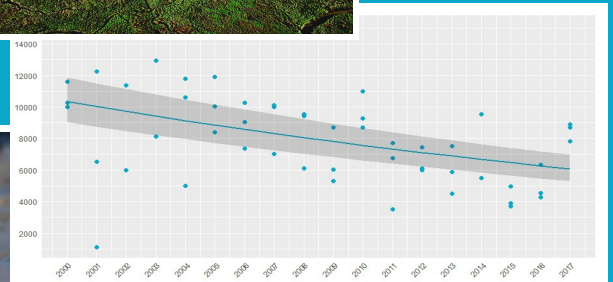
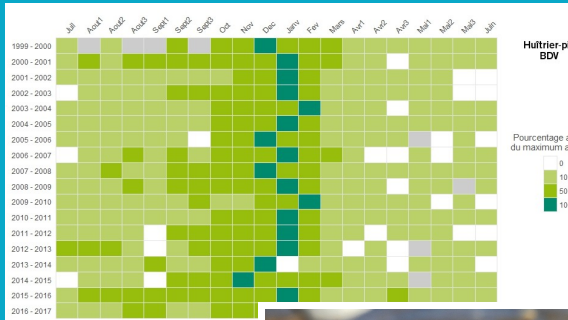
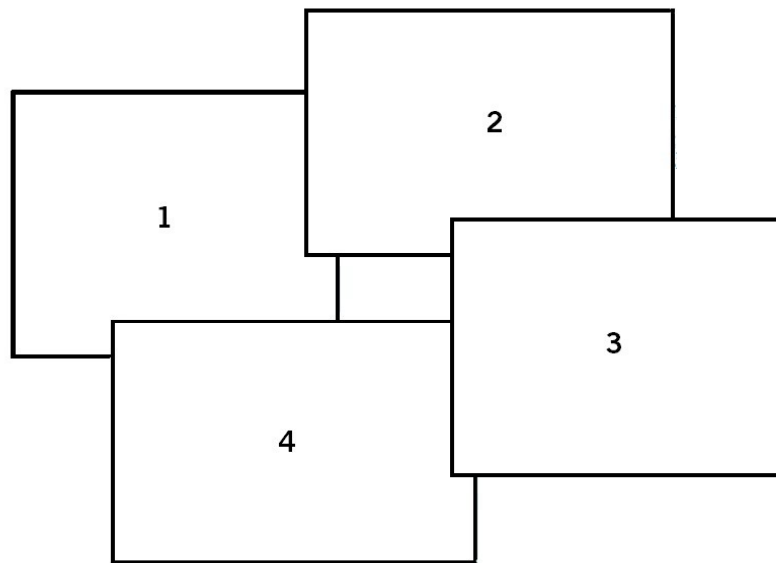


# Suivi des limicoles côtiers sur les unités fonctionnelles « Baie des Veys » et « Littoral Est-Cotentin »



## Analyse des données 1999 à 2017



**Illustration n°1** : Carte de chaleur représentant la phénologie de l'Huîtrier-pie par cycle en Baie des Veys  
©Fabien Verniest

**Illustration n°2** : Photographie aérienne de la Baie des Veys ©François Levalet

**Illustration n°3** : Evolution des effectifs hivernants de Bécasseau variable en Baie des Veys ©Fabien Verniest

**Illustration n°4** : Photographie de Bécasseaux variables ©Maurice Guerard

## Liste des observateurs

Un grand merci au Groupe Ornithologique Normand, au Syndicat Mixte des Espaces Littoraux de la Manche et aux services départementaux de l'Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage de la Manche et du Calvados d'avoir contribué à l'acquisition des données aux côtés du Parc naturel régional des Marais du Cotentin et du Bessin. Nous remercions plus particulièrement les personnes ayant participé au suivi :

ADAM Antoine, AUBERT Dimitri, AUBREE Johann, BACHELET Anthony, BARENTON Lydie, BARRIER Alain, BERTOT Yves, BLOND Mickaël, BOISSET Martial, BOULANGER Vincent, BOULARD Chloé, BOULON Anne-Isabelle, BOYER Baptiste, BRULAY Noel, BUNEL Marie, BURBAN Catherine, CAILLE Marion, CAILLOT Emmanuel, COLLAS Précillia, CRESTEY Samuel, DAVIGNON Dimitri, DENIS François, DENIS Thierry, DESMARES Jocelyn, DROUET Marie-Noëlle, DUREL Jean-Luc, ELDER Jean-François, EMPEREUR-BUISSON Caroline, FILLOL Nicolas, FOUCHARD Benoît, GABET Ludivine, GALLAND Guillaume, GALLOO Thierry, GOSSELIN François, GROSSIN Emmanuel, GUENIER Christophe, GUILLON Didier, HAUTEMANIERE Jean-Jacques, HEMON Audrey, HEROUARD Anthony, HUART Eric, JAILLET Vincent, JOSSE Stéphanie, LABADIE Dominique, LAVAREC Laurent, LE PADELLEC Yann, LEBRETON Lucas, LECAPLAIN Benoît, LCONTE Christian, LEDAUPHIN Rémy, LEFEVRE Jean-Marc, LEGRAND Laurent, LEGRAND Sébastien, LEMAITRE Thomas, LEMONNIER G., LOONIS Ludovic, MARIE Stéphane, MASQUEREL Lola, MENARD Hélène, MORDEL François, PARMENTIER Emmanuel, PEDROT Claire, PETIT Stéphane, PEZERIL Sylvain, PRODHOMME Marie-Claude, PROVOST Sébastien, PURENNE Régis, QUESNEL Maxime, RADOLA Virginie, RAMOND Jacques, RENARD Nicole, ROBERT Lili, ROUSSEL Michel, RUNGETTE Denis, RUTTEN Mathieu, SALMON Aurélien, TIMSIT Olivier, UZAN-ALLARD Samuel, VIGOUR David, VIMARD Gilbert et WILLAY Elisabeth.



## 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
<b>Introduction.....</b>	<b>13</b>
<b>1. Matériel et Méthodes.....</b>	<b>14</b>
1.1. Zone d'étude.....	14
1.2. Espèces étudiées.....	16
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 :.....	24
d. Données Courlis cendré :.....	25
1.5. Analyse des données.....	26
a. Généralités sur les méthodes statistiques employées :.....	26
b. Démarche de modélisation :.....	27
c. Détail des modèles utilisés :.....	28
d. Outils SIG :.....	28
<b>2. Résultats.....</b>	<b>29</b>
2.1. Pertinence du découpage des unités fonctionnelles.....	29
2.2. Présentation générale.....	35
a. Littoral Est-Cotentin :.....	35
b. Baie des Veys :.....	37
c. Comparaison des unités fonctionnelles :.....	40
2.3. Tendances d'évolution : variations inter-annuelles.....	41
a. Tendances en période d'hivernage :.....	41
b. Tendances en période de migration post-nuptiale :.....	46
c. Tendances en période de migration pré-nuptiale :.....	51
d. Synthèse :.....	57
2.4. Rôle et intérêt biogéographiques.....	59
a. Intérêt des unités fonctionnelles :.....	59
b. Contribution aux échelles supérieures :.....	64
c. Relation entre les différentes échelles :.....	69
2.5. Phénologie : variations intra-annuelles.....	77
a. Phénologie comparée des espèces :.....	77
b. Phénologie spécifique :.....	82
c. Evolution de la phénologie :.....	86
2.6. Analyse des communautés.....	100
2.7. Evolution de la répartition spatiale.....	105
a. Au sein des unités fonctionnelles :.....	105
b. Glissement de populations :.....	113
<b>3. Discussion.....</b>	<b>115</b>
3.1. Interprétation des résultats.....	115

a. Pertinence du découpage des unités fonctionnelles :.....	115
b. Présentation générale :.....	115
c. Tendances d'évolution :.....	116
d. Rôle et intérêt biogéographiques :.....	117
e. Phénologie :.....	119
f. Analyse des communautés :.....	119
g. Evolution de la répartition spatiale :.....	121
3.2. Limites de l'étude.....	121
3.3. Pistes d'améliorations du protocole.....	123
<b>Conclusion.....</b>	<b>125</b>
Références.....	127
Bibliographie.....	127
Logiciels et packages.....	128
Table des Annexes.....	129
Annexes.....	130

## Avant-propos

Ce rapport présente les méthodes et résultats de l'analyse des données issues du protocole de suivi des limicoles côtiers 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 1999 à 2017. L'analyse des données issues du suivi des remises diurnes 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 représentant le découpage des unités fonctionnelles.....	15
<u>Figure 2</u> : Schéma présentant la structure d'une unité fonctionnelle pour les limicoles.....	17
<u>Figure 3</u> : Schéma présentant la structure des données.....	22
<u>Figure 4</u> : Répartition par secteurs des Courlis cendrés inventoriés « à la passée ».....	26
<u>Figure 5</u> : Part moyenne de chaque taxon dans le peuplement annuel par secteur.....	30
<u>Figure 6</u> : ACP à partir de la part de chaque taxon dans le peuplement annuel par secteur.....	31
<u>Figure 7</u> : Schéma cartographique représentant les secteurs dont l'appartenance à une unité fonctionnelle est à vérifier.....	32
<u>Figure 8</u> : Dendrogramme réalisé à partir de la seconde ACP.....	33
<u>Figure 9</u> : Répartition par taxon des individus observés sur le Littoral Est-Cotentin.....	35
<u>Figure 10</u> : Part de chaque secteur dans le nombre d'individus sur le Littoral Est-Cotentin.....	36
<u>Figure 11</u> : Nombre d'individus observé pour les espèces principales sur le Littoral Est-Cotentin...	37
<u>Figure 12</u> : Répartition par taxon des individus observés en Baie des Veys.....	37
<u>Figure 13</u> : Part de chaque secteur dans le nombre d'individus en Baie des Veys.....	39
<u>Figure 14</u> : Nombre d'individus observé pour les espèces principales en Baie des Veys.....	39
<u>Figure 15</u> : Evolution linéaire des effectifs hivernants sur le Littoral Est-Cotentin.....	42
<u>Figure 16</u> : Evolution non-linéaire des effectifs hivernants sur le Littoral Est-Cotentin.....	43
<u>Figure 17</u> : Evolution linéaire des effectifs hivernants en Baie des Veys.....	45
<u>Figure 18</u> : Evolution non-linéaire des effectifs hivernants en Baie des Veys.....	45
<u>Figure 19</u> : Evolution linéaire des effectifs post-nuptiaux sur le Littoral Est-Cotentin.....	47
<u>Figure 20</u> : Evolution non-linéaire des effectifs post-nuptiaux sur le Littoral Est-Cotentin.....	48
<u>Figure 21</u> : Evolution linéaire des effectifs post-nuptiaux en Baie des Veys.....	50
<u>Figure 22</u> : Evolution non-linéaire des effectifs post-nuptiaux en Baie des Veys.....	50
<u>Figure 23</u> : Evolution linéaire des effectifs pré-nuptiaux sur le Littoral Est-Cotentin.....	52
<u>Figure 24</u> : Evolution non-linéaire des effectifs pré-nuptiaux sur le Littoral Est-Cotentin.....	53
<u>Figure 25</u> : Evolution linéaire des effectifs pré-nuptiaux en Baie des Veys.....	55
<u>Figure 26</u> : Evolution non-linéaire des effectifs pré-nuptiaux en Baie des Veys.....	56
<u>Figure 27</u> : Contribution aux effectifs nationaux et régionaux des unités fonctionnelles.....	65
<u>Figure 28</u> : Effectifs nationaux et régionaux en fonction de ceux des unités fonctionnelles.....	71

<u>Figure 29</u> : Indice de présence par mois et par espèce sur le Littoral Est-Cotentin.....	77
<u>Figure 30</u> : Variabilité de l'indice de présence par mois et par espèce sur le Littoral Est-Cotentin.....	78
<u>Figure 31</u> : Indice de présence par mois et par espèce en Baie des Veys.....	79
<u>Figure 32</u> : Variabilité de l'indice de présence par mois et par espèce en Baie des Veys.....	80
<u>Figure 33</u> : Indice de présence au cours d'un cycle pour chaque espèce et unité.....	82
<u>Figure 34</u> : Evolution de la phénologie au cours du temps pour chaque espèce et unité.....	87
<u>Figure 35</u> : Carte des peuplements totaux.....	101
<u>Figure 36</u> : Carte des peuplements hivernaux.....	102
<u>Figure 37</u> : Carte des peuplements post-nuptiaux.....	103
<u>Figure 38</u> : Carte des peuplements pré-nuptiaux.....	104
<u>Figure 39</u> : Evolution temporelle de la part des effectifs spécifique sur chaque secteur.....	105
<u>Figure 40</u> : Evolution temporelle de la part des effectifs spécifique entre le secteur 6 et 7B.....	114

## Table des Tableaux

<u>Tableau I</u> : Description des variables de la base de données principale.....	20
<u>Tableau II</u> : Résumé des comptages « à la passée » des Courlis cendrés.....	25
<u>Tableau III</u> : Somme des écarts des peuplements moyens selon les deux <i>scenarii</i> envisagés.....	34
<u>Tableau IV</u> : Liste des taxons observés sur le Littoral Est-Cotentin.....	35
<u>Tableau V</u> : Liste des taxons observés en Baie des Veys.....	38
<u>Tableau VI</u> : Tendances temporelles hivernales sur le Littoral Est-Cotentin.....	41
<u>Tableau VII</u> : Tendances temporelles hivernales en Baie des Veys.....	44
<u>Tableau VIII</u> : Tendances temporelles post-nuptiales sur le Littoral Est-Cotentin.....	46
<u>Tableau IX</u> : Tendances temporelles post-nuptiales en Baie des Veys.....	49
<u>Tableau X</u> : Tendances temporelles pré-nuptiales sur le Littoral Est-Cotentin.....	51
<u>Tableau XI</u> : Tendances temporelles pré-nuptiales en Baie des Veys.....	54
<u>Tableau XII</u> : Tendances temporelles des taxons en fonction de l'unité fonctionnelle et de la période considérée.....	58
<u>Tableau XIII</u> : Intérêt des unités fonctionnelle à la mi-janvier.....	61
<u>Tableau XIV</u> : Intérêt biogéographique en migration post-nuptiale.....	62
<u>Tableau XV</u> : Intérêt biogéographique en migration pré-nuptiale.....	63
<u>Tableau XVI</u> : Corrélation des effectifs entre unités fonctionnelles et échelles supra.....	70
<u>Tableau XVII</u> : Tendances temporelles hivernales en fonction des échelles considérées.....	75
<u>Tableau XVIII</u> : Groupement des taxons selon leur phénologie.....	81



## Liste des Sigles et Abréviations

ACP : Analyse en Composantes Principales

AIC : Akaïké Information Criterion (Critère d'Akaïké)

CAH : Classification Ascendante Hiérarchique

CHCP : Classification Hiérarchique sur Composantes Principales

DPM : Domaine Public Maritime

GAM : Generalized Additive Model (Modèle Additif Généralisé)

GAMM : Generalized Additive Mixed Model (Modèle Additif Généralisé Mixte)

GLM : Generalized Linear Model (Modèle Linéaire Généralisé)

GLMM : Generalized Linear Mixed Model (Modèle Linéaire Généralisé Mixte)

PnrMCB : Parc naturel régional des Marais du Cotentin et du Bessin

RNNDB : Réserve Naturelle Nationale du Domaine de Beauguillot

SIG : Système d'Information Géographique

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 secteurs de la Baie des Veys dans l'accueil des populations de limicoles côtiers a été mise en évidence dès l'évaluation du premier plan de gestion de la réserve (Elder *et al.*, 1994), tout comme les différences de peuplements et de fonctionnement entre la Baie des Veys et les secteurs situés plus au Nord formant l'unité fonctionnelle Littoral Est-Cotentin. L'évaluation du second plan de gestion (Elder, 2000) a mis en évidence la nécessité de la mise en place d'un suivi régulier et concerté de l'ensemble des secteurs appartenant aux deux unités fonctionnelles afin de répondre aux problématiques locales de gestion de la RNNDB à une échelle biogéographique plus pertinente.

