieuse															
Taxon	Intérêt du complexe RNNDB – Polder en migration pré-nuptiale														
Sarcelle d'hiver															
Canard siffleur															
Canard colvert															
Canard souchet	FM	FM	F	FM	FMA	FMA	FM	M	FM	FM	M	FMA	FM	FM	FM
Canard pilet	FM	FM	FM	FM	FM	FM	FM	FM	FM	F	F	FMA	FM	FM	FM
Foulque macroule															
Oie cendrée															
Canard chipeau															
Bernache nonnette															
Oie rieuse															

b. Contribution aux échelles supérieures :

Il est également possible de déterminer l'évolution de la contribution des effectifs de l'unité fonctionnelle et du complexe RNNDB – Polder aux populations régionales et nationales. Celles-ci sont présentées Figure 14 dans les prochaines pages pour les espèces traitées dans la section précédente.

Tout d'abord on peut remarquer que l'écart entre la contribution du complexe RNNDB – Polder et celle de l'unité fonctionnelle est assez faible pour la plupart des taxons, bien qu'il semble augmenter au cours du temps pour le Canard souchet et la Sarcelle d'hiver. La contribution est même identique ou presque entre les deux échelles pour l'Oie cendrée, l'Oie rieuse et la Bernache nonnette.

En ce qui concerne la contribution nationale, elle semble augmenter pour 7 des 10 taxons étudiés ici : la Sarcelle d'hiver, le Canard siffleur, le Canard colvert, le Canard souchet, le Canard pilet, l'Oie cendrée et la Bernache nonnette. Pour cette dernière, on remarque la courbe de type sigmoïde ainsi que l'intérêt exceptionnel de l'unité fonctionnelle puisque les effectifs des dernières années représentent entre 80 et 90 % des effectifs nationaux. La contribution nationale pour le Canard chipeau, la Foulque macroule et l'Oie rieuse semble constante bien qu'assez variable. Enfin on note également la contribution nationale remarquable pour la plupart des espèces du Genre *Anas* ainsi que pour l'Oie rieuse.

En revanche l'évolution de la contribution aux effectifs régionaux semble diminuer pour le Canard siffleur (complexe RNNDB – Polder), le Canard colvert (unité fonctionnelle) et le Canard chipeau (complexe RNNDB – Polder et unité fonctionnelle). Pour les autres espèces, la contribution régionale est assez variable et les tendances moins évidentes que pour la contribution nationale. On notera tout de même une contribution régionale en général extrêmement élevée pour la plupart des espèces du Genre *Anas* ainsi que pour l'Oie cendrée.

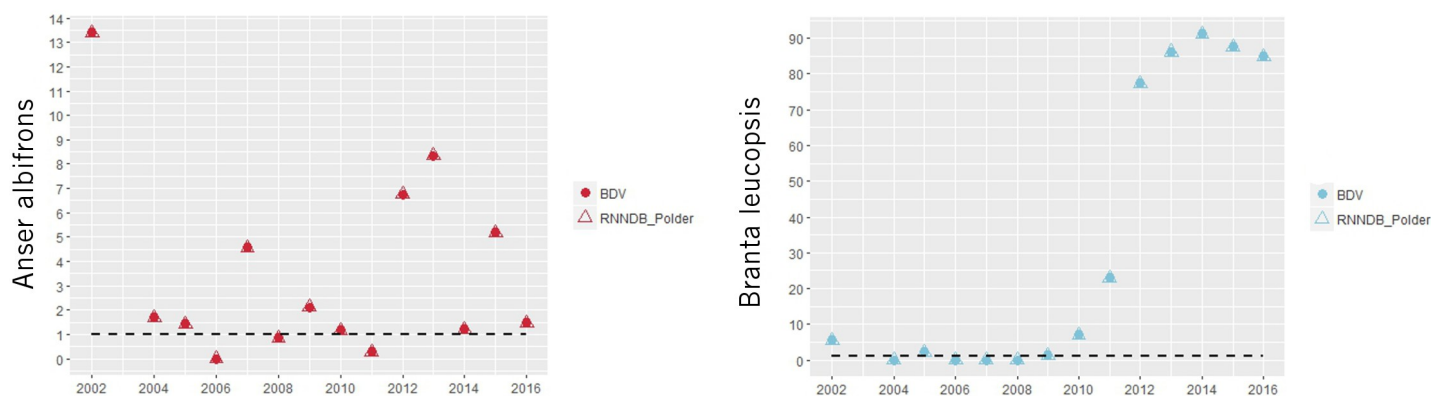


Figure 14a : Contribution nationale de l'unité fonctionnelle (cercle) et du complexe RNNDB – Polder (triangle) pour l'Oie rieuse (à gauche) et la Bernache nonnette (à droite). La contribution régionale n'est pas présentée pour ces deux taxons du fait de l'absence de données. Le seuil d'intérêt national est représenté en tirets noirs.

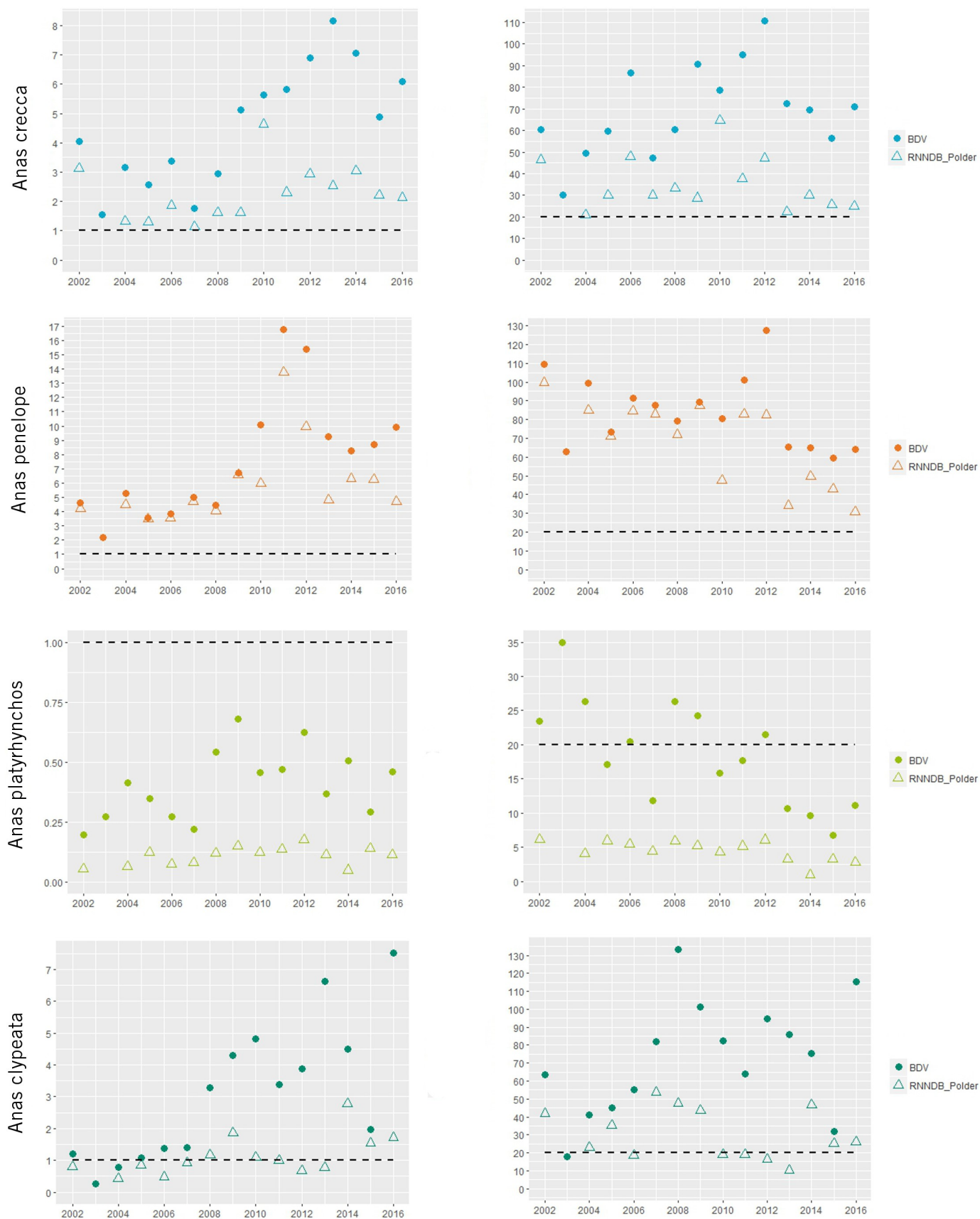


Figure 14b : Contribution nationale (à gauche) et régionale (à droite) de l'unité fonctionnelle (cercle) et du complexe RNNDB – Polder (triangle) pour la Sarcelle d'hiver, le Canard siffleur, le Canard colvert et le Canard souchet (de haut en bas). Le seuil d'intérêt correspondant est représenté en tirets noirs

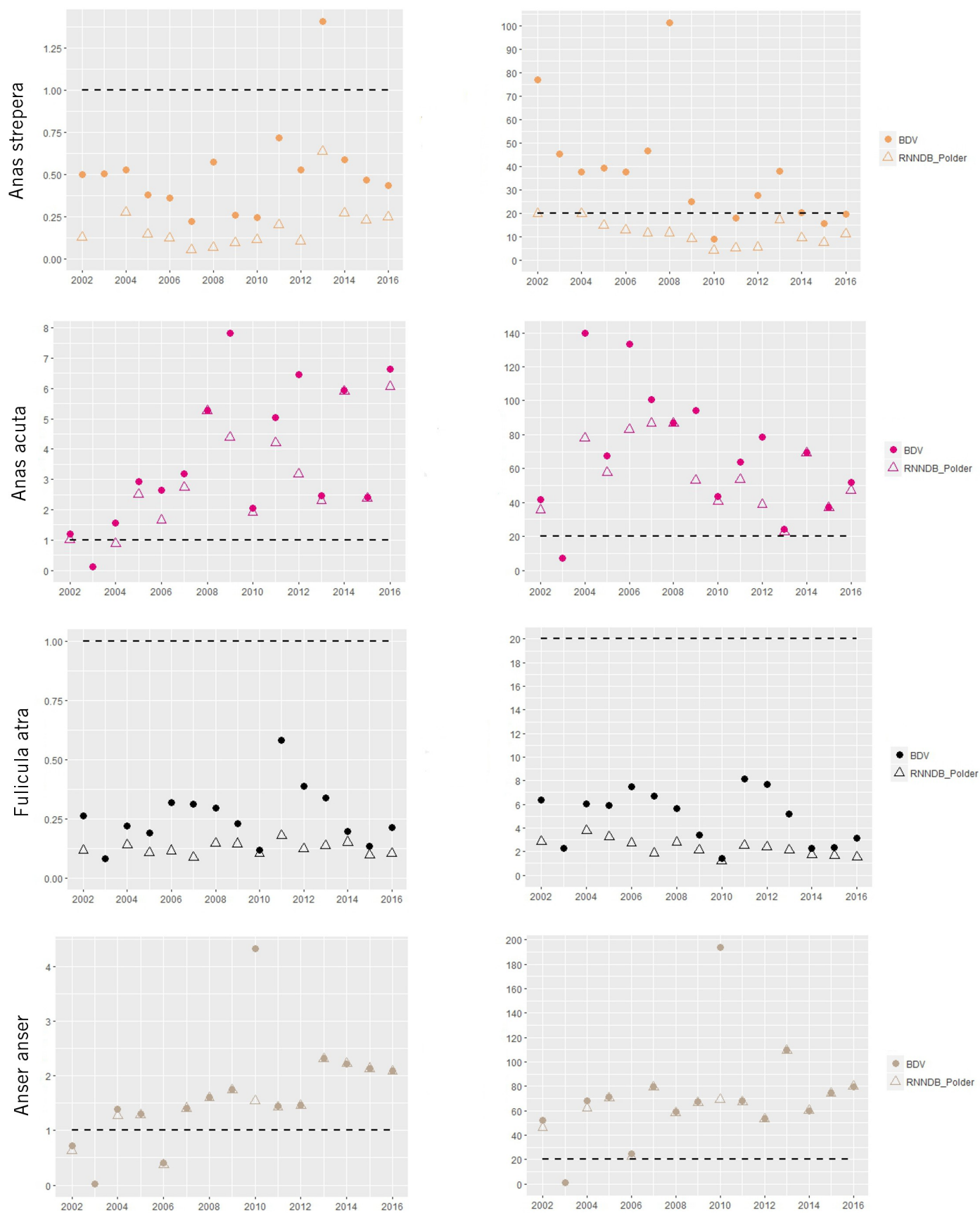


Figure 14c : Contribution nationale (à gauche) et régionale (à droite) de l'unité fonctionnelle (cercle) et du complexe RNNDB – Polder (triangle) pour le Canard chipeau, le Canard pilet, la Foulque macroule et l'Oie cendrée (de haut en bas). Le seuil d'intérêt correspondant est représenté en tirets noirs

c. Relation entre les différentes échelles :

Enfin il peut être intéressant de déterminer le lien entre les effectifs observés à la mi-janvier sur les différentes échelles considérées. Les résultats des tests de corrélation utilisés pour quantifier le lien entre ces effectifs sont synthétisés dans le Tableau XII ci-dessous et il est possible de visualiser ces corrélations dans les graphiques présentés dans les prochaines pages Figure 15.

On constate tout d'abord que l'ensemble des corrélations détectées sont positives et la corrélation est globalement plus forte pour la paire unité fonctionnelle / Normandie que pour unité fonctionnelle / France. De même, on remarque que les espèces ayant une forte contribution aux effectifs des échelles supérieures, comme la Sarcelle d'hiver, le Canard souchet, le Canard siffleur et le Canard pilet, voient leur effectifs plus corrélés à ceux des échelles supérieures que les taxons ayant une plus faible contribution.

Tableau XII : Résultat des tests de corrélation sur les effectifs à la mi-Janvier entre l'unité fonctionnelle « Baie des Veys – Marais de l'isthme du Cotentin » et l'échelle nationale (à gauche) et entre l'unité fonctionnelle et l'échelle régionale (à droite). Dans la colonne intitulée « ρ » est indiqué le coefficient de corrélation et dans la colonne « p-value » est indiquée la significativité du test de corrélation de Spearman. « NS » veut dire que le test réalisé n'est pas significatif. Il est indiqué que le test n'a pas été effectué pour les taxons où l'information est manquante. Les espèces principales sont figurées en gras.

Taxon	Corrélation Unité fonctionnelle / France		Corrélation Unité fonctionnelle / Normandie	
	ρ	p-value	ρ	p-value
Sarcelle d'hiver	0,74	< 0,01	0,79	< 0,001
Canard siffleur	-	NS	0,91	< 0,001
Canard colvert	0,56	< 0,05	-	NS
Canard souchet	-	NS	0,89	< 0,001
Canard pilet	-	NS	0,7	< 0,01
Foulque macroule	-	NS	-	NS
Oie cendrée	0,81	< 0,001	0,78	< 0,001
Canard chipeau	0,52	< 0,05	-	NS
Bernache nonnette	0,79	< 0,001	Non effectué	Non effectué
Oie rieuse	-	NS	Non effectué	Non effectué

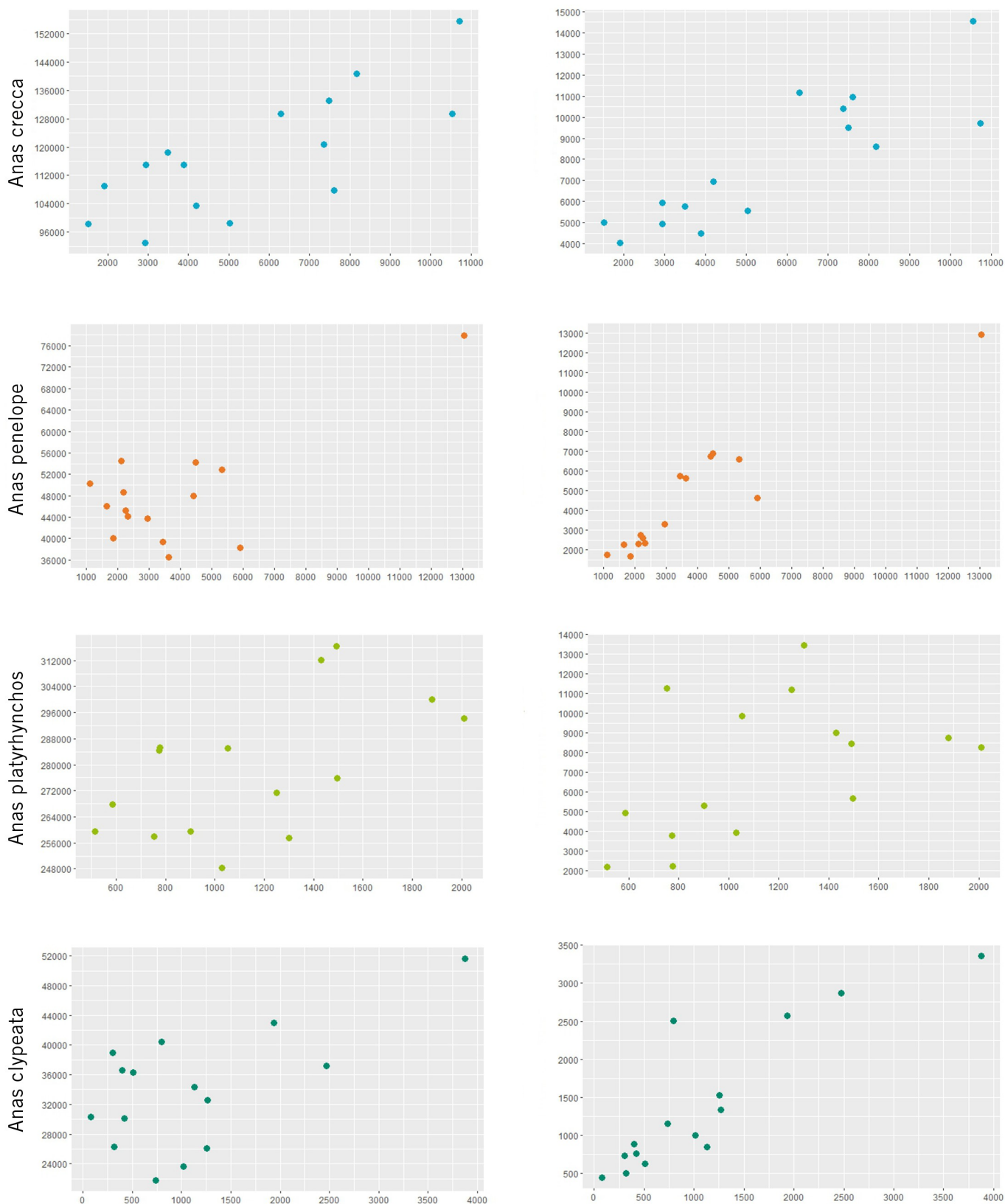


Figure 15a : Graphiques représentant en abscisse les effectifs à la mi-Janvier observé sur l'unité fonctionnelle et en ordonnée ceux mesurés à la même période à l'échelle nationale (à gauche) et régionale (à droite) pour la Sarcelle d'hiver, le Canard siffleur, le Canard colvert et le Canard souchet (de haut en bas).

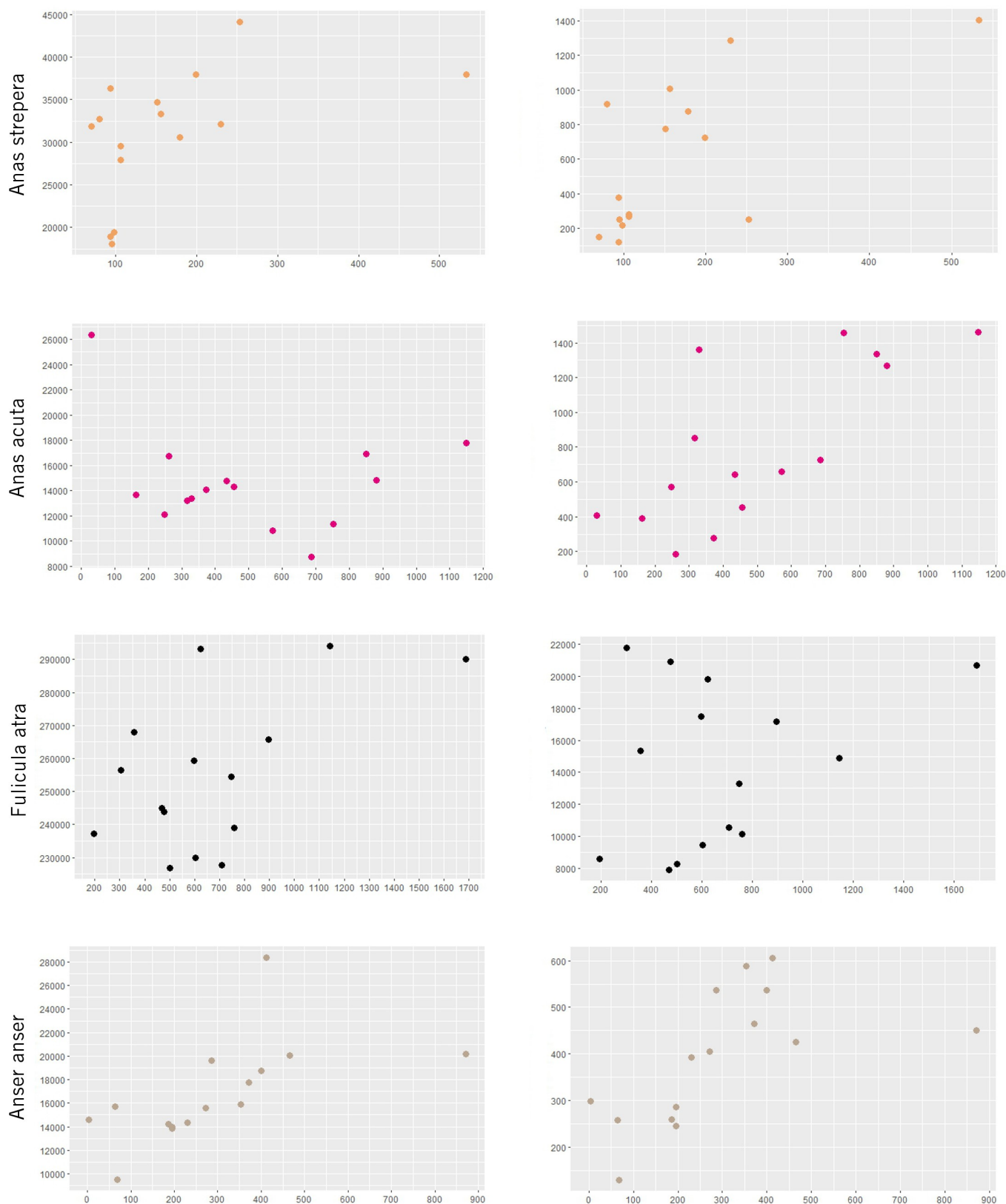


Figure 15b : Graphiques représentant en abscisse les effectifs à la mi-Janvier observé sur l'unité fonctionnelle et en ordonnée ceux mesurés à la même période à l'échelle nationale (à gauche) et régionale (à droite) pour le Canard chipeau, le Canard pilet, la Foulque macroule et l'Oie cendrée (de haut en bas).

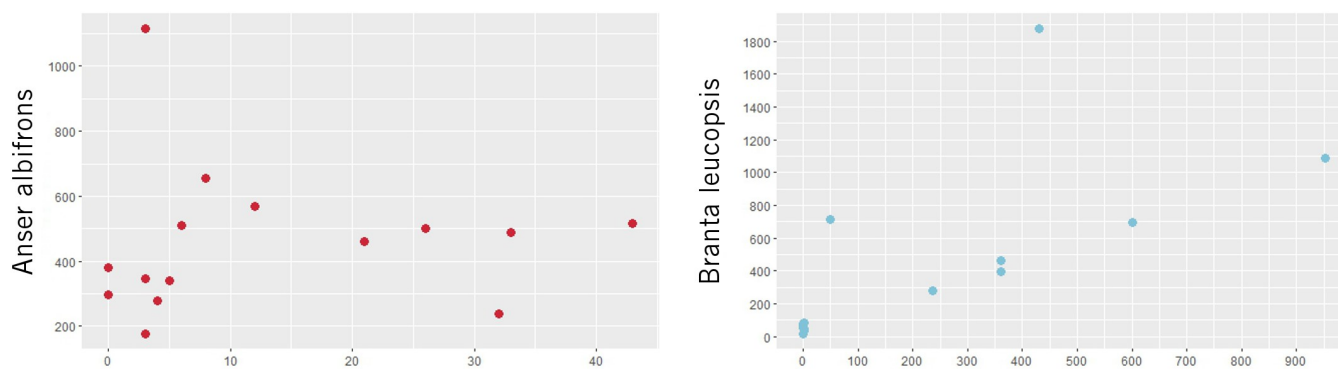


Figure 15c : Graphiques représentant en abscisse les effectifs à la mi-Janvier observé sur l'unité fonctionnelle et en ordonnée ceux mesurés à la même période à l'échelle nationale pour l'Oie rieuse (à gauche) et la Bernache nonnette (à droite). Le graphique équivalent pour l'échelle régionale n'est pas présenté pour ces deux taxons du fait de l'absence de données.

Dans le Tableau XIII ci-dessous, on remarque que les tendances à l'échelle de la région biogéographique pour les six espèces principalement observées sur l'unité fonctionnelle ainsi que pour les canard plongeurs sont négatives. Le constat est moins négatif et tranché à l'échelle de France avec la régression des plongeurs et du Canard pilet uniquement. Enfin à l'échelle de l'unité fonctionnelle, aucune espèce n'est en régression. Ainsi dans notre cas, plus l'échelle d'analyse diminue, plus les tendances sont positives.

Tableau XIII : Tendances temporelles hivernales des taxons étudiés en fonction des échelles géographiques considérées. « ↑ » correspond à une augmentation des effectifs, « ↓ » à une diminution, « → » à des effectifs stables et « ↕ » à des effectifs fluctuant. Les tendances nationales présentées ici sont obtenues sur la période 2000 – 2016 (Gaudart et al., 2017) et celles à l'échelle biogéographique sont calculées sur la période 2003 – 2012 (Nagy et al., 2014 in Gaudart et al., 2017). Les espèces principales sont figurées en gras.

Taxon	Unité fonctionnelle	RNNDB - Polder	France	Région biogéographique
Sarcelle d'hiver	↑	↑	↑	↓
Canard siffleur	↑	↑	→	↓
Canard colvert	↑	↑	→	↓
Canard souchet	↑	↑	↑	↓
Canard pilet	↑	↑	↓	↓
Foulque macroule	↑	↑	↑	↓
Oie cendrée	↑	↑	↑	↑
Canard chipeau	↑	↑	↑	↑
Bernache nonnette	↑	↑	↑	↑
Fuligule milouin	→	↓	↓	↓
Fuligule morillon	↕	↑	↓	↓
Oie rieuse	↑	↑	↑	↕

2.4. Phénologie : variations intra-annuelles

a. Phénologie comparée des espèces :

Avant de passer à une analyse plus spécifique, il est intéressant d'avoir un aperçu général des différentes phénologies des espèces les plus communément observées sur l'unité fonctionnelle « Baie des Veys – Marais de l'isthme du Cotentin ». Il est possible d'illustrer les variations intra-annuelles comme précédemment par des graphes X,Y ou des diagrammes en barres. Toutefois, ces modes de représentation deviennent rapidement illisibles lorsque l'on souhaite comparer autant de taxons que dans le cas présent. Nous avons donc opté pour un graphique de type « carte de chaleur », Figure 16 ci-dessous, qui permet en un seul coup d'œil d'identifier les similitudes entre espèces.

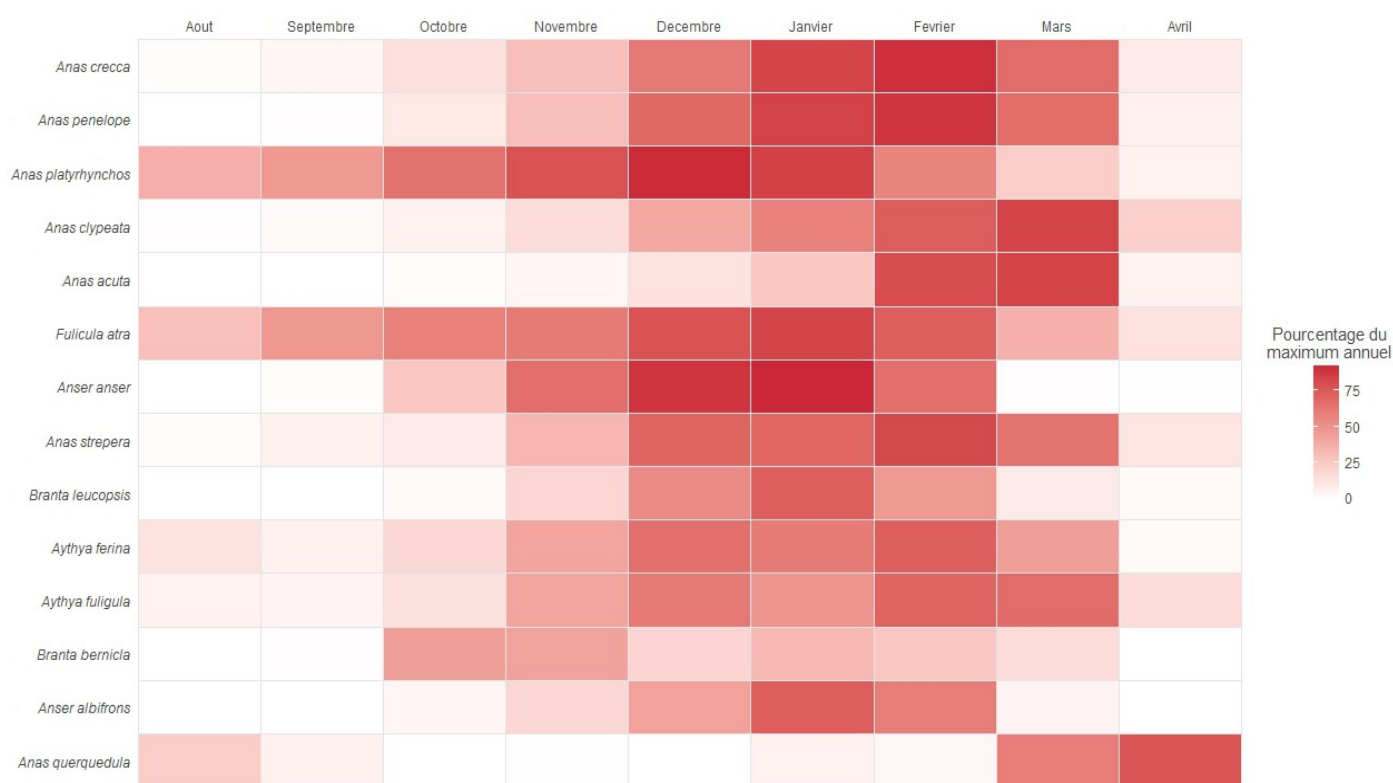


Figure 16 : Graphique représentant par mois l'indice de présence moyen sur l'unité fonctionnelle pour les 14 espèces principales, classées par nombre d'individus observés total

On confirme bien entendu la présence sur l'ensemble du cycle de la Foulque macroule (*Fulicula atra*) et du Canard colvert (*Anas platyrhynchos*) sauf en début de printemps. Au contraire, la Sarcelle d'été (*Anas querquedula*) n'est évidemment présente qu'en période de migration pré et post-nuptiale ainsi qu'en période de reproduction. Les autres taxons ont des effectifs globalement plus élevés en hiver bien qu'il soit difficile pour certains comme les Fuligules (*Aythya ferina* et *Aythya fuligula*) de déterminer une période de présence remarquable, la phénologie étant très

variable d'un cycle à l'autre. En outre il est intéressant d'observer des différences plus subtiles entre espèces hivernantes : l'Oie cendrée (*Anser anser*) est plus présente en début d'hiver contrairement à la Sarcelle d'hiver (*Anas crecca*) et au Canard siffleur (*Anas penelope*) qui sont présents tout l'hiver mais avec un pic d'abondance plus tardif. Le Canard souchet (*Anas clypeata*) et le Canard pilet (*Anas acuta*), eux, ne sont présents qu'en fin d'hiver et en migration pré-nuptiale.

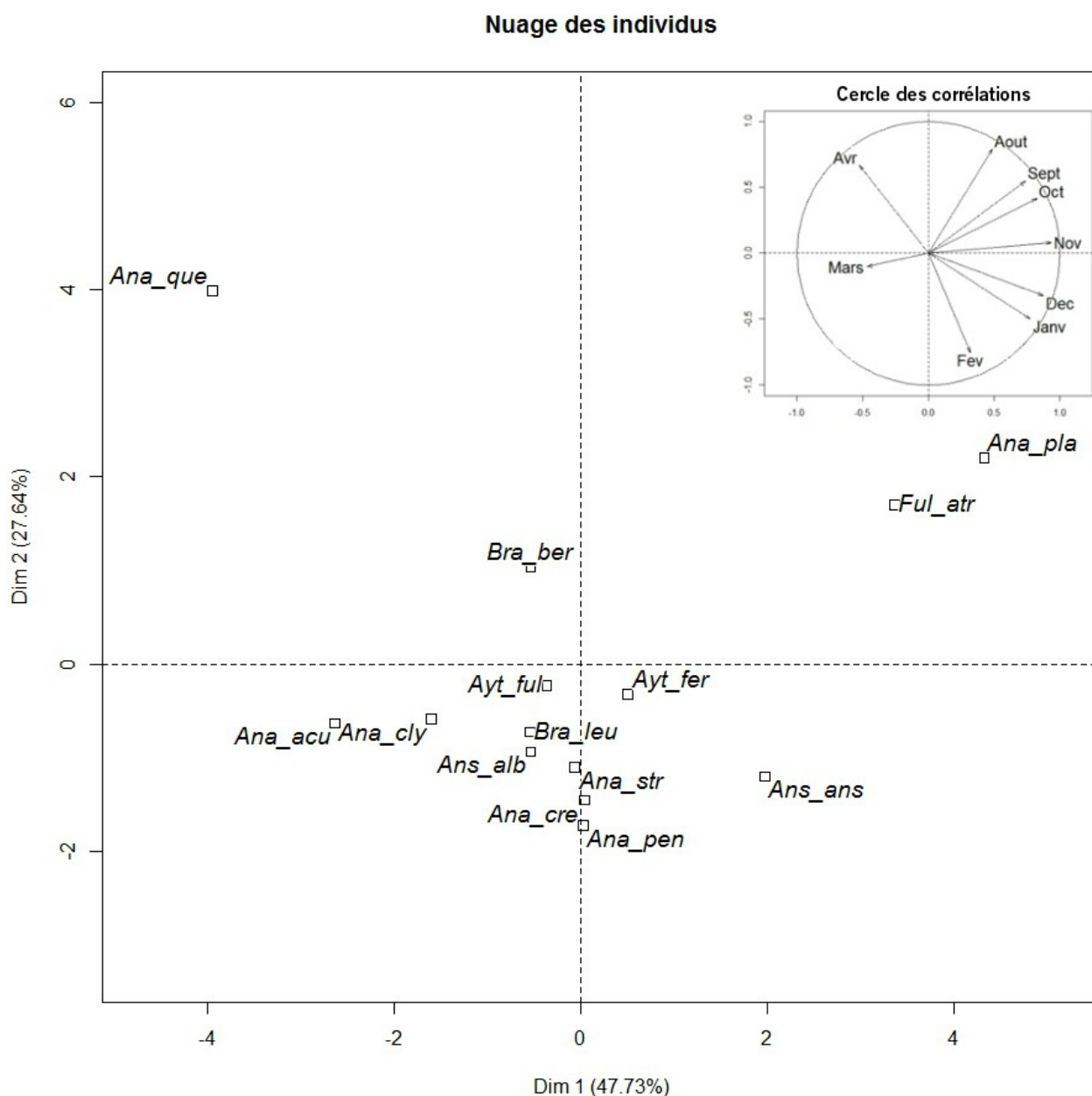


Figure 17 : Nuage d'individus et cercle des corrélations (coin supérieur droit) de l'ACP réalisée à partir des données moyennes de phénologie sur l'unité fonctionnelle des 14 espèces les plus observées

A l'aide d'une Analyse en Composantes Principales, il est également possible de visualiser la proximité des espèces en fonction de leur phénologie. Ainsi on retrouve bien Figure 17 ci-dessus la

particularité de la Sarcelle d'été, de la Foulque macroule et du Canard colvert. Les espèces hivernantes sont situées dans les deux rectangles inférieurs et peuvent également être différenciées à l'aide du cercle des corrélations : on retrouve les espèces hivernantes « précoces » comme l'Oie cendré en bas à droite, les espèces ayant un pic d'effectif en milieu ou fin d'hiver en bas et celles ayant une présence tard dans l'hiver ou en période de migration pré-nuptiale en bas à gauche.

Si dans les analyse précédentes on pouvait s'attendre à avoir au moins un relevé à 100% pour chaque espèce, on remarque que pour beaucoup de taxons on ne détecte aucun fort pourcentage au cours du cycle. Ceci s'explique par le fait que dans la carte de chaleur et l'ACP précédentes (Figure 16 et 17), on utilise le pourcentage du maximum annuel moyen et donc que lorsque la phénologie est très variable d'un cycle à l'autre, aucun relevé ne présente une moyenne importante. Il convient ainsi d'également représenter l'écart-type de l'indice de présence, comme dans la Figure 18 ci-dessous. On y constate bien que les espèces pour lesquelles il était difficile de distinguer des variations intra-annuelles particulières présentent une forte variabilité, contrairement aux espèces les plus contactées qui elles ont un indice de présence en général plus stable d'un cycle à l'autre.

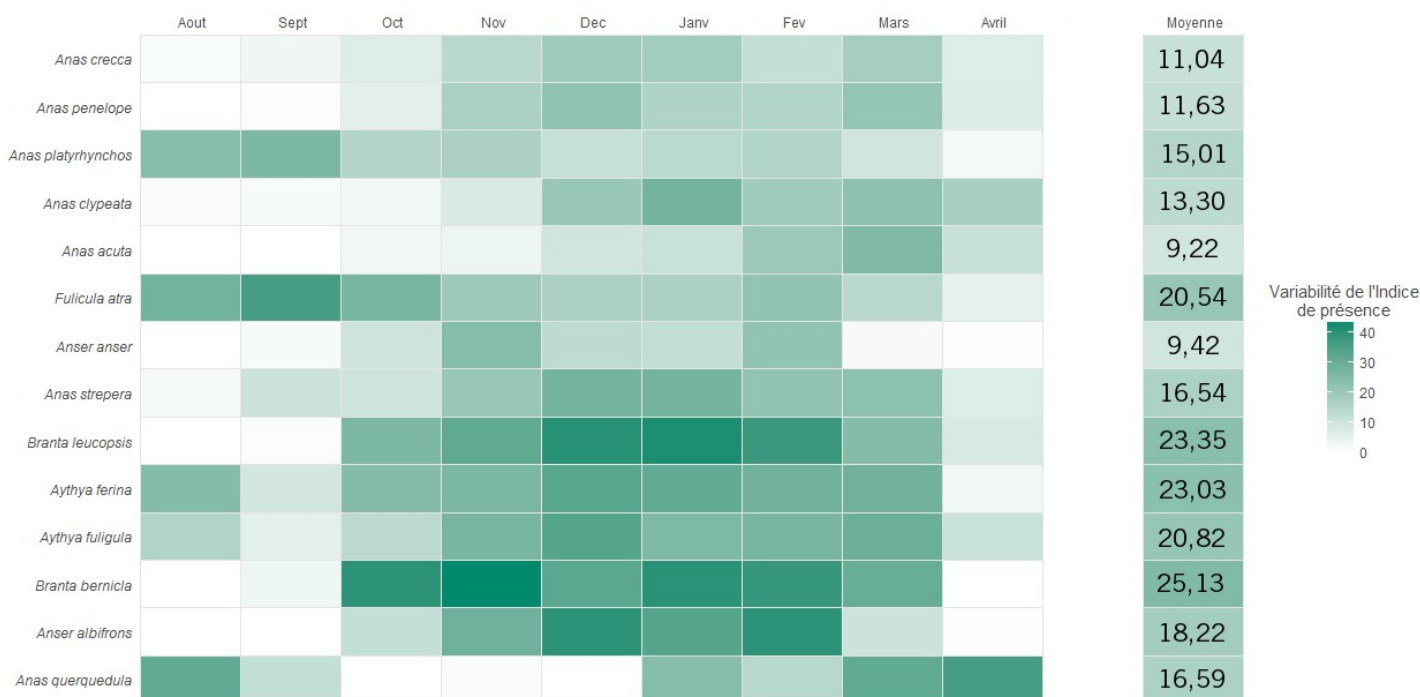


Figure 18 : Graphique représentant par mois l'écart-type de l'indice de présence moyen sur l'unité fonctionnelle pour les 14 espèces principales, classées par nombre d'individus observés total. La colonne de droite indique la moyenne de cette écart-type par espèce.

Il est également possible d'adopter la même approche pour le complexe RNNDB – Polder avec une étude plus fine de la phénologie en considérant cette fois-ci les moyennes par décennie et non par mois. On retrouve sur la Figure 19 ci-dessous les mêmes tendances générales que pour la Figure 16 bien que l'on puisse y déceler quelques subtilités. Ainsi la Sarcelle d'hiver semble légèrement plus tardive que le Canard siffleur alors que le Canard souchet, bien que plus présent en début d'hiver que le Canard pilet, tarde plus à quitter le site en période de migration pré-nuptiale.

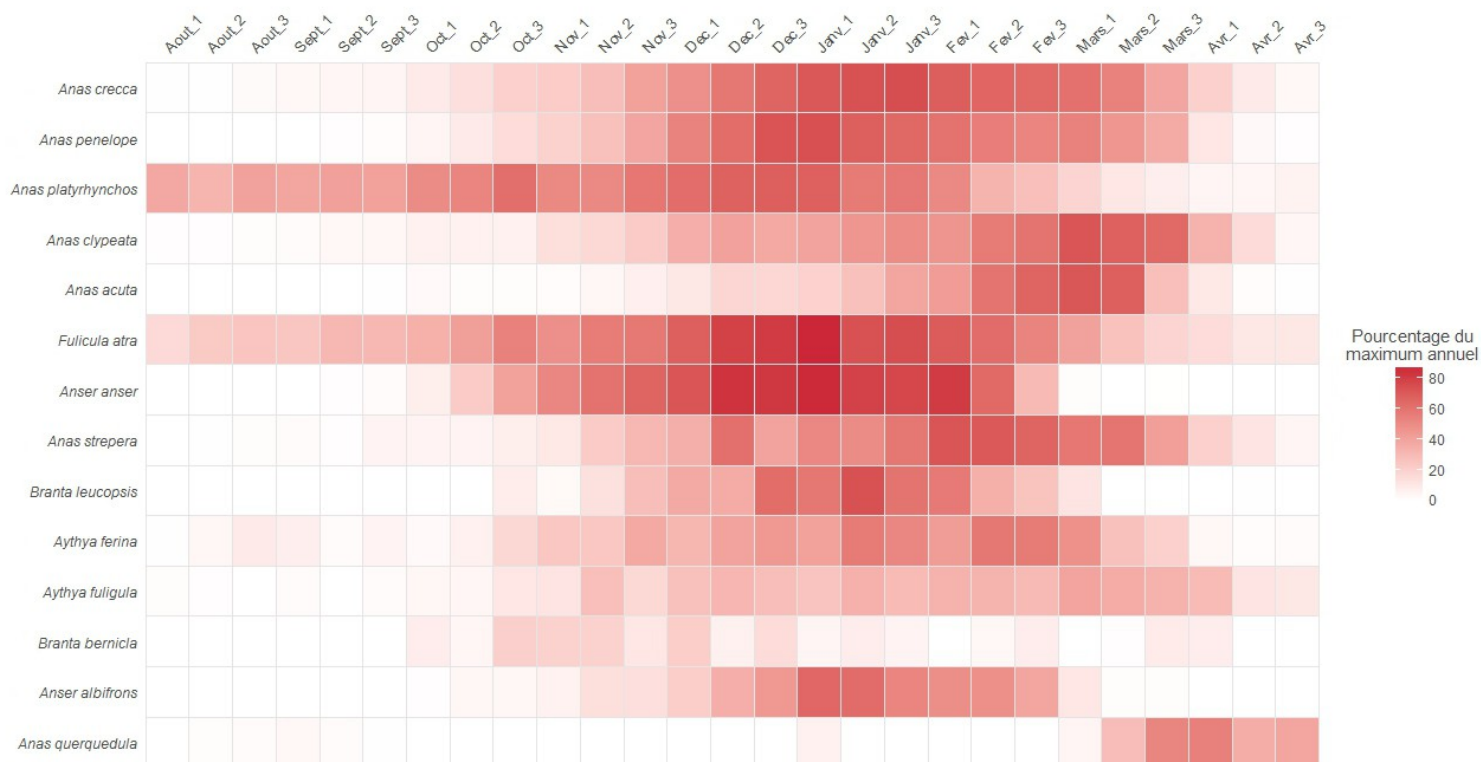


Figure 19 : Graphique représentant par décennie l'indice de présence moyen sur le complexe RNNDB - Polder pour les 14 espèces principales, classées par nombre d'individus observés total

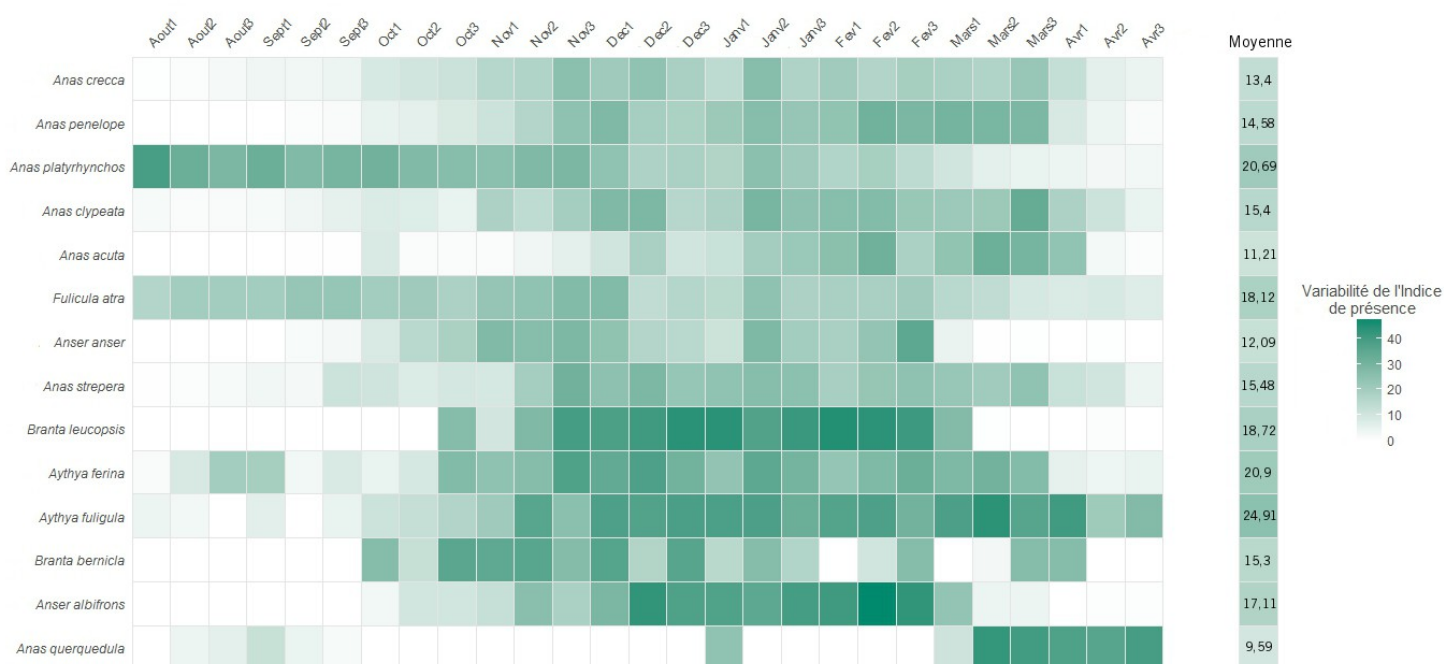


Figure 20 : Graphique représentant par mois l'écart-type de l'indice de présence moyen sur le complexe RNNDB – Polder pour les 14 espèces principales, classées par nombre d'individus observés total. La colonne de droite indique la moyenne de cette écart-type par espèce.

L'ACP réalisée sur l'ensemble des 14 espèces, très similaire à celle présentée Figure 17 pour l'unité fonctionnelle, est disponible en Annexe. En outre, afin de comparer de manière plus évidente les espèces hivernantes, une seconde ACP suivie d'une Classification Ascendante Hiérarchique ont été réalisées en retirant du jeu de données le Canard colvert, la Sarcelle d'été ainsi que la Foulque macroule.

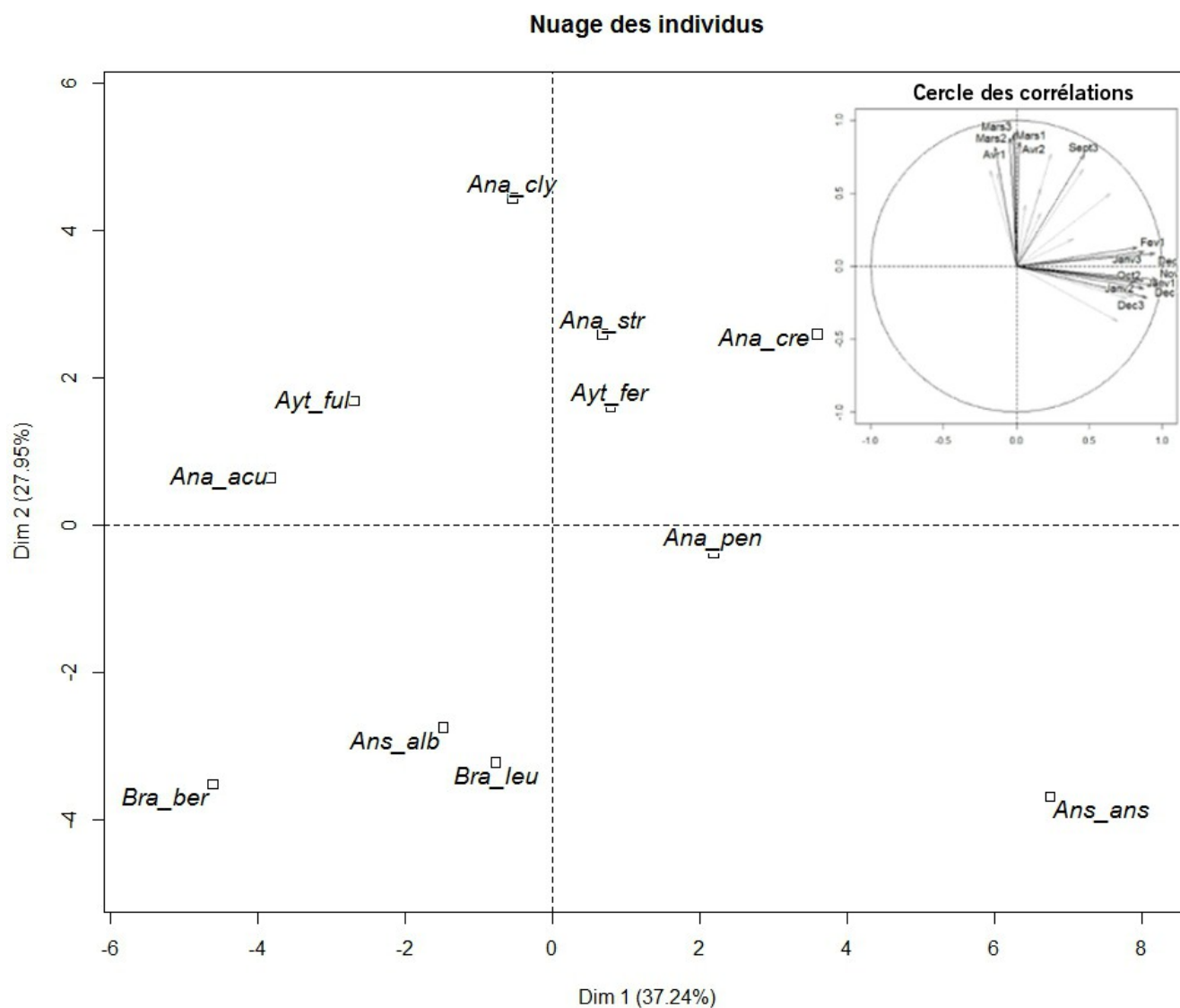


Figure 21 : Nuage d'individus et cercle des corrélations (coin supérieur droit) de l'ACP réalisée à partir des données moyennes de phénologie sur le complexe RNNDB - Polder des 11 espèces hivernantes les plus observées. Afin d'en faciliter la lecture, seules les 15 décades les mieux projetées sont représentées sur le cercle des corrélations, les autres sont indiquées par des flèches grisées

Plutôt que de retrouver l'ensemble des espèces dans un nuage resserré réparti dans seulement deux rectangles (à l'exception de *Branta bernicla*) comme sur la première ACP, la seconde ACP Figure 21 ci-dessus nous permet de mieux appréhender les différences entre espèces hivernantes. En effet on constate tout d'abord que le premier axe correspond aux effectifs hivernaux, essentiellement décembre et janvier alors que le second axe est expliqué par les variables d'effectifs en période de migration pré-nuptiale (mars et avril). On retrouve ainsi dans le coin inférieur droit l'Oie cendrée qui est une hivernante assez précoce, le Canard souchet tout en haut caractérisé par ses forts effectifs en période de migration pré-nuptiale ou encore la Sarcelle d'hiver fortement présente à la fois en hiver et en migration pré-nuptiale.

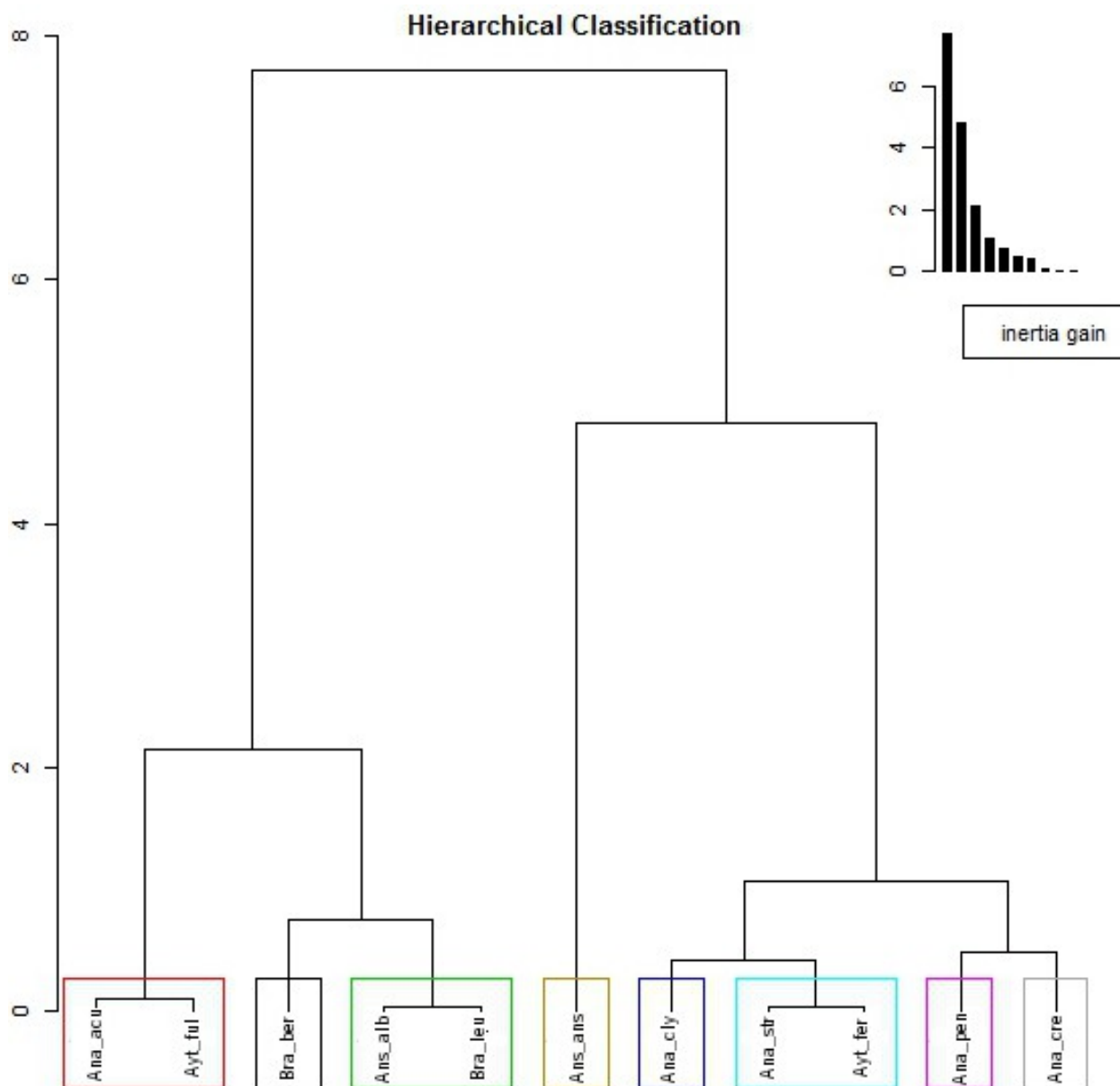


Figure 22 : Dendrogramme obtenu à partir de la Classification Hiérarchique sur Composantes Principales réalisée à partir des données moyennes de phénologie sur le complexe RNNDB - Polder des 11 espèces hivernantes les plus observées. Les rectangles de couleur représentent les 8 groupes déterminés par la méthode

Enfin la classification réalisée sur ces onze espèces les répartit dans 8 groupes de phénologies différentes.

L'ensemble de ces analyses permet de classer dans le Tableau XIV ci-dessous les espèces les plus observées sur l'unité fonctionnelle et le complexe RNNDB – polder en six groupes de phénologie.

Tableau XIV : Groupement des taxons par unité fonctionnelle selon leur phénologie. « Post » indique la période de migration post-nuptiale, « Pré » la période de migration pré-nuptiale. Les espèces principales sont figurées en gras.

Groupe	Présence			Entité géographique	
	Post	Hiver	Pré	Unité fonctionnelle	RNNDB - Polder
Hivernants précoces	x	x		<i>Anser anser</i>	<i>Anser anser</i>
Hivernants		x	x	<i>Anas crecca</i> <i>Anas penelope</i> <i>Anas strepera</i> <i>Anser albifrons</i> <i>Branta leucopsis</i> <i>Aythya fuligula</i> <i>Aythya ferina</i>	<i>Anas crecca</i> <i>Anas penelope</i> <i>Anas strepera</i> <i>Anser albifrons</i> <i>Branta leucopsis</i> <i>Aythya ferina</i>
Hivernants tardifs & migrateurs pré-nuptiaux			x	<i>Anas clypeata</i> <i>Anas acuta</i>	<i>Anas clypeata</i> <i>Anas acuta</i> <i>Aythya fuligula</i>
Migrateurs stricts	x		x	<i>Branta bernicla</i>	<i>Branta bernicla</i>
Estivants	x		x	<i>Anas querquedula</i>	<i>Anas querquedula</i>
Permanents	x	x	x	<i>Anas platyrhynchos</i> <i>Fulicula atra</i>	<i>Anas platyrhynchos</i> <i>Fulicula atra</i>

Bien entendu certains groupes sont relativement proches et il est parfois difficile de ranger dans telle ou telle case une espèce. C'est le cas notamment entre les hivernants et les hivernants tardifs. De plus, l'absence de relevés en période estivale ne permet pas d'avoir un aperçu de la phénologie complète de chaque espèce et ainsi de différencier par exemple les migrateurs stricts des espèces estivantes.

Toutefois cette section a pour but de fournir une vision comparative des espèces selon leur phénologie, la phénologie spécifique plus précise fait l'objet de la section suivante.

b. Phénologie spécifique :

Bien que l'approche comparative présentée précédemment soit intéressante par la vision d'ensemble qu'elle procure, il semble également pertinent d'adopter une démarche plus spécifique. La Figure 23 présentée ci-dessous et dans les prochaines pages permet d'avoir un aperçu plus détaillé des variations intra-annuelles de chaque taxon. Les diagrammes radar représentent l'évolution de l'indice de présence moyen au cours d'un cycle, qui correspond au pourcentage du maximum annuel moyen. On peut distinguer des différences plus subtiles au sein des groupements élaborés la page d'avant. En effet, si la Sarcelle d'hiver et le Canard siffleur ont une phénologie quasi identique tout comme la Bernache nonnette et l'Oie rieuse, le Canard pilet est présent sur une période bien plus réduite que le Canard souchet. On remarque également que les effectifs sont plus fluctuants à l'échelle du complexe RNNDB – Polder qu'à l'échelle de l'unité fonctionnelle.