Dix-huit 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, de la pertinence de la structure des unités fonctionnelles et la détermination du rôle biogéographique font l'objet, au moins en partie, d'analyses statistiques plus ou moins poussées. Ces thématiques sont abordées sur chacune des unités fonctionnelles, permettant ainsi la comparaison entre les deux entités géographiques. Du fait de la grande proximité des résultats entre l'unité fonctionnelle « Baie des Veys » et le complexe formé par la RNNDB et le Polder de Sainte-Marie-du-Mont, nous n'avons pas réalisé d'analyses spécifiques à cette dernière entité. D'autres études portant sur les limicoles côtiers ont déjà été réalisées sur ces deux unités fonctionnelles, notamment sur les peuplements et la répartition spatiale des effectifs entre secteurs. Toutefois cette étude se distingue des autres 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 : « Le découpage originel des deux unités fonctionnelles est-il toujours pertinent ? » ; « Comment varient les effectifs des populations au cours du temps ? » ; « Quels enjeux régionaux, nationaux et internationaux sont localisés sur les unités fonctionnelles ? » ; « 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 secteurs 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 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

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.

Au sein de ce territoire, deux ensembles distincts, appelés « unités fonctionnelles » dans la suite du rapport, sont étudiés et divisés en secteurs. La première unité fonctionnelle, appelée « Littoral Est-Cotentin », s'étend sur 33,6 km de linéaire côtier depuis la pointe de Saire jusqu'au Nord de la Réserve Naturelle Nationale du Domaine de Beauguillot. L'estran y est plutôt sableux bien qu'il puisse présenter des formations de galets et de débris coquilliers, quelques platiers rocheux (secteur 1) et des zones de schorre (secteur 2) (Bunel, 2008 ; Caillot & Elder, 2000 ; Pedrot *et al.*, 2009). On note également la présence de digues sur une partie de la côte. Aucun statut de protection particulier n'est mis en place sur cette unité fonctionnelle et on y relève la présence d'activités conchylicole, cynégétique et touristique.

En ce qui concerne l'unité fonctionnelle « Baie des Veys », elle s'étend depuis la Réserve Naturelle Nationale du Domaine de Beauguillot à l'Ouest jusqu'à Grandcamp-Maisy à l'Est. La Douve, la Taute, l'Aure et la Vire s'y déversent via la canal de Carentan et celui d'Isigny. Un système de portes à flot qui évite la submersion des marais à marée haute est à l'origine du régime hydrique artificiel de la Baie (Spiroux, 1991). La Baie des Veys, dont le marnage est très important (7 mètres), est constituée d'une partie terrestre composée de polders et de prairies arrières littorales ainsi que

# Limicoles côtiers - Structure des Unités Fonctionnelles

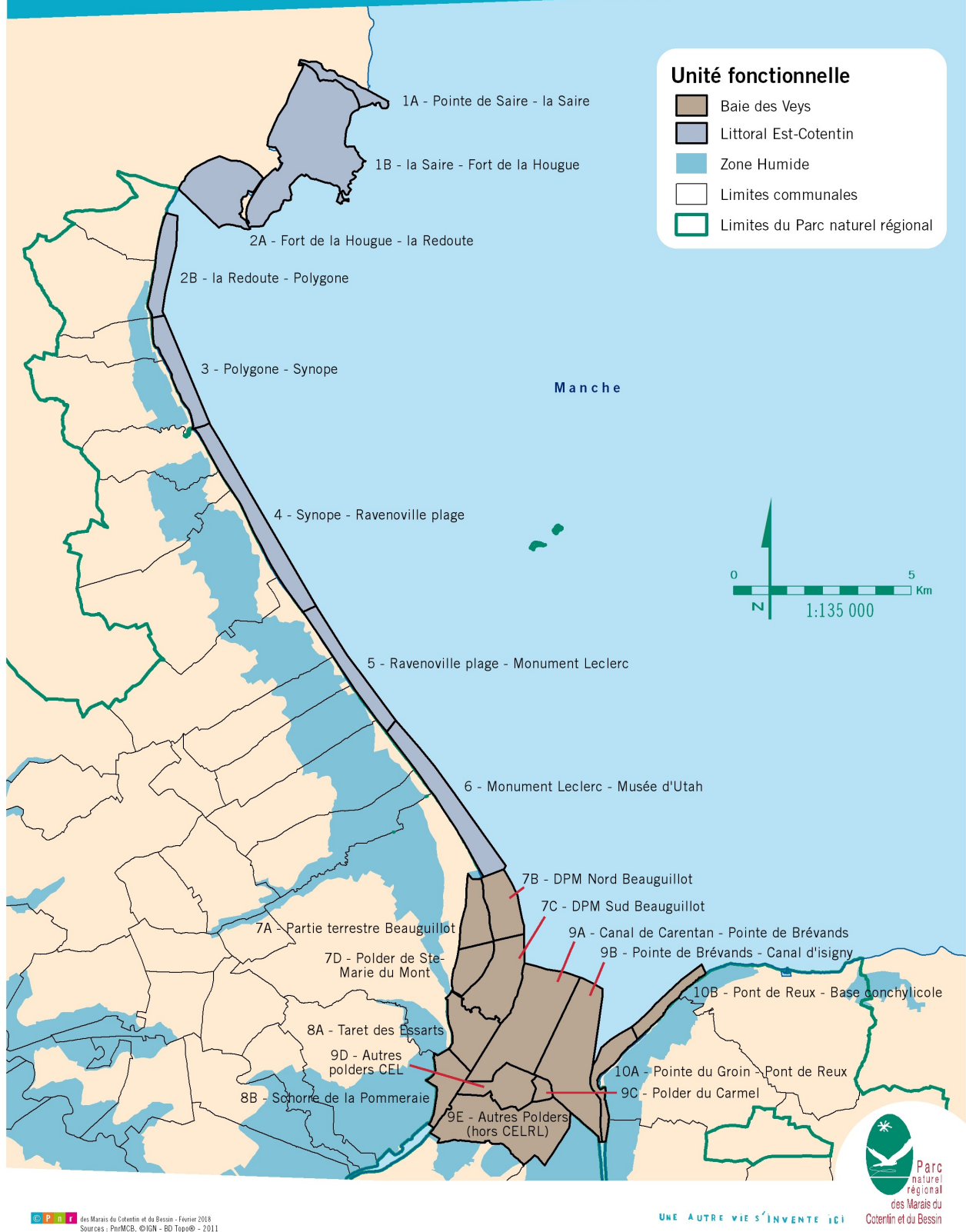


Figure 1 : Carte présentant le découpage des unités fonctionnelles « Littoral Est-Cotentin » et « Baie des Veys » en secteurs de suivis

d'une partie maritime, caractérisée par de vastes zones de schorre et d'estran sableux ou sablo-vaseux. Cette unité est également concernée par les activités humaines bien que celles-ci soient restreintes dans certains secteurs, comme la chasse et la conchyliculture sur le complexe formé par la Réserve de Chasse et de Faune Sauvage du Polder de Sainte-Marie-du-Mont et la RNN du Domaine de Beauguillot. Cette dernière est située en bordure Nord-Ouest de la Baie des Veys et gérée par le Parc naturel régional des Marais du Cotentin et du Bessin, sa partie terrestre étant propriété du Conservatoire du Littoral. Celle-ci 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 à une plage sableuse au Nord (secteur 7B) et à un estran sablo-vaseux avec une zone de schorre au Sud (secteur 7C). Au Sud de la RNNDB, on retrouve le Polder de Sainte-Marie-du-Mont, également propriété du Conservatoire du Littoral et géré par le SyMEL. Cet espace 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) en novembre 2009. Il est ainsi composé de prairies pâturées et fauchées ainsi que de canaux et fossés amphihalins (Bunel, 2008 ; Caillot & Elder, 2000 ; Elder & Blond, 2012 ; Galloo, 2015 ; Pedrot *et al.*, 2009).

Ces deux unités fonctionnelles qui constituent des sites d'importance nationale et internationale pour de nombreuses espèces, sont reconnues et protégées pour leur patrimoine naturel (ZNIEFF, ZPS et ZSC, RAMSAR).

## 1.2. Espèces étudiées

L'ensemble des espèces citées dans cette étude appartiennent à l'Ordre des Charadriiformes et plus particulièrement au sous-Ordre des *Charadrii* que l'on appelle aussi limicoles. Ce sont de petits échassiers qui pour la plupart fréquentent des milieux humides (littoral, marais, lagunes, etc.) et se nourrissent de petits invertébrés. Les limicoles dits « côtiers » vont se regrouper à marée haute sur des espaces réduits appelés « reposoirs » alors qu'ils vont profiter de la marée basse pour s'alimenter en zone de battement des marées (Réserves Naturelles de France, n.d.). L'ensemble composé des reposoirs et zones d'alimentation fréquentés par une même communauté d'oiseaux constitue une unité fonctionnelle (cf. schéma Figure 2). La grande majorité des espèces concernées sont migratrices : dans le cas des deux unités fonctionnelles étudiées, elles empruntent la voie de migration Est-Atlantique pour passer des zones d'hivernage sur le littoral Atlantique aux zones de nidification en Sibérie, Islande, Groenland, Arctique canadien et nord de l'Europe.



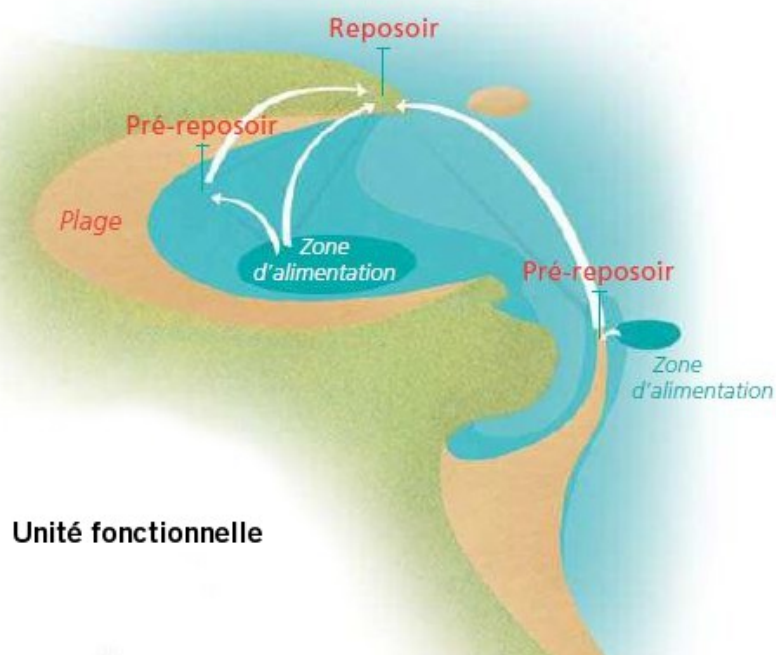


Figure 2 : Schéma présentant la structure d'une unité fonctionnelle pour les limicoles (extrait de Réserves Naturelles de France, n.d.)

Parmi les limicoles observés dans le cadre du protocole de suivi des limicoles côtiers, nous ne tenons pas compte du Vanneau huppé (*Vanellus vanellus*) ainsi que du Pluvier doré (*Pluvialis apricaria*) comme dans Trollet *et al.* (2017). En effet ces deux espèces ne sont pas liées au littoral et leurs stationnements y sont marginaux. Certains taxons conservés pour cette étude ne sont pas non plus des limicoles côtiers à proprement parler mais sont tout de même majoritairement ou fortement présents en période hivernale en zone littorale ou arrière littorale, ce qui a motivé leur intégration aux analyses. Il faudra toutefois être plus prudent dans les interprétations des résultats pour ces espèces-là, comme la Barge à queue noire, le Courlis corlieu (*Numenius phaeopus*) ou encore le Combattant varié (*Philomachus pugnax*) dont l'utilisation des marais est mal identifiée. On fera également attention pour les espèces à large front de migration comme le Chevalier cul-blanc (*Tringa ochropus*), le Chevalier guignette (*Actitis hypoleucos*), le Chevalier aboyeur (*Tringa nebularia*) ou encore le Chevalier sylvain (*Tringa glareola*) pour lesquelles le protocole n'est pas adapté (espèces qui fréquentent peu ou pas les reposoirs de haute mer). Enfin on gardera nos précautions sur l'interprétation des résultats concernant l'Avocette élégante (*Recurvirostra avosetta*) pour laquelle la détectabilité n'est pas optimale ainsi que pour le Courlis cendré (*Numenius arquata*) dont seulement une petite partie des effectifs présents au dortoir fréquente le littoral de la Baie des Veys, les autres se répartissant dans les marais arrière littoraux de la Côte Est. Au total 26 espèces différentes sont prises en compte sur l'ensemble des deux unités fonctionnelles considérées, bien que certaines trop rares ne fassent pas l'objet de l'ensemble des analyses spécifiques.

### 1.3. Protocole de suivi

Le suivi a été mis en place en 1999 sous l'impulsion de l'Association Claude Hettier de Boislabert suite aux conclusions de l'évaluation du second plan de gestion de la Réserve Naturelle Nationale du Domaine de Beauguillot (Elder, 2000) mettant en évidence la nécessité de réaliser un suivi concerté sur plusieurs sites interdépendants à l'échelle de la Baie des Veys et du Littoral Est-Cotentin. Le protocole a ensuite été diffusé par l'association Réserves Naturelles de France sur d'autres unités fonctionnelles à l'échelle nationale. Il consiste en un comptage mensuel réalisé à l'heure de la haute mer pour des coefficients supérieurs à 80, autour du 15 de chaque mois sur l'ensemble du cycle annuel et à l'échelle d'une unité fonctionnelle (Caillot, 2012 ; Réserves Naturelles de France, n.d.). Il s'inscrit ainsi en complémentarité des comptages nationaux et internationaux de la mi-janvier (Wetlands International). Au cours de chaque relevé, les effectifs de limicoles côtiers sont dénombrés à marée haute sur l'ensemble des reposoirs de l'unité fonctionnelle.

Sur les deux unités concernées par cette étude, le protocole a été légèrement ré-adapté : les relevés sont effectués tous les dix jours en période de migration, les mois d'août, septembre, avril et mai, afin d'optimiser les chances de détecter le pic d'effectif de certaines espèces.

### 1.4. Données utilisées

Les données utilisées issues du protocole décrit dans la section précédente couvrent la période 1999 à 2017, soit de l'année de mise en place du protocole à l'année de production de l'étude dont fait l'objet ce rapport.