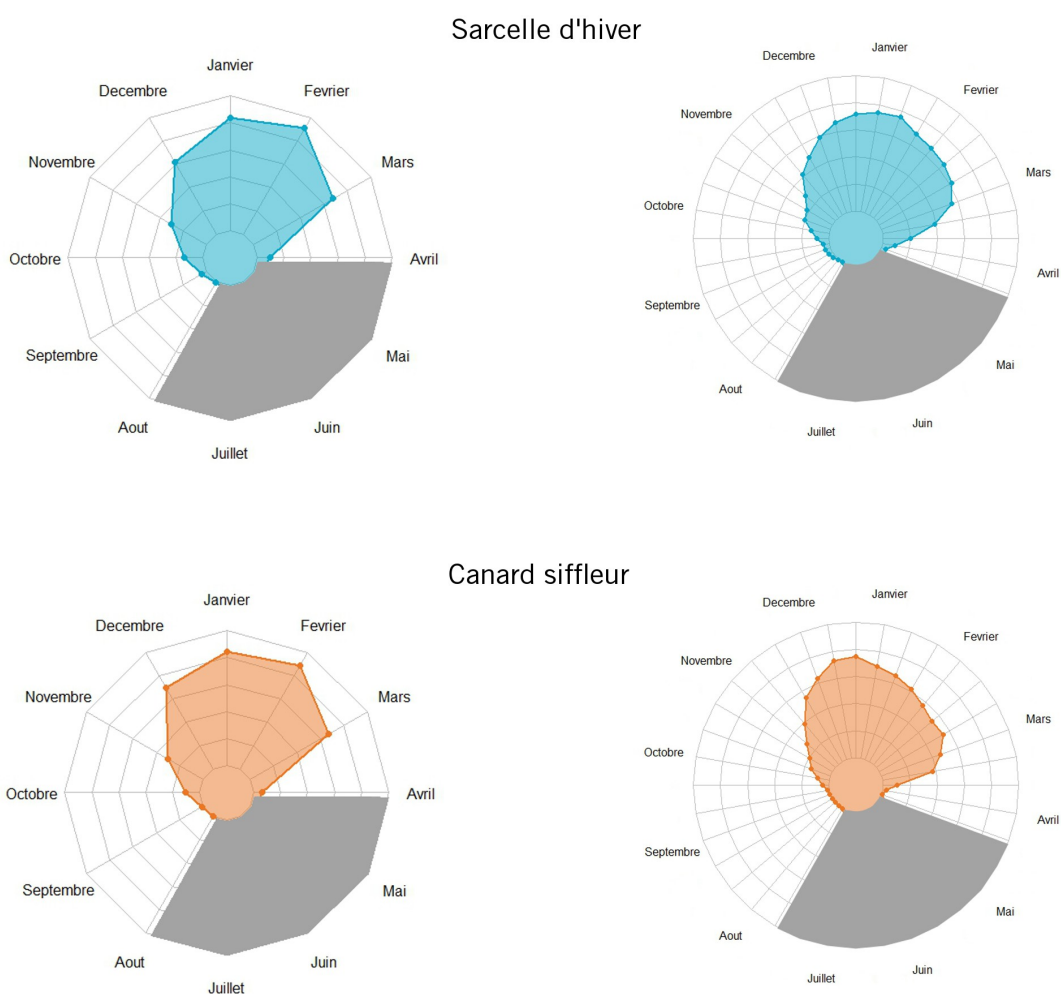
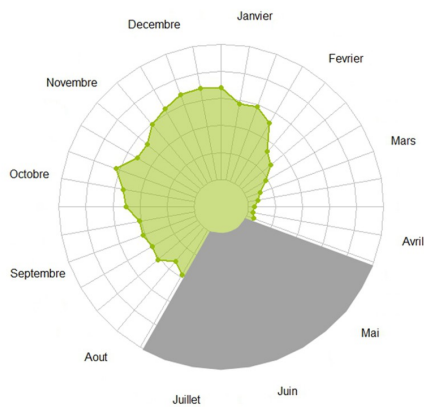
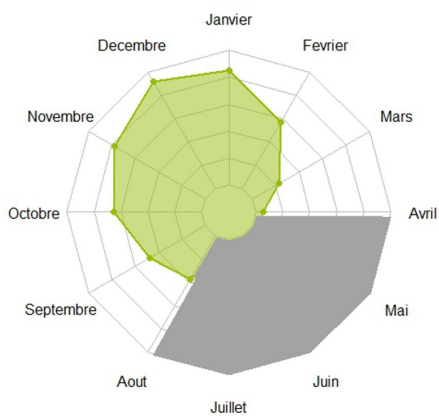
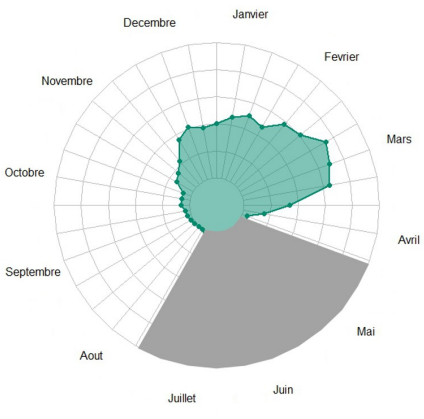
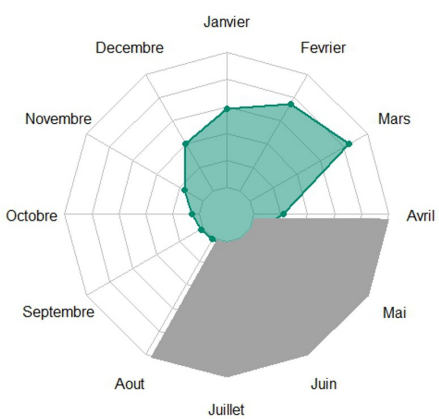


Figure 23a : **A gauche** : Indice de présence au cours d'un cycle sur l'unité fonctionnelle ; **à droite** : Indice de présence au cours d'un cycle sur le complexe RNNDB - Polder

Canard colvert



Canard souchet



Canard pilet

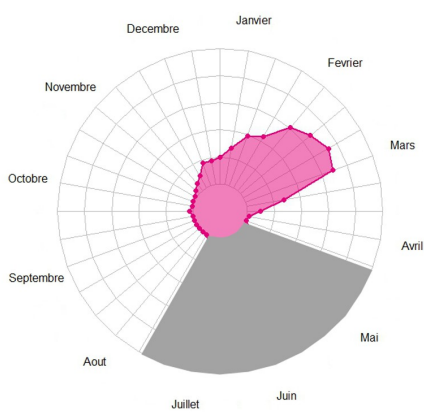
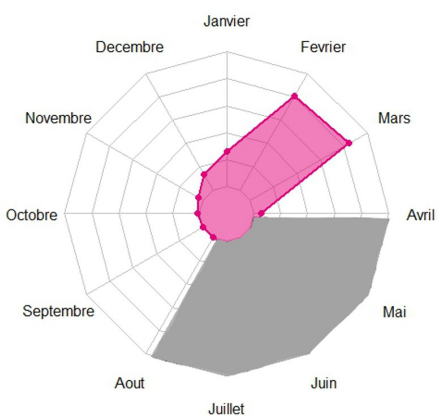
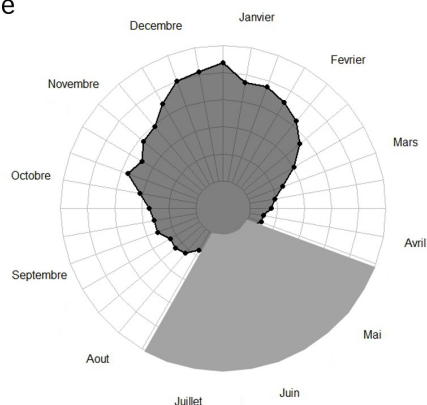
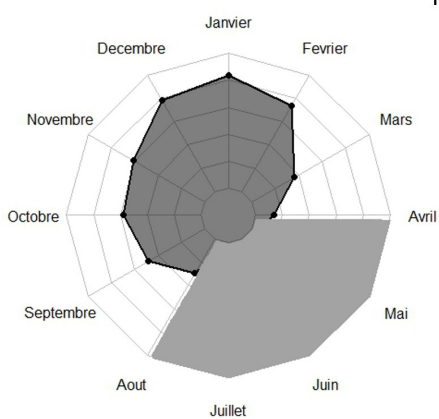
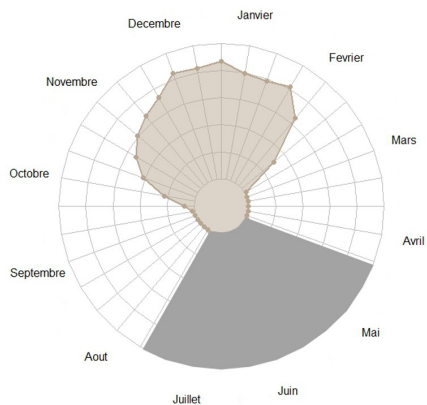
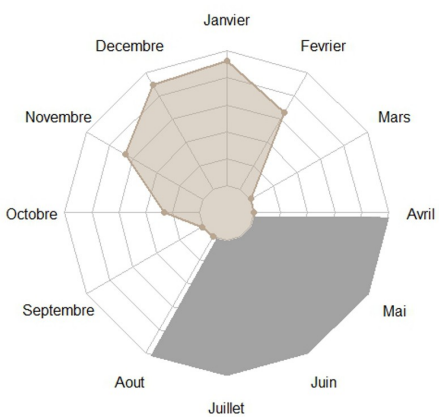


Figure 23b : **A gauche** : Indice de présence au cours d'un cycle sur l'unité fonctionnelle ; **à droite** : Indice de présence au cours d'un cycle sur le complexe RNNDB - Polder

Foulque macroule



Oie cendrée



Canard chipeau

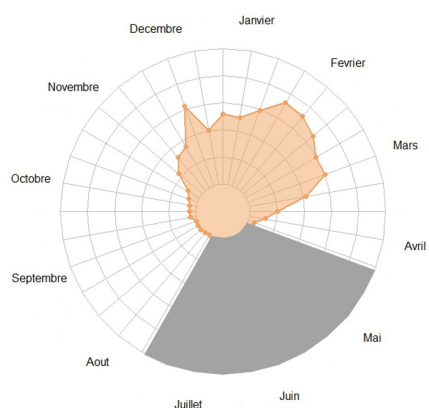
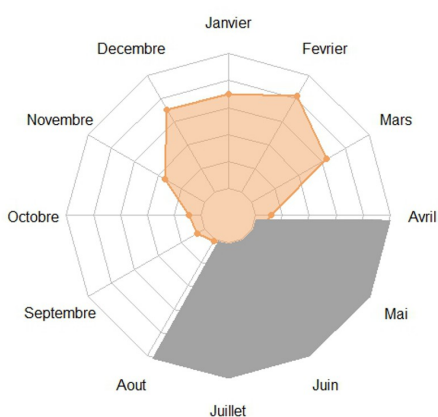
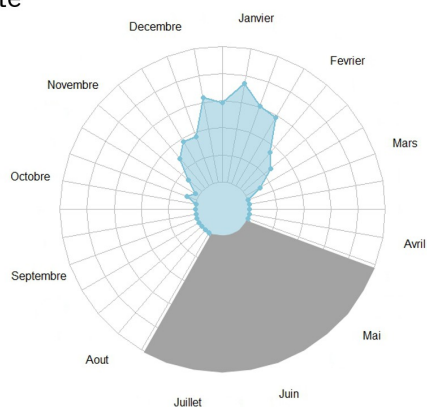
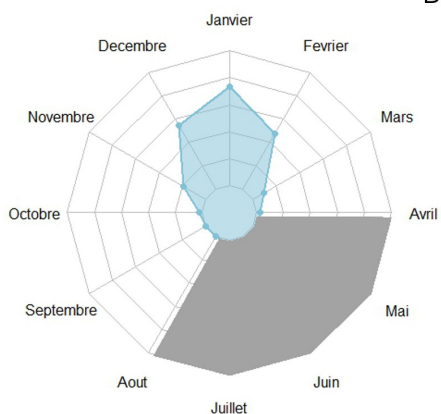
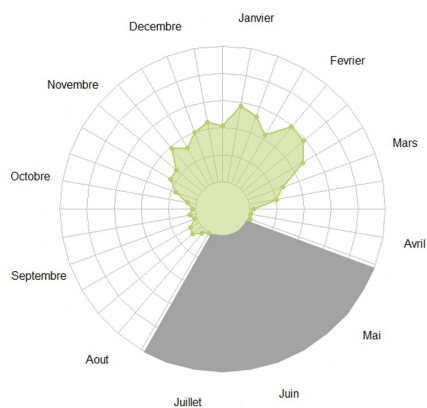
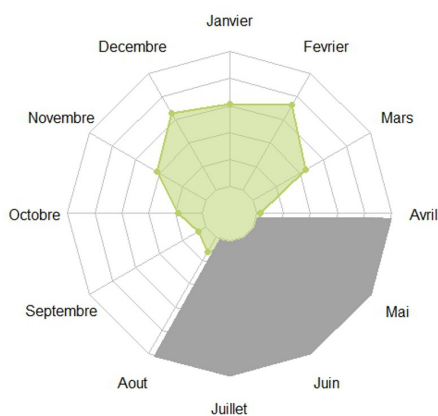


Figure 23c : **A gauche** : Indice de présence au cours d'un cycle sur l'unité fonctionnelle ; **à droite** : Indice de présence au cours d'un cycle sur le complexe RNNDB – Polder

Bernache nonnette



Fuligule milouin



Fuligule morillon

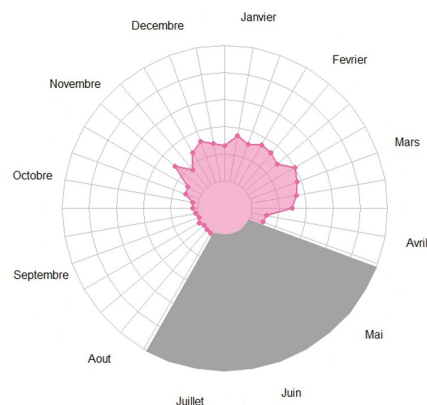
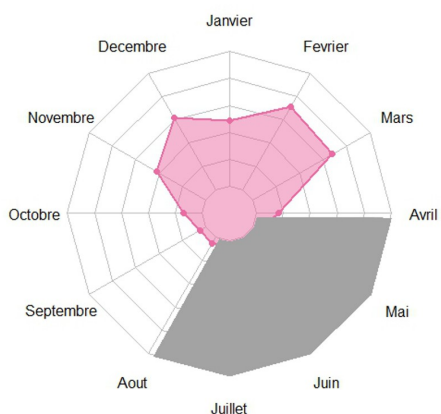
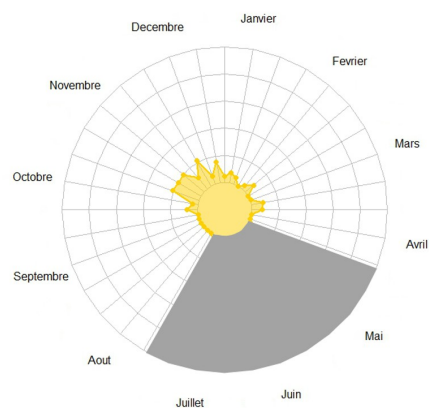
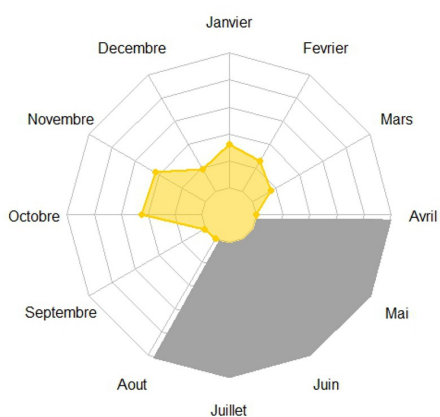
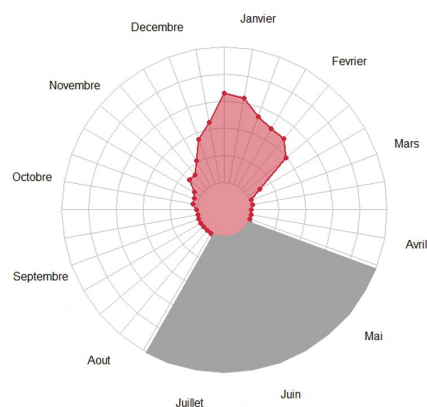
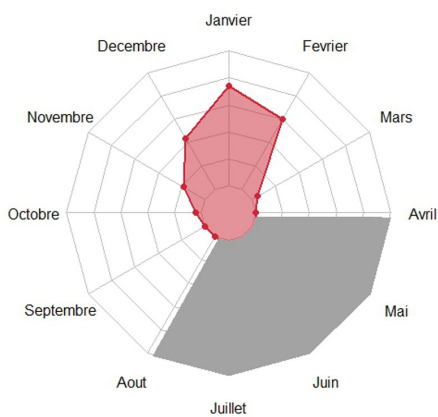


Figure 23d : **A gauche** : Indice de présence au cours d'un cycle sur l'unité fonctionnelle ; **à droite** : Indice de présence au cours d'un cycle sur le complexe RNNDB – Polder

Bernache cravant



Oie rieuse



Sarcelle d'été

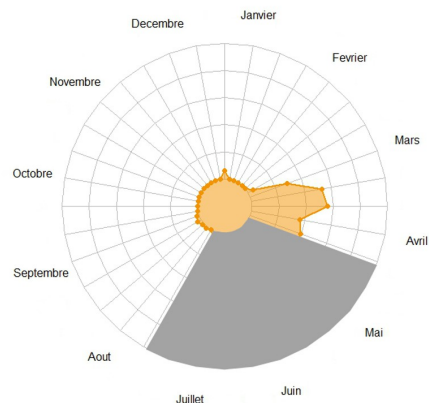
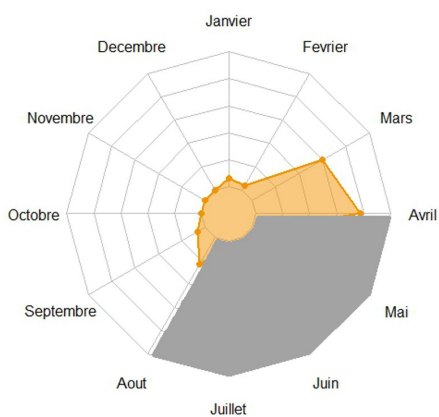


Figure 23e : **A gauche** : Indice de présence au cours d'un cycle sur l'unité fonctionnelle ; **à droite** : Indice de présence au cours d'un cycle sur le complexe RNND - Polder

c. Evolution de la phénologie :

Les graphiques suivants nous permettent de visualiser d'éventuelles modifications de la phénologie au cours du temps, comme un décalage de la présence, du maximum, un élargissement ou une diminution de la plage de présence. Ci-dessous, on constate pour la Sarcelle d'hiver que le maximum s'est très légèrement avancé dans le cycle par rapport aux premières années de suivi. La plage de présence ne semble pas subir de modification au cours du temps. Chez le Canard siffleur, on remarque que le positionnement du maximum annuel est extrêmement variable, avec une position lors de la première décade de décembre et une autre lors de la troisième décade de mars. Toutefois aucune tendance n'apparaît clairement. On retrouve chez le Canard colvert le caractère permanent sur notre territoire, avec une présence quasiment sur l'ensemble du cycle bien qu'elle soit accentuée en période post-nuptiale et en hivernage. Le graphique représentant l'évolution de la phénologie du Canard souchet au cours du temps est remarquable : si les maxima des premiers cycles sont systématiquement fin mars, ceux qui suivent sont plus souvent situés en février ou même en janvier. Toutefois la plage de présence de l'espèce ne semble pas forcément affectée. Le constat est assez similaire chez le Canard pilet dans une moindre mesure, avec un décalage du maximum annuel de mars à février. Enfin chez la Foulque macroule, si la présence est continue au cours du cycle, elle semble s'intensifier en période d'hivernage dans les années 2010.

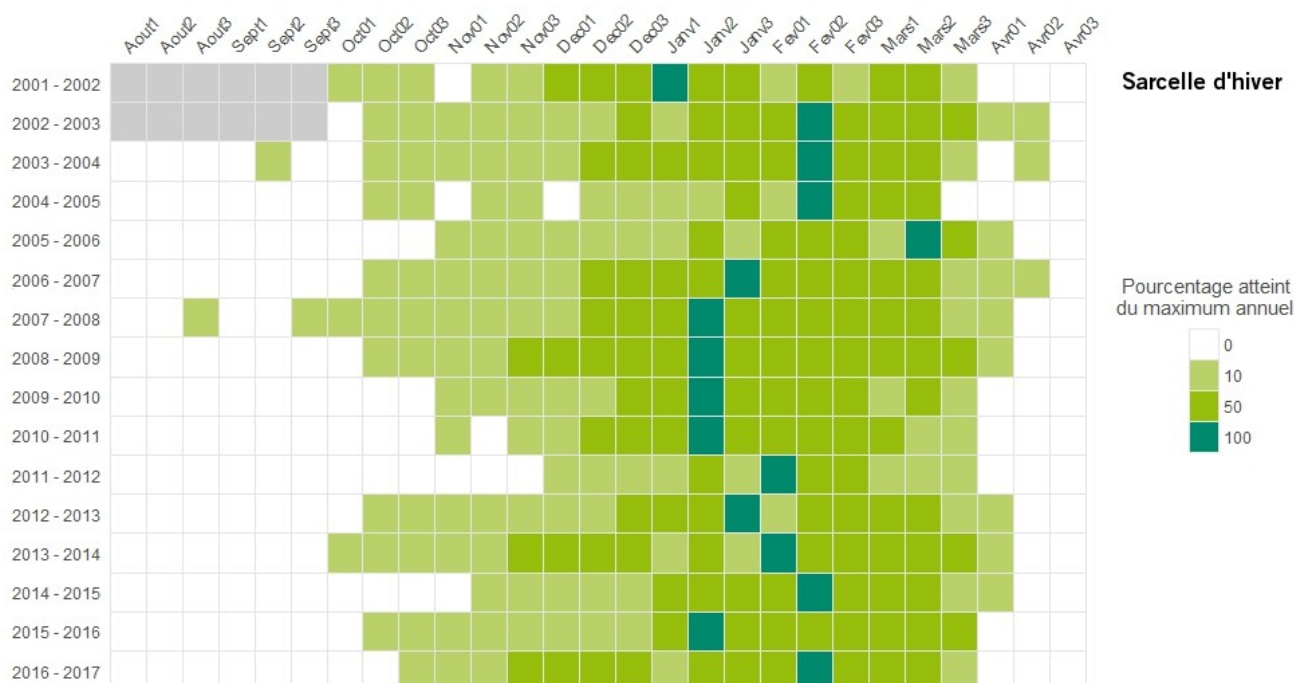


Figure 24a : Graphique représentant le seuil de population de Sarcelle d'hiver atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.

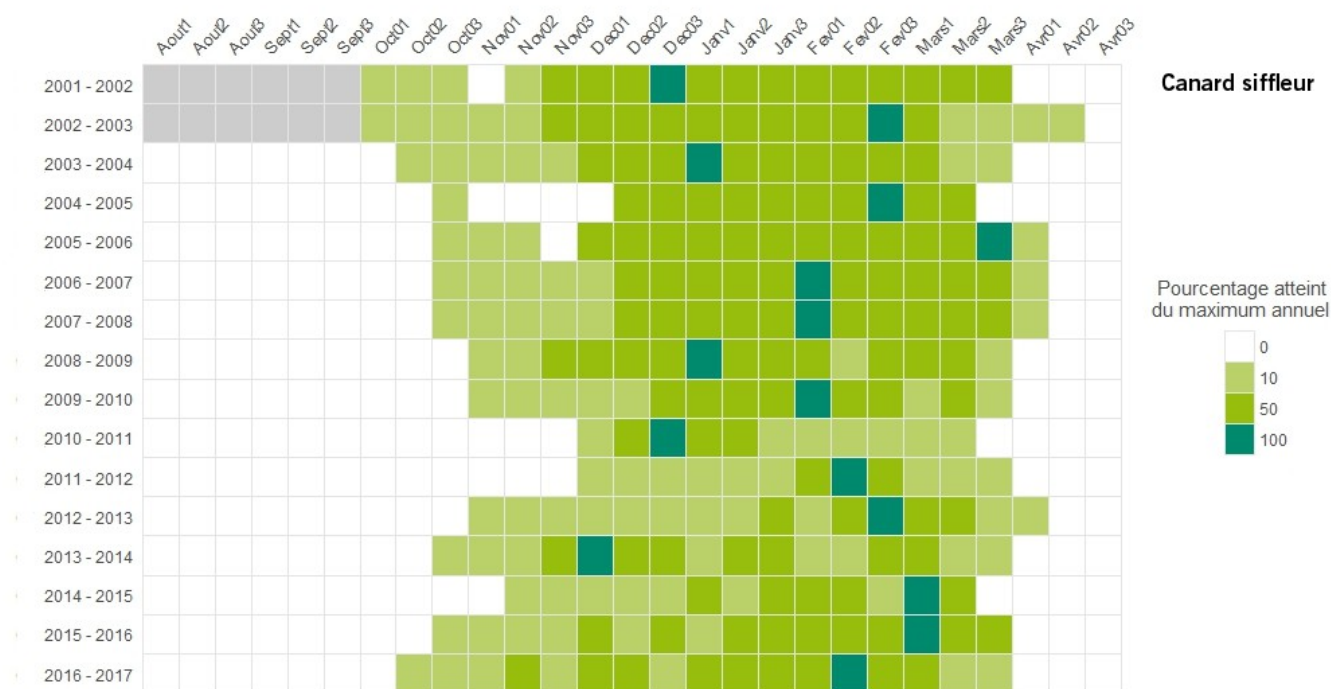


Figure 24b : Graphique représentant le seuil de population de Canard siffleur atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.

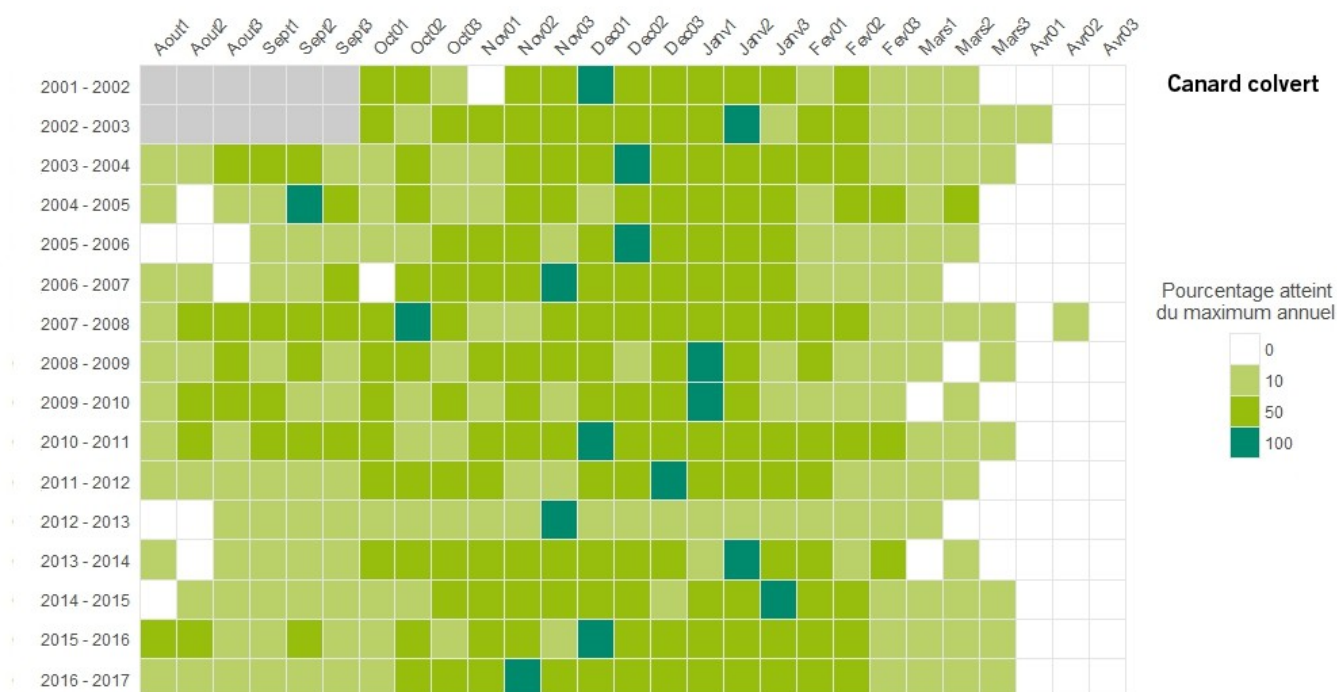


Figure 24c : Graphique représentant le seuil de population de Canard colvert atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.

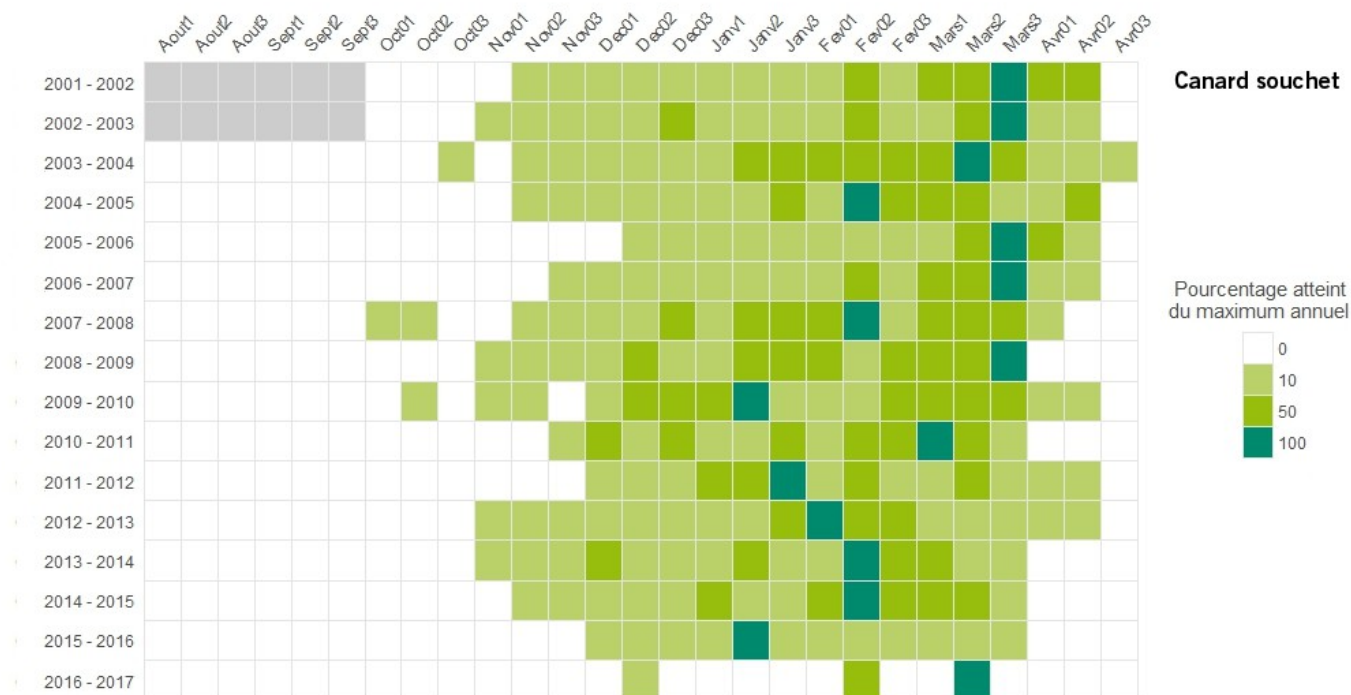


Figure 24d : Graphique représentant le seuil de population de Canard souchet atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.

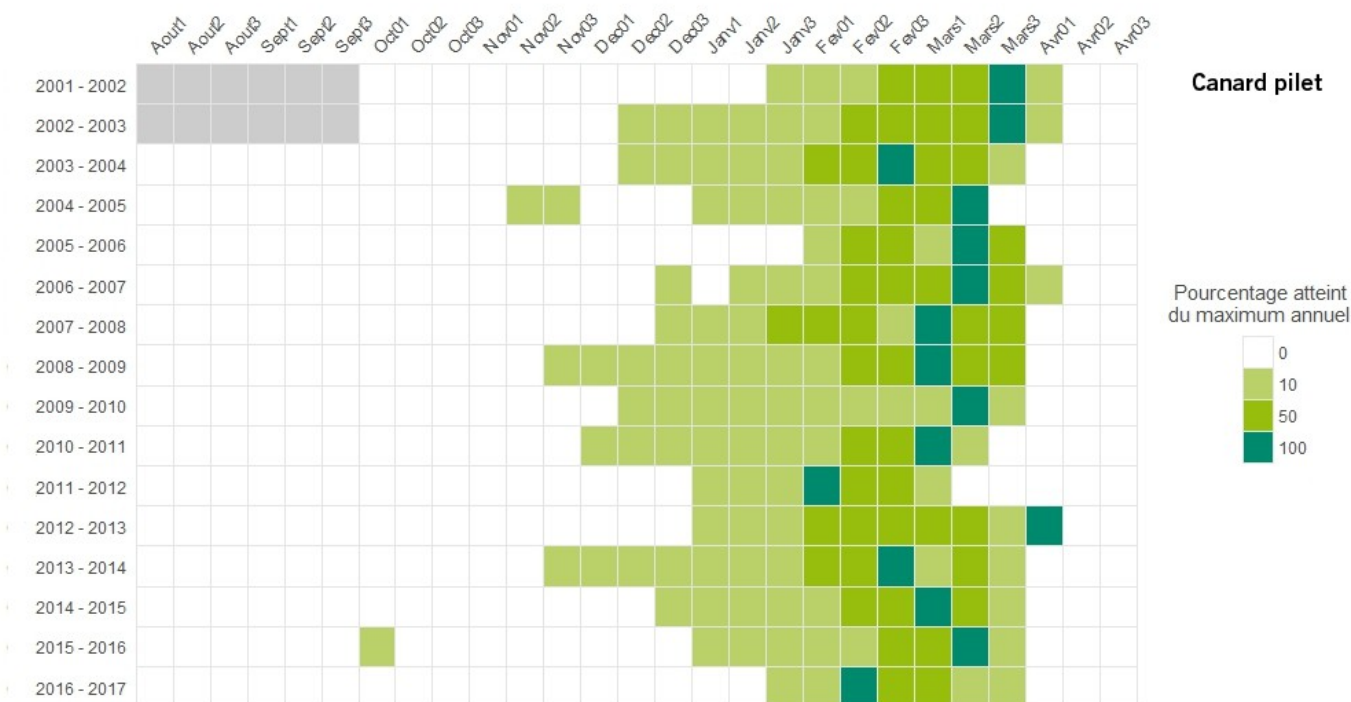


Figure 24e : Graphique représentant le seuil de population de Canard pilet atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.

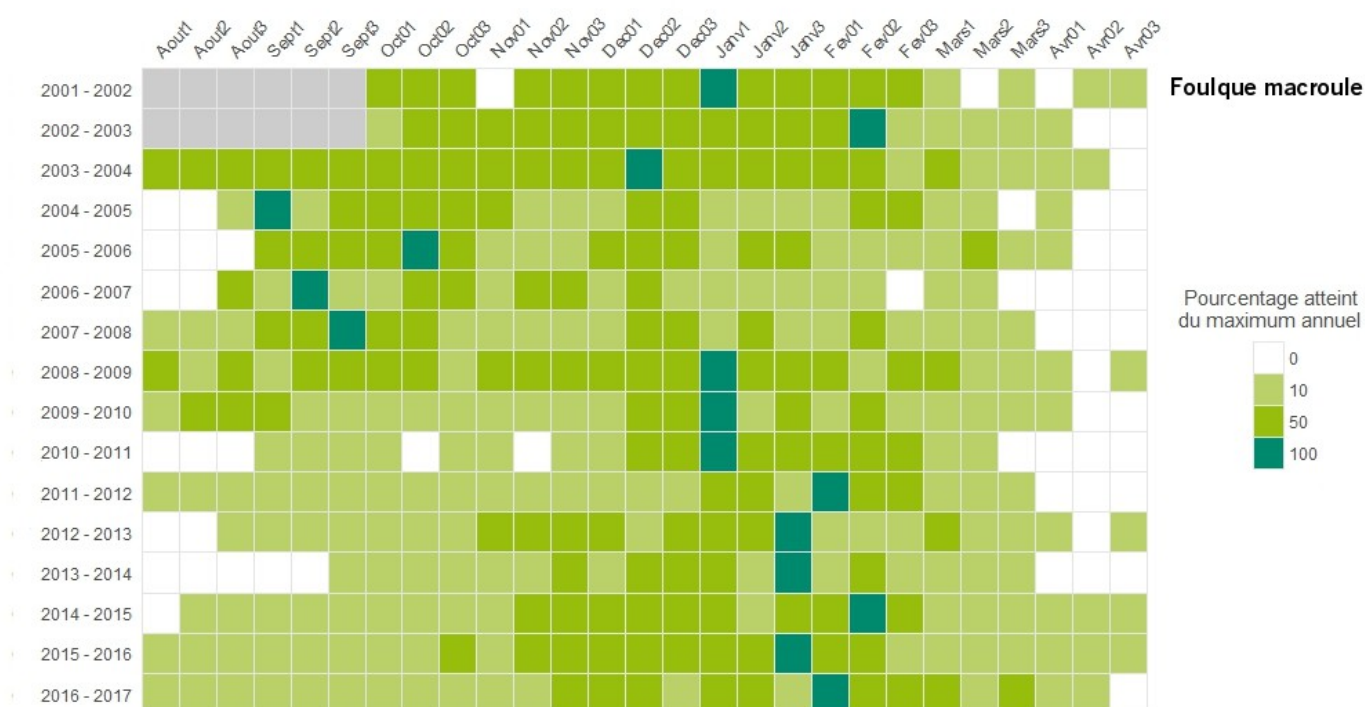


Figure 24f : Graphique représentant le seuil de population de Foulque macroule atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.

Chez l'Oie cendrée, aucune tendance n'est observable. Chez le Canard chipeau ainsi que chez les Fuligules milouin et morillon ou encore la Bernache cravant, on ne constate pas non plus de tendance mais les positions des maxima sont extrêmement variables. Le graphique concernant la Bernache nonnette est inhabituel, puisque lors des premiers cycles aucun individu ou seulement quelques uns (moins de 5) ont été observés, avec un maximum très faible et parfois observé sur plusieurs décades. En revanche, sur la seconde partie du graphique, on voit nettement la plage de présence ainsi que les maxima avancer dans le cycle, ce qui traduit la mise en place d'un véritable hivernage de l'espèce sur le site. Chez l'Oie rieuse, la valeur des maxima est très variable d'un cycle à l'autre, ce qui explique la présence de plusieurs maxima pour un même cycle lorsque ceux-ci sont très faibles. En revanche, la plage de présence de cette espèce semble s'être élargie. Enfin on ne constate pas d'évolution particulière chez la Sarcelle d'été et il semblerait que la plage de présence se soit resserrée pour le nombre d'individus toutes espèces confondues.

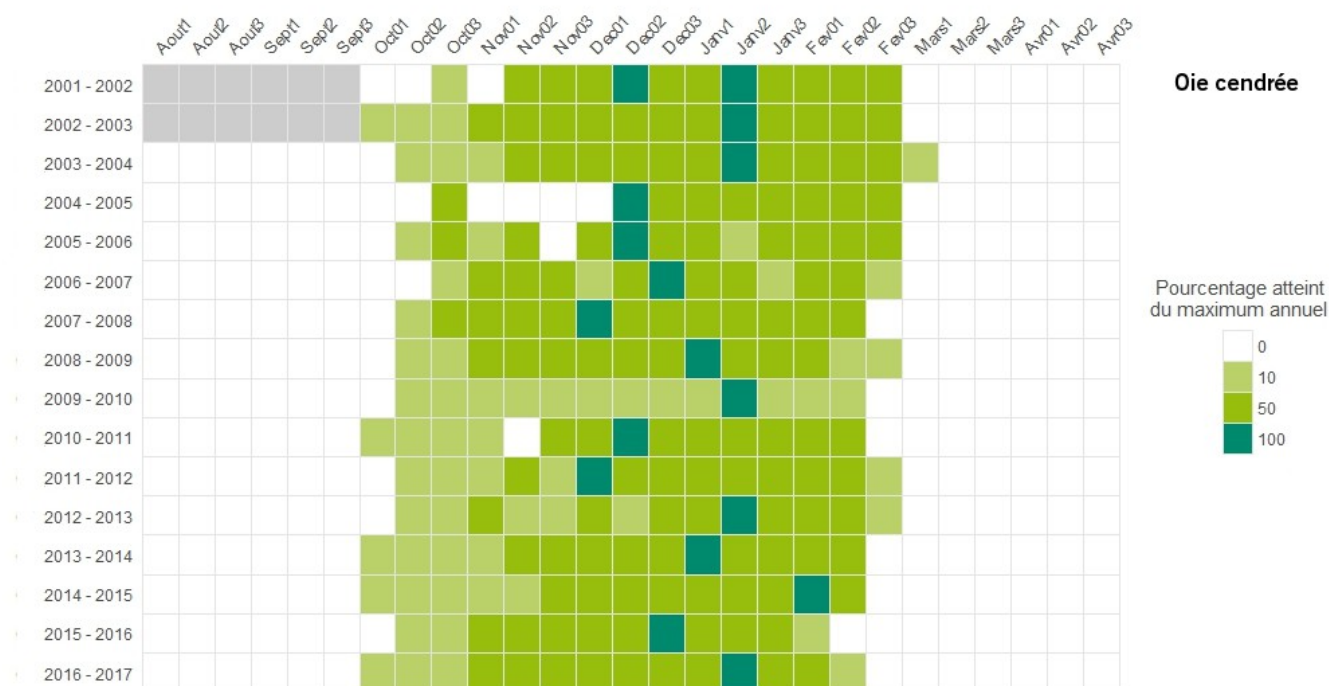


Figure 24g : Graphique représentant le seuil de population d'Oie cendrée atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.

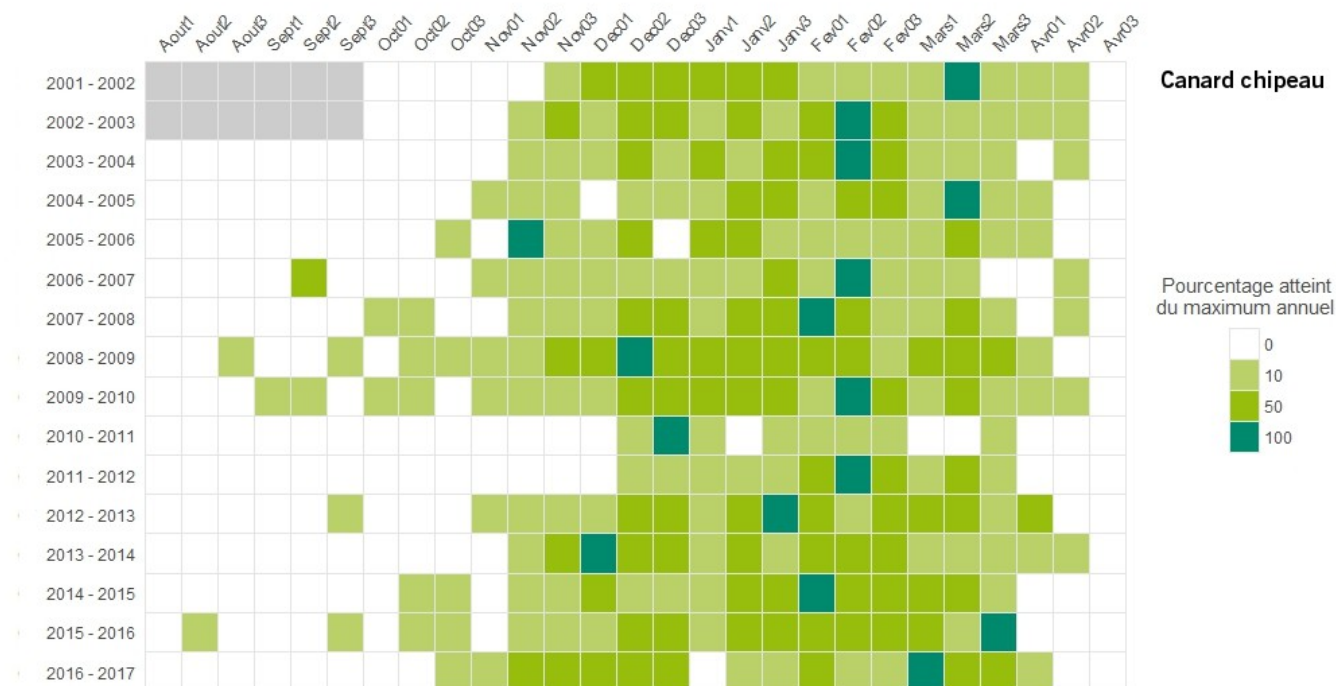


Figure 24h : Graphique représentant le seuil de population de Canard chipeau atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.

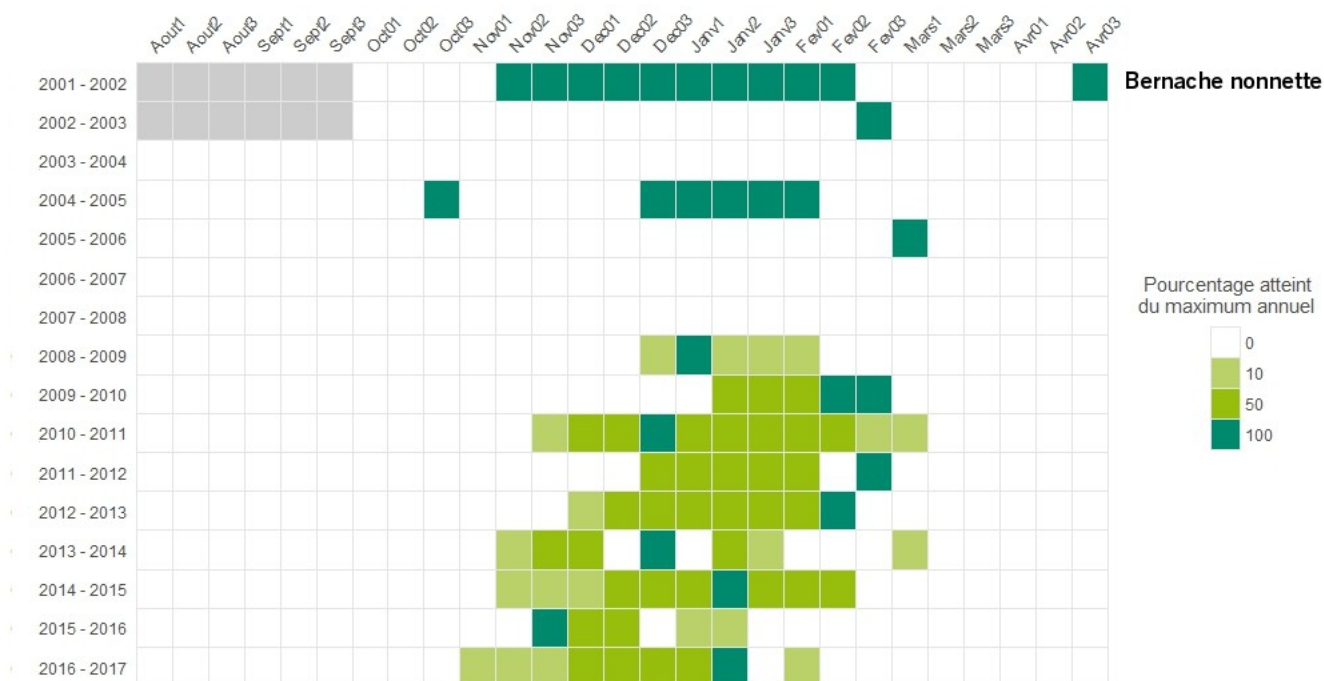


Figure 24i : Graphique représentant le seuil de population de Bernache nonnette atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.

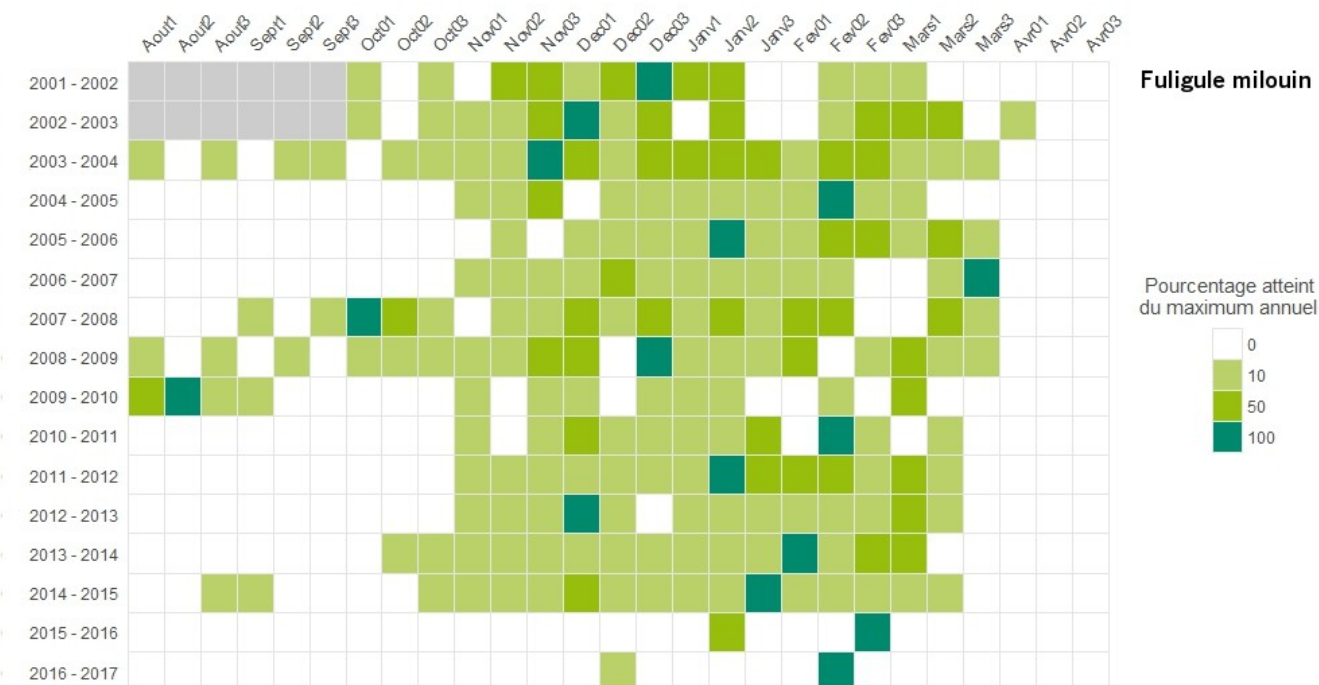


Figure 24j : Graphique représentant le seuil de population de Fuligule milouin atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.

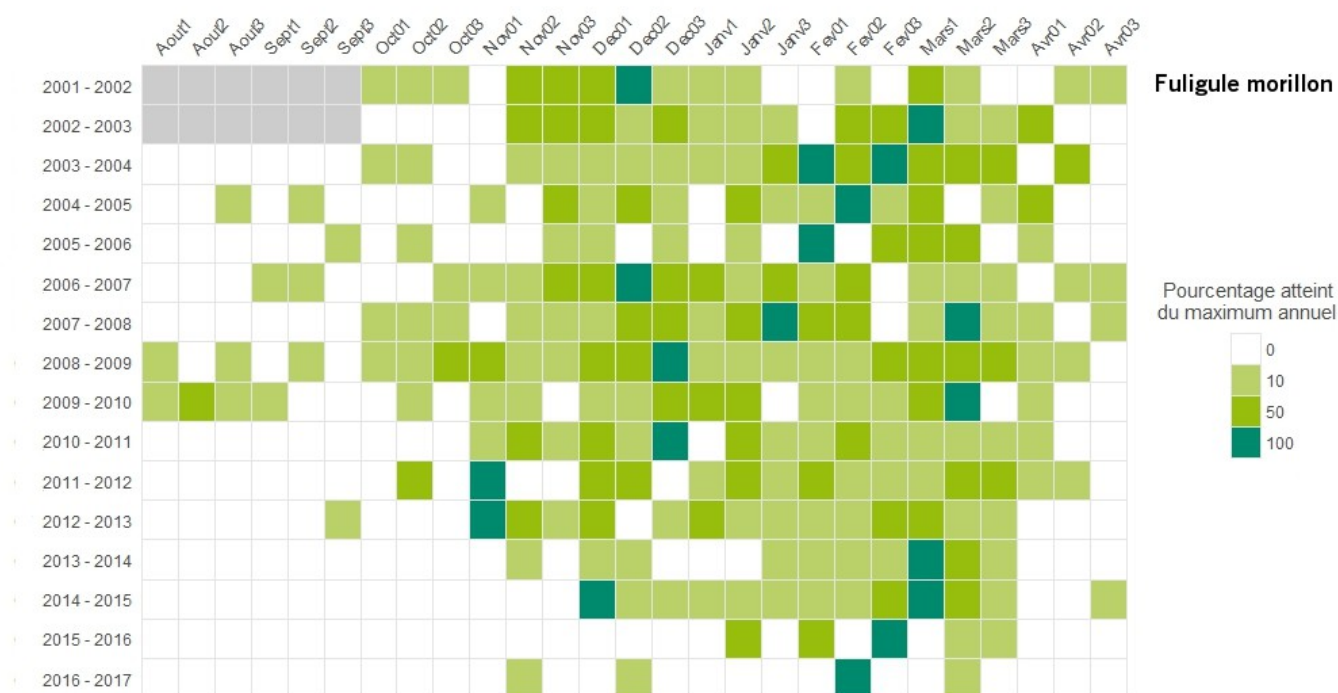


Figure 24k : Graphique représentant le seuil de population de Fuligule morillon atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.

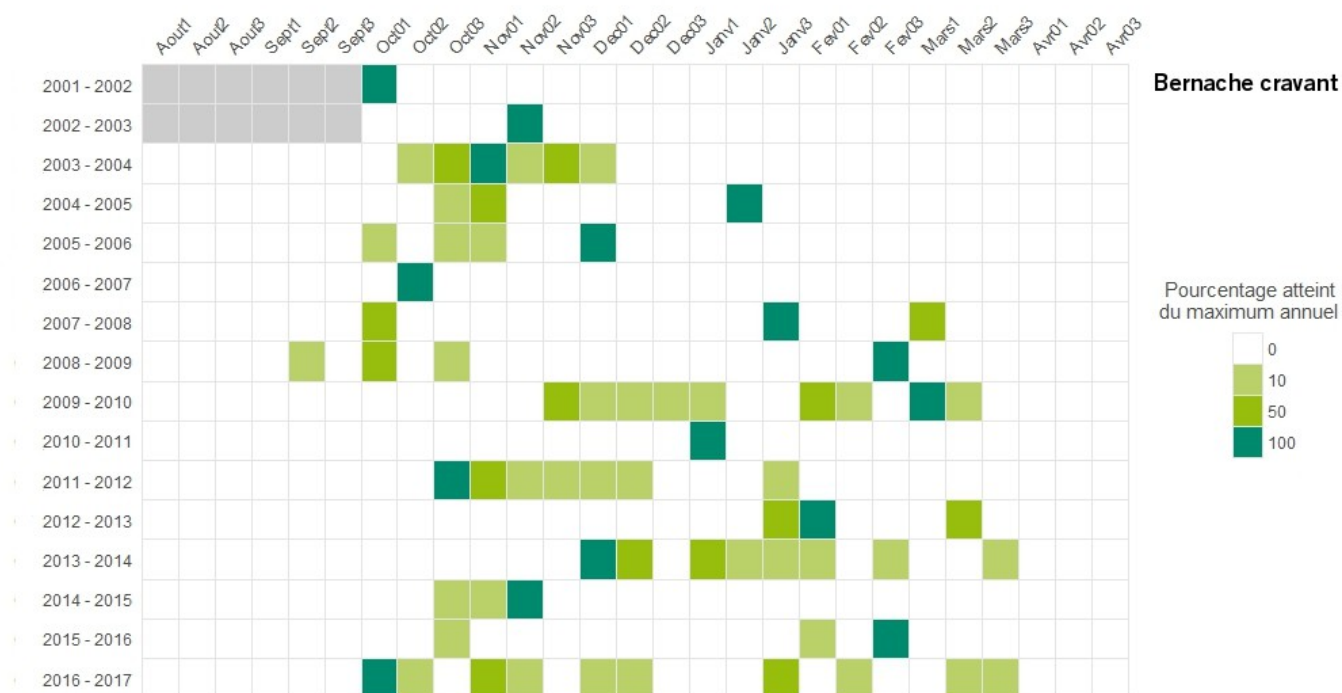


Figure 24l : Graphique représentant le seuil de population de Bernache cravant atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.

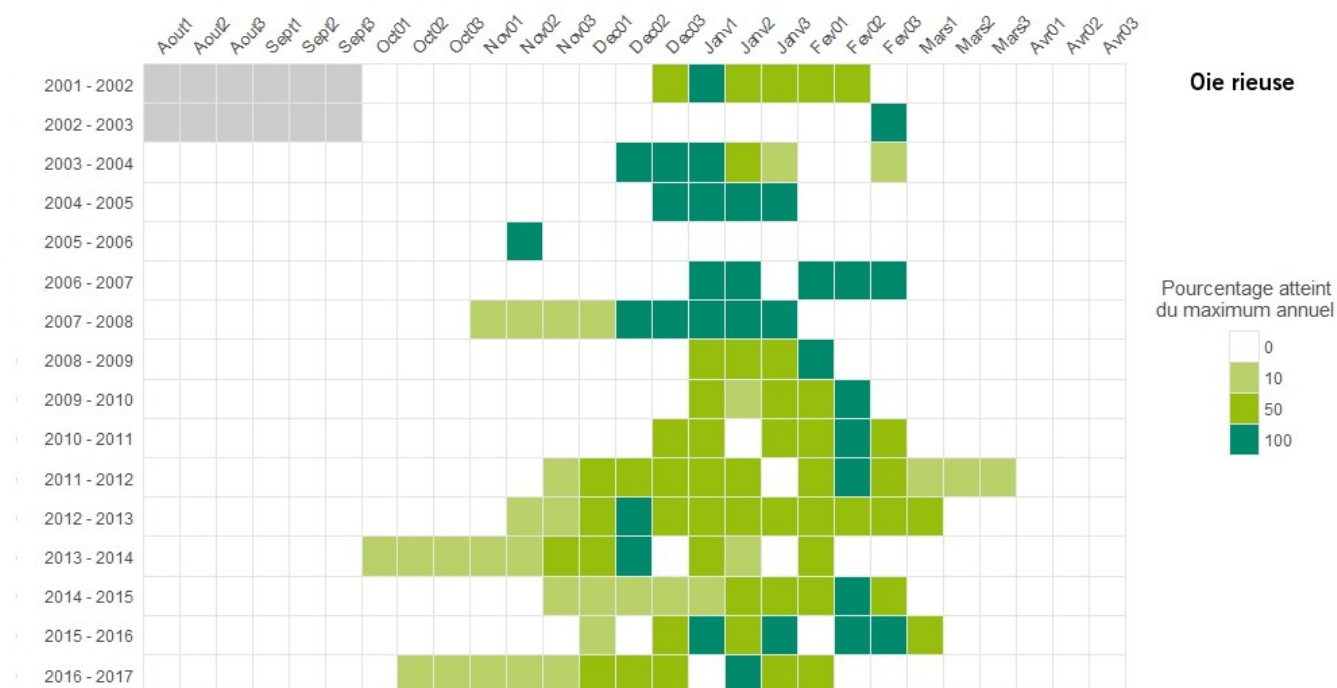


Figure 24m : Graphique représentant le seuil de population d'Oie rieuse atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.

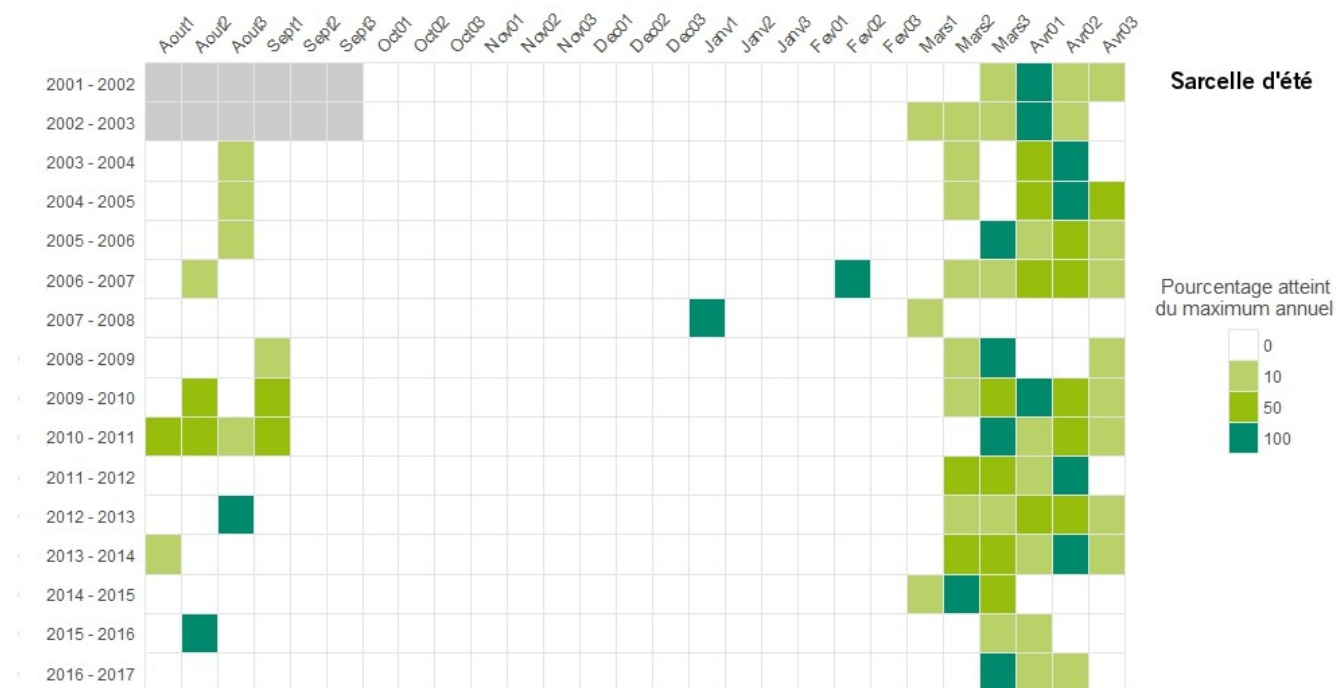


Figure 24n : Graphique représentant le seuil de population de Sarcelle d'été atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.

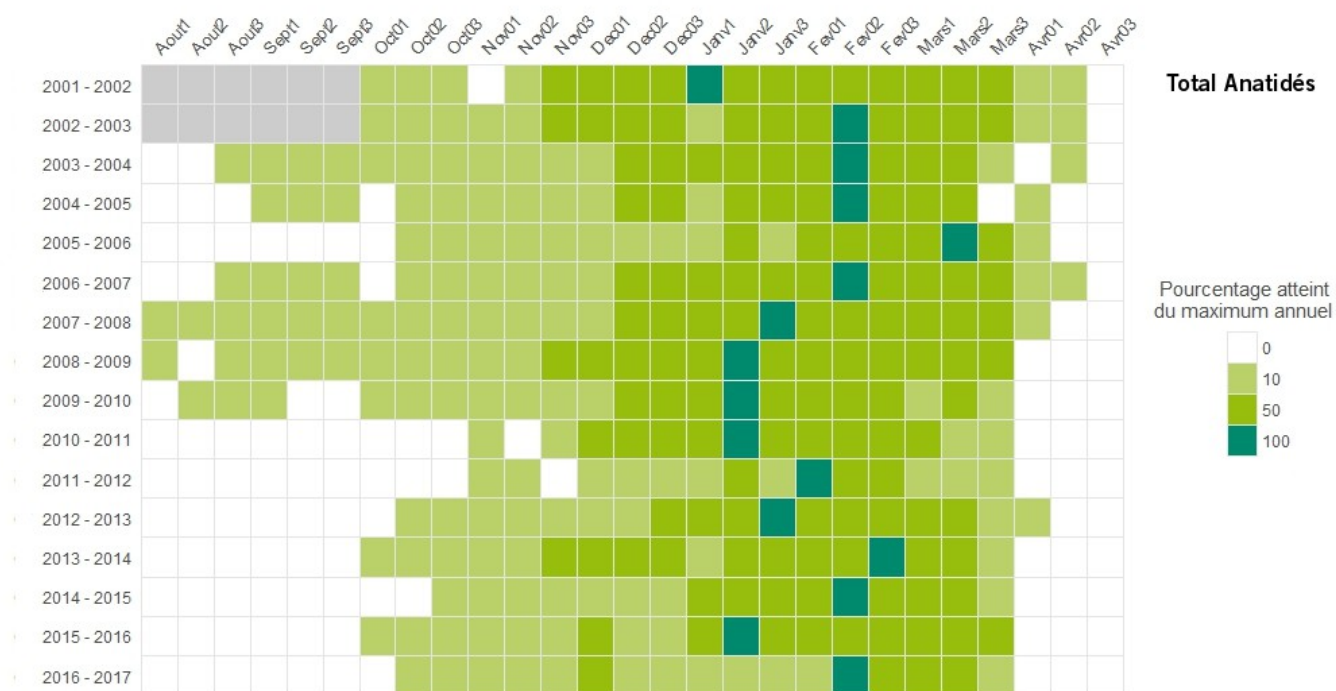


Figure 24o : Graphique représentant le seuil de population d'Anatidés atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.

2.5. Analyse des communautés

a. Similitudes entre remises :

On constate d'emblée sur la Figure 25 ci-dessous la particularité du peuplement de la Baie des Veys qui n'est pas une remise à proprement parler et dont la communauté est principalement composée de Bernaches cravants, taxon à affinité bien plus maritime. On remarque pour la carrière de Fresville une communauté peu diversifiée et peu équitablement répartie (cf. Indices de biodiversité de Shannon et Indice d'équitabilité de Pielou), avec la part prépondérante du Canard colvert et de la Foulque macroule. Les Ponts d'Ouve et la RCFS des Bohons sont très similaires, avec une grande contribution de la Sarcelle d'hiver, une plus faible du Canard colvert et de faibles scores pour les variables synthétiques caractérisant les communautés. Le peuplement de la Vallée de la Douve semble assez singulier, du fait de la forte densité atteinte par le Canard siffleur et le Canard pilet par rapport à la Sarcelle d'hiver. Les cinq autres remises sont assez semblables, avec une forte part de la Sarcelle d'hiver et de quelques autres taxons. On distingue tout de même la communauté assez peu diversifiée de Geffosses ainsi que la présence des Oies et Bernaches dans la communauté du Polder de Sainte-Marie, à l'origine en partie d'un Indice de biodiversité de Shannon et d'un indice d'équitabilité de Pielou élevés.