#### **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 un secteur 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 certains secteurs, plusieurs 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. Enfin pour les espèces continentales non liées à la marée et pour lesquelles le protocole initial est moins adapté, comme le Combattant varié ou les Chevaliers, on tient compte également des effectifs observés dans le cadre du suivi des remises diurnes (Anatidés et Foulque macroule) pour le complexe RNNDB – Polder.

En ce qui concerne les imprécisions sur les effectifs, lorsqu'une plage de valeurs a été renseignée et non un nombre d'individu, 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 infime partie des données (moins d'une dizaine 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 ainsi obtenue est composée de 4875 lignes et de 40 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 (*Cha\_dub* qui rentre dans le calcul de *Total\_limicoles* par exemple).

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

Variable	Type	Fonction	Description
<i>ID</i>	Entier positif	-	Identifiant de l'observation
<i>Secteur</i>	Catégorielle	Variable explicative	Secteur échantillonné
<i>UF</i>	Catégorielle	Variable explicative	Unité fonctionnelle de l'observation
<i>Cycle</i>	Catégorielle	Variable explicative	Cycle de l'observation
<i>Cycle_Q</i>	Entier positif	Variable explicative	Numéro du cycle de l'observation
<i>Decade</i>	Catégorielle	Variable explicative	Mois ou décade de l'observation
<i>Date</i>	Catégorielle	Variable explicative	Date de l'observation au format JJ/MM/AAAA
<i>Date_Jul</i>	Entier positif	Variable explicative	Date en jours juliens (le 1 correspond au 1 <sup>er</sup> Juillet)
<i>Total_limicoles</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre total de contacts de limicoles
<i>Act_hyp</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts d' <i>Actitis hypoleucos</i>
<i>Are_int</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts d' <i>Arenaria interpres</i>
<i>Cal_alb</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Calidris alba</i>
<i>Cal_alp</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Calidris alpina</i>
<i>Cal_can</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Calidris canutus</i>
<i>Cal_fer</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Calidris ferruginea</i>
<i>Cal_mar</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Calidris maritima</i>
<i>Calidris_sp</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts indéterminés du genre <i>Calidris</i>
<i>Cal_min</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Calidris minuta</i>
<i>Limicoles_sp</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts indéterminés de Limicoles
<i>Cha_ale</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Charadrius alexandrinus</i>
<i>Cha_dub</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Charadrius dubius</i>
<i>Cha_hia</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Charadrius hiaticula</i>
<i>Charadrius_sp</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts indéterminés du genre <i>Charadrius</i>
<i>Hae_ost</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Haematopus ostralegus</i>
<i>Him_him</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Himantopus himantopus</i>
<i>Limosa_sp</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts indéterminés du genre <i>Limosa</i>
<i>Lim_lap</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Limosa lapponica</i>
<i>Lim_lim</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Limosa limosa</i>
<i>Num_arq</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Numenius arquata</i>
<i>Numenius_sp</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts indéterminés du genre <i>Numenius</i>
<i>Num_pha</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Numenius phaeopus</i>
<i>Phi_pug</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Philomachus pugnax</i>
<i>Plu_squ</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Pluvialis squatarola</i>
<i>Rec_avo</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Recurvirostra avosetta</i>

Variable	Type	Fonction	Description
<i>Tri_ery</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Tringa erythropus</i>
<i>Tri_gla</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Tringa glareola</i>
<i>Tri_neb</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Tringa nebularia</i>
<i>Tri_och</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Tringa ochropus</i>
<i>Tri_tot</i>	Entier positif	Variable expliquée	Nombre de contacts de <i>Tringa totanus</i>

Chacune des 4875 lignes (que l'on appelle un individu statistique) correspond ainsi à l'observation d'un secteur, lors d'une décade ou d'un mois au sein d'une année. Le secteur « 06 Monument Leclerc Musée d'Utah » lors de la troisième décade du mois de Mai 2005 constitue une observation (et donc une ligne) par exemple. La structure de la base de données principale est représentée Figure 3 ci-après.

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

- §2.1 – La part moyenne de chaque taxon au sein du peuplement annuel d'un secteur, qui nous permet de vérifier la pertinence du découpage des unités fonctionnelles, est calculée depuis cette base de données
- §2.2 – 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)
- §2.3 – L'analyse des tendances d'évolution des populations est effectuée à partir de ces données
- §2.6 – On utilise ces données pour caractériser les communautés : peuplement moyen par période et peuplement à partir du nombre d'individus total
- §2.7 – A partir de ces données, on établit l'évolution au cours du temps de la contribution de chaque remise les espèces principales (effectif moyen annuel observation)

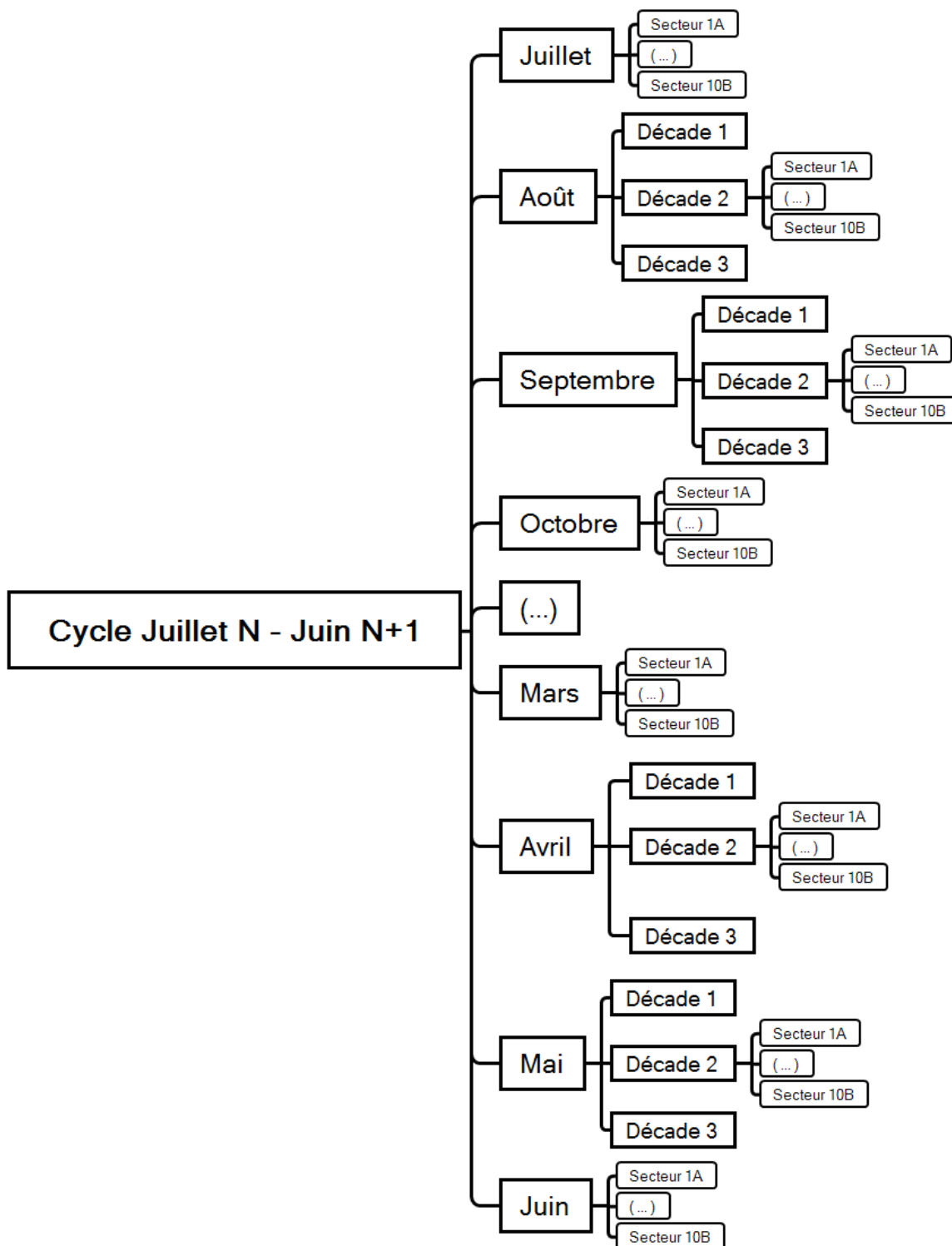


Figure 3 : Schéma présentant la structure de nos données. Exemple pour un cycle lambda

En ce qui concerne le troisième point, plutôt que de considérer un seul comptage par cycle, comme c'est le cas dans de plusieurs études qui s'appuient sur le dénombrement des oiseaux à la mi-janvier (Quaintenne *et al.*, 2015 ; Trollet *et al.*, 2017) 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 plusieurs mois correspondant à la période de l'année analysée : décembre - janvier - février pour l'hivernage, août – septembre - octobre – novembre pour la migration post-nuptiale et février - mars – avril - mai pour la migration pré-nuptiale. Ainsi, 3 comptages (3 mois) sont utilisés par cycle pour la détermination des tendances temporelles hivernales et 8 comptages sont utilisés pour les tendances temporelles de chaque période de migration (2 mois + 3 décades \* 2 mois). 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'un seul point par cycle rendait impossible
- Nous avons supposé que les comptages à une seule date seraient plus sensibles à un léger décalage dans le temps de la phénologie qu'une plage de données impliquant une période plus importante
- Le dénombrement d'individus à une seule date est plus sensible à des conditions d'observations particulières (météorologiques, de marée, 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 que certains relevés ont été retirés des analyses des tendances lorsque la couverture de l'unité fonctionnelle était trop faible en termes de nombre de secteurs suivis.

#### **b. Base de données « phénologie » :**

Contrairement à la base de données principale, chaque variable spécifique ne correspond pas à un effectif mais au rapport entre la somme des effectifs observés sur l'ensemble des secteurs d'une unité et l'effectif maximum obtenu lors du même cycle à la même échelle. Chaque variable est donc comprise entre 0 et 1 inclus. 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 :

- §2.5.a – Phénologie comparée : la donnée peut être décadaire ou mensuelle selon le mois du suivi considéré. Le rapport obtenu est multiplié par 100 afin d'en faciliter la compréhension.
- §2.5.b – Même méthodologie que ci-dessus pour l'obtention des diagrammes radar
- §2.5.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 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 ci-avant, il est possible d'évaluer l'intérêt des unités fonctionnelles :

- L'intérêt est international si l'on dénombre 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 limicoles 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 inventorie lors de la seconde décade de Janvier au moins 1 % des effectifs estimés de la population nationale
- 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 (critère d'importance internationale « RAMSAR » n°5 et n°6) en période de migration pré-nuptiale et post-nuptiale est également déterminé. L'intérêt hivernal pour l'échelle nationale et biogéographique n'est pas calculé pour les espèces les plus rares, du fait de l'absence d'estimation des populations correspondantes sur l'ensemble des années concernées. En outre, il est possible de déterminer l'intérêt à l'échelle régionale mais l'absence d'effectifs normands et / ou sur les deux unités fonctionnelles étudiées nous a obligé à ne traiter que le Combattant varié (*Philomachus pugnax*) parmi les espèces marginales, dont les effectifs sont souvent importants en Baie des Veys.

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 effectifs estimés (comme c'est le cas pour le calcul de l'intérêt national).

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 recensement des limicoles côtiers en France réalisées dans le cadre de ce comptage (Mahéo & Le Dréan-Quenec'hdu, 2000 à 2017). Lorsque le seuil d'importance nationale ne figure pas dans la synthèse annuelle comme c'est le cas pour certaines années, nous avons utilisé le seuil indiqué dans la synthèse précédente. La réception de la synthèse de 2017 à un stade avancé de l'étude n'a permis d'en tenir compte pour l'ensemble des sous-parties de la section : seuls les calculs d'intérêt aux différentes échelles intègrent l'année

2017, pas les sous-parties traitant de l'évolution de la contribution ou encore de la corrélation entre échelles.

L'analyse de ces données permet de traiter la section §2.4 – Rôle et intérêt biogéographique

#### **d. Données Courlis cendré :**

Les Courlis cendrés dénombrés dans le cadre du suivi des limicoles côtiers ne constituent qu'une petite partie de l'ensemble des individus présents en Baie des Veys. En effet, plus de 10 000 individus ont déjà été recensés à la même date sur le complexe RNNDB – Polder dans le cadre du suivi « à la passée » de cette espèce. Ce suivi est effectué de manière régulière depuis 2010 suite aux vagues de froid et uniquement en hivernage, avec au moins un comptage concerté en décembre, janvier et février. En dehors de cette période, le dortoir est moins fréquenté. Contrairement à la population détectée par le protocole de suivi des limicoles côtiers, ces individus utilisent très certainement les marais plus à l'intérieur des terres comme zones de gagnage et le complexe RNNDB – Polder comme dortoir. Ces deux populations au comportement bien différent sur l'unité fonctionnelle Baie des Veys ne sont peut-être pas forcément totalement distinctes l'une de l'autre. Si toutefois les effectifs estimés par le protocole « à la passée » ne sont intégrés à aucune des bases de données précédemment présentées, il est intéressant d'avoir un rapide aperçu des résultats de ce suivi.

Dans le Tableau II ci-dessous, on constate que les effectifs hivernaux mesurés sont très élevés et que ceux-ci sont en majorité situés sur la partie terrestre de la RNNDB, qui fait office de dortoir. Il semblerait que ces effectifs soient en légère augmentation bien que le nombre de relevés effectués soit trop faible pour confirmer statistiquement cette impression graphique.

Tableau II : Résumé des comptages réalisés dans le cadre du suivi « à la passée » des Courlis cendrés

<b>Variable synthétique</b>	<b>Effectif</b>
Moyenne	4561,4
Ecart-type	3306,7
Minimum	600
Maximum	10628
Total	82106

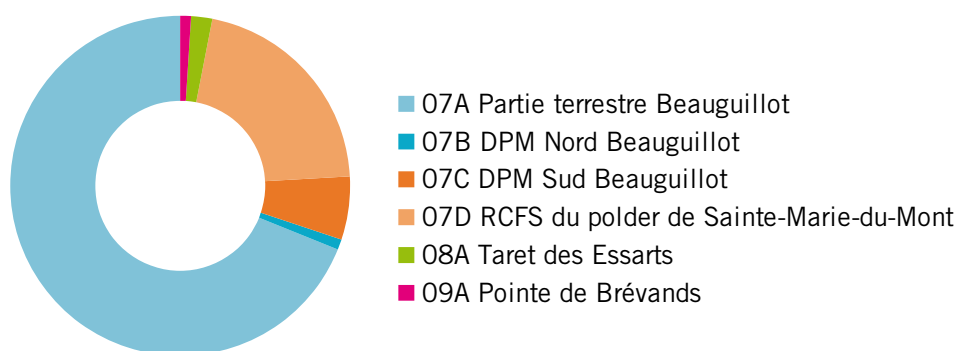


Figure 4 : Répartition par secteurs du total de Courlis cendrés inventoriés dans le cadre du protocole « à la passée »

## 1.5. Analyse des données

### a. Généralités sur les méthodes statistiques employées :

Les analyses factorielles réalisées sont des Analyses en Composantes Principales (ACP), les variables utilisées étant 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  $\alpha$  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.

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. Cette dernière a d'ailleurs été préférée à la distribution de Poisson dans la quasi-totalité des cas, 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 décade sont plus susceptibles de se ressembler que deux observations issues de décades 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 et souvent précisés dans les différents tableaux de synthèse des résultats. 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 n'est pas significatif jusqu'à obtenir un modèle ne contenant que des variables significatives.

- 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       $\text{Cycle\_Q}$  : 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. Pertinence du découpage des unités fonctionnelles

Pour chaque thème d'analyse abordé lors de cette étude, on distingue les résultats de l'unité fonctionnelle « Littoral Est-Cotentin » des résultats de l'unité « Baie des Veys ». Il est donc essentiel de vérifier que la structure et la composition des deux unités fonctionnelles telles qu'elles ont été définies à l'origine sont toujours pertinentes avant d'entamer les différents thèmes d'analyse à proprement parler. Pour ce faire, nous avons comparé les secteurs selon leur peuplement annuel moyen, puisque la répartition des espèces est l'un des critères à l'origine de la séparation en deux unités différentes. Nous ferons tout de même attention à ne pas tenir uniquement compte des peuplements mais aussi à prendre en compte les autres critères à l'origine du découpage que sont la géomorphologie du littoral et l'influence estuarienne tout en conservant une cohérence géographique. Ainsi il n'est pas envisageable d'étudier la possibilité d'unités fonctionnelles composées de groupements de secteurs disjoints, d'une unité présentant des enclaves au sein de l'autre unité, ou de toute autre structure spatiale complexe. Il est plutôt question du déplacement éventuel de la séparation entre les deux unités fonctionnelles et donc de l'attribution des secteurs 05, 06, 07A et 07B à l'une des deux unités.

On peut constater Figure 5 ci-après que les secteurs de l'unité Littoral Est-Cotentin sont caractérisés par une forte présence du Tournepiere à collier (*Arenaria interpres*), du Bécasseau variable (*Calidris alpina*), du Bécasseau sanderling (*Calidris alba*) ainsi que du Grand Gravelot (*Charadrius hiaticula*) dans une moindre mesure. Toutefois les secteurs 05 et 06, très semblables, ont une très faible proportion de Bécasseau variable (*Calidris alpina*) contrairement aux secteurs situés plus au Nord. Les secteurs attribués à l'unité fonctionnelle « Baie des Veys » montrent une plus forte présence des Courlis (*Numenius*), du Chevalier gambette (*Tringa totanus*) et du Bécasseau variable (*Calidris alpina*). L'emplacement de la séparation entre les deux unités fonctionnelle semble pertinent, puisque les secteurs situés de part et d'autre sont très différents. Cette première approche qui représente à la fois les peuplements et la proximité géographique entre sites, fait pencher la balance en faveur d'une conservation des unités fonctionnelles telles qu'elles ont été définies à l'origine.



Figure 5 : Graphique représentant pour chaque secteur la part moyenne dans le peuplement annuel de chaque taxon. Le trait noir horizontal sépare les secteurs appartenant à l'unité fonctionnelle « Littoral Est-Cotentin » (au-dessus) de ceux de la « Baie des Veys » (en-dessous) tels qu'ils ont été définis à l'origine.

## Nuage des individus

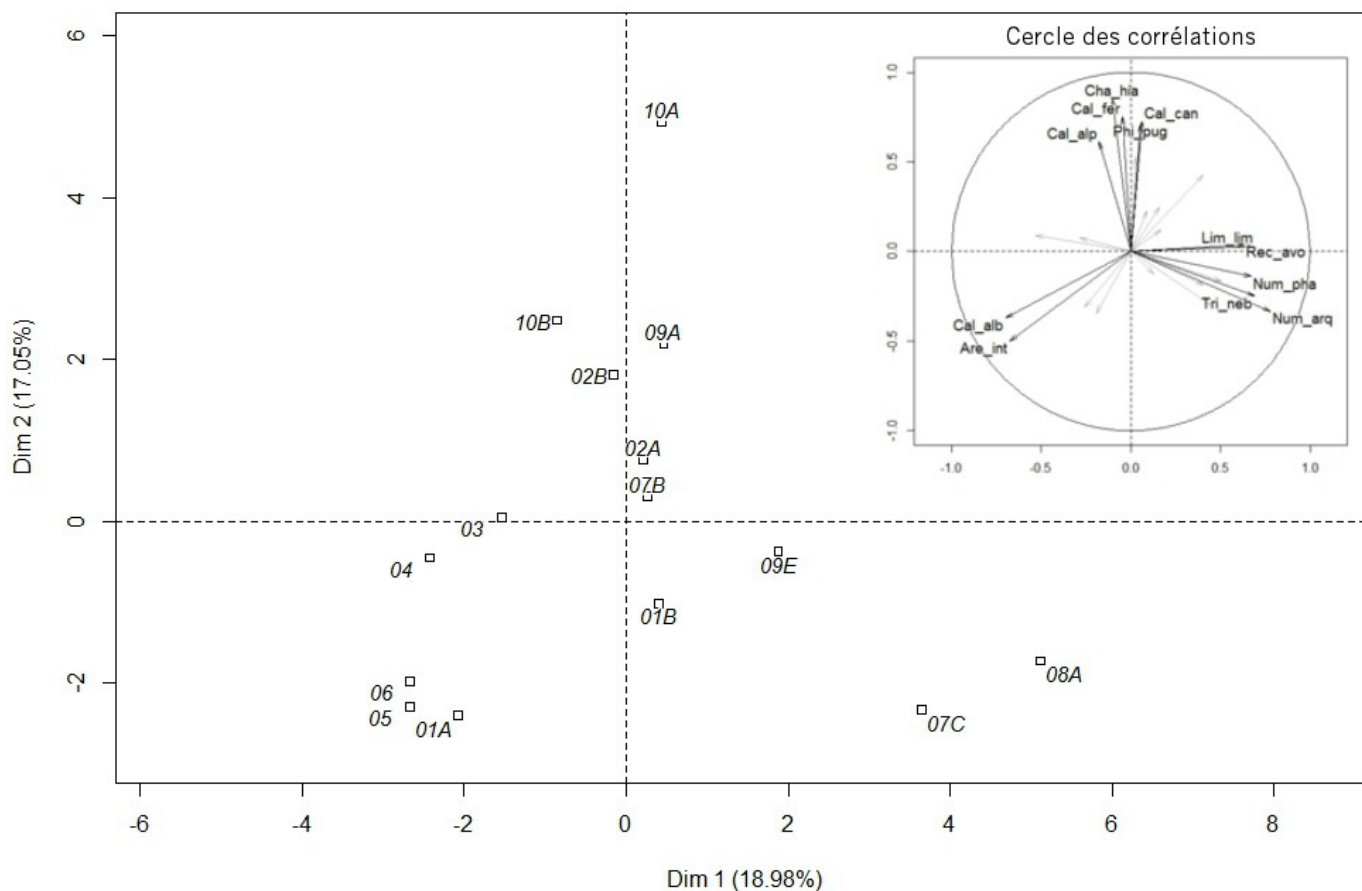


Figure 6 : Nuage d'individus et cercle des corrélations (coin supérieur droit) de la seconde ACP réalisée à partir de la part dans le peuplement annuel de chaque taxon sur 15 secteurs de suivi. Afin d'en faciliter la lecture, seuls les 12 taxons les mieux projetés sont représentés sur le cercle des corrélations, les autres sont indiquées par des flèches grisées

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 5. Cette première ACP dont le résultat sur les deux premières dimensions est présenté en annexe suivie de la Classification permettent de regrouper 6 secteurs très différents des autres, du fait de leurs peuplement dominés par des espèces moins côtières au sens strict comme le Combattant varié (*Philomachus pugnax*) ou des taxons appartenant au genre *Tringa* ou *Numenius*. De fait, ces secteurs ont une plus grande proximité avec des milieux continentaux, certains étant même situés sur des Polders. On note également que ces six secteurs, dont font partie le « 07A Partie terrestre de Beauguillot » et le secteur « 07D RCFS du Polder de Sainte-Marie-du-Mont », appartiennent tous à l'unité fonctionnelle « Baie des Veys ». D'après cette première ACP, le secteur 07A se trouve donc bien dans la bonne unité fonctionnelle.

Nous avons ensuite réalisé une seconde ACP en retirant les six secteurs dont il est question précédemment. Les résultats de cette ACP sont visibles Figure 6 ci-avant. On remarque que le rectangle inférieur gauche accueille uniquement des secteurs du Littoral Est-Cotentin, dont les secteurs 05 et 06, caractérisés par des peuplements dominés par le Tournepierre à collier (*Arenaria interpres*) et le Bécasseau sanderling (*Calidris alba*), comme on l'avait déjà constaté Figure 5. Dans le rectangle inférieur droit, on note plutôt la présence de secteurs affiliés à la Baie des Veys, dont le secteur 07C. Enfin, peu différencié selon le second axe et présentant une forte proportion notamment de Bécasseau variable (*Calidris alpina*) et de Grand Gravelot (*Charadrius hiaticula*), on retrouve deux secteurs du Littoral Est-Cotentin et 4 de la Baie des Veys.

Cette seconde ACP permet de confirmer l'attribution des secteurs 05 et 06 à l'unité « Littoral Est-Cotentin » et du secteur 07C à l'unité fonctionnelle « Baie des Veys ». Comme on le voit sur le schéma ci-après, le doute ne subsiste que pour le secteur « 07B DPM Nord Beauguillot ».

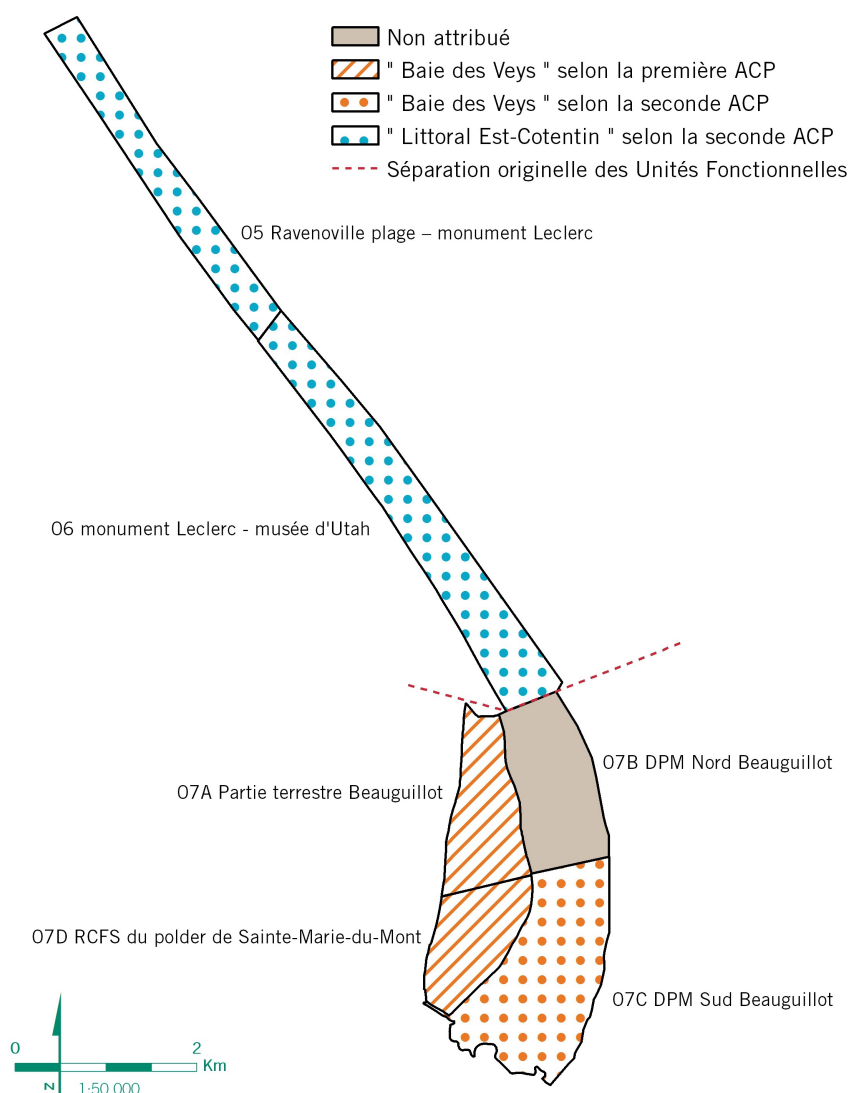


Figure 7 : Schéma cartographique représentant les 6 secteurs dont on cherche à vérifier l'appartenance à l'unité fonctionnelle d'origine. Celle-ci est validée pour 5 secteurs à l'issue des deux premières ACP.

A la suite de cette seconde ACP, on réalise une Classification Ascendante Hiérarchique afin d'essayer d'attribuer le secteur 07C à l'une des deux unités fonctionnelles. Malheureusement cette dernière, dont les résultats sont présentés Figure 8 ci-après, ne nous aide pas beaucoup plus puisque le peuplement annuel moyen du secteur 07C est proche de peuplements attribués aux deux unités fonctionnelles.

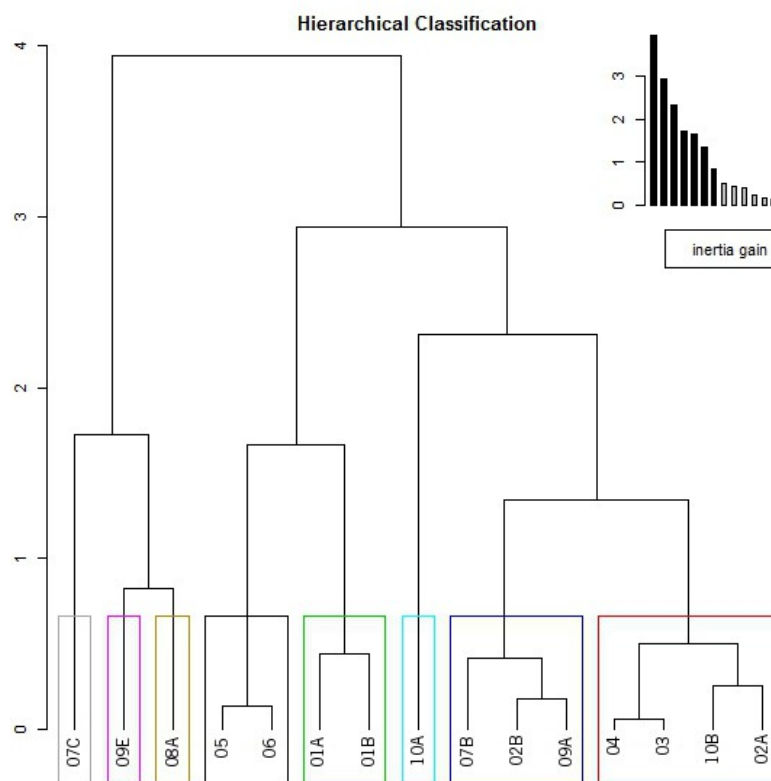


Figure 8 : Dendrogramme obtenu à partir de la Classification Ascendante Hiérarchique réalisée à partir de la seconde ACP. Les rectangles de couleur représentent les 8 groupes déterminés par la méthode

On doit maintenant départager les deux *scenarii* encore envisageables : le premier qui conserve les unités fonctionnelles telles qu'elles ont été définies à l'origine en laissant le secteur 07B dans l'unité fonctionnelle « Baie des Veys » et le second qui bascule ce même secteur dans l'unité fonctionnelle « Littoral Est-Cotentin ». Pour ce faire, on réalise deux calculs, présentés ci-après, pour chaque alternative. Le premier calcul correspond à la somme des écarts entre les deux unités des proportions moyennes de chaque taxon. Le second, similaire, détermine également la somme des écarts des proportions de chaque taxon, mais uniquement entre secteurs de par et d'autre de la frontière entre unités (secteurs 07B et 06 dans le premier *scenario* et secteurs 07B et 07C dans le second). Ici le but est de déterminer le *scenario* qui maximise ces deux formules puisqu'elles représentent *grosso modo* la différence entre les peuplements des unités fonctionnelles (1) et des secteurs de part et d'autre du découpage (2).

$$(1) \quad SEPM1 = \sum_{i=1}^N |\mu_{LEC_i} - \mu_{BDV_i}| \quad (2) \quad SEPM2 = \sum_{i=1}^N |p_{LEC_i} - p_{BDV_i}|$$

Avec :

SEPM : Somme des Ecart entre les Peuplements Moyens

$\mu_i$  : Part moyenne de l'espèce  $i$  au sein de l'unité fonctionnelle indiquée

$p_i$  : Part d'individus de l'espèce  $i$  au sein du secteur frontalier de l'unité fonctionnelle indiquée

$N$  : Nombre total de taxons

LEC : Littoral Est-Cotentin

BDV : Baie des Beys

On constate dans le Tableau III ci-dessous que la différence entre les peuplements des deux unités fonctionnelles est équivalente dans les deux *scenarii*, d'autant plus que la légère tendance en faveur du second *scenario* est due aux taxons du genre *Numenius* et que celle-ci s'inverse si l'on n'en tient pas compte. En outre, on observe que la différence est bien plus élevée entre les peuplements des secteurs 06 et 07B (frontaliers dans le premier *scenario*) qu'entre les peuplements des secteurs 07B et 07C (frontaliers dans le second *scenario*).