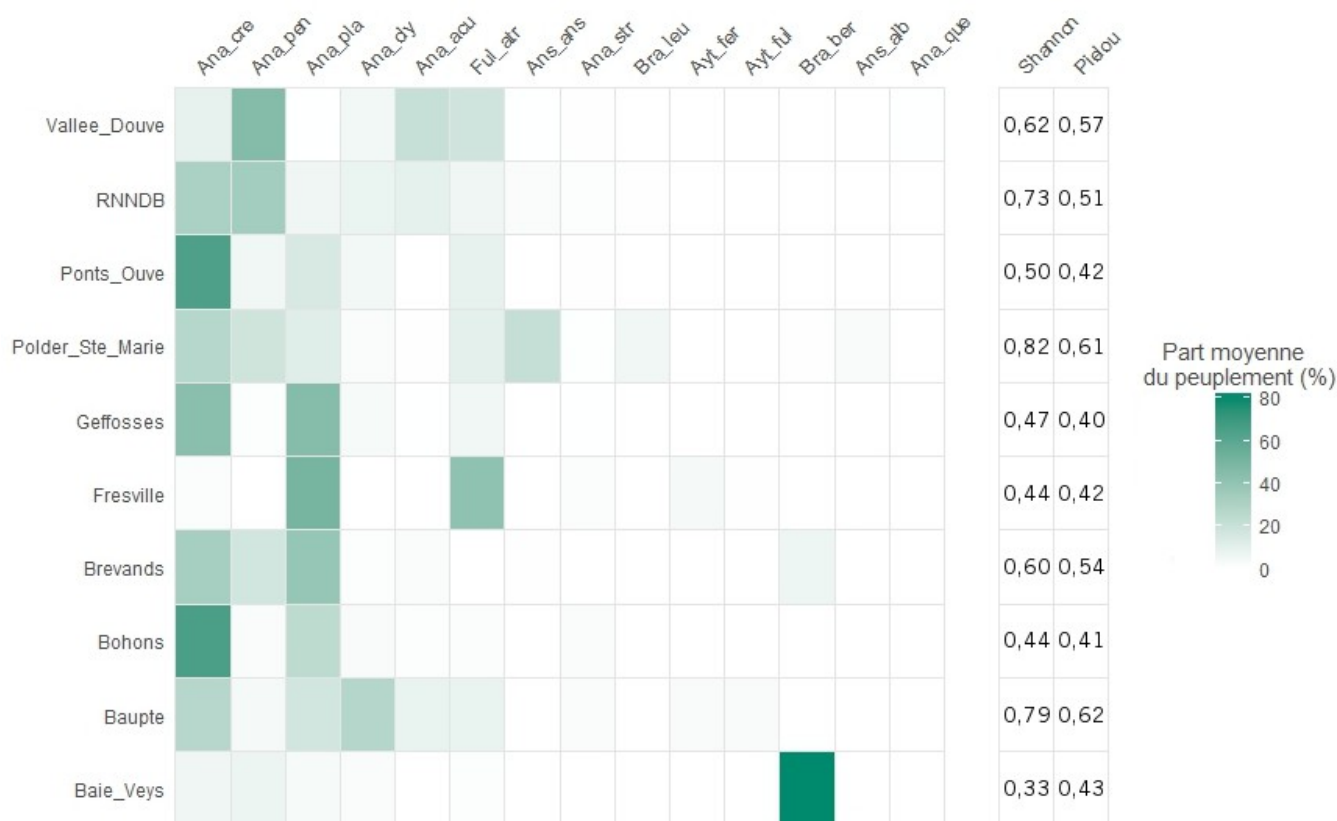


Figure 25 : Graphique représentant pour chaque remise la part moyenne dans le peuplement annuel des 14 espèces principales ainsi que l'indice de biodiversité de Shannon et l'indice d'équitabilité de Pielou

Nous avons ensuite réalisé une Analyse en Composantes Principales suivie d'une Classification Ascendante Hiérarchique sur les données utilisées pour produire le graphique présenté Figure 25 ci-avant (les variables synthétiques ne sont pas utilisées). Cette première ACP, comme on pouvait s'y attendre, sépare la Baie des Veys des autres remises du fait du peuplement très différent. On relance alors l'ACP en retirant du jeu de données la Baie des Veys. Le résultat est présenté dans la Figure 26 ci-dessous. On confirme en grande partie ce que la figure précédente laissait penser : la proximité entre la RCFS des Bohons et les Ponts d'Ouve ainsi que les peuplements atypiques de la carrière de Fresville et de la Vallée de la Douve.

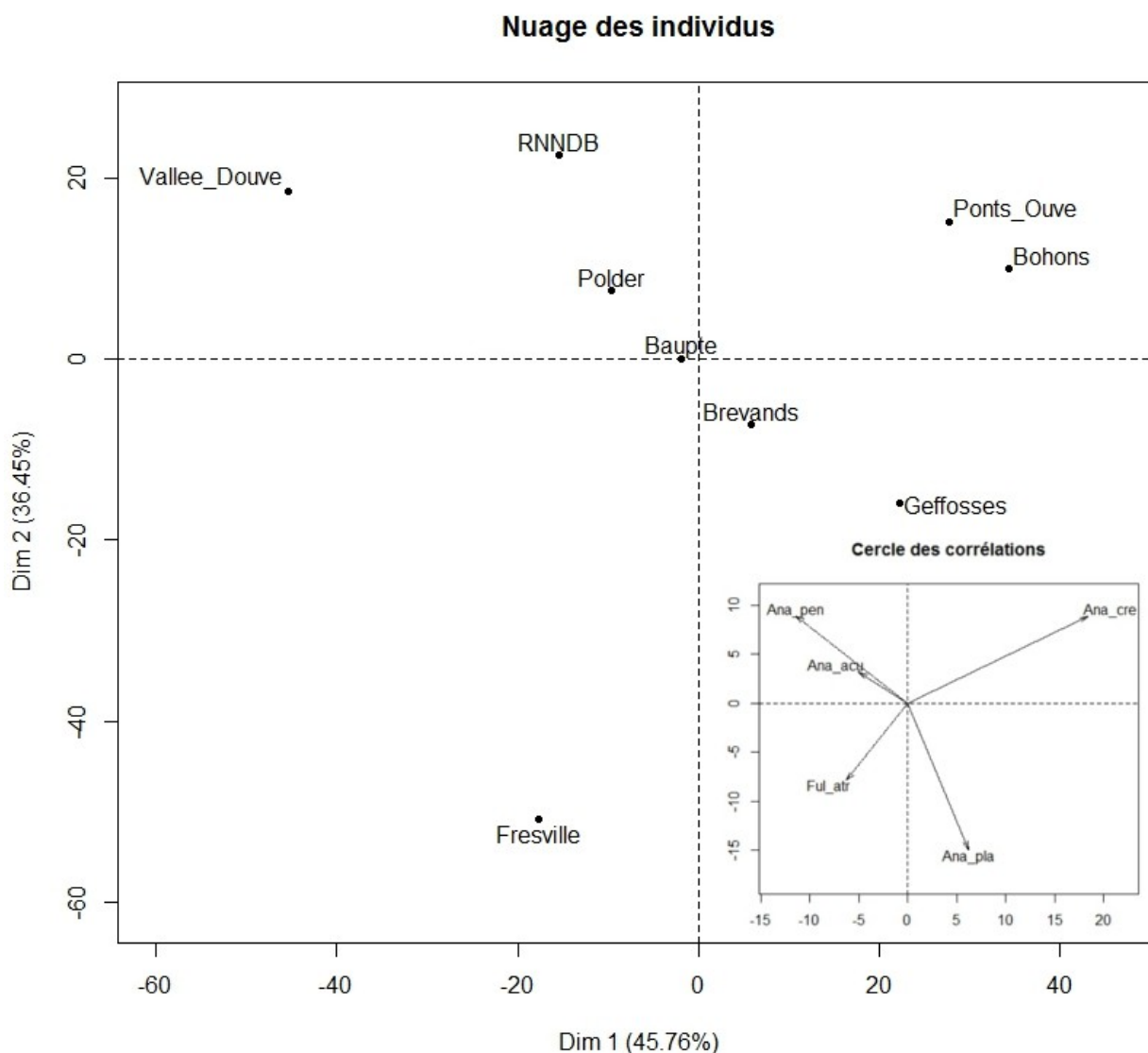


Figure 26 : Nuage d'individus et cercle des corrélations (coin inférieur droit) de la seconde ACP réalisée à partir de la part moyenne des 14 espèces principales dans le peuplement annuel de chaque remise. Afin d'en faciliter la lecture, seuls les cinq taxons les mieux projetés sont représentés.

En outre il semblerait que le groupe constitué par les cinq autres remises ne soit pas aussi homogène que l'on pouvait le penser. En effet on constate sur la Figure 27 ci-dessous que les peuplements de la Réserve Naturelle Nationale du Domaine de Beauguillot et du Polder de Sainte-Marie sont très proches l'un de l'autre et également similaires à celui de la Vallée de la Douve. De même, la Tourbière de Baupte et Brévands présentent une forte proximité alors que Geffosses est un peu plus à part.

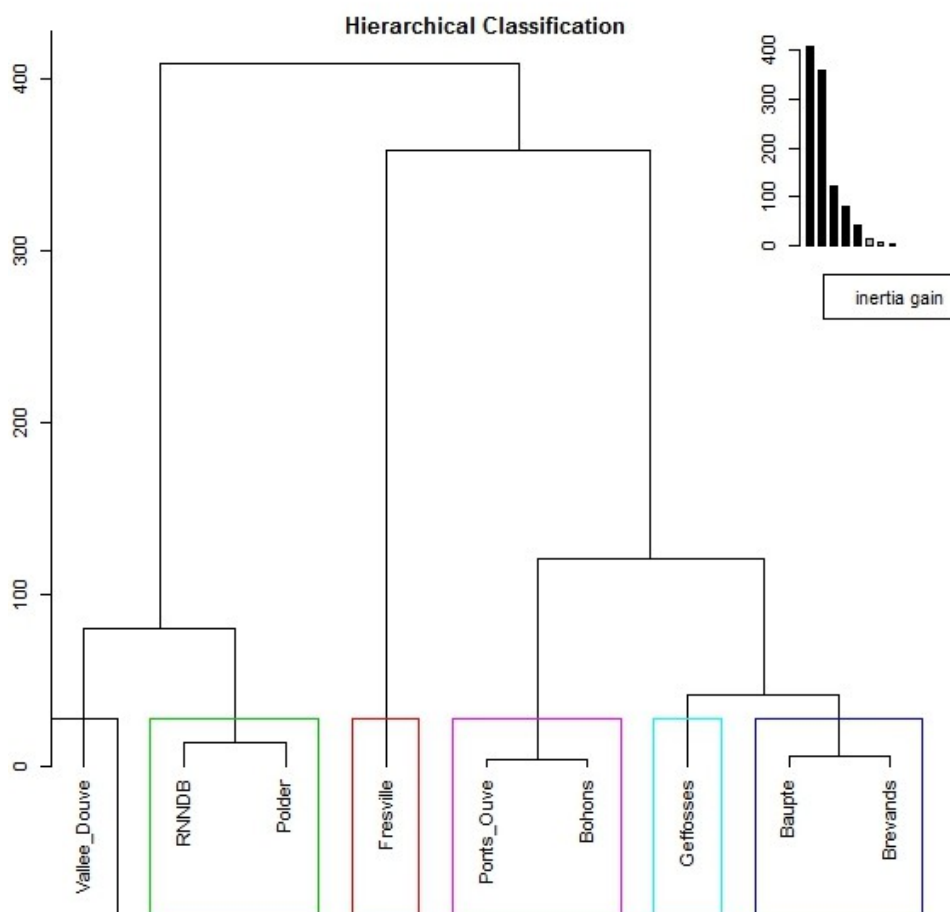


Figure 27 : Dendrogramme obtenu à partir de la Classification Ascendante Hiérarchique réalisée à partir de la seconde ACP. Les rectangles de couleur représentent les 6 groupes déterminés par la méthode

b. Analyse spatio-temporelle :

Les cartes présentées Figures 28 à 31 dans les pages suivantes permettent d'appréhender les différences de peuplements entre périodes de l'année. En ce qui concerne le peuplement totalisant l'ensemble des individus recensés, on retrouve en Vallée de la Douve la forte proportion de Canards siffleurs et la quasi-absence de Sarcelles d'hiver alors que cette dernière est très présente au sein de la plupart des remises. La carrière de Fresville semble essentiellement utilisée par les oiseaux permanents que sont la Foulque macroule et le Canard colvert. On constate également la forte proportion du Canard pilet en Vallée de la Douve ainsi que du Canard souchet sur la Tourbière de Baupte.

La répartition des espèces au sein du peuplement en période d'hivernage est très similaire à celle présentée pour le peuplement total, bien que la part des espèces permanentes soit plus faible au profit des espèces migratrices ou hivernantes. On retrouve les remises majeures que sont le complexe RNNDB – Polder, la Vallée de la Douve, la Tourbière de Baupte et la RCFS des Bohons en termes de nombre d'individus toutes espèces confondues. En période post-nuptiale, on remarque l'importance des Oies et Bernaches dans la communauté d'anatidés du Polder de Sainte-Marie-du-Mont. On observe également la plus grande contribution des espèces permanentes, à savoir la Foulque macroule et le Canard colvert, certaines espèces hivernantes comme la Sarcelle d'hiver ou le Canard siffleur étant moins présentes à cette époque voire même quasi-absente comme le Canard pilet. Enfin on constate en période pré-nuptiale la forte progression du Canard pilet et celle plus modeste du Canard souchet, dont les phénologies sont plus tardives, au détriment d'espèces dont le départ de l'unité fonctionnelle est plus précoce comme le Canard siffleur et la Sarcelle d'hiver.

Il est intéressant de relever que les différences d'effectifs entre les remises les moins occupées et les plus occupées augmentent au cours d'un cycle, puisque l'écart est le plus faible en période de migration post-nuptiale et le plus élevé en migration pré-nuptiale. On remarque que l'importance relative de la Vallée de la Douve et de la Réserve de Chasse et de Faune Sauvage des Bohons est également croissante au cours du cycle, avec un total d'effectifs se rapprochant de ceux de Beauguillot et dépassant ceux du Polder de Sainte-Marie en période de migration pré-nuptiale alors qu'ils y étaient sensiblement équivalents en hiver et inférieurs en période post-nuptiale.

Remises diurnes - Peuplement total

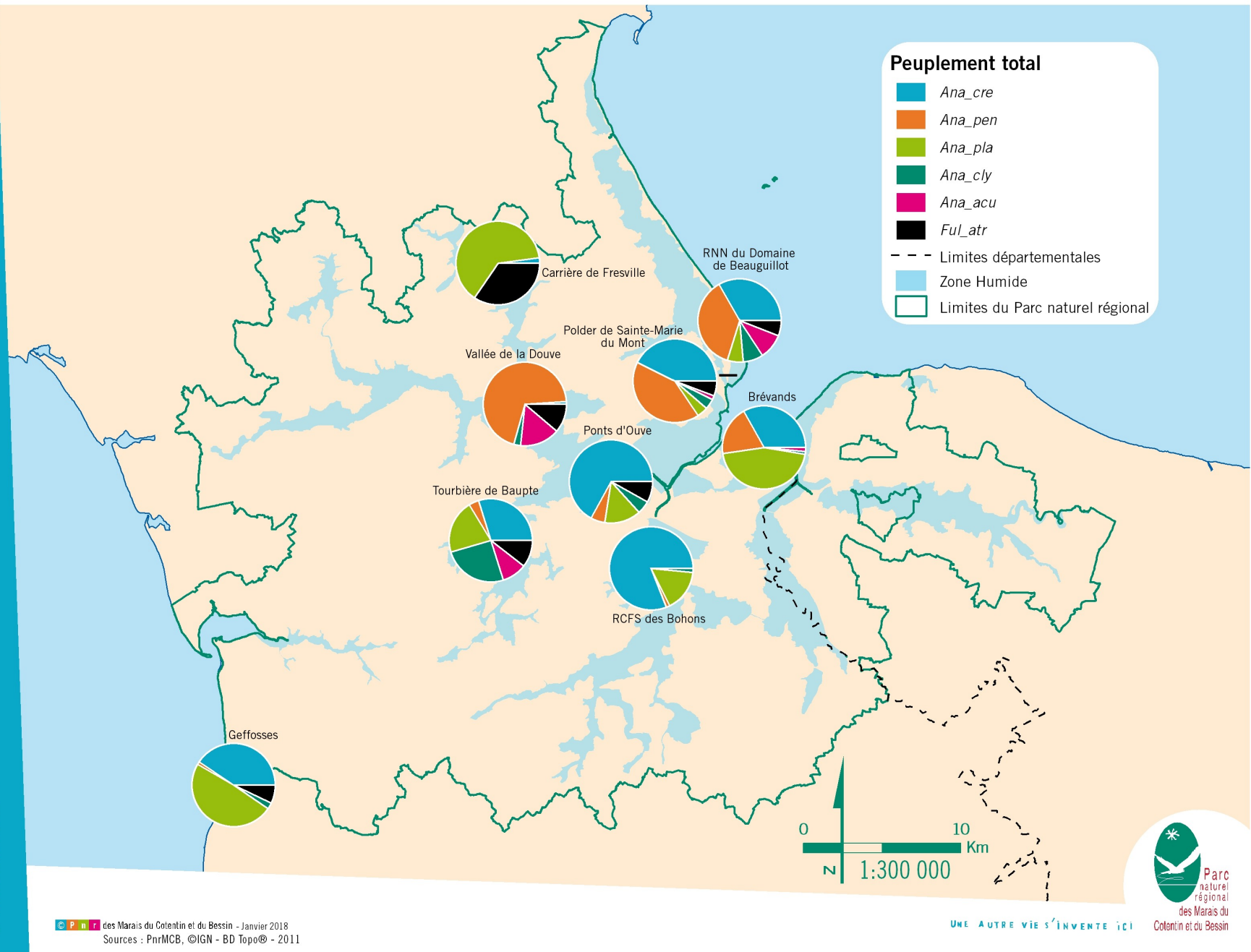


Figure 28 : Carte présentant la répartition des espèces principales au sein du peuplement total de chaque remise. « Ana_cre » signifie *Anas crecca*, « Ana_pen » *Anas penelope*, « Ana_pla » *Anas platyrhynchos*, « Ana_cly » *Anas clypeata*, « Ana_acu » *Anas acuta* et « Ful_atr » *Fulicula atra*.

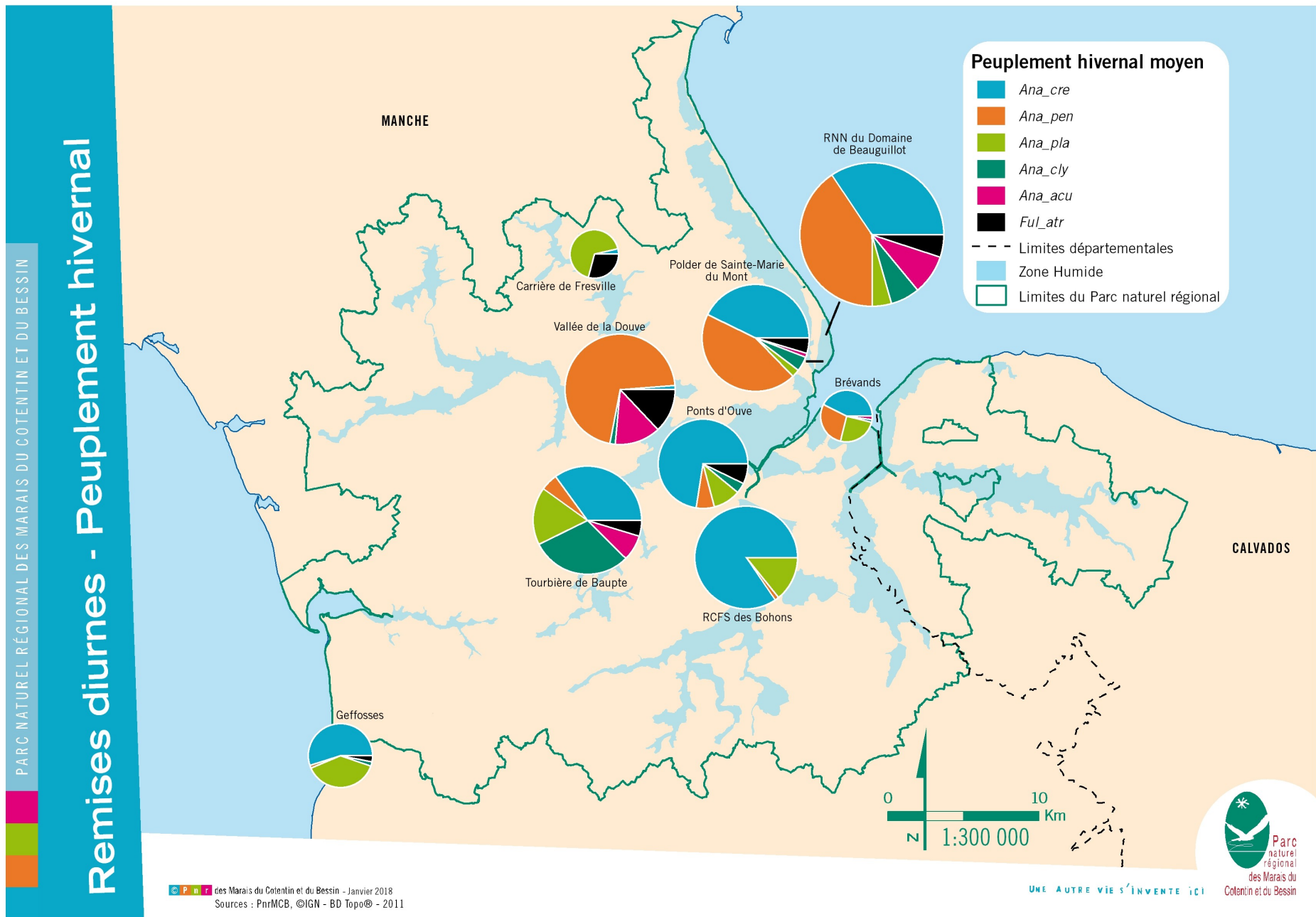


Figure 29 : Carte présentant la répartition des espèces principales au sein du peuplement hivernal moyen de chaque remise. « Ana_cre » signifie *Anas crecca*, « Ana_pen » *Anas penelope*, « Ana_pla » *Anas platyrhynchos*, « Ana_cly » *Anas clypeata*, « Ana_acu » *Anas acuta* et « Ful_atr » *Fulicula atra*. La taille des diagrammes est proportionnelle au nombre d'individus total au sein du peuplement (échelle racine carré).

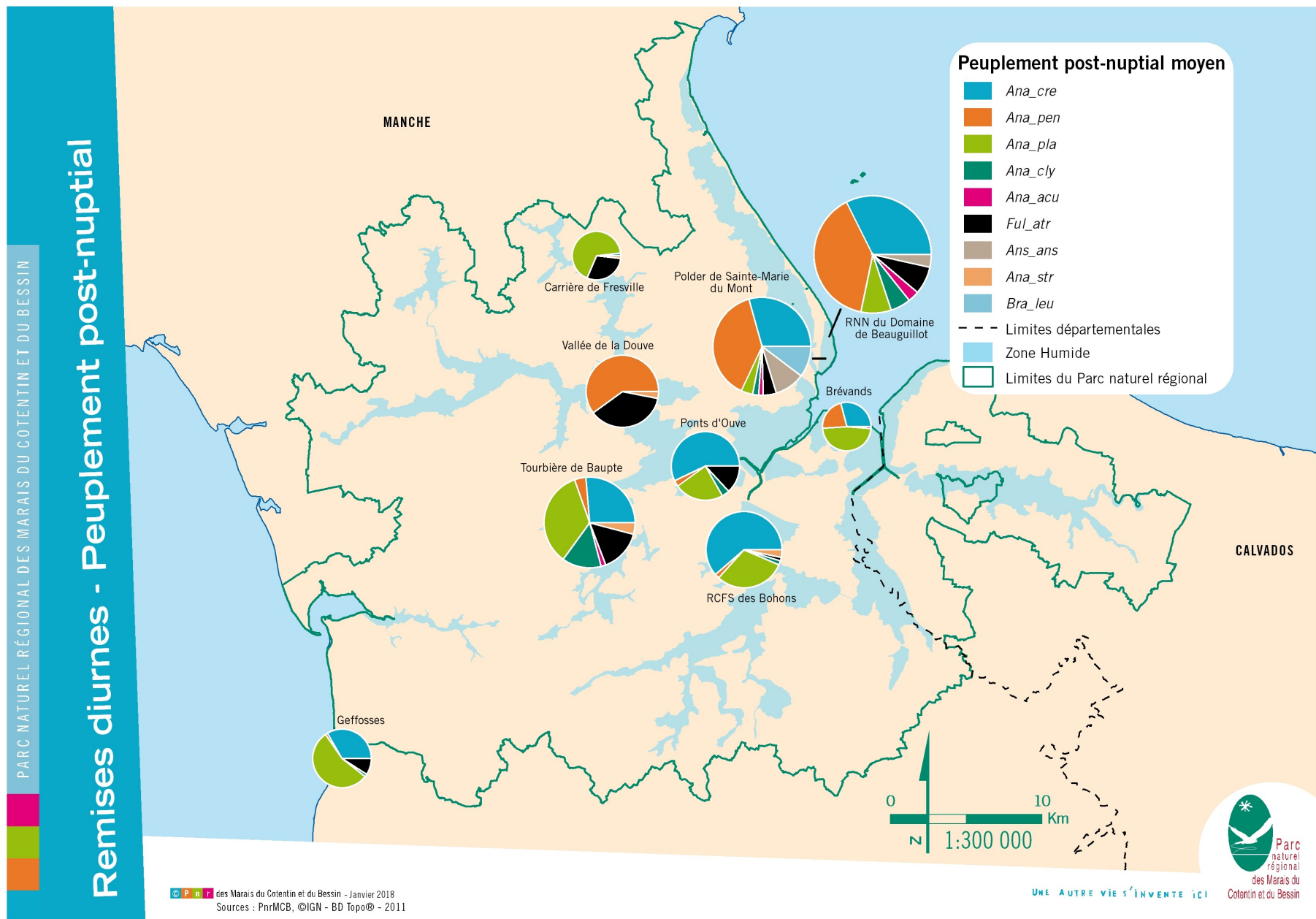


Figure 30 : Carte présentant la répartition des espèces principales au sein du peuplement post-nuptial moyen de chaque remise. « Ana_cre » signifie *Anas crecca*, « Ana_pen » *Anas penelope*, « Ana_pla » *Anas platyrhynchos*, « Ana_cly » *Anas clypeata*, « Ana_acu » *Anas acuta*, « Ful_atr » *Fulicula atra*, « Ans_ans » *Anser anser*, « Ana_str » *Anas strepera* et « Bra_leu » *Branta leucopsis*. La taille des diagrammes est proportionnelle au nombre d'individus total au sein du peuplement (échelle racine carré).

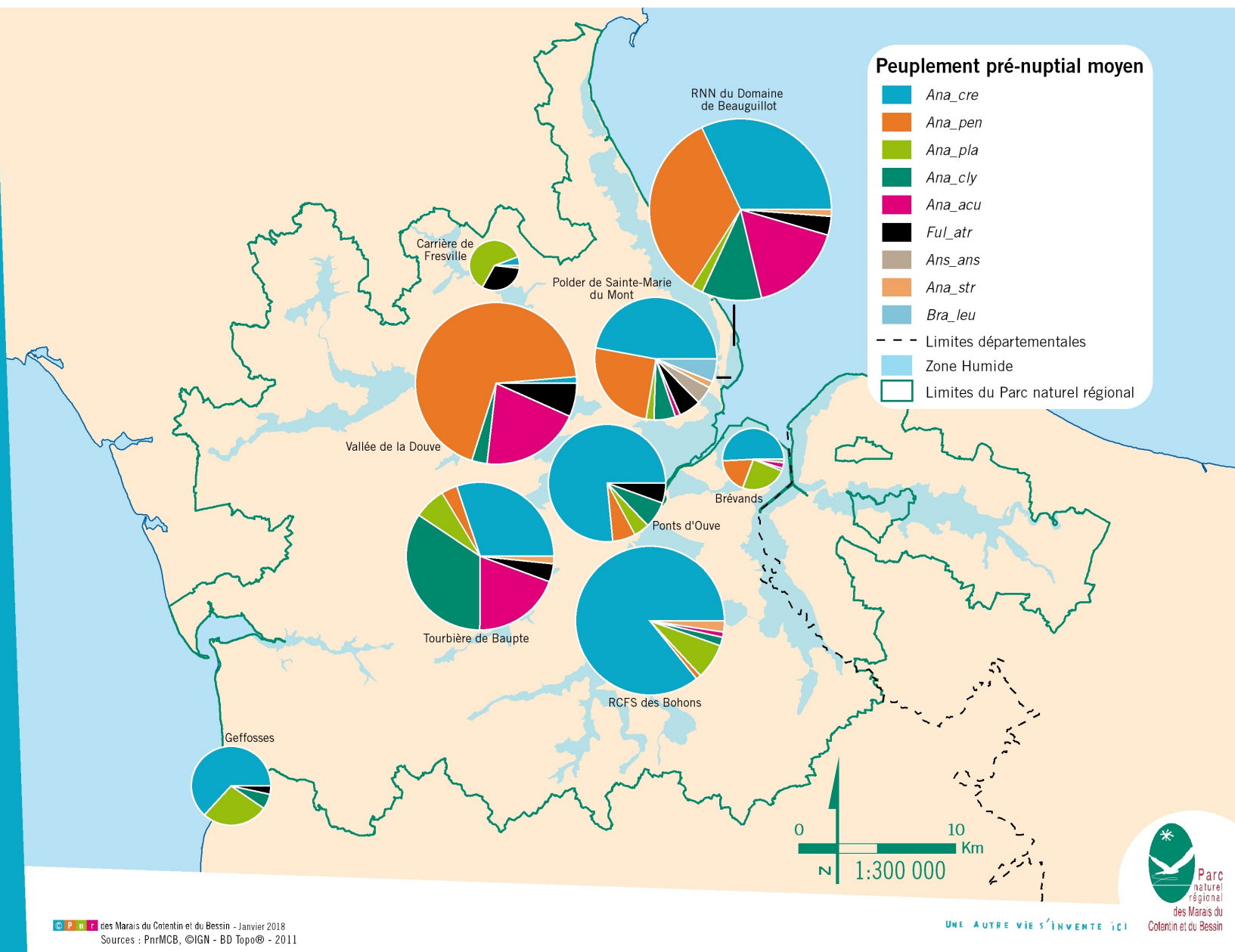


Figure 31 : Carte présentant la répartition des espèces principales au sein du peuplement pré-nuptial moyen de chaque remise. « Ana_cre » signifie *Anas crecca*, « Ana_pen » *Anas penelope*, « Ana_pla » *Anas platyrhynchos*, « Ana_cly » *Anas clypeata*, « Ana_acu » *Anas acuta*, « Ful_atr » *Fulicula atra*, « Ans_ans » *Anser anser*, « Ana_str » *Anas strepera* et « Bra_leu » *Branta leucopsis*. La taille des diagrammes est proportionnelle au nombre d'individus total au sein du peuplement (échelle racine carré).

2.6. Evolution de la répartition spatiale

Plutôt que d'étudier l'évolution des peuplements de chaque remise au cours du temps, comme nous l'avons précédemment fait pour l'évolution au cours d'un cycle, nous avons choisi de plutôt étudier l'évolution de la contribution de chaque remise pour les effectifs des espèces principales.

Sur la Figure 32 ci-dessous, on remarque tout d'abord l'importance de la RNNDB et de la RCFS des Bohons pour la Sarcelle d'hiver, la première remise étant la principale lors de la première moitié du suivi alors que lors de la seconde l'accueil augmente considérablement sur la RCFS des Bohons, dépassant largement les effectifs de la RNNDB. On constate également la diminution de la contribution aux effectifs de l'unité fonctionnelle pour la Tourbière de Baupte ainsi que celle extrêmement faible de la Vallée de la Douve qui est pourtant une remise importante au sein de l'unité pour d'autres espèces. Pour le Canard siffleur, le constat est assez similaire, avec une contribution de la RNNDB à plus de 80 % pour les premières années de suivi puis une explosion de la contribution de la Vallée de la Douve, devenant la remise principale pour cette espèce lorsque les milieux sont en eau. La contribution des autres remises, mise à part celle du Polder à partir de 2010, est mineure. On note que la répartition des effectifs de Canard colvert est assez homogène et les évolutions temporelles sont moins marquées que pour les deux espèces précédentes. On remarque toutefois une diminution relative des effectifs sur la Tourbière de Baupte et une augmentation sur la RCFS des Bohons. La part de Geffosses disparaît de façon soudaine du fait de l'arrêt du suivi de la remise lors des derniers cycles, tout comme pour la carrière de Fresville lors du dernier cycle étudié.