Tableau III : Synthèse de la somme des écarts des peuplements moyens des unités fonctionnelles (en haut) et des secteurs de part et d'autre de la séparation (en bas) selon les deux *scenarii* envisagés (à gauche le découpage actuel et à droite en basculant le secteur 07B dans l'unité fonctionnelle « Littoral Est-Cotentin »)

Différence entre peuplements entre	07B $\in$ BDV ( <i>scenario</i> 1)	07B $\in$ LEC ( <i>scenario</i> 2)
Unités fonctionnelles (SEPM1)	88,2	91,6
Secteurs de part et d'autre de la limite (SEPM2)	182	128,9

À l'issue de ces différentes analyses, la structure actuelle (*scenario* 1) des deux unités fonctionnelles semble toujours pertinente. On décide donc de la conserver pour la suite des analyses détaillées dans ce rapport.

## 2.2. Présentation générale

### a. Littoral Est-Cotentin :

Au total, 870 027 individus appartenant à 24 taxons du sous-ordre des Charadrii ont été dénombrés. Le Tableau IV ci-dessous présente par taxon le nombre d'individus observés tous secteurs, cycles et mois / décades confondus sur l'unité fonctionnelle « Littoral Est-Cotentin ».

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

Taxon	Nombre d'individus	Taxon	Nombre d'individus
<i>Calidris alpina</i>	394 893	<i>Calidris canutus</i>	695
<i>Calidris alba</i>	178 889	<i>Actitis hypoleucos</i>	426
<i>Arenaria interpres</i>	137 481	<i>Charadrius dubius</i>	153
<i>Charadrius hiaticula</i>	102 635	<i>Calidris minuta</i>	64
<i>Haematopus ostralegus</i>	14 692	<i>Tringa ochropus</i>	35
<i>Pluvialis squatarola</i>	12 399	<i>Tringa nebularia</i>	30
<i>Charadrius alexandrinus</i>	10 781	<i>Calidris ferruginea</i>	19
<i>Numenius phaeopus</i>	5 902	<i>Tringa erythropus</i>	16
<i>Tringa totanus</i>	4 046	<i>Limosa limosa</i>	6
<i>Numenius arquata</i>	4 002	<i>Tringa glareola</i>	3
<i>Limosa laponica</i>	1 338	<i>Philomachus pugnax</i>	2
<i>Calidris maritima</i>	1091	<i>Recurvirostra avosetta</i>	1
		<b>Total</b>	<b>869 599</b>

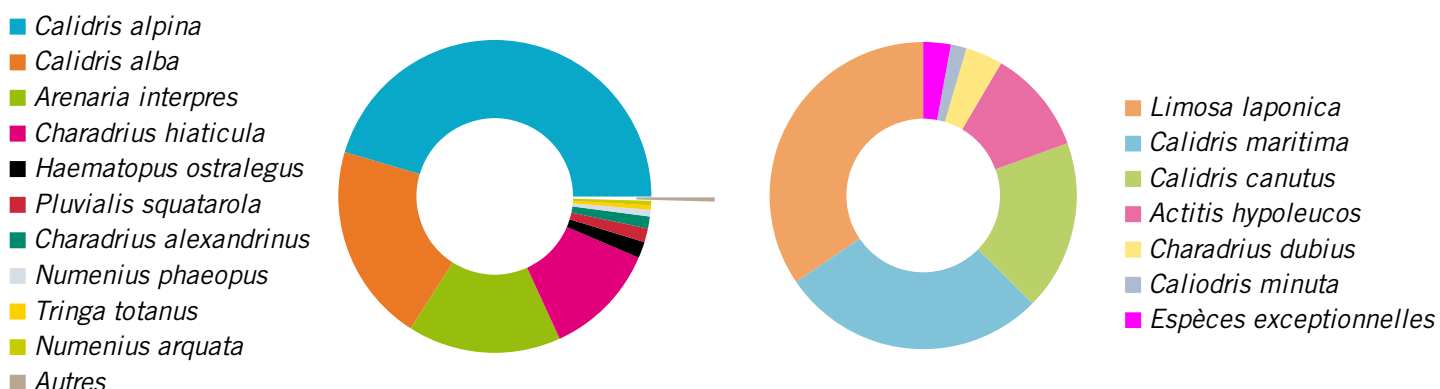


Figure 9 : Répartition par taxon des individus observés sur l'unité fonctionnelle « Littoral Est-Cotentin », à gauche des 10 espèces principales et à droite des espèces plus occasionnelles ou exceptionnelles (représentées par la catégorie « Autres » dans le diagramme de gauche)



On remarque tout d'abord sur la figure précédente l'importance du Bécasseau variable, du Bécasseau sanderling, du Tournepierre à collier ainsi que du Grand Gravelot au sein du peuplement de cette unité fonctionnelle, ce qui confirme les résultats de la section précédente. On note également les forts effectifs de Gravelot à collier interrompu, 7<sup>ème</sup> taxon le plus observé ainsi que la présence relativement faible de l'Huîtrier-pie, loin derrière les quatre espèces les plus contactées.

La Figure 10 ci-dessous permet de visualiser les disparités d'effectifs entre secteurs de l'unité fonctionnelle au cours d'un cycle. Ainsi, on constate que les secteurs 03 et 04 représentent à eux-seuls près des trois quarts des individus observés avec pour certaines périodes plus de la moitié sur le secteur 04 « Synope – Ravenoville plage ». Les autres secteurs, notamment ceux situés plus au Nord, présentent une part dans les effectifs plus anecdotique. En ce qui concerne les variations intra-annuelles des effectifs, on remarque Figure 11 ci-après que le nombre d'oiseaux observés est maximal en début d'hiver et diminue relativement progressivement jusqu'en période de reproduction. Au contraire, les observations de limicoles sont multipliées par 2,5 entre le mois d'Octobre et le mois de Novembre. Ces fortes variations précédant la période d'hivernage coïncident avec celles du Bécasseau variable, dont les effectifs entre Octobre et Novembre sont septuplés. Les variations d'effectifs sont bien plus subtiles pour le Bécasseau sanderling, le Tournepierre à collier et le Grand Gravelot qui sont encore fortement présents en période de migration pré et post-nuptiale contrairement au Bécasseau variable. Les variations en nombre d'individus au cours d'un cycle sont donc essentiellement dues à l'arrivée massive de Bécasseau variable sur les secteurs 03 et 04 du Littoral Est-Cotentin.

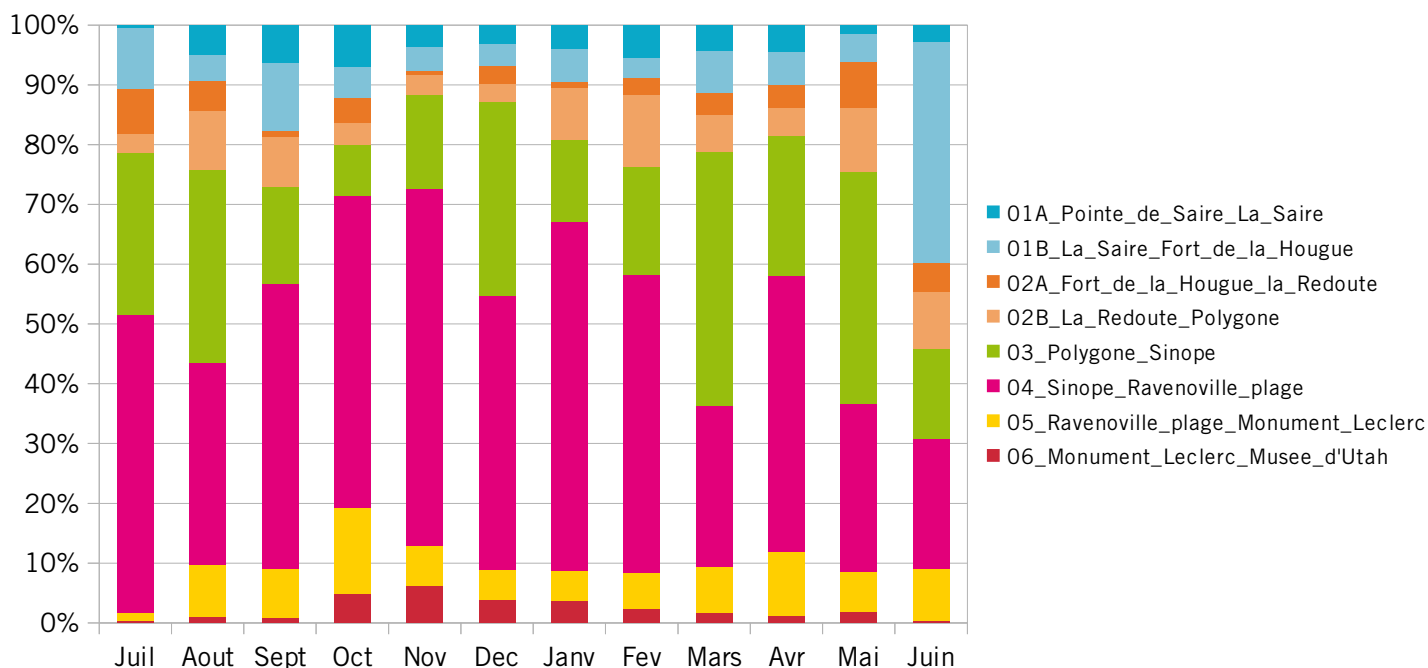


Figure 10 : Part de chaque secteur dans le nombre d'individus mensuel moyen tous taxons confondus pour l'unité fonctionnelle « Littoral Est-Cotentin »



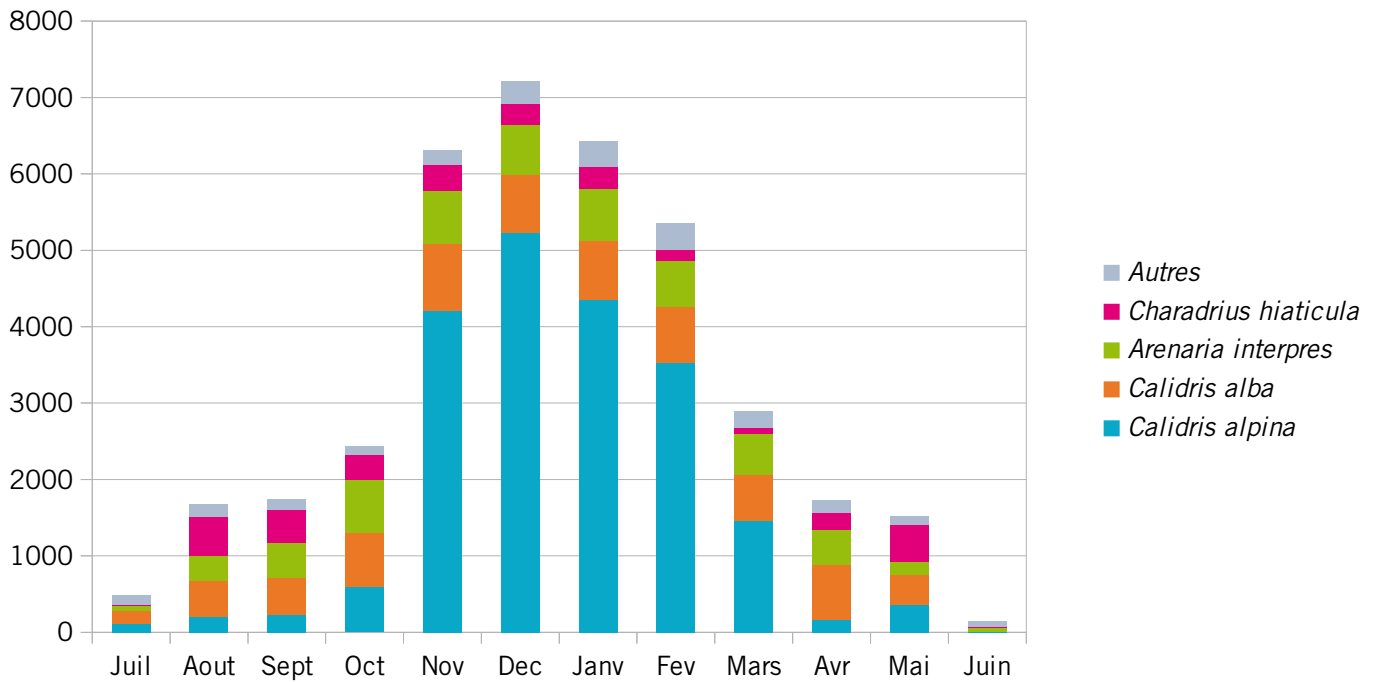


Figure 11 : Nombre d'individus mensuel moyen observé sur l'ensemble de l'unité fonctionnelle « Littoral Est-Cotentin » pour les quatre espèces principales

**b. Baie des Veys :**

En ce qui concerne l'unité fonctionnelle « Baie des Veys », 1 711 423 individus appartenant à 24 taxons du sous-ordre des Charadrii ont été observés. Le Tableau V ci-après présente par taxon le nombre d'individus observés tous secteurs, cycles et mois / décades confondus en Baie des Veys.

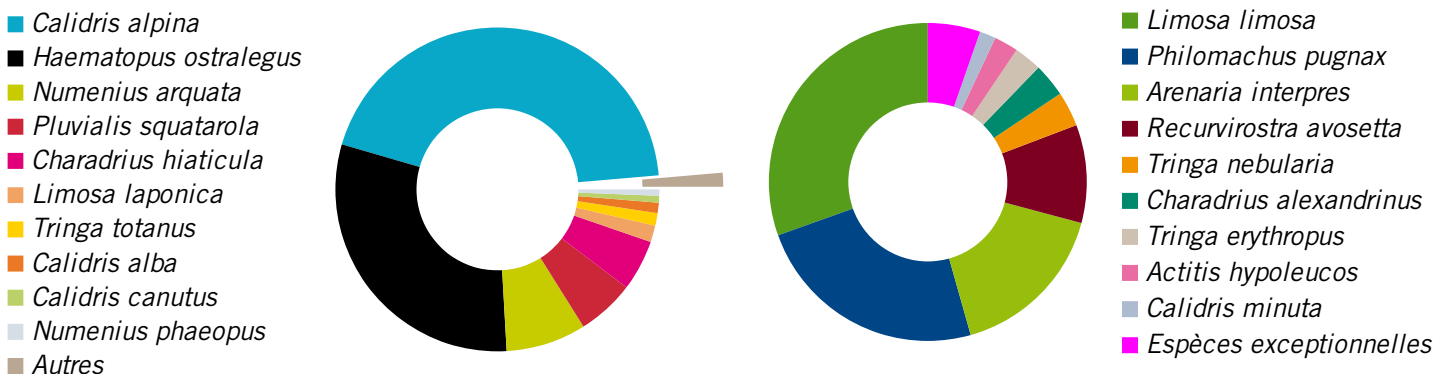


Figure 12 : Répartition par taxon des individus observés sur l'unité fonctionnelle « Baie des Veys », à gauche des 10 espèces principales et à droite des espèces plus occasionnelles ou exceptionnelles (représentée par la catégorie « Autres » dans le diagramme de gauche)

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

Taxon	Nombre d'individus	Taxon	Nombre d'individus
<i>Calidris alpina</i>	755 301	<i>Arenaria interpres</i>	3 945
<i>Haematopus ostralegus</i>	519 866	<i>Recurvirostra avosetta</i>	2 385
<i>Numenius arquata</i>	137 141	<i>Tringa nebularia</i>	845
<i>Pluvialis squatarola</i>	98 124	<i>Charadrius alexandrinus</i>	815
<i>Charadrius hiaticula</i>	86 842	<i>Tringa erythropus</i>	669
<i>Limosa laponica</i>	28 329	<i>Actitis hypoleucos</i>	592
<i>Tringa totanus</i>	21 682	<i>Calidris minuta</i>	389
<i>Calidris alba</i>	17 454	<i>Himantopus himantopus</i>	323
<i>Calidris canutus</i>	11 608	<i>Calidris ferruginea</i>	322
<i>Numenius phaeopus</i>	10 924	<i>Charadrius dubius</i>	261
<i>Limosa limosa</i>	7 279	<i>Tringa ochropus</i>	209
<i>Philomachus pugnax</i>	5 710	<i>Tringa glareola</i>	5
		<b>Total</b>	<b>1 711 175</b>

On remarque Figure 12 ci-avant que le Bécasseau variable et de l'Huîtrier-pie dominant largement le peuplement de la Baie des Veys. Ce dernier est bien plus présent que sur le Littoral Est-Cotentin (cf. Figure 9) alors que le Bécasseau sanderling et le Tournepiere à collier ne sont plus que respectivement 8<sup>ème</sup> et 13<sup>ème</sup> en nombre d'individus contactés. On note également l'importance du Courlis cendré, du Pluvier argenté et du Grand Gravelot. Les espèces plus continentales sont globalement plus présentes en Baie des Veys qu'en Littoral Est-Cotentin, ce qui peut s'expliquer par la différence dans les milieux suivis puisqu'en Baie des Veys plusieurs secteurs correspondent à des polders.

Sur la Figure 13 ci-après, on peut visualiser les disparités d'effectifs entre secteurs de l'unité fonctionnelle au cours d'une année de suivi. On constate par exemple que le secteur 07B accueille les trois quarts des individus en période hivernale loin devant les autres secteurs dont les effectifs sont presque anecdotiques. En ce qui concerne les variations intra-annuelles, on remarque Figure 14 que le pic de présence de limicoles est un peu plus tardif que pour le Littoral Est-Cotentin, avec des effectifs maximaux en Janvier et non en Décembre. De plus, la diminution du nombre d'oiseaux observés est bien plus prononcée à la sortie de l'hiver contrairement à ce que l'on a pu observer pour l'autre unité fonctionnelle et est équivalente à l'augmentation des effectifs entre le mois d'Octobre et le mois de Novembre. Les variations plus marquées du nombre de limicoles total selon la période semblent être dues aux fortes variations intra-annuelles des principaux taxons.

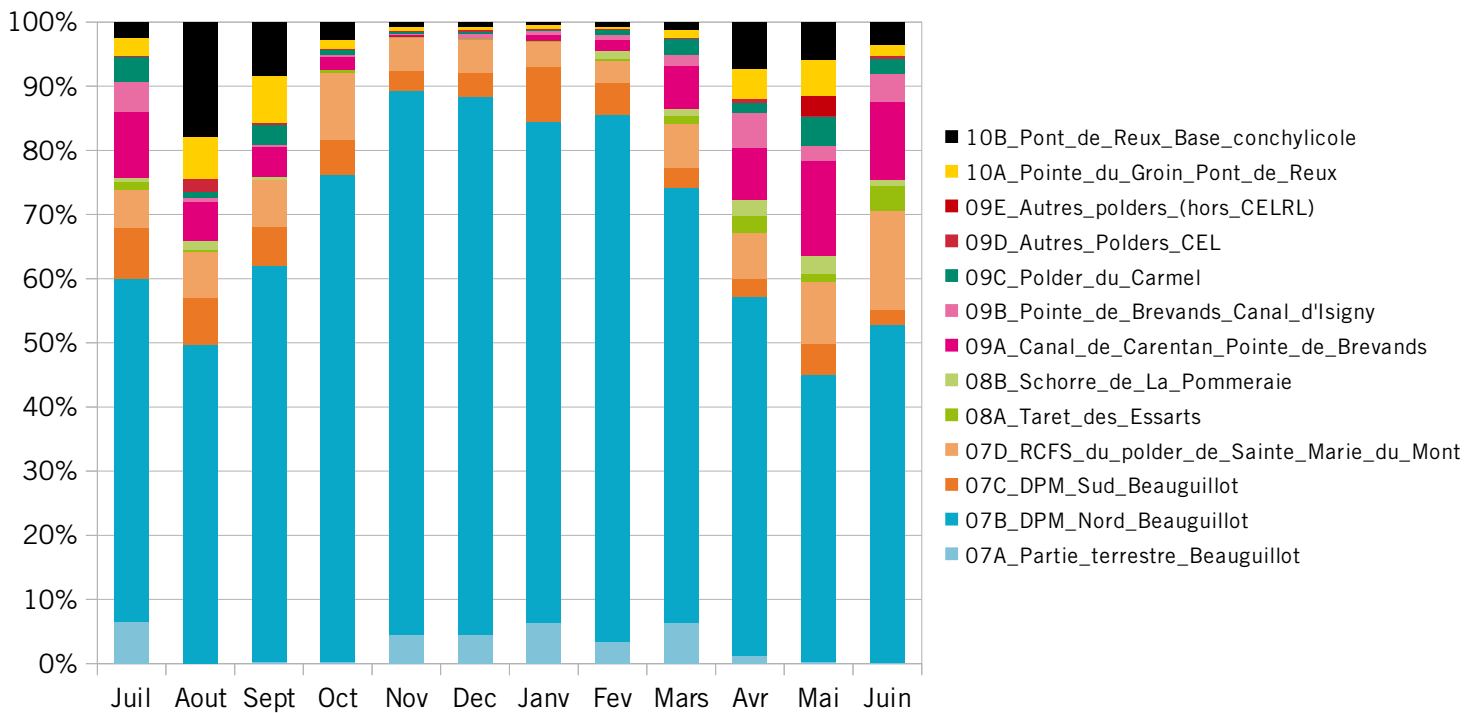


Figure 12 : Part de chaque secteur dans le nombre d'individus mensuel moyen tous taxons confondus pour l'unité fonctionnelle « Baie des Veys »

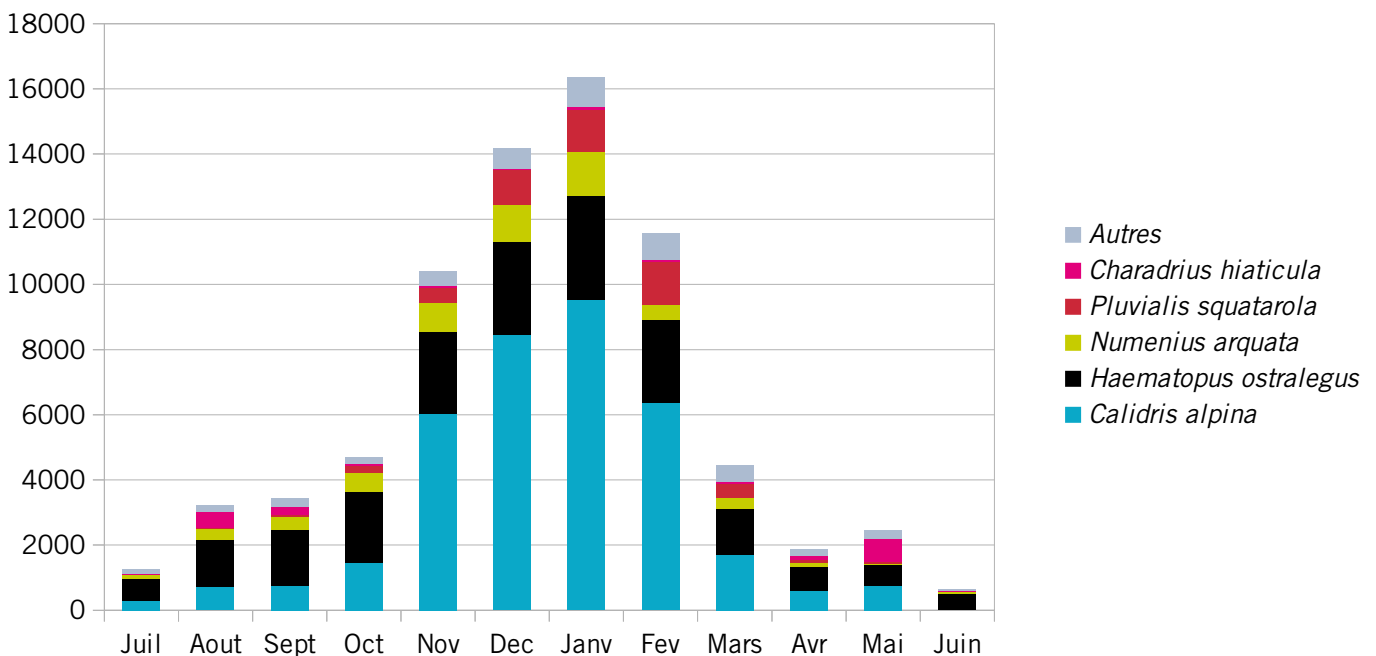


Figure 13 : Nombre d'individus mensuel moyen observé sur l'ensemble de l'unité fonctionnelle « Baie des Veys » pour les cinq espèces principales

**c. Comparaison des unités fonctionnelles :**

Les unités fonctionnelles « Baie des Veys » et « Littoral Est-Cotentin » présentent de forts effectifs majoritairement concentrés sur un ou deux secteurs ainsi qu'un nombre d'individus important pour le Bécasseau variable et le Grand Gravelot. Toutefois, les peuplements diffèrent entre les deux unités fonctionnelles, le Tournepiere à collier et le Bécasseau sanderling étant plus présents sur le Littoral Est-Cotentin et l'Huîtrier-pie plus en Baie des Veys qui accueille davantage d'espèces liées à des milieux plus continentaux ainsi qu'un plus grand nombre d'individus toutes espèces confondues. Enfin on observe un décalage du maximum d'individus entre les deux unités fonctionnelles ainsi que des variations saisonnières légèrement différentes, plus marquées en Baie des Veys entre la période hivernale et pré-nuptiale que sur le Littoral Est-Cotentin, où l'amplitude est plus importante entre la période de migration post-nuptiale et l'hivernage.

## 2.3. Tendances d'évolution : variations inter-annuelles

### a. Tendances en période d'hivernage :

#### *Littoral Est-Cotentin*

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 VI ci-dessous synthétise les résultats de la modélisation statistique appliquée aux tendances temporelles en période d'hivernage sur le Littoral Est-Cotentin. En ce qui concerne les modèles linéaires généralisés mixtes, on constate que seul le Grand Gravelot voit ses effectifs hivernants diminuer alors que les autres effectifs sont stables ou bien augmentent comme le Pluvier argenté, le Courlis cendré et le Chevalier gambette. Sur la Figure 15 ci-après, on remarque que la diminution des effectifs du Grand Gravelot est assez proche d'une diminution linéaire alors que les augmentations des trois autres taxons représentés sont bien plus marquées, notamment pour le Chevalier gambette. Les effectifs des trois espèces les plus abondantes de l'unité fonctionnelle (Bécasseau variable, Bécasseau sanderling et Tournepierrre à collier) semblent stables selon ces modèles.

Tableau VI : Significativité des tendances temporelles hivernales linéaires et non linéaires par taxon sur le Littoral Est-Cotentin. 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'Akaïkè du modèle optimal, « s() » un effet non-linéaire et « ddl » le nombre de degrés de liberté de la courbe modélisée. La distribution utilisée est une Binomiale négative. Les espèces principales sont figurées en gras et celles pour lesquelles le suivi est moins adapté en italique.