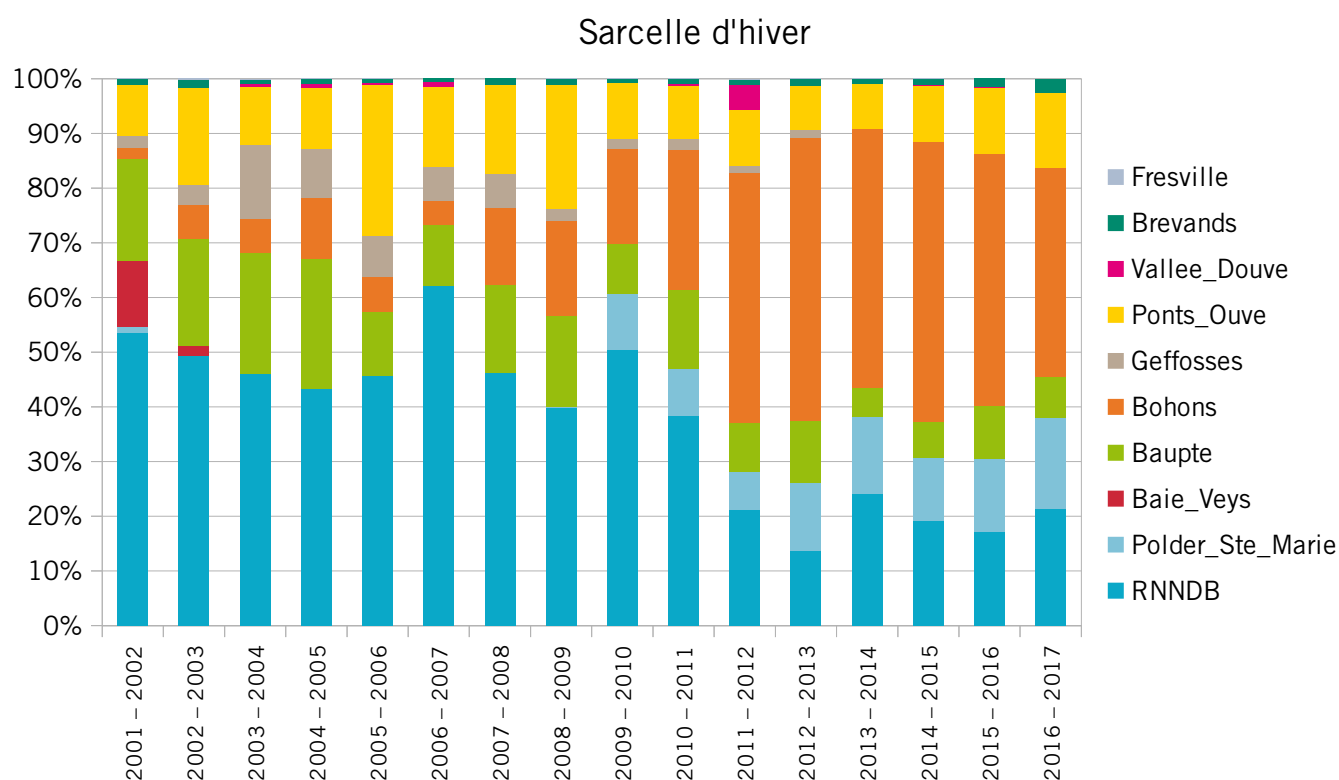


Figure 32a : Part moyenne de la Sarcelle d'hiver sur chaque remise diurne par cycle de suivi

Canard siffleur

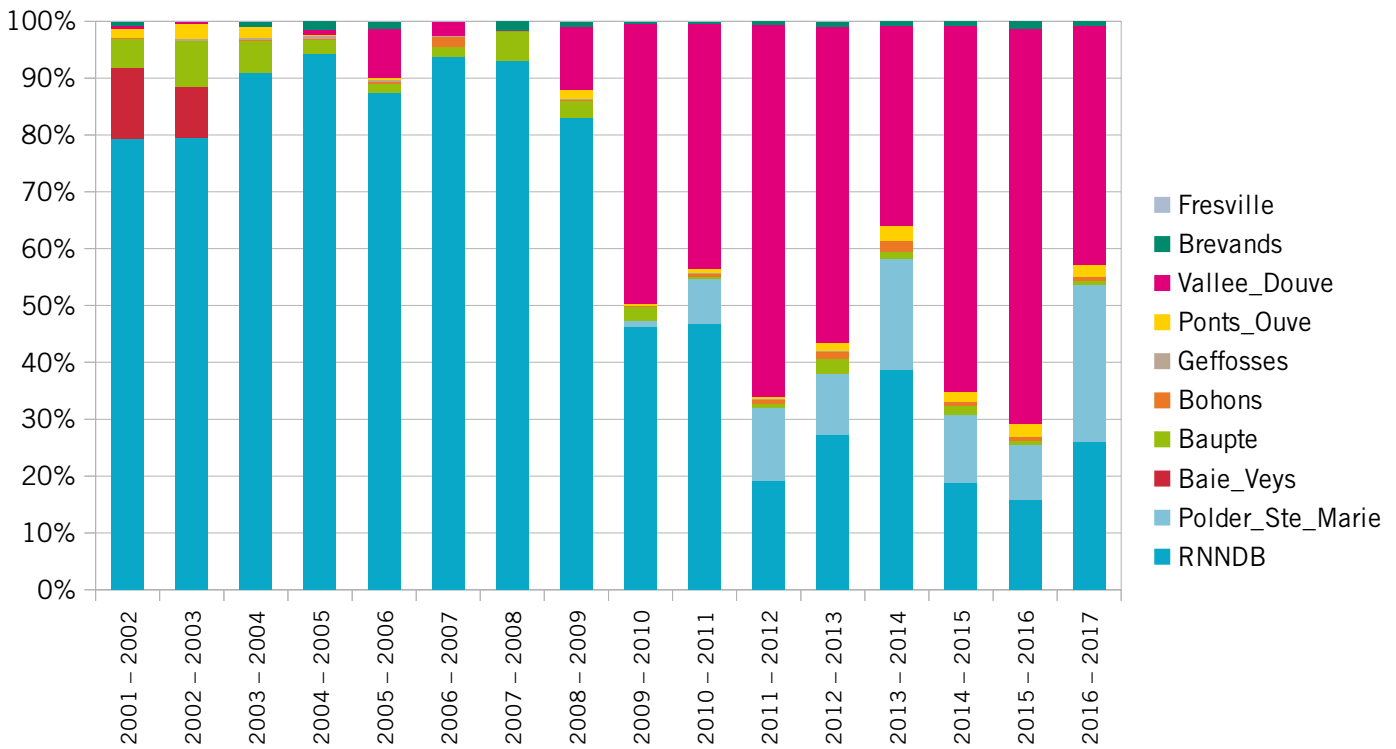


Figure 32b : Part moyenne du Canard siffleur sur chaque remise diurne par cycle de suivi

Canard colvert

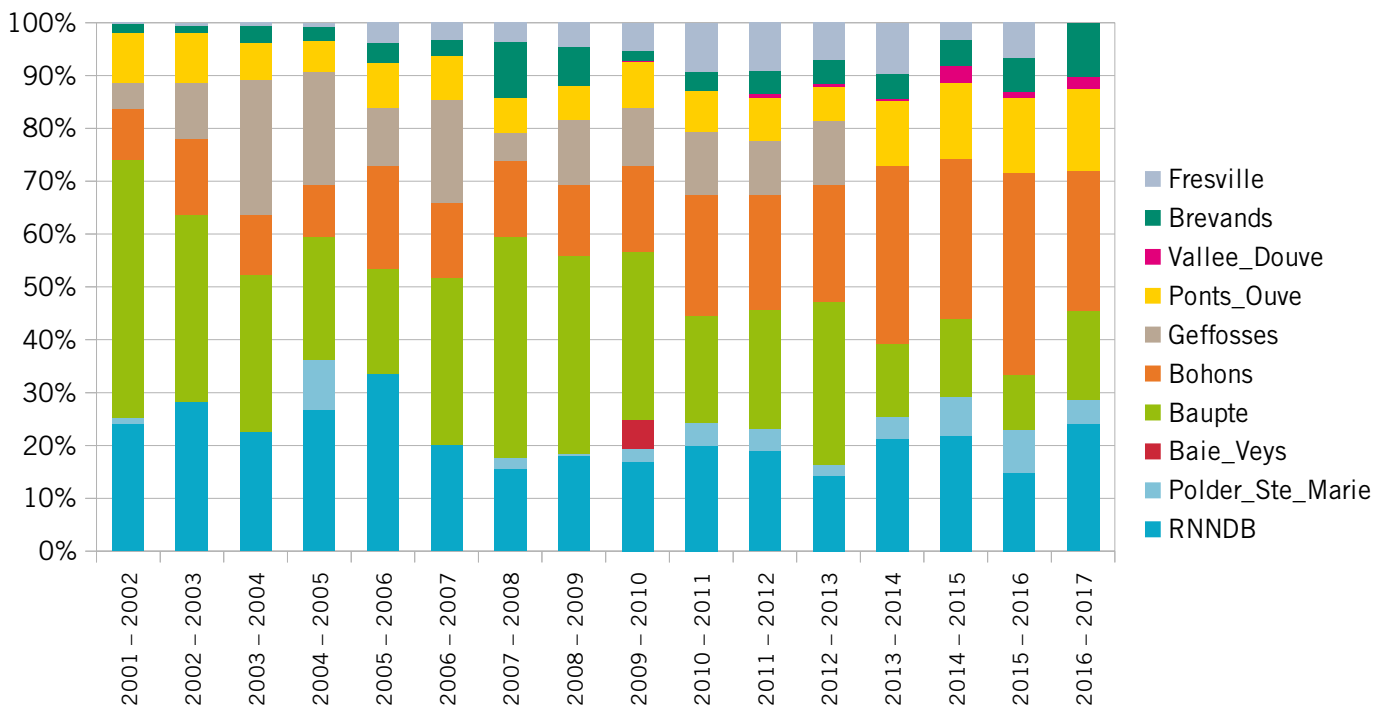


Figure 32c : Part moyenne du Canard colvert sur chaque remise diurne par cycle de suivi

Ci-dessous, on observe l'augmentation de la part relative de la Tourbière de Baupte dans l'accueil du Canard souchet au détriment de la RNNDB. La contribution des autres remises est négligeable. Contrairement aux espèces précédentes, la part du Canard pilet sur les remises principales, à savoir la Vallée de la Douve, la RNNDB et la Tourbière de Baupte, est extrêmement variable d'une année à l'autre.

Canard souchet

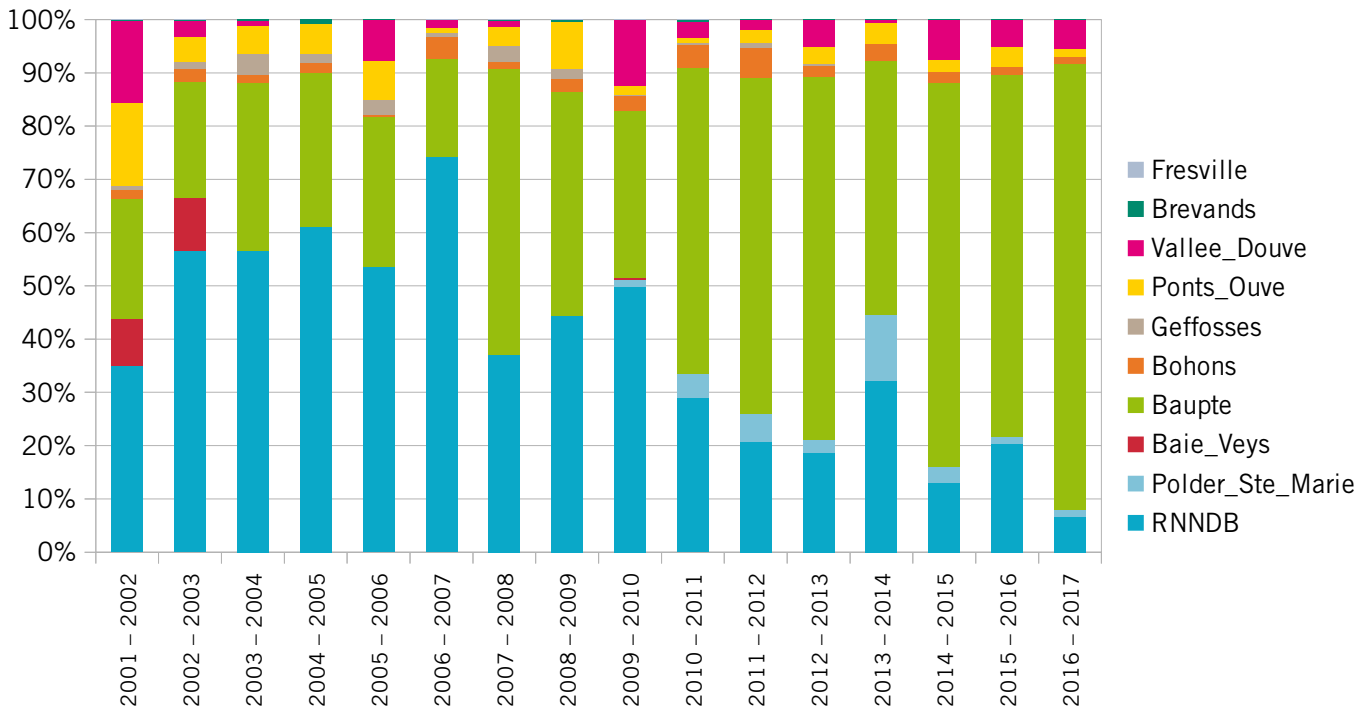


Figure 32d: Part moyenne du Canard souchet sur chaque remise diurne par cycle de suivi

Canard pilet

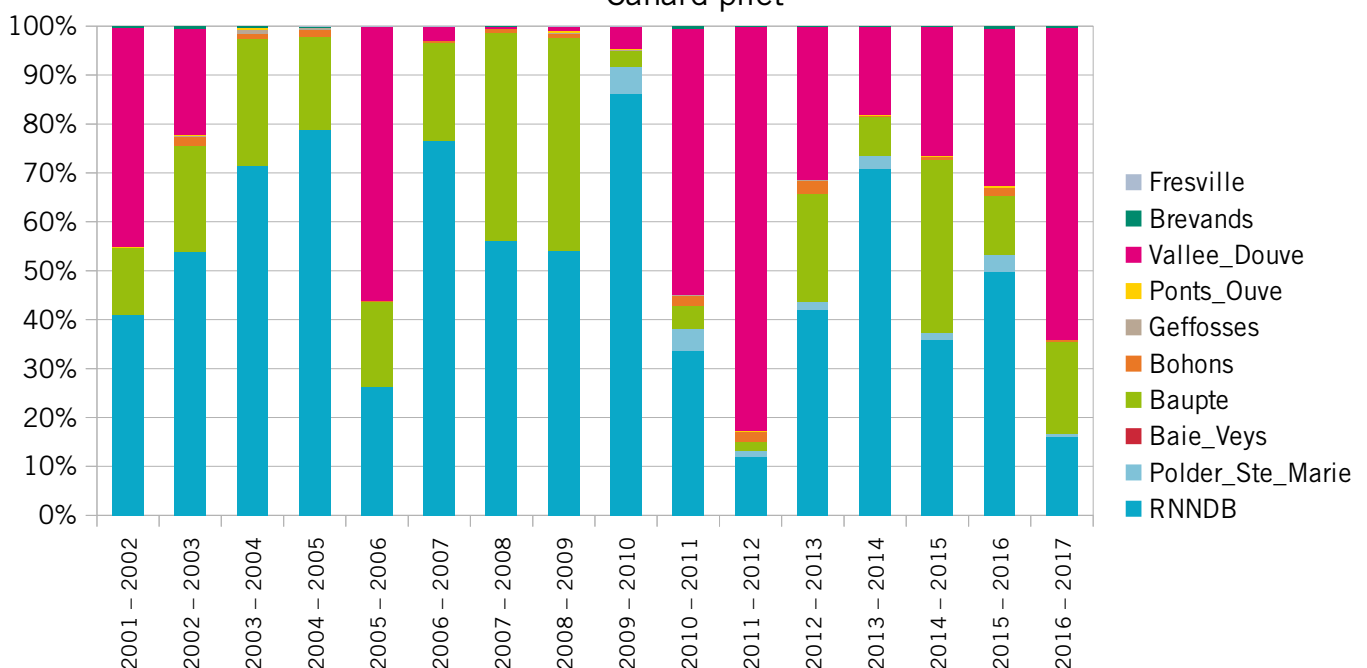


Figure 32e : Part moyenne du Canard pilet sur chaque remise diurne par cycle de suivi

En ce qui concerne la Foulque macroule, on remarque ci-dessous la forte diminution de la contribution aux effectifs de l'espèce de la Tourbière de Baupte concomitante avec l'augmentation de la part de la Vallée de la Douve. La contribution de la carrière de Fresville diminue également au cours du temps jusqu'à l'abandon du suivi de la remise. Sur la page suivante, on relève la contribution prépondérante du complexe RNNDB – Polder aux effectifs d'Oie cendrée de l'unité fonctionnelle et plus particulièrement la part relative au Polder de Sainte-Marie qui dépasse les 50 % huit fois lors des 10 derniers cycles. La forte présence lors d'un seul cycle de l'espèce en Vallée de la Douve est surprenante. Enfin le graphique du Canard chipeau est similaire à celui de la Sarcelle d'hiver : la contribution de la RCFS des Bohons augmente et celle de la Tourbière de Baupte diminue. On constate également une légère décroissance de la part de la Réserve Naturelle Nationale du Domaine de Beauguillot.

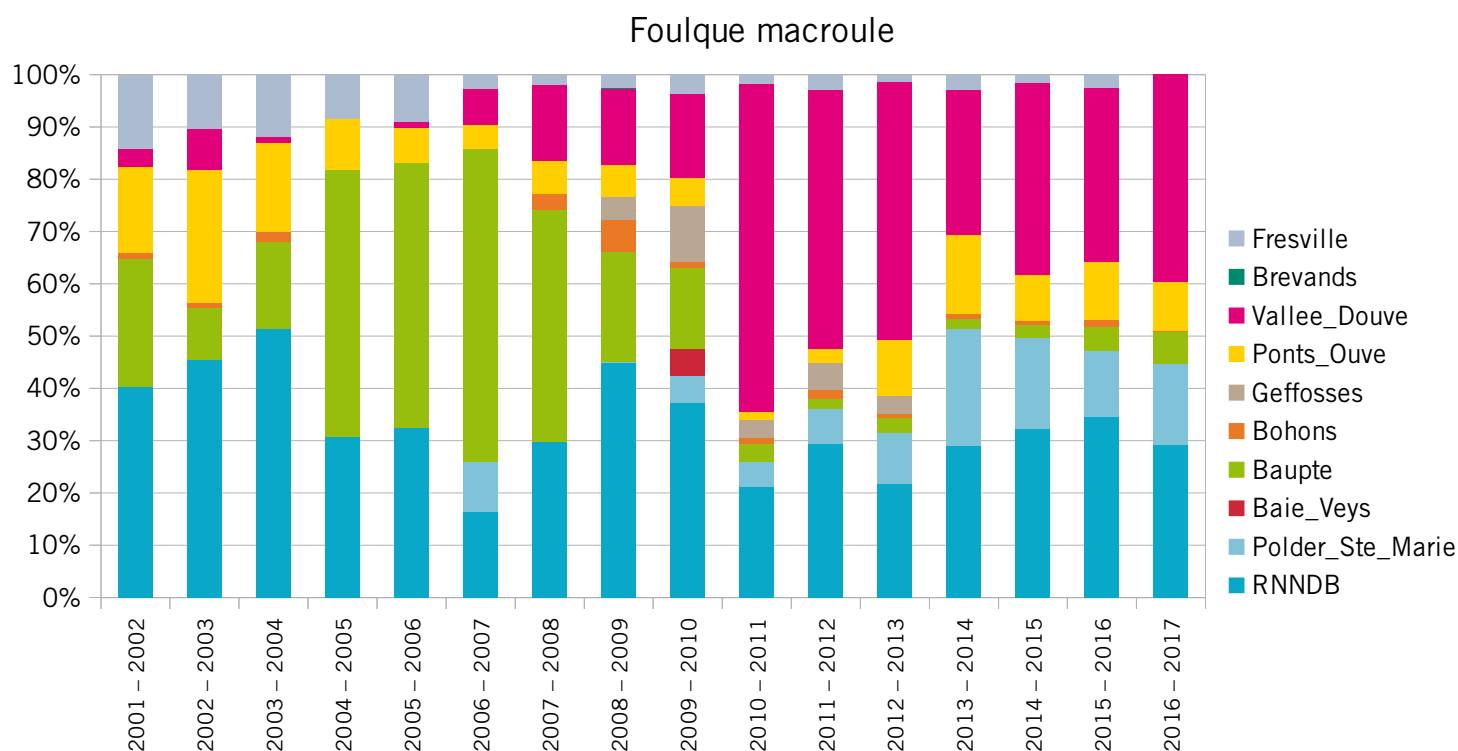


Figure 32f : Part moyenne de la Foulque macroule sur chaque remise diurne par cycle de suivi

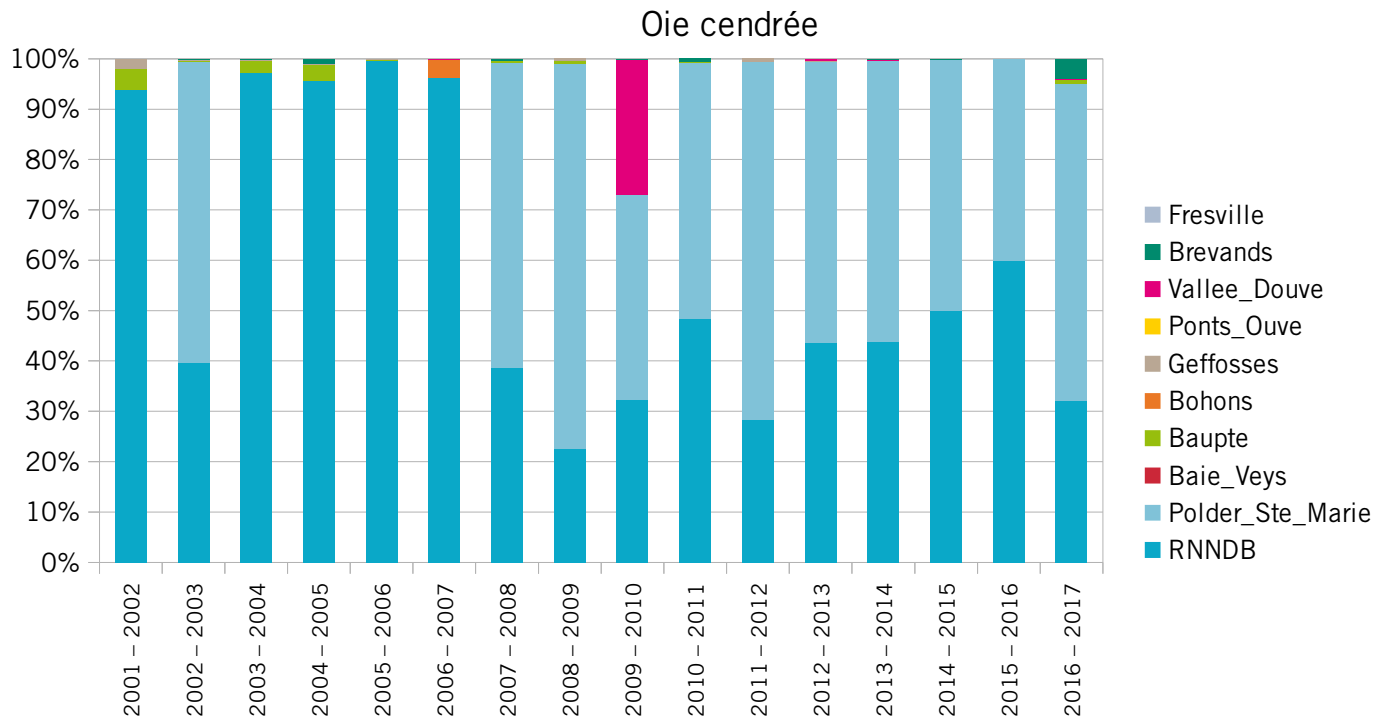


Figure 32g : Part moyenne de l'Oie cendrée sur chaque remise diurne par cycle de suivi

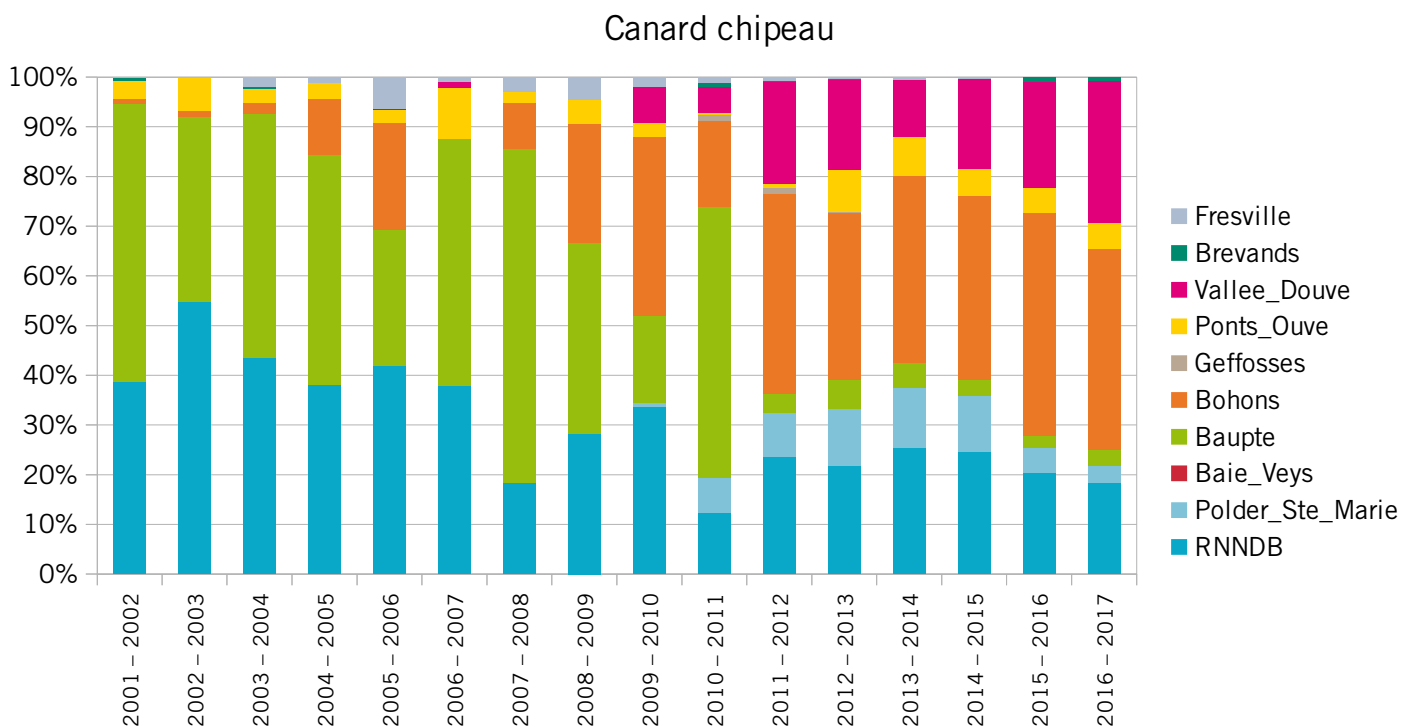


Figure 32h : Part moyenne de Canard chipeau sur chaque remise diurne par cycle de suivi

3. Discussion

3.1. Interprétation des résultats

a. Présentation générale :

On remarque la différence d'effectif très importante entre la Sarcelle d'été, située au 14^{ème} rang des espèces les plus observées et le Garrot à œil d'or situé au 15^{ème} rang puisque l'on divise les effectifs par vingt. Si l'on considère la Sarcelle d'été comme commune dans le cadre de ce protocole, il n'y a donc pas d'espèce réellement occasionnelle, les taxons à partir du 15^{ème} rang pouvant être considérés plutôt comme rares ou exceptionnels.

L'importance quantitative du complexe formé par la Réserve Naturelle Nationale du Domaine de Beauguillot et le Polder de Sainte-Marie-du-Mont s'explique certainement par le faible dérangement anthropique ainsi que par la prohibition de l'activité cynégétique mais également par les mesures de gestion agro-pastorales adaptées à l'accueil des Anatidés sur la partie terrestre et à la complémentarité des milieux proposés par les deux entités de cette remise (Elder, 2011, 2014 ; Elder & Blond, 2012 ; Galloo, 2013, 2015). On constate en période de migration post-nuptiale la grande proportion d'individus sur le Polder. Cette capacité à accueillir les premiers oiseaux est due au fait que le site est inondé plus tôt que les autres remises depuis les modifications de sa gestion hydraulique. Au contraire, l'accueil des oiseaux en Vallée de la Douve est plus tardif du fait du remplissage des marais plus tard dans l'année et de l'activité cynégétique qui cesse fin janvier. Bien entendu, la phénologie des peuplements de chaque remise influence également leur part des effectifs au cours d'un cycle. Le havre de Geffosses ou la Tourbière de Baupte qui accueillent beaucoup de Canard colvert, permanent sur l'unité fonctionnelle, ont ainsi une forte part dans les effectifs sur les premiers mois du cycle contrairement aux remises dont les communautés sont dominées par les espèces plus hivernantes.

Le maximum d'effectif est situé en février, période à laquelle deux phénomènes se confondent : les espèces hivernantes comme la Sarcelle d'hiver et le Canard siffleur sont encore fortement présentes et l'utilisation de la Baie des Veys et des marais du Cotentin comme escale migratoire post-nuptiale devient conséquente pour le Canard pilet et le Canard souchet notamment.

b. Tendances d'évolution :

L'ensemble des tendances déterminées est en accord avec les résultats produits à l'occasion de la dernière évaluation du plan de gestion (Elder, 2011). Plutôt que d'interpréter une par une les courbes présentées dans la section concernée, il nous paraît plus pertinent d'aborder les différentes explications possibles aux variations constatées. Malheureusement, ces explications resteront pour l'instant de l'ordre de la supposition puisque l'effet des facteurs que nous allons détailler n'a pas été testé par les modèles statistiques (ce dont il est question dans la partie §3.2).

Plusieurs courbes présentent une tendance assez similaire, avec une forte augmentation dans le

début des années 2010 suivie d'une régression plus ou moins prononcée lors des derniers cycles. C'est le cas par exemple pour la Sarcelle d'hiver, le Canard siffleur et la Foulque macroule sur la période d'hivernage. Plusieurs facteurs concomitants pourraient expliquer cette évolution. Tout d'abord, des conditions météorologiques particulières et notamment des vagues de froid peuvent entraîner un plus grand nombre d'individus de certaines espèces sur l'unité fonctionnelle pour un cycle. Dans le cas où les milieux sont favorables, on peut constater les années suivantes des effectifs plus élevés qu'habituellement du fait d'une certaine fidélité au site, sans toutefois atteindre des effectifs comparables à ceux obtenus lors de vagues de froid. Ce phénomène d'écho d'un cycle sur le suivant pourrait expliquer en partie l'allure générale de la courbe précédemment évoquée, d'autant plus que les cycles 2008 – 2009 à 2012 – 2013 sont concernés par des vagues de froid. On retrouve d'ailleurs souvent cette allure de courbe en période de migration pré-nuptiale et beaucoup moins en période de migration post-nuptiale, ce qui confirme l'hypothèse de l'effet des vagues de froid. Chez le Canard souchet dont les quartiers d'hivernage majeurs sont localisés en Afrique de l'Ouest, on ne constate pas ce pic hivernal dans le début des années 2010 mais plutôt une augmentation exponentielle. Enfin il faut préciser que les conditions météorologiques sur les autres sites situés sur la voie de migration peuvent avoir un effet sur la densité d'individus observés au sein de l'unité fonctionnelle ici étudiée.

Les modifications des modalités de gestion hydraulique du Polder de Sainte-Marie ont de toute évidence eu un effet positif sur l'accueil de certaines espèces. Cet effet est frappant chez la Bernache nonnette, dont les observations des quelques individus avant les années 2010 coïncidaient généralement avec une vague de froid, comme lors de leur premier passage sur le site (Spiroux, 1991 ; T. Galloo, 2018, *comm. pers.*). Les effectifs sont revenus les années suivantes certainement du fait des conditions favorables du Polder. Cet effet pourrait également expliquer en partie l'augmentation du nombre d'individus de certaines espèces dans le début des années 2010. De plus, lors des deux ou trois derniers cycles, la gestion hydraulique du Polder n'a pas été optimale d'un point de vue ornithologique (T. Galloo, 2018, *comm. pers.*), ce qui ici pourrait également en partie expliquer la régression observée ces dernières années sur plusieurs espèces.

Une troisième explication à cette régression hivernale lors des derniers cycles est un possible décalage dans la phénologie de certaines espèces. En effet, il semblerait que les individus arrivent de plus en plus tôt sur les quartiers d'hivernage pour repartir également plus tôt. Pour le Canard siffleur par exemple, on constate que pour les derniers cycles, les effectifs hivernaux et pré-nuptiaux diminuent contrairement aux effectifs post-nuptiaux. De même on remarque que les effectifs hivernaux du Canard pilet augmentent contrairement aux effectifs pré-nuptiaux alors que cette espèce est considérée comme migratrice pré-nuptiale sur l'unité fonctionnelle considérée (comme pour le Canard souchet, ses quartiers d'hivernage majeurs sont situés en Afrique de l'ouest). Toutefois cette observation est loin d'être réalisée pour l'ensemble des espèces concernée par l'allure de courbe hivernale précédemment évoquée. Enfin il est nécessaire d'ajouter que des tendances temporelles différentes selon la période considérée sur une même unité et pour une même espèce peuvent-être dues à l'étude de populations totalement différentes non affectées par les mêmes facteurs (J-F. Elder, 2018, *comm. pers.*).

Les tendances d'évolution des canards plongeurs, qui sont moins bonnes que celles des autres

Anatidés, sont difficilement interprétables. En effet, l'unité fonctionnelle se situe en marge de la principale voie de migration de ces espèces (axe Rhin - Rhône), d'où les faibles effectifs hivernaux recensés. Toutefois, le site de la carrière de Fresville qui accueillait un grand nombre de canards plongeurs lors de vagues de froid n'en accueille plus depuis plusieurs cycles ce qui a entraîné l'abandon du suivi de cette remise et qui pourrait expliquer certaines régressions constatées.

Le Canard colvert présente également une évolution des effectifs au cours du temps bien distincte des autres espèces. Cette différence pourrait trouver son origine dans la phénologie singulière de cette espèce par rapport aux autres taxons étudiés ainsi que dans le fait que les individus sont très dispersés à l'échelle nationale lors de l'hivernage. L'augmentation de ses effectifs hivernants, plus précoces que pour la Sarcelle d'hiver et le Canard siffleur, s'expliquerait peut-être par des lâchers d'individus en lien avec l'activité cynégétique.

c. Rôle et intérêt biogéographiques :

Il n'est pas pertinent d'émettre des hypothèses explicatives sur l'intérêt d'un secteur ou d'une unité fonctionnelle. En effet, l'intérêt étant calculé à partir d'effectifs bruts, cela reviendrait à interpréter des tendances temporelles d'effectifs ou bien des différences d'effectifs entre remises ou périodes au cours du cycle, ce qui fait déjà l'objet d'autres paragraphes.

En revanche il est tout à fait approprié d'interpréter l'évolution de la contribution au cours du temps, celle-ci n'étant déterminée à partir des effectifs bruts que de façon partielle. Le faible écart entre la contribution du complexe RNNDB – Polder et celle de l'unité fonctionnelle pour certains taxons s'interprète par la forte contribution des effectifs du complexe au sein de l'unité. L'augmentation de cet écart au cours du temps pour certaines espèces a pour origine la diminution de la part du complexe RNNDB – Polder au cours du temps, au profit de la RCFS des Bohons dans le cas de la Sarcelle d'hiver et de la Tourbière de Baupte pour le Canard souchet. L'augmentation pour sept taxons de la contribution aux effectifs nationaux est à mettre en relation avec les tendances sur les différentes échelles. Ces sept taxons ont une tendance positive sur l'unité fonctionnelle, la contribution augmente donc logiquement lorsque la tendance est stable ou négative à l'échelle de la France, ce qui est le cas pour le Canard colvert, le Canard pilet et le Canard siffleur. En revanche la tendance nationale est également positive pour le Canard souchet, la Sarcelle d'hiver, l'Oie cendrée et la Bernache nonnette. La tendance locale doit donc être plus prononcée que la tendance française. La stabilité de la contribution nationale des trois autres taxons doit s'expliquer par des tendances positives du même ordre de grandeur sur les deux échelles. En l'absence d'information sur les tendances régionales, il est difficile d'émettre des hypothèses quant aux variations de contribution aux effectifs régionaux. Toutefois, cette contribution diminuant pour le Canard chipeau et le Canard colvert alors que la tendance de l'unité fonctionnelle pour ces deux espèces est positive, on peut supposer que les tendances régionales sont également positives. En effet, une diminution de la population régionale et une augmentation locale des effectifs (transfert d'individus) se traduirait plutôt par une augmentation de la contribution.

En ce qui concerne les corrélations d'effectifs des différentes échelles, le fait que les corrélations

détectées soient positives signifie que les tendances des populations doivent être plus ou moins similaires d'une échelle à l'autre lorsqu'une corrélation est détectée. On le confirme ici par le fait que les tendances opposées entre échelles ne sont pas significatives d'après les tests de corrélation. Le degré de corrélation plus élevé entre l'unité fonctionnelle et la Normandie par rapport à l'unité fonctionnelle et la France semble cohérent, la contribution aux effectifs normands étant plus importante (ou égale dans de rares cas) que la contribution aux effectifs nationaux. Dans les cas où le test n'est pas significatif, la non-corrélation peut s'expliquer par deux phénomènes : les effectifs sont stables à une échelle et très variables à l'autre, comme cela semble être le cas pour le Canard pilet (unité fonctionnelle / France) ou bien les effectifs des deux échelles varient mais pas de façon conjointe, comme pour la Foulque macroule.

d. Phénologie :

Les différences de phénologie spécifique entre l'unité fonctionnelle et le complexe RNNDB – Polder sont minimales. La plus grande variabilité dans les effectifs présents sur la Réserve et le Polder n'est pas surprenante, du fait de déplacements d'individus au sein d'une même unité. Toutefois une partie de cette variabilité n'est certainement qu'un reliquat de l'utilisation des décades et non des mois. En définitive, l'utilisation au cours d'un cycle du complexe RNNDB – Polder par une espèce est somme toute assez similaire à l'utilisation de l'ensemble « Baie des Veys – Marais de l'isthme du Cotentin ». Ce n'est peut-être toutefois pas le cas pour d'autres remises. On note néanmoins la présence légèrement plus précoce de la Sarcelle d'hiver, du Canard siffleur et du Canard pilet sur le complexe, ce qui peut être justifié par une présence certainement plus tardive sur d'autres remises comme la Vallée de la Douve ou la RCFS des Bohons. Les courbes de phénologie déterminées dans le cadre de cette étude sont globalement assez proches de celles qui avaient été produites il y a une dizaine (Elder, 2011) et une vingtaine d'années (Schricke *et al.*, 2001). Toutefois il semblerait que l'on observe pour certaines espèces un décalage de phénologie entre les deux études. En effet, chez la Sarcelle d'hiver, le Canard siffleur ou le Canard chipeau, le maximum d'effectifs semble légèrement plus avancé d'après les données de la fin des années 90. Au contraire, on y observe une arrivée plus tardive du Canard pilet. Ce décalage apparent peut être réel tout comme il peut être le résultat d'un échantillon trop faible et donc d'années aux conditions d'observation particulières (seulement 3 cycles considérés). Il pourrait encore être dû aux légères différences de zone d'étude entre les deux analyses, avec notamment l'absence de la Vallée de la Douve dans ce premier rapport, remise à la phénologie plus tardive qui pourrait expliquer par exemple le décalage sur la phénologie du Canard siffleur.

Enfin en ce qui concerne les décalages de phénologie, ceux-ci sont fortement visibles chez la Bernache nonnette, le Canard souchet et le Canard pilet, avec en l'occurrence une occupation de l'unité fonctionnelle de plus en plus tôt. Chez ces deux dernières espèces, la présence en période de migration pré-nuptiale se confond ainsi de plus en plus avec l'hivernage alors que la présence des Bernaches nonnettes se fait de plus en plus précoce, avec de forts effectifs dès le mois de novembre lors des derniers cycles. L'interprétation de ces décalages est loin d'être aisée, d'autant plus qu'elle n'est pas commune à l'ensemble des espèces. Pour la Bernache nonnette, on peut imaginer que l'occupation récente du site a nécessité quelques ajustements lors des premiers cycles

du fait de la modification de la durée et de la localisation des escales migratoires et des sites d'hivernage, pourquoi pas sous la forme d'un décalage de la plage d'occupation de l'unité fonctionnelle. On peut alors imaginer que la phénologie de cette espèce se stabilise lors des prochains cycles. En revanche pour le Canard souchet et le Canard pilet, ce décalage est remarquable car ce sont les espèces qui restent le plus tard parmi celles dites « hivernantes » au sens large du terme. Ce phénomène pourrait être un changement du calendrier d'occupation du site par la population, avec pour cause possible le réchauffement climatique. Ce pourrait être également une évolution dans le rapport d'effectifs entre populations ayant une phénologie différente, avec par exemple l'une utilisant le site uniquement comme escale migratoire et l'autre l'utilisant pour l'hivernage. La forte variabilité du positionnement des maxima chez une espèce est à relier avec le caractère permanent de certains taxons, comme le Canard colvert et la Foulque macroule ou à une phénologie peu marquée, comme chez les Fuligules ou bien le Canard siffleur. Chez l'Oie rieuse et la Bernache cravant, le faible nombre d'individus est également à mettre en cause, tout comme les aléas climatiques qui peuvent jouer un rôle important dans la position de ces maxima. Enfin le cas de la Foulque macroule est intéressant, avec un recentrage des effectifs en hiver depuis le début des années 2010. Pour cette espèce permanente, on peut supposer que l'utilisation des remises diurnes a évolué et qu'elles regroupent désormais de fortes densités d'individus en hiver quand ceux-ci sont plus dispersés en dehors de cette période.

e. Analyse des communautés :

La répartition des espèces dominantes sur chaque remise est similaire à celle déterminée entre 1996 et 1999 (Schricke *et al.*, 2001). Toutefois, on constate des différences dans les parts attribuées à chaque taxon, avec une plus grande proportion de Sarcelle d'hiver sur la Tourbière de Baupte et la RNNDDB, les deux sites faisant l'objet d'une analyse de la communauté. Toujours d'après cette étude, les peuplements peuvent être très variables selon les conditions climatiques (vague de froid), avec une augmentation des effectifs de Canard siffleur, Canard pilet et Canard colvert alors que ceux de la Sarcelle d'hiver, du Canard souchet et du Canard chipeau vont diminuer. La répartition des espèces sur les remises diurnes est essentiellement liée à leur écologie et plus particulièrement à leur régime alimentaire et aux modalités d'utilisation des sites. La forte présence du Canard siffleur en Vallée de la Douve s'explique ainsi par son attirance pour les grands sites composés de prairies humides inondables où il peut s'alimenter de jour (Schricke *et al.*, 2001 ; Scott & Rose, 1996). La Sarcelle d'hiver, qui présente un régime granivore, va préférer une grande variété de milieux et utilise les remises diurnes principalement pour se reposer (Foret, 1999). Cette activité est réalisée sur des îlots ou en bord de fossé et l'espèce semble également apprécier la proximité de milieux plus littoraux, d'où sa forte présence en Baie des Veys et notamment sur le complexe Réserve – Polder. Le Canard colvert lui peut occuper des sites où la profondeur d'eau est plus importante et côtoyer ainsi la Foulque macroule et les Fuligules au sein d'une même communauté. La carrière de Fresville en est le parfait exemple, site connu pour ses effectifs de canard plongeurs avant l'abandon du suivi et dont la communauté est dominée par le Canard colvert et la Foulque macroule.

Les différences de peuplements entre périodes pour une même remise semblent essentiellement

dues aux phénologies spécifiques. En effet, on retrouve dans les peuplements post-nuptiaux une plus grande part d'espèces permanentes et d'espèces hivernantes « précoces » comme l'Oie cendrée et la Bernache nonnette. La Sarcelle d'hiver et le Canard siffleur dominant ensuite bien plus le peuplement hivernal et la part des espèces migratrices pré-nuptiale progresse. Enfin la part des espèces hivernantes régresse au profit du Canard pilet et du Canard souchet en période pré-nuptiale. On retrouve également l'évolution de la part relative de chaque remise au cours du cycle abordée plus avant. Celle-ci semble en partie liée aux phénologies des communautés de chaque site. La Tourbière de Baupte dépasse ainsi en fin de cycle les effectifs du Polder du fait de la grande part d'espèces tardives dans sa communauté. En outre, la composition ne permet pas d'expliquer l'ensemble des différences constatées entre remises d'une période à l'autre. Dans le cas de la Vallée de la Douve et du Polder de Sainte-Marie-du-Mont, une modification des milieux et donc de l'attractivité relative au cours du cycle est une hypothèse plus que probable, avec comme déjà dit précédemment, une mise en eau précoce du Polder et tardive des marais de la Douve ainsi que l'arrêt de l'activité cynégétique qui libère des zones permettant une plus grande accessibilité aux ressources trophiques, ce qui expliquerait le basculement des effectifs entre ces deux sites entre les périodes de migration. Pour la RCFS des Bohons, la phénologie ne devrait pas être responsable de l'augmentation de son importance quantitative relative au cours du cycle puisque la remise accueille majoritairement des Sarcelles d'hiver y compris en période pré-nuptiale. Comme pour les sites précédents, on suppose donc un transfert d'individus, du fait d'une augmentation de l'attractivité relative de la remise. Cette augmentation peut être provoquée par une évolution positive du milieu comme pour la vallée de la Douve ou une évolution négative d'autres milieux, comme par exemple une hypothétique approche de la capacité d'accueil maximale des autres remises.

f. Evolution de la répartition spatiale :

Dans Schricke *et al.* (2001) ou encore Elder & Caillot (1996) on observe une proportion écrasante des effectifs de la Réserve Naturelle Nationale du Domaine de Beauguillot pour le Canard Siffleur ainsi que des proportions très élevées et du même ordre de grandeur de la RNNDB et de la tourbière de Baupte pour les effectifs de Canard colvert et Sarcelle d'hiver. De tels résultats sont également avancés pour la période 2000 à 2004 (Caillot & Elder, 2005). En considérant le fait que cette étude ne tient pas compte de certaines remises analysées dans ce rapport, ces résultats concordent tout à fait avec la répartition des effectifs observée lors des premiers cycles pour ces trois espèces. Toutefois on constate une évolution assez prononcée pour ces trois espèces, avec une forte diminution de la part de la RNNDB et de la Tourbière de Baupte au profit de la RCFS des Bohons pour la Sarcelle d'hiver, une diminution seulement de la Tourbière de Baupte et une augmentation de la part de la RCFS des Bohons pour le Canard colvert et un glissement des effectifs de Canard siffleur depuis la RNNDB vers la Vallée de la Douve, alors que la présence du siffleur sur ce site était auparavant exceptionnelle (Elder & Caillot, 1996). Ces changements sont probablement dus à une modification des milieux ou des facteurs limitant l'accueil diurne des espèces sur ces remises, comme c'est de toute évidence le cas pour le Polder qui depuis sa mise en eau en 2009 est d'une importance quantitative bien plus grande au sein de l'unité fonctionnelle

pour de nombreuses anatidés (Galloo, 2013, 2015). Cela semble également être le cas pour la Tourbière de Baupte puisque la communauté a largement évolué : diminution des espèces citées plus avant mais également diminution de la part de la Foulque macroule et du Canard chipeau associée à une forte augmentation de la part des effectifs du Canard souchet. En ce qui concerne la Vallée de la Douve, on peut supposer que l'avancement de la date d'arrêt de la chasse (de mi-février à fin janvier) a pu permettre au Canard siffleur hivernant d'occuper le site plus tôt, donnant ainsi plus de poids à la remise au sein de l'unité fonctionnelle. Une éventuelle modification de la gestion des niveaux d'eau a également pu affecter la phénologie du site et donc son importance pour certaines espèces. La même explication peut être invoquée pour l'évolution de la part de RCFS des Bohons et la Tourbière de Baupte.

Les espèces étudiées étant toutes en augmentation, il est également probable que l'augmentation de la part relative de certaines remises soit due à la trop forte compétition sur les remises historiquement principales qui ont une capacité d'accueil limitée, n'entraînant pas forcément un report d'individus mais plutôt une augmentation des effectifs sur des remises *a priori* moins favorables, les plus favorables conservant leurs effectifs habituels.

3.2. Limites de l'étude

En ce qui concerne l'incertitude et l'imprécision sur les données utilisées, plusieurs limites ont été identifiées. Du fait du grand nombre de fichiers compilés hétérogènes et provenant de plusieurs partenaires et bases de données, nous avons dû corriger un certain nombre d'erreurs (incohérences entre la date et le cycle, la date et la décade, etc.). Toutefois il se peut qu'il en reste quelques unes dans les données analysées mais l'on suppose qu'étant donné la quantité de données traitées ces quelques erreurs sont négligeables. De même, lorsqu'une plage de valeurs est indiquée à la place d'un nombre d'individus, nous avons fait le choix de remplacer cette plage par la moyenne des deux bornes, ajoutant une imprécision aux données, mais encore une fois cela ne concerne que très peu de données (moins d'une dizaine). La conservation du maximum des effectifs en cas de doublon dans les observations tend à surestimer le nombre d'individus par rapport aux observations sans doublon, bien que ce problème ne soit également pas apparu un grand nombre de fois.

La gestion des relevés manquants a constitué un autre enjeu important de cette étude, l'analyse étant effectuée en grande partie à l'échelle de l'unité fonctionnelle. Au final, très peu de « trous » sont dus à la perte ou à la non-transmission des données mais plutôt à de mauvaises conditions météorologiques ou hydrologiques (marais non inondés sur la Vallée de la Douve) ou au manque de temps et de personnel. Bien que l'impact de l'abandon du suivi du Havre de Geffosse et de la carrière de Fresville puisse poser un soucis méthodologique, il reste pertinent et n'affecte certainement que de façon minimale les analyses. Dans l'absolu il faudrait également effectuer l'ensemble des suivis sur les marais de la Douve mais cela n'est bien entendu pas envisageable. En outre, le suivi non-systématique de certaines remises diurnes nous a obligé à supprimer un grand

nombre de relevé où la couverture de l'unité fonctionnelle était jugée insuffisante (suppression d'un relevé si le suivi n'est pas assuré sur une des remises diurnes principales). Plutôt que de sous-estimer très fortement nos données, nous avons préféré ne pas tenir compte d'un nombre conséquent de relevés. Par exemple pour l'analyse des tendances hivernales à l'échelle de l'unité fonctionnelle, 55 relevés ont dû être retirés sur les 144 initiaux et ce nombre atteint plus de la moitié des relevés pour l'analyse des tendances post-nuptiales. La perte d'information est donc malheureusement extrêmement importante bien que les données restantes soient bien moins sous-estimées. De plus cela pénalise les remises suivies plus régulièrement dont les observations ne peuvent pas être valorisées à travers ces analyses.

La multiplicité des taxons et des problématiques à traiter ainsi que le temps attribué à cette étude n'a malheureusement pas permis d'envisager l'utilisation de méthodes statistiques plus poussées, notamment sur l'analyse des tendances temporelles. En effet d'autres outils de statistiques fréquentistes peuvent également être mis en œuvre, nécessitant d'autres logiciels particulièrement adaptés à l'analyse des séries temporelles comme TRIM (TRENds and Indices for Monitoring data), TrendSpotter ou UINDEX (Brochet *et al.*, 2011 ; ONCFS, 2017 ; Soldaat *et al.*, 2007). Cependant nous avons estimé que l'utilisation de modèles linéaires généralisés mixtes (GLMM) et additifs généralisés mixtes (GAMM) constituait un bon compromis entre les moyens affectés à l'étude (temps, logiciels, compétences statistiques) et la complexité et pertinence de la méthode. Pour les mêmes raisons évoquées en début de paragraphe, il n'était pas concevable de réaliser un état de l'art scientifique des espèces et problématiques considérées ainsi que d'effectuer des analyses plus fines, comme par exemple l'étude des différences de phénologie spécifique et de tendances entre remises.

Il était également prévu à l'origine d'utiliser des modèles statistiques dans la partie phénologie, en modélisant la courbe de variation d'effectifs au cours d'un cycle à l'aide de la variable quantitative *Date_Jul* qui représente le jour julien de l'observation (le jour 1 correspondant au 1^{er} Août de chaque cycle) et d'un modèle de type GAMM (cf. modèle 3 ci-dessous). Toutefois cette idée a été abandonnée du fait du manque de temps, du faible apport d'information supplémentaire par rapport aux diagrammes radar ainsi que de la présence de plusieurs dates correspondant à un même relevé.

$$(3) \quad Y \sim s(\text{Date_Jul}) + 1|Cycle$$

Avec :

Y : la variable expliquée

$s(\text{Date_Jul})$: l'effet non linéaire modélisé pour la variable *Date_Jul*

$1|Cycle$: l'ordonnée à l'origine varie selon la variable *Cycle* (effet aléatoire)

Il aurait également été intéressant d'intégrer des facteurs environnementaux et de conditions d'observations aux modèles statistiques utilisés. En effet, l'incorporation de telles variables permet une plus grande robustesse des modèles utilisés sur des problématiques n'ayant pas forcément pour objet l'étude de ces facteurs mais où ils peuvent constituer un biais, comme par exemple les conditions météorologiques. Malheureusement les données fournies ne permettaient pas une telle intégration de ces données dans les modèles ajustés. En outre, l'étude spécifique de variables environnementales telles que la ressource trophique ou les niveaux d'eau peut permettre d'expliquer les processus de répartition spatiale des effectifs et d'améliorer les méthodes de gestion et de conservation en fonction des résultats obtenus. Toutefois ces problématiques n'étaient pas prioritaires dans le cadre de cette mission et il était difficile de croiser les données du protocole étudié ici avec les variables citées plus avant. Ces questionnements doivent faire l'objet d'études et de protocoles distincts.

Enfin certaines approches, statistiques ou non, comme l'analyse des tendances temporelles ou la phénologie, auraient mérité d'être traitées à l'échelle de chaque remise plutôt que seulement à l'échelle de l'unité fonctionnelle et du complexe RNNDB – Polder. Cela aurait toutefois nécessité énormément de temps pour la production d'un grand nombre de graphiques et « surchargé » le rapport. L'analyse des données spécifiques à chaque site par les gestionnaires à partir des données utilisées dans cette étude reste toutefois envisageable.

3.3. Pistes d'améliorations du protocole

Comme indiqué dans la section précédente, il n'a pas été possible d'intégrer des facteurs environnementaux (niveaux d'eau, température, vent) et des facteurs liés aux conditions d'observation (dérangement, mauvaises conditions météorologiques) aux analyses du fait de la forte hétérogénéité dans les indications relevées ainsi que du très grand nombre de données manquantes. La correction de cette situation passe par l'harmonisation des variables relevées par l'ensemble des observateurs et des partenaires à l'échelle de l'unité fonctionnelle ainsi que par leur renseignement systématique à chaque observation. Ce commentaire vaut également pour les variables liées à l'observation en elle-même (décompte total ou partiel, degré de précision, couverture du site, etc.).

Bien que cela ne concerne qu'une infime partie des données, la seule information de présence d'une espèce lors d'un relevé est extrêmement difficile à intégrer aux analyses qui s'effectuent la plupart du temps sur de l'information quantitative comme un nombre d'individus. Dans le cas présent, le relevé en question a été supprimé des analyses pour l'espèce concernée, entraînant ainsi une perte d'information. Plutôt que d'indiquer la simple présence d'une espèce, le renseignement d'une plage d'effectif observé (minimum et maximum) rend possible l'utilisation de l'information

dans les analyses effectuées, bien que cette information contienne une part d'incertitude. En outre, l'absence d'oiseaux sur une remise, qu'elle soit observée ou déduite des conditions hydrologiques pour certaines remises diurnes, doit être systématiquement indiquée afin de faire la distinction avec un relevé non effectué.

Enfin la différence de calendrier d'observation entre les différentes remises diurnes a pour conséquence directe la sous-estimation systématique des effectifs de l'unité fonctionnelle lors des relevés assurés sur seulement une partie du réseau de remises. Cette situation dont les conséquences ont été abordées dans la section précédente est loin de s'arranger avec le temps : lors des deux derniers cycles, seules six décades sur 18 ont pu être intégrées à l'analyse des tendances hivernales, soit seulement un tiers de l'information utilisé en raison du manque de suivi d'une des remises principales. Il est donc essentiel de trouver rapidement une solution pour assurer une couverture maximale de l'unité fonctionnelle lors de chaque relevé. Le passage à des relevés mensuels à l'échelle de l'ensemble des remises fonctionnelles afin d'homogénéiser et d'alléger le calendrier de suivi pourrait être envisageable. Toutefois cette solution impliquerait non seulement la difficulté à traiter certaines problématiques comme la phénologie mais également le risque de ne pas détecter les pics d'individus pour x raisons (météorologiques, dérangement, etc.) ce qui affecterait l'analyse des tendances temporelles.

La mise en place d'un observatoire à l'échelle de la Zone de Protection Spéciale regroupant les différents partenaires et dédié au pilotage des suivis sur l'unité fonctionnelle ainsi qu'au recueil, à l'analyse et à la valorisation des données pourrait également être envisagée. Ce serait également l'occasion d'instaurer un partenariat avec une université ou un institut de recherche sous la forme de tutelle scientifique validant notamment les méthodes statistiques employées.

Conclusion

L'unité fonctionnelle « Baie des Veys – Marais de l'isthme du Cotentin » présente un intérêt national voire même international pour certains Anatidés en hivernage ou en migration pré-nuptiale. La Réserve Naturelle Nationale du Domaine de Beauguillot accueille la majeure partie des effectifs de l'unité fonctionnelle du fait des conditions d'accueil particulièrement favorables, à savoir un faible dérangement et des mesures de gestion hydraulique et agronomique optimisées pour l'accueil des individus hivernants. Nous avons constaté entre les remises diurnes d'importantes différences d'utilisation en termes de capacité d'accueil, de phénologie et de peuplements avec certaines remises plus importantes en migration post-nuptiale comme le Polder de Sainte-Marie-du-Mont et d'autres dont l'intérêt est plus tardif comme la Tourbière de Baupte et la Vallée de la Douve. Ces disparités sont dues aux caractéristiques inhérentes à chaque remise, à leur évolution au cours du cycle ainsi qu'aux zones de gagnages situées à proximité. Les tendances d'évolution temporelle des effectifs hivernaux sont toutes positives sauf pour les Canard plongeurs. Ces résultats, meilleurs qu'à l'échelle nationale, sont à mettre en relation avec l'évolution positive des caractéristiques de certains sites, parfois à la faveur de changements des modalités de gestion. C'est bien entendu le cas pour le Polder de Sainte-Marie-du-Mont dont l'effet de sa mise en eau sur l'accueil de certaines espèces est remarquable, comme pour le Canard siffleur, la Sarcelle d'hiver et bien sûr les Oies et Bernaches. On suppose également pour la RCFS des Bohons, la Vallée de la Douve et la Tourbière de Baupte d'importantes modifications des milieux avec pour conséquences un transfert de certaines espèces entre sites et donc une évolution temporelle dans les peuplements de ces remises. Les variations d'effectifs de certaines espèces résident également dans les conditions météorologiques, notamment les vagues de froid : en effet, le nombre d'individus dans la fin des années 2000 et le début des années 2010 est parfois très largement supérieur à ce qui est observé les autres années. Enfin on observe un décalage de la phénologie de certaines espèces, notamment le Canard pilet et le Canard souchet dont le caractère hivernant s'affirme au détriment de son statut initial de migrateur pré-nuptial. Ce décalage est certainement en partie à l'origine de la tendance hivernale positive de ces deux espèces.

Du fait de l'abondance des problématiques à traiter et du temps imparti, certaines problématiques n'ont pas pu être traitées de façon assez poussée. Il aurait par exemple été intéressant de modéliser la différence de phénologie entre les remises ainsi que les tendances temporelles spécifiques aux sites étudiés. Néanmoins il reste tout à fait possible d'aborder ces questions de recherche à partir des données utilisées pour cette étude. D'autres problématiques seront plus facilement examinées à la faveur de légères modifications du protocole qui permettraient par exemple d'étudier plus précisément l'effet des conditions météorologiques et hydrologiques sur l'accueil des oiseaux. Enfin la réalisation d'autres protocoles répondant à des questionnements différents peut venir compléter nos connaissances sur les populations d'oiseaux utilisant l'unité fonctionnelle. Le baguage des Sarcelles d'hiver, réalisé sur la Réserve Naturelle Nationale du Domaine de Beauguillot, devrait par exemple nous permettre de mieux comprendre les mouvements au sein et en dehors de l'unité fonctionnelle. L'analyse des régimes alimentaires et l'observation du

comportement des oiseaux sur les remises, études déjà réalisées auparavant, permettrait également de mieux comprendre la répartition spatiale des effectifs spécifiques entre chaque site mise en évidence dans ce rapport.

Références

Bibliographie

- Atkinson, P., Austin G., Rehfisch, M., Baker, H., Cranswick, P., Kershaw, M., Robinson, J., Langston, R., Stroud, D., Turnhout, C., Maclean, I., 2006. Identifying declines in waterbirds: The effects of missing data, population variability and count period on the interpretation of long-term survey data. *Biological Conservation*. **130** (4), pp 549-559.
- Brochet, A.-L., Fouque, C., Guillemain, M., Fournier, J.-Y., Schricke, V., 2011. Evolution des effectifs d'anatidés et foulques hivernant en France - Analyse sur 21 ans (1987 - 2008). *Faune Sauvage*.
- Caillot, E., Elder, J.-F., 2005. Analyse des données ornithologiques disponibles en relation avec la ZPS Marais du Cotentin et du Bessin - Baie des Veys.
- Elder, J.-F., Terrisse, J., Seriot, J., Blanchon, J.-J., Champion, E., Schricke, V., 1994. Evaluation du plan de gestion 1989 – 1994 de la Réserve naturelle de Beauguillot (Manche).
- Elder, J.-F., 1995. Plan de gestion 1995 – 2000 – Réserve Naturelle de Beauguillot (Manche).
- Elder, J.-F., 2000. Evaluation du Plan de Gestion 1995 – 2000 de la Réserve Naturelle du Domaine de Beauguillot
- Elder, J.-F., 2011. Evaluation du Plan de Gestion 2002 - 2011 de la Réserve Naturelle Nationale du Domaine de Beauguillot.
- Elder, J.-F., 2014. Gestion agro-pastorale et hydraulique pour l'accueil des Anatidés et de la Foulque macroule en escale et en hivernage sur la Réserve naturelle nationale du Domaine de Beauguillot (Manche) (Mémoire de Master 2).
- Elder, J.-F., Blond, M., 2012. Plan de gestion 2012 - 2021 de la Réserve Naturelle Nationale du Domaine de Beauguillot.
- Elder, J.-F., Caillot, E., 1996. Le canard siffleur (*Anas penelope* L.) sur la Réserve Naturelle de Beauguillot (Manche).
- Foret, J., 1999. Contribution à l'étude des modalités d'utilisation de la Baie des Veys et des marais arrière littoraux (Manche) par la Sarcelle d'hiver (*Anas c. crecca*) en période d'hivernage (Rapport de stage).
- Galloo, T., 2013. Evolution qualitative de l'avifaune du polder de Sainte Marie du Mont 2010-2012 - Contribution à l'évaluation des effets d'une dépoldérisation.
- Galloo, T., 2015. Suivi des oiseaux nicheurs – Polder de Sainte Marie du Mont – Année 2014.
- Gaudart, C., Quaintenne, G., Deceunick, B., Ward, A., Dronneau, C., Dalloyau, S., (2001 à) 2017. Synthèse des dénombrements d'Anatidés et de foulques hivernant en France à la mi-janvier (2000 à) 2016. Wetlands International, LPO.
- Nagy, S., Flink, S., Langendoen, T., 2014. Waterbird trends 1988 - 2012. Results of trend analyses of data from the International Waterbird Census in the African-Eurasian Flyway. Wetlands International.
- ONCFS, 2017. Protocole de recensement des effectifs d'anatidés et de foulques hivernants.
- Peet, R.K., 1974. The Measurement of Species Diversity. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*. **5**, 285–307.
- Schricke, V., Elder, J.-F., Caillot, E., Guerin, D., Wetton, J.-B., 2001. Approche de l'utilisation de la Baie des Veys et des Marais de l'Isthme du Cotentin par les Anatidés en période de migration et d'hivernage.
- Scott, D.A., Rose, P.M., 1996. Atlas of Anatidae populations in Africa and Western Eurasia.
- Soldaat, L., Visser, H., van Roomen, M., van Strien, A., 2007. Smoothing and trend detection in waterbird monitoring data using structural time-series analysis and the Kalman filter. *Journal of Ornithology*. **148**, 351–357.
- Spiroux, P., 1991. Etude des stationnements internuptiaux en Baie des Veys au cours d'un cycle annuel. Rôle des terrains protégés dans le fonctionnement général de la baie. Groupe

Ornithologique Normand.