Taxon	GLMM			GAMM	
	Cycle_Q	AIC	s(Cycle_Q)	ddl	AIC
<b>Bécasseau variable</b>	NS	892,2	NS	-	-
<b>Bécasseau sanderling</b>	NS	749,3	*	3,92	79,55
<b>Tournepierrre à collier</b>	NS	698,6	NS	-	-
<b>Grand gravelot</b>	(-)*	618,9	***	2,4	60,39
Huîtrier-pie	NS	539	***	4,12	134,83
Pluvier argenté	(+)**	609,2	*	1	125,2
Gravelot à collier int.	NS	302,1	NS	-	-
Chevalier gambette	(+)**	425,1		Non convergence	
<i>Courlis cendré</i>	(+)**	453,4		Non convergence	
Bécasseau violet	NS	302,2	***	7,74	225,19
Total Limicoles	NS	918,8	NS	-	-

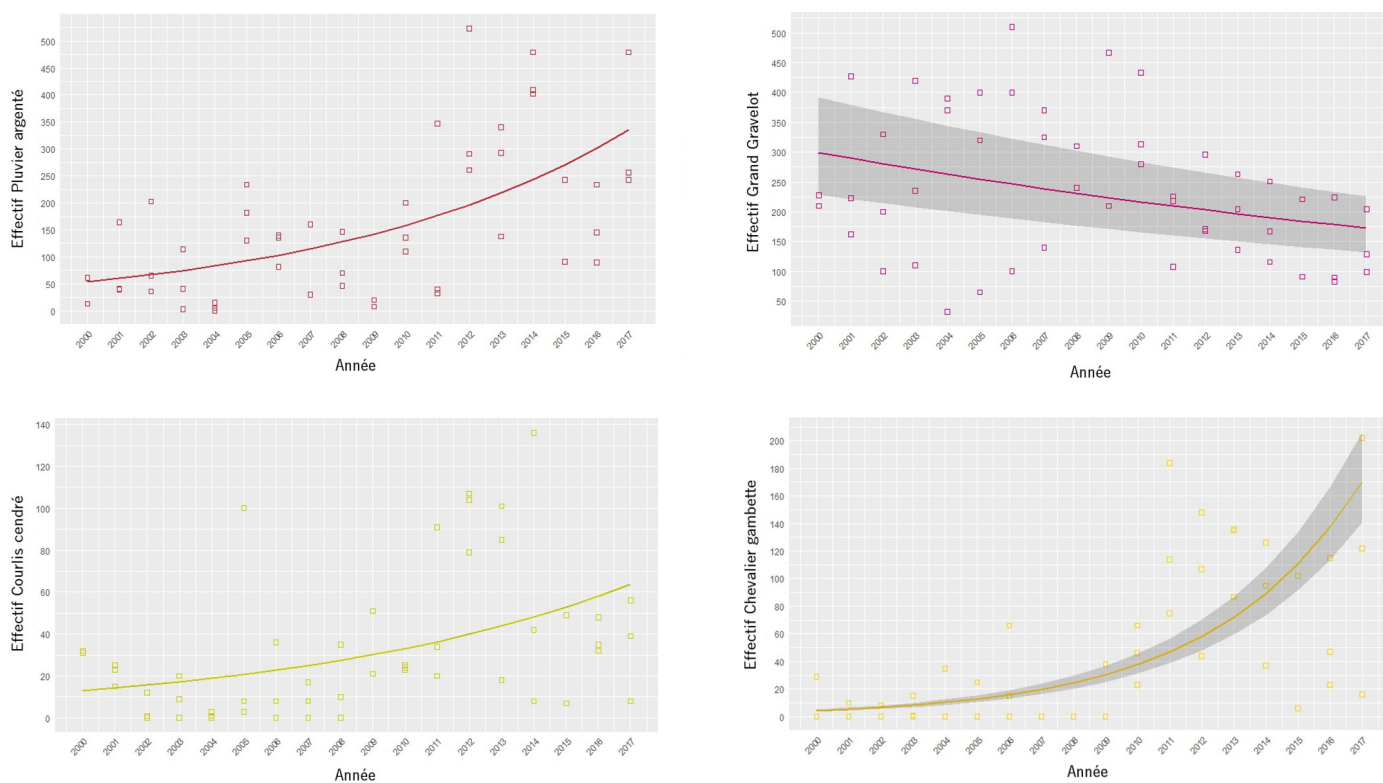


Figure 15 : Evolution des effectifs hivernants entre 2000 et 2017 sur le Littoral Est-Cotentin. Les carrés représentent les valeurs observées et les courbes en train plein le modèle statistique de type GLMM. Les zones grisées représentent les écart-types (très faibles pour le Pluvier argenté et le Courlis cendré) de l'effet aléatoire du mois de l'observation.

Les résultats des modèles GAMM permettent de mieux appréhender les variations des effectifs de certaines espèces puisque sur les cinq modèles de type GAMM pour lesquels une tendance non-linéaire significative est détectée, trois concernent des espèces dont aucune tendance n'avait été décelée par les modèles précédents. En effet, les courbes ajustées pour l'Huîtrier-pie, le Bécasseau sanderling ainsi que le Bécasseau violet s'éloignent fortement d'une fonction linéaire (nombre de degrés de liberté élevé), comme on peut le vérifier sur la Figure 16 ci-après. On peut ainsi dire que les effectifs de l'Huîtrier-pie et du Bécasseau sanderling sont assez variables au cours du temps alors que l'on constate chez le Bécasseau violet une forte augmentation (toutes proportions gardées étant donné le nombre d'individus considéré) dans le début des années 2010 suivie d'une décroissance plus douce lors des derniers cycles de suivi. Pour les deux autres taxons dont un effet linéaire avait été correctement ajusté, l'effet optimal est linéaire (1 seul degré de liberté) pour le Pluvier argenté et relativement proche d'une fonction affine pour le Grand Gravelot. Pour ce dernier, les effectifs semblent plutôt stables lors de la première décennie avant de chuter sur la seconde.

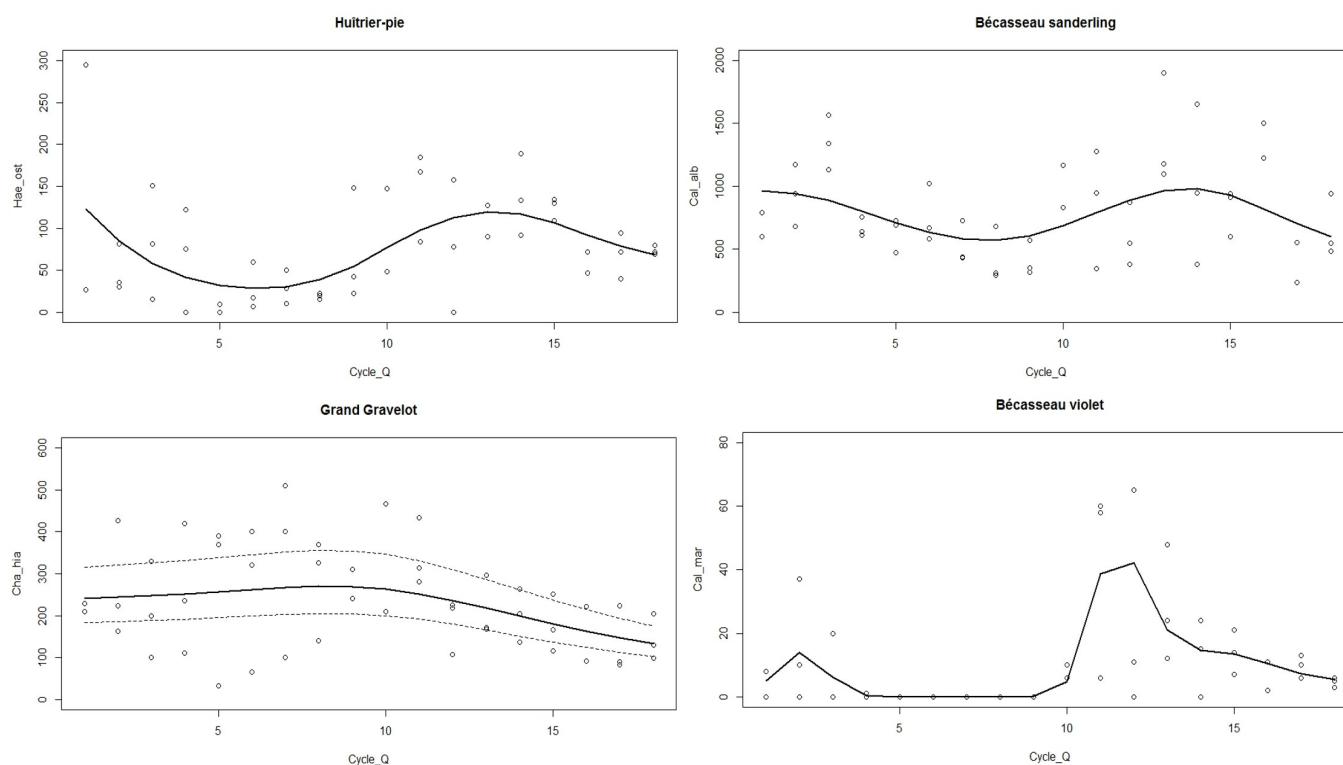


Figure 16 : Evolution des effectifs hivernants entre 2000 et 2017 sur le Littoral Est-Cotentin. Les cercles représentent les valeurs observées et les courbes en train plein le modèle statistique de type GAMM. Les tirets représentent les écart-types (très faibles pour l'Huïtrier-pie, le Bécasseau sanderling et le Bécasseau violet) de l'effet aléatoire du mois d'observation.

### Baie des Veys

En ce qui concerne les GLMM appliqués à la Baie des Veys, le Bécasseau variable voit ses effectifs diminuer, ce qui explique en grande partie la diminution des effectifs de limicoles côtiers toutes espèces confondues. En outre, la Barge à queue noire, le Bécasseau sanderling ainsi que le Tourneperre à collier y sont en augmentation. Sur la Figure 17 ci-après, que les régressions du Bécasseau variable et de l'ensemble des individus sont proches d'une diminution linéaire. De même, la courbe d'augmentation des effectifs du Tourneperre à collier (cf. Annexe) est proche d'une droite alors que l'augmentation des individus de Barge à queue noire et de Bécasseau sanderling s'en éloignent assez franchement.

Tableau VII : Significativité des tendances temporelles hivernales linéaires et non linéaires par taxon en Baie des Veys. 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, « s() » un effet non-linéaire et « ddl » le nombre de degrés de liberté de la courbe modélisée. La distribution utilisée est une Binomiale négative. Les espèces principales sont figurées en gras et celles pour lesquelles le suivi est moins adapté en italique.

Taxon	GLMM			GAMM	
	Cycle_Q	AIC	s(Cycle_Q)	ddl	AIC
<b>Bécasseau variable</b>	(-) <sup>***</sup>	1011,6	<sup>***</sup>	1	32
<b>Huïtrier pie</b>	NS	860,6	<sup>***</sup>	6,52	16,6
<i>Courlis cendré</i>	NS	778,4	NS	-	-
<b>Pluvier argenté</b>	NS	855,7	NS	-	-
<b>Grand gravelot</b>	NS	559,8	NS	-	-
Barge rousse	NS	684,6	<sup>***</sup>	7,39	135,9
Chevalier gambette	NS	659	<sup>**</sup>	4,41	82
Bécasseau sanderling	(+) <sup>**</sup>	564,6	<sup>***</sup>	1	189,3
Bécasseau maubèche	NS	310,9		Non convergence	
<i>Barge à queue noire</i>	(+) <sup>***</sup>	490,4	<sup>***</sup>	1	72,9
<i>Combattant varié</i>	NS	567,4	<sup>***</sup>	5,21	166,3
Tourneperre à collier	(+) <sup>*</sup>	436,7	<sup>***</sup>	5,37	187,9
<i>Avocette élégante</i>	NS	435		Non convergence	
Chevalier arlequin	NS	307,5	NS	-	-
Bécasseau minute	(-) <sup>***</sup>	130,3	<sup>***</sup>	2,53	267,5
Total Limicoles	(-) <sup>*</sup>	1036,8		Non convergence	

Comme pour l'unité fonctionnelle « Littoral Est-Cotentin », les résultats des modèles GAMM permettent de mieux appréhender les variations des effectifs de certaines espèces puisque sur les 9 modèles détectant une tendance non-linéaire significative, quatre concernent des espèces dont aucune tendances n'avait été décelée par les modèles de type GLMM : l'Huïtrier-pie, la Barge rousse, le Chevalier gambette et le Combattant varié. En effet pour ces taxons les courbes modélisées s'éloignent grandement d'une fonction linéaire (cf. Figure 18 ci-après) et les effectifs sont assez variables au cours du temps. On note quand même une forte progression de la Barge rousse sur la première moitié des années 2010. Pour les trois autres espèces dont un effet linéaire avait été correctement ajusté (Bécasseau variable, Bécasseau sanderling et Barge à queue noire), l'effet optimal est identique à celui d'un GLMM (1 seul degré de liberté).



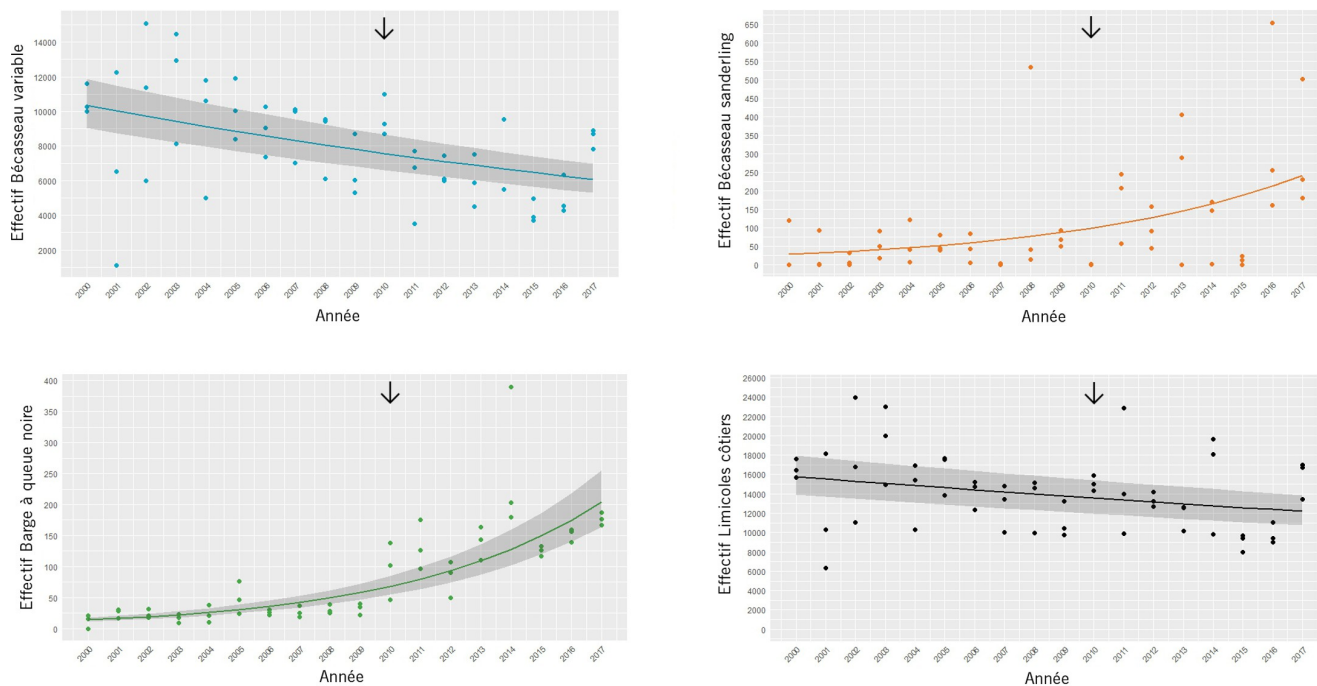


Figure 17 : Evolution des effectifs hivernants entre 2000 et 2017 en Baie des Veys. Les points représentent les valeurs observées et les courbes en train plein le modèle statistique de type GLMM. Les zones grisées représentent les écart-types (très faibles pour le Bécasseau sanderling) de l'effet aléatoire du mois ou de la décade d'observation. La date de mise en eau du Polder est indiquée par une flèche.