- Visser, H., 2004. Estimation and detection of flexible trends. *Atmospheric Environment*. **38** (25)
- Zuur, A.F., Ieno, E.N., Walker, N., Saveliev, A.A., Smith, G.M., 2009. Mixed effects models and extensions in ecology with R, Statistics for Biology and Health. Springer New York, New York, NY.

Logiciels et packages

- ESRI, 2016. ArcGIS® software by Esri. ArcGIS® and ArcMap™ are the intellectual property of Esri and are used herein under license. Copyright © Esri. All rights reserved. For more information about Esri® software, please visit www.esri.com
- Fournier, D.A., Skaug, H.J., Ancheta, J., Iannelli, J., Magnusson, A., Maunder, M., Nielsen, A. and Sibert, J., 2012. "AD Model Builder: using automatic differentiation for statistical inference of highly parameterized complex nonlinear models." *Optim. Methods Softw.*, **27**, pp. 233-249.
- Fox, J. (2005). The R Commander: A Basic Statistics Graphical User Interface to R. *Journal of Statistical Software*, 14(9): 1– 42.
- Fox, J. (2017). Using the R Commander: A Point-and-Click Interface to R. Boca Raton FL: Chapman and Hall/CRC Press.
- Fox, J., and Bouchet-Valat, M. (2016). Rcmdr: R Commander. R package version 2.3-1.
- Fox, J. and Weisberg, S., 2011. An {R} Companion to Applied Regression, Second Edition. Thousand Oaks CA: Sage. URL: <http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion>
- Hervé, M., 2011. Grapher: a multiplatform GUI for drawing customizable graphs in R. *The R Journal* **3**(2): 45-53.
- Minato Nakazawa (2017). fmsb: Functions for Medical Statistics Book with some Demographic Data. R package version 0.6.1. <https://CRAN.R-project.org/package=fmsb>
- Quantum GIS Development Team, 2016. Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>
- R Core Team, 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>
- Skaug, H., Fournier, D., Bolker, B., Magnusson, A. and Nielsen, A., 2016. Generalized Linear Mixed Models using 'AD Model Builder'. R package version 0.8.3.3.
- Wickham, H., 2009. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York
- Wood, S.N., 2003. Thin-plate regression splines. *Journal of the Royal Statistical Society* (B) **65**(1):95-114.
- Wood, S.N., 2006. Generalized Additive Models: An Introduction with R. Chapman and Hall/CRC.
- Zuur, A.F., Ieno, E.N., Walker, N., Saveliev, A.A., and Smith, G.M., 2009. Mixed effects models and extensions in ecology with R. Springer

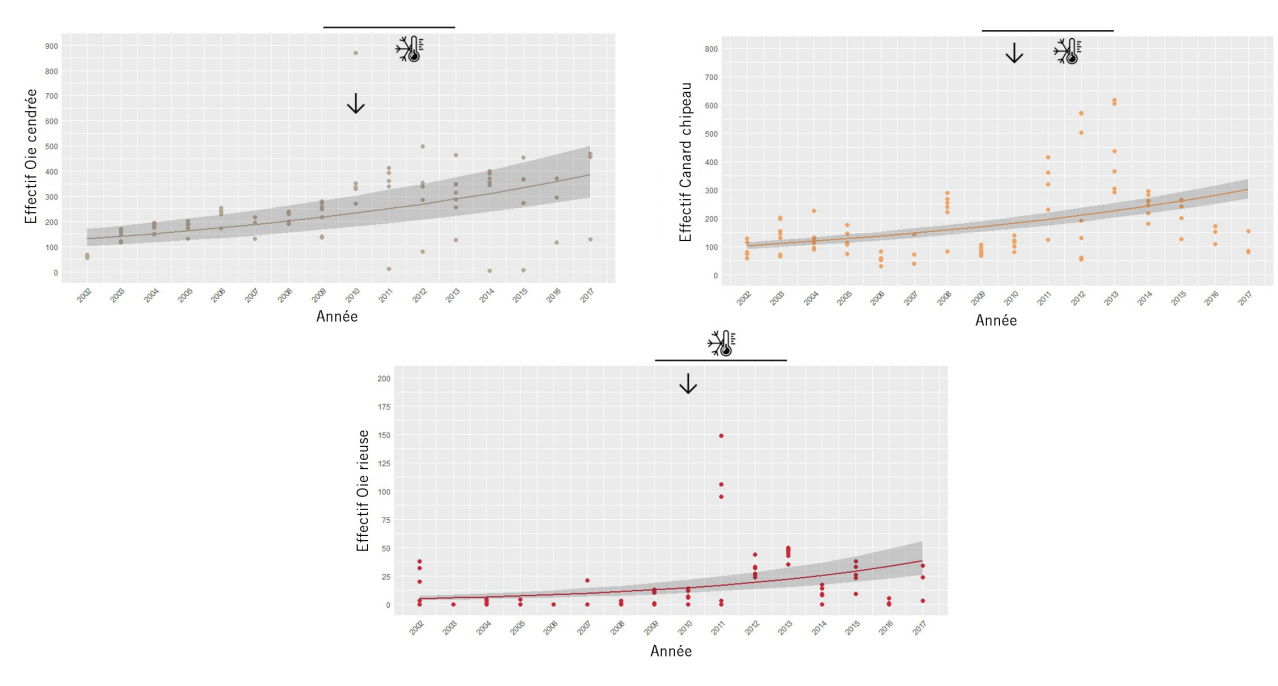
Table des Annexes

<u>Annexe 1</u> : Tableau présentant les principaux packages R utilisés.....	106
<u>Annexe 2</u> : Evolution des effectifs hivernants entre 2002 et 2017 sur l'unité fonctionnelle.....	106
<u>Annexe 3</u> : Evolution des effectifs hivernants de canards plongeurs entre 2002 et 2017 sur le complexe RNNDB – Polder.....	108
<u>Annexe 4</u> : Evolution des effectifs hivernants entre 2002 et 2017 sur le complexe RNNDB – Polder.....	109
<u>Annexe 5</u> : Evolution des effectifs post-nuptiaux entre 2002 et 2017 sur l'unité fonctionnelle...	110
<u>Annexe 6</u> : Evolution des effectifs pré-nuptiaux entre 2002 et 2017 sur l'unité fonctionnelle....	111
<u>Annexe 7</u> : Nuage d'individus de l'ACP réalisée à partir des données de phénologie sur le complexe RNNDB – Polder.....	111
<u>Annexe 8</u> : Cercle des corrélations de l'ACP réalisée à partir des données de phénologie sur l'unité fonctionnelle.....	112

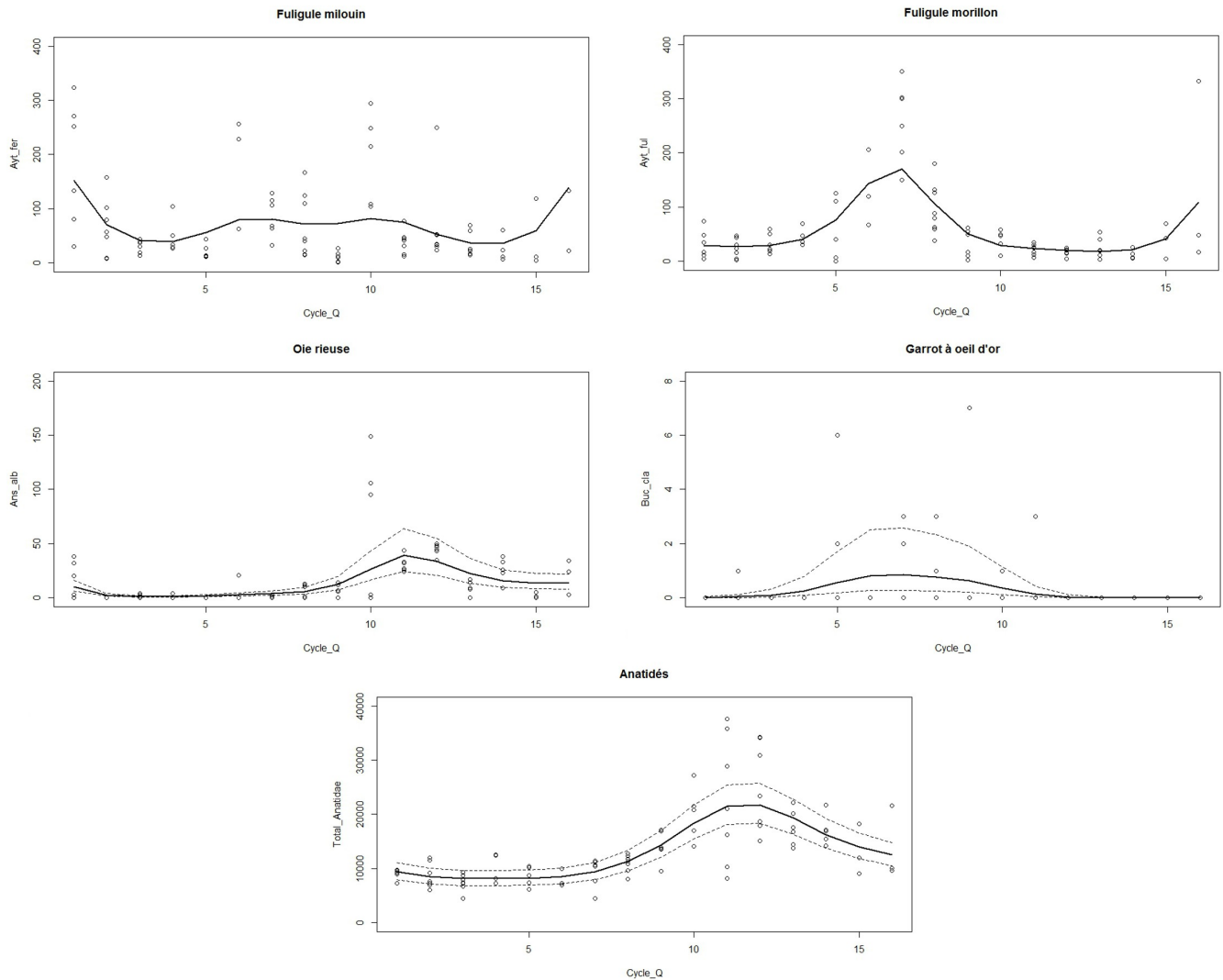
Annexes

Annexe 1 : Tableau présentant les principaux packages R utilisés afin de réaliser les analyses

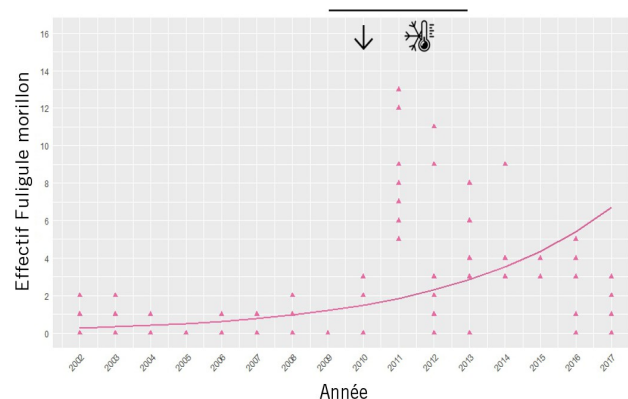
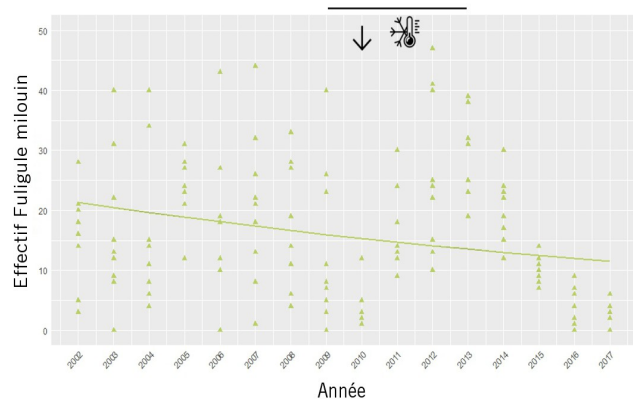
Package / fichier	Fonctions utilisées	Utilisation dans l'étude	Source
GrapheR	-	Graphiques basiques	Hervé, 2011
ggplot2	-	Graphiques	Wickham, 2009
fmsb	radarchart()	Diagrammes radar (phénologie)	Nakazawa, 2017
Rcmdr	-	ACP et CAH	Fox, 2005, 2017 ; Fox & Bouchet-Valat, 2016
glmmADMB	glmmadmb()	Modèles de type GLMM	Fournier <i>et al.</i> , 2012 ; Skaug <i>et al.</i> , 2016
mgcv	gamm()	Modèles de type GAMM	Wood, 2003, 2006
car	Anova()	Analyse des modèles	Fox & Weisberg, 2011



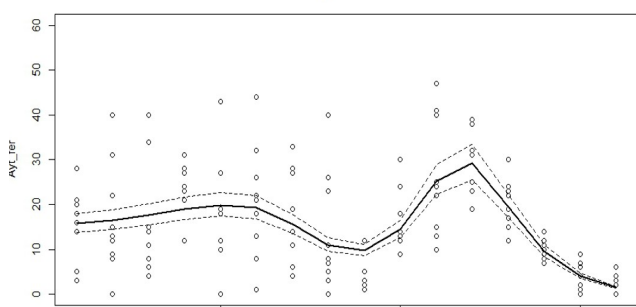
Annexe 2a : Evolution des effectifs hivernants entre 2002 et 2017 sur l'unité fonctionnelle. Les points représentent les valeurs observées et les courbes en train plein le modèle statistique de type GLMM. Les zones grisées représentent les écart-types de l'effet aléatoire de la décade de l'observation. La mise en eau du polder (flèche) et les cycles concernés par une vague de froid (ligne horizontale) sont représentés.



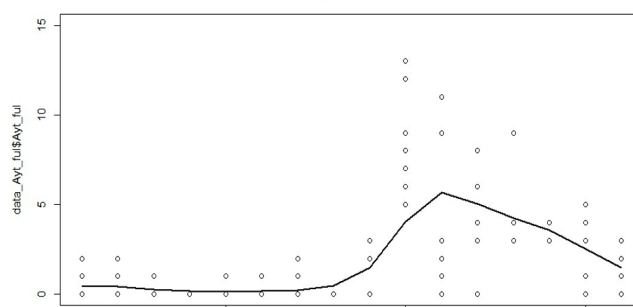
Annexe 2b : Evolution des effectifs hivernants entre 2002 et 2017 sur l'unité fonctionnelle. Les cercles représentent les valeurs observées et les courbes en train plein le modèle statistique de type GAMM. Les tirets représentent les écart-types (très faibles pour le Fuligule milouin et le Fuligule morillon) de l'effet aléatoire de la décade de l'observation.



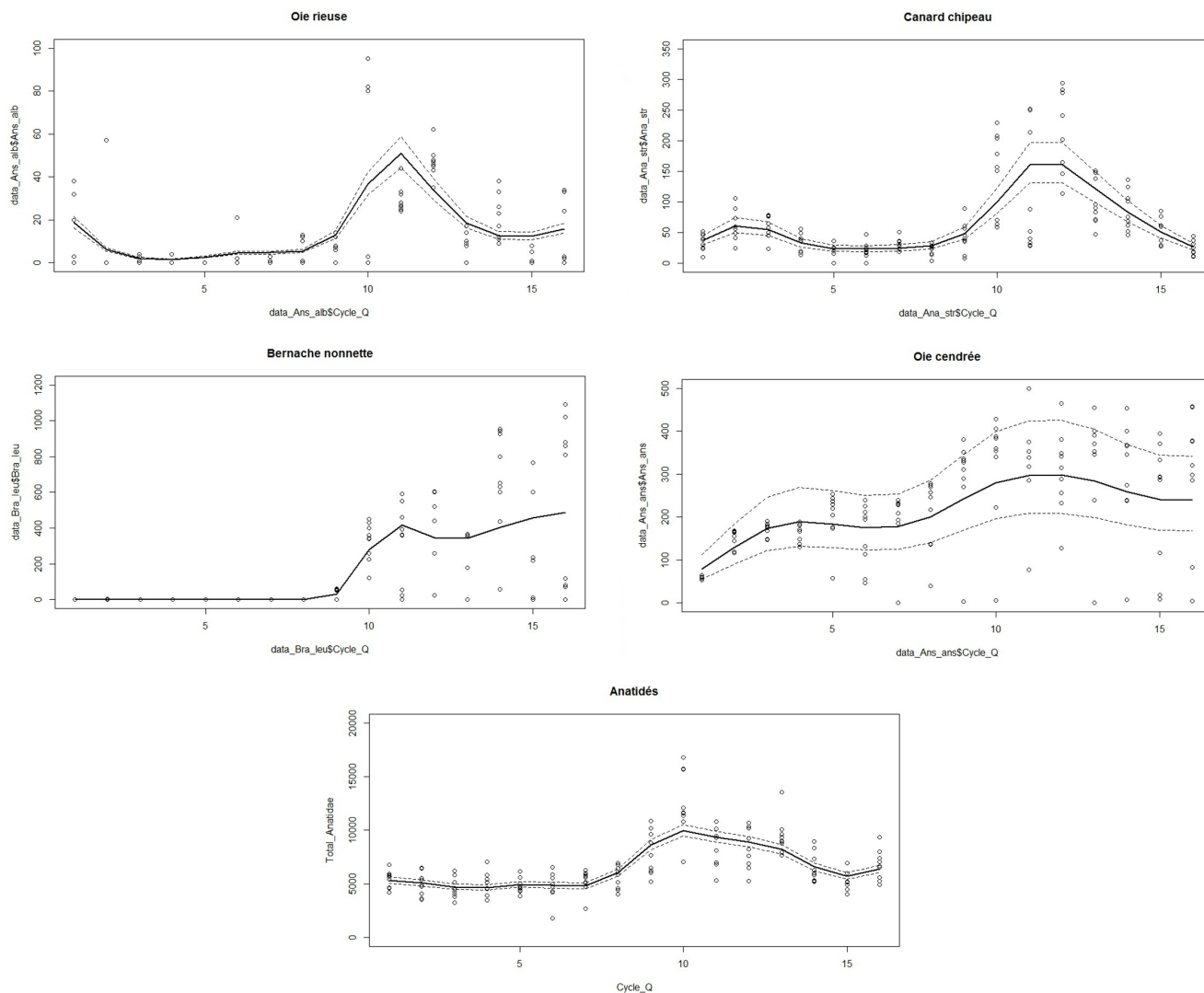
Fuligule milouin



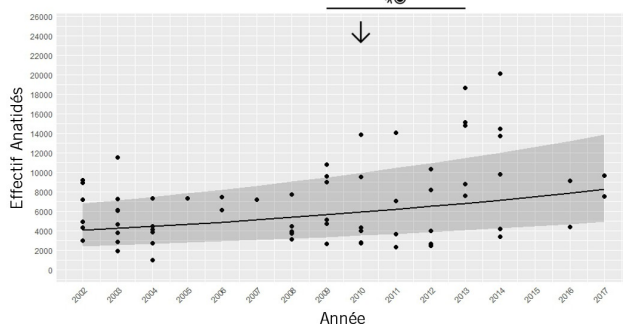
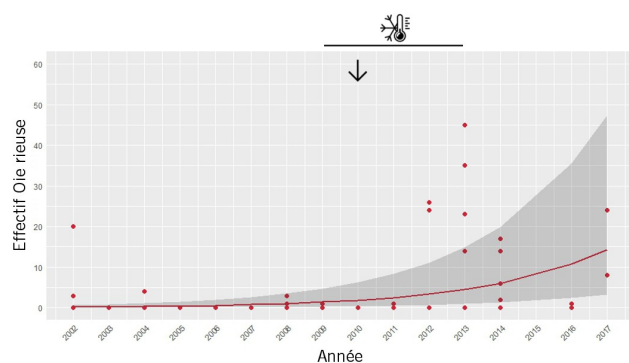
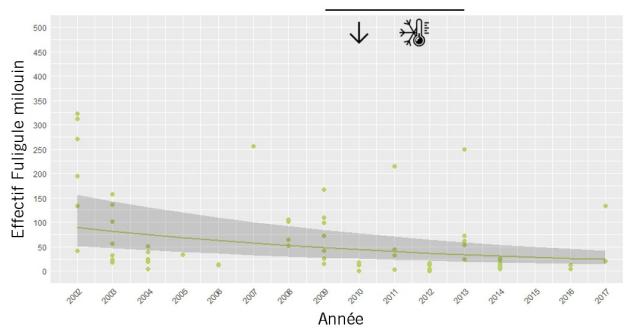
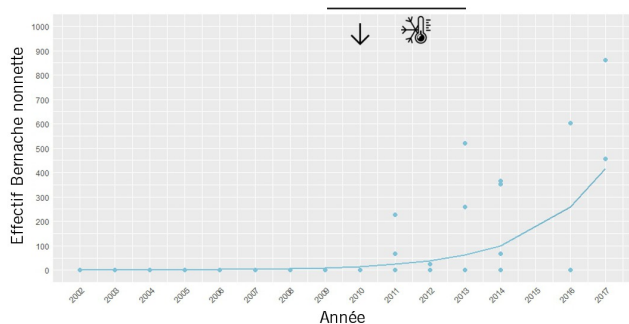
Fuligule morillon



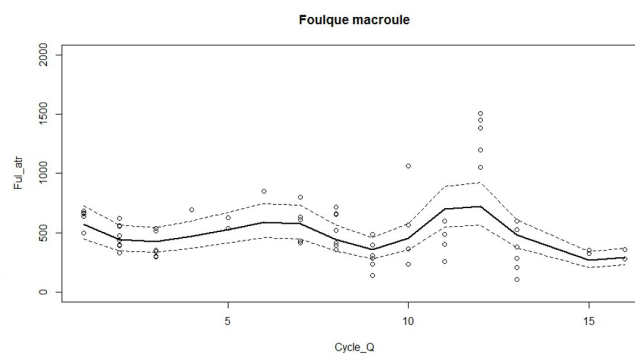
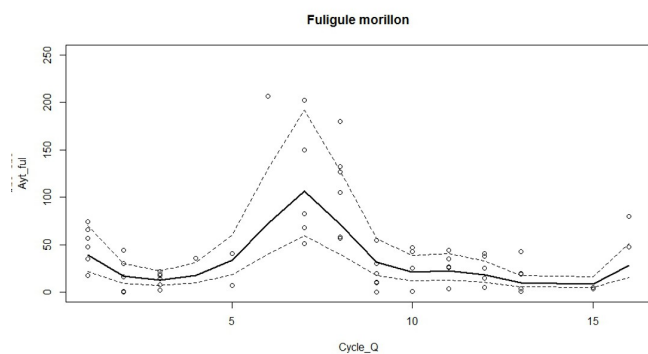
Annexe 3 : Evolution des effectifs hivernants de canards plongeurs entre 2002 et 2017 sur le complexe RNNDB – Polder. **En haut** : Résultats des modèles de type GLMM ; **en bas** : Résultats des modèles de type GAMM. La mise en eau du polder (flèche) et les cycles concernés par une vague de froid (ligne horizontale) sont représentés.



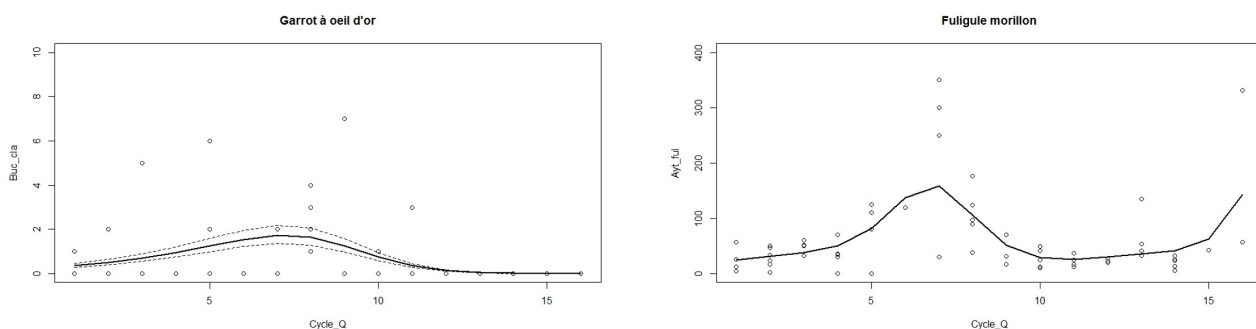
Annexe 4 : Evolution des effectifs hivernants entre 2002 et 2017 sur le complexe RNNDB - Polder. Les cercles représentent les valeurs observées et les courbes en train plein le modèle statistique de type GAMM. Les tirets représentent les écart-types (très faibles pour la Bernache nonnette) de l'effet aléatoire de la décade de l'observation.



Annexe 5a : Evolution des effectifs post-nuptiaux entre 2002 et 2017 sur l'unité fonctionnelle. Les points représentent les valeurs observées et les courbes en train plein le modèle statistique de type GLMM. Les zones grisées représentent les écart-types (très faibles pour la Bernache nonnétte) de l'effet aléatoire de la décennie de l'observation. La mise en eau du polder (flèche) et les cycles concernés par une vague de froid (ligne horizontale) sont représentés.

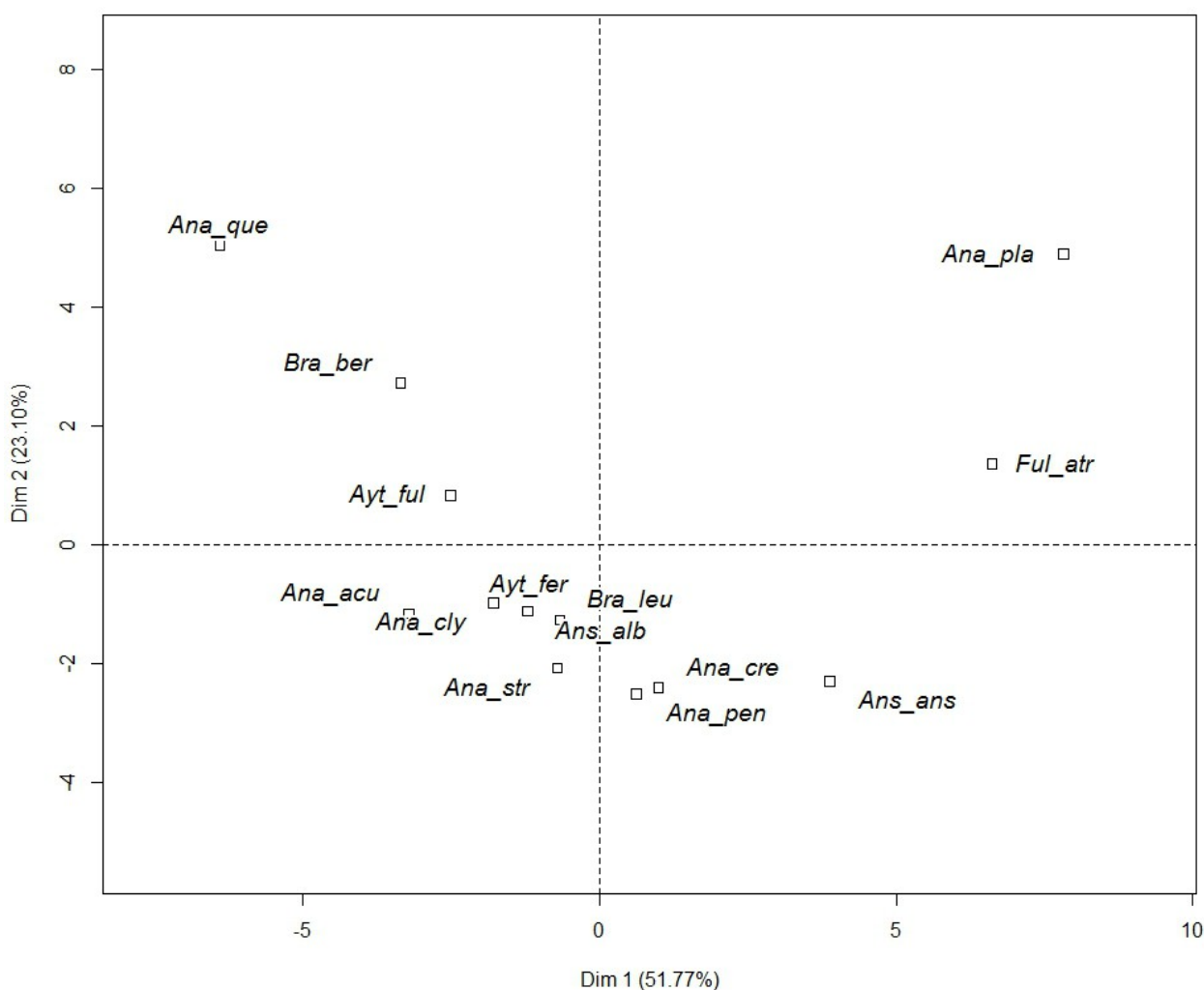


Annexe 5b : Evolution des effectifs post-nuptiaux entre 2002 et 2017 sur l'unité fonctionnelle. Les cercles représentent les valeurs observées et les courbes en train plein le modèle statistique de type GAMM. Les tirets représentent les écart-types de l'effet aléatoire de la décennie de l'observation.

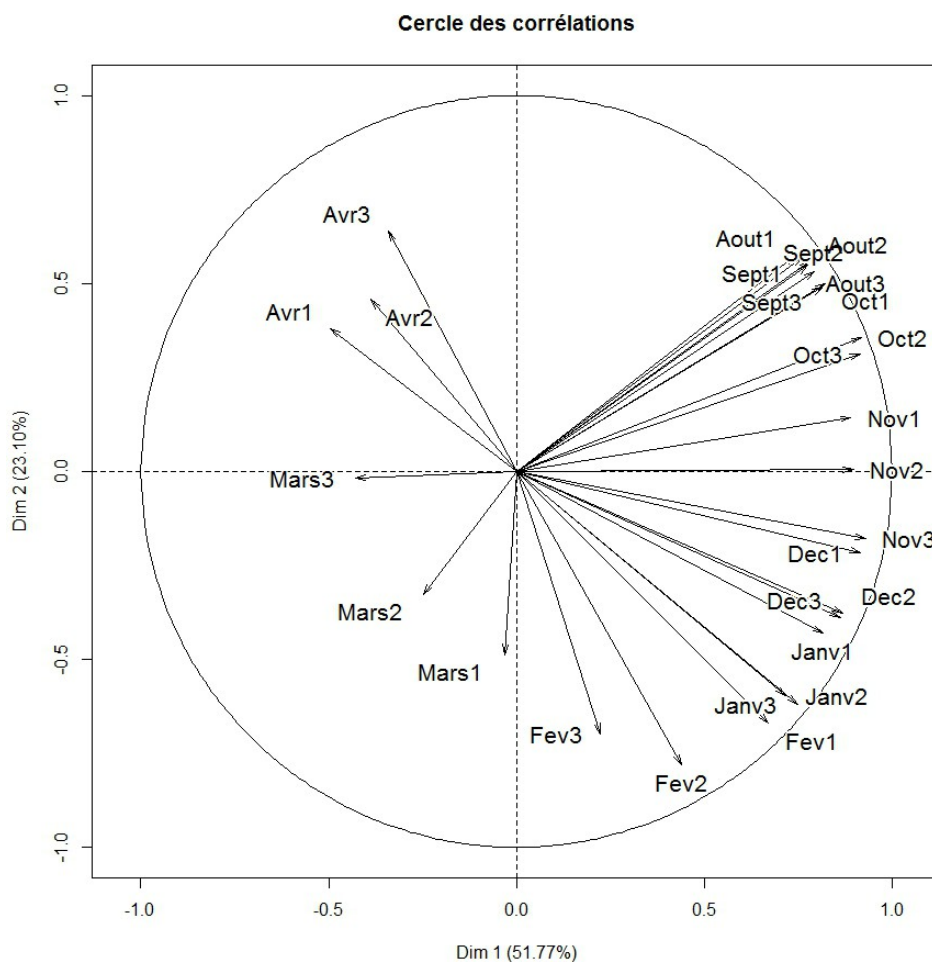


Annexe 6 : Evolution des effectifs pré-nuptiaux entre 2002 et 2017 sur l'unité fonctionnelle. Les cercles représentent les valeurs observées et les courbes en train plein le modèle statistique de type GAMM. Les tirets représentent les écart-types (très faibles pour le Fuligule morillon) de l'effet aléatoire de la décade de l'observation.

Nuage des individus



Annexe 7 : Nuage d'individus de l'ACP réalisée à partir des données moyennes de phénologie sur le complexe RNNDB - Polder des 14 espèces les plus observées



Annexe 8 : Cercle des corrélations de l'ACP réalisée à partir des données moyennes de phénologie sur l'unité fonctionnelle des 14 espèces les plus observées