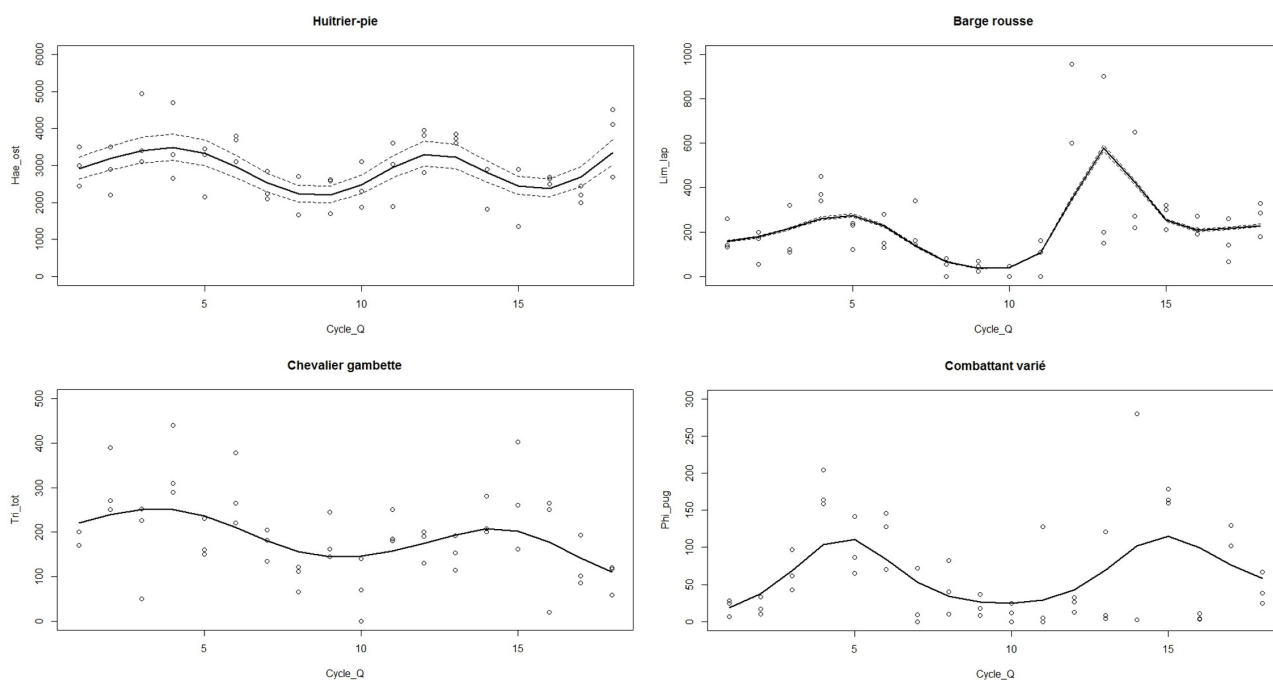


Figure 18 : Evolution des effectifs hivernants entre 2000 et 2017 en Baie des Veys. Les cercles représentent les valeurs observées et les courbes en train plein le modèle statistique de type GAMM. Les tirets représentent les écart-types (très faibles pour la Barge rousse, le Chevalier gambette et le Combattant varié) de l'effet aléatoire du mois d'observation.

## b. Tendances en période de migration post-nuptiale :

### *Littoral Est-Cotentin*

En ce qui concerne l'unité fonctionnelle « Littoral Est-Cotentin », on constate sur le Tableau VIII ci-dessous que les deux espèces les plus présentes en période de migration post-nuptiale, à savoir le Bécasseau variable et le Grand Gravelot, voient leurs effectifs diminuer en cette période. Toutefois 9 tendances positives sont détectées pour les autres taxons, notamment chez le Tournepieuvre à collier, l'Huîtrier-pie et le Pluvier argenté. De ce fait, aucune tendance n'est détectée sur l'ensemble des limicoles. On constate sur la Figure 19 l'augmentation assez nette de l'Huîtrier-pie alors que la régression du Grand Gravelot semble bien plus prononcée que celle du Bécasseau variable.

Tableau VIII : Significativité des tendances temporelles post-nuptiales linéaires et non linéaires par taxon sur le Littoral Est-Cotentin. 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, « s() » un effet non-linéaire et « ddl » le nombre de degrés de liberté de la courbe modélisée. La distribution utilisée est une Binomiale Négative. Les espèces principales sont figurées en gras et celles pour lesquelles le suivi est moins adapté en italique.

Taxon	GLMM				GAMM		
	Cycle_Q	AIC	Distribution	s(Cycle_Q)	ddl	AIC	Distribution
<b>Bécasseau variable</b>	(-)**	1755,3	BN	***	2,93	320,3	BN
<b>Bécasseau sanderling</b>	NS	1799	BN	**	2,31	219,6	BN
<b>Tournepieuvre à collier</b>	(+)**	1726,3	BN	***	5,86	200	BN
<b>Grand gravelot</b>	(-)**	1725,1	BN	***	1	246,8	BN
<i>Huîtrier-pie</i>	(+)**	1117,6	BN	***	4,35	388,7	BN
<i>Pluvier argenté</i>	(+)**	694,1	BN	***	2,4	544	BN
<i>Gravelot à collier int.</i>	NS	1174,1	BN	*	2,54	329,1	BN
<i>Courlis corlieu</i>	(+)**	586,4	BN	***	4,53	537,7	BN
<i>Chevalier gambette</i>	(+)*	499	BN	*	1	618,6	BN
<i>Courlis cendré</i>	(+)**	716,5	BN	***	4,36	500,6	BN
<i>Barge rousse</i>	(+)**	397,4	BN	***	4,65	655,5	BN
<i>Bécasseau maubèche</i>	NS	429,4	BN	NS	-	-	BN
<i>Chevalier guignette</i>	(+)**	357,8	BN		Non convergence		
Total Limicoles	NS	2063,4	BN	NS	-	-	BN

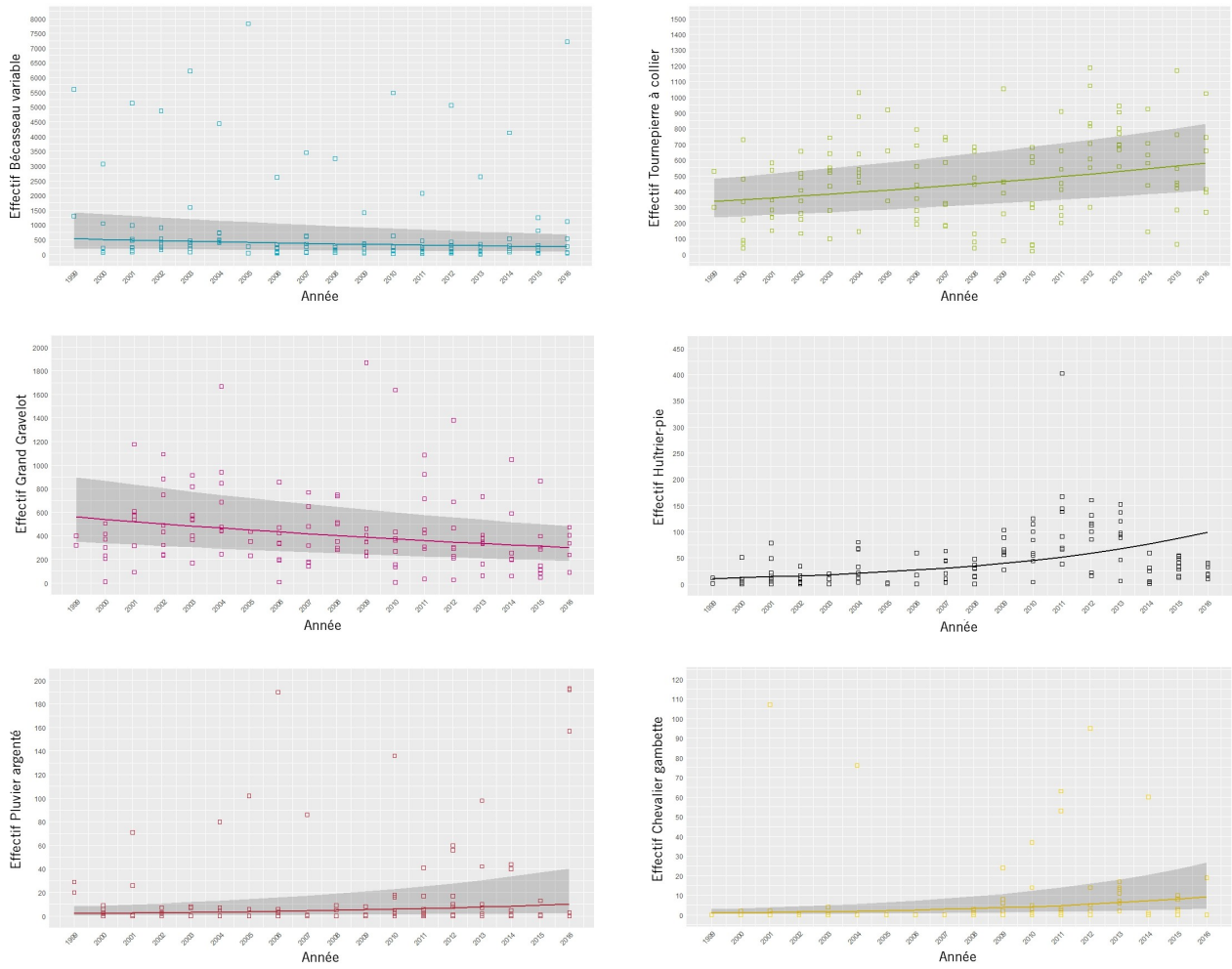
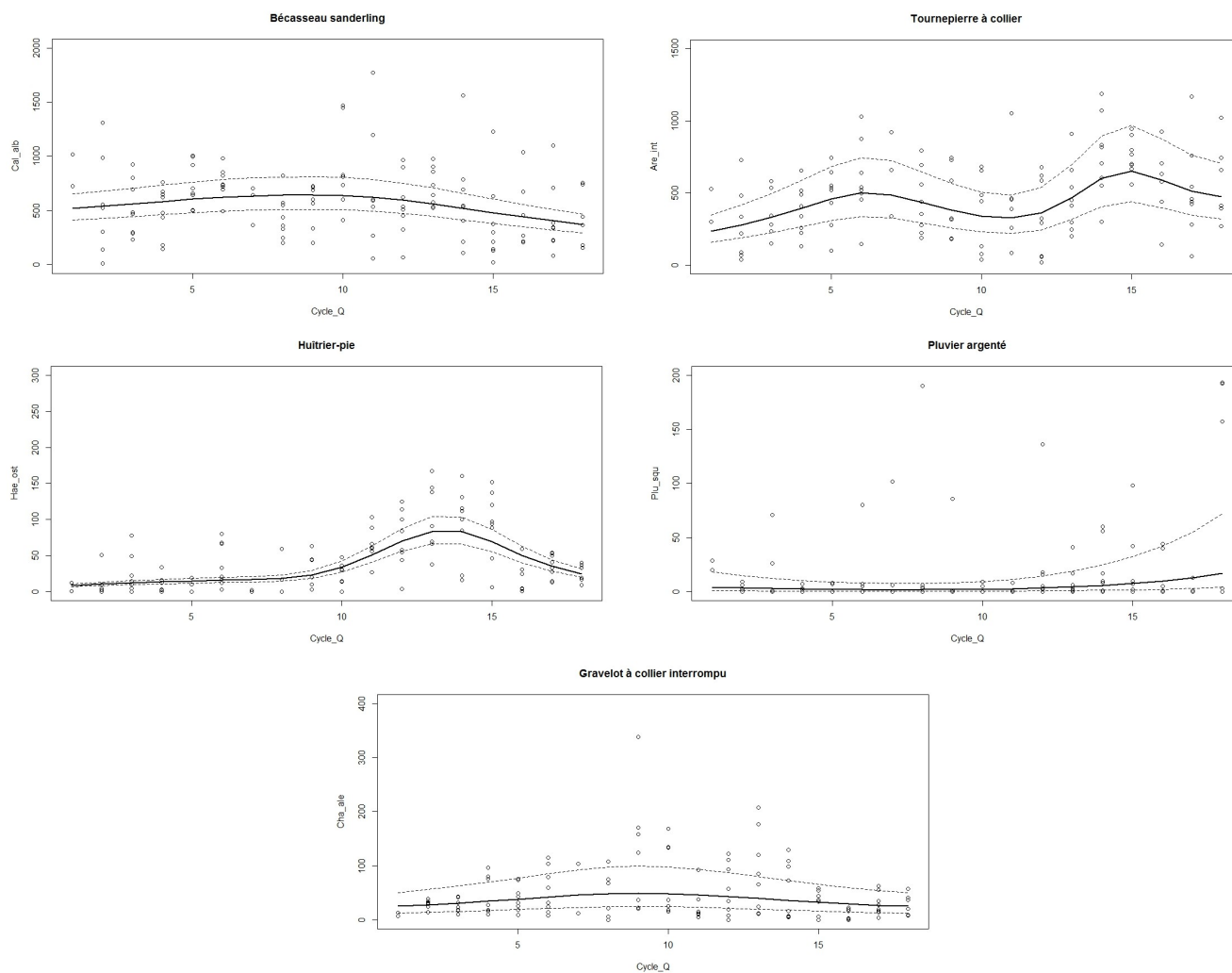


Figure 19 : Evolution des effectifs post-nuptiaux entre 1999 et 2016 sur le Littoral Est-Cotentin. Les carrés représentent les valeurs observées et les courbes en train plein le modèle statistique de type GLMM. Les zones grisées représentent les écart-types (très faibles pour l'Huîtrier-pie) de l'effet aléatoire du mois ou de la décennie d'observation.



**Figure 20 :** Evolution des effectifs post-nuptiaux entre 1999 et 2016 sur le Littoral Est-Cotentin. 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 du mois ou de la décennie d'observation.

Les modèles de type GAMM permettent encore une fois d'affiner les conclusions des résultats des modèles linéaires. En effet, il s'avère que la diminution du Bécasseau sanderling et du Gravelot à collier interrompu a plutôt eu lieu entre lors de la seconde décennie. En revanche le modèle non-linéaire du Grand Gravelot est identique au linéaire (1 seul degré de liberté consommé). De même, aucune tendance, linéaire ou non, n'est observée pour l'ensemble des limicoles. Chez l'Huïtrier-pie, la Barge rousse, le Courlis cendré et le Courlis corlieu (visibles en Annexe), on peut observer des tendances assez similaires, avec une stabilité dans les années 2000, suivie d'une croissance des effectifs plus ou moins forte dans le début des années 2010 et un léger recul lors des derniers cycles de suivis. Au contraire, on constate chez le Pluvier argenté une augmentation lors des derniers cycles de suivi. Enfin les variations des effectifs du Tournepiere à collier semblent être pourvues d'une dimension cyclique, bien que la résultante linéaire soit une augmentation du nombre d'individus.

Baie des Veys

Contrairement au Littoral Est-Cotentin, on remarque immédiatement que la plupart des espèces analysées ne présente pas de tendance d'après les modèles de type GLMM. En effet, sur les 22 taxons traités, seuls 7 révèlent une tendance significative, dont six tendances positives, notamment chez le Pluvier argenté, les Barges et le Courlis cendré. Seul le Chevalier cul-blanc, dont les effectifs sont très faibles, semble en régression.

Tableau IX : Significativité des tendances temporelles post-nuptiales linéaires et non linéaires par taxon en Baie des Veys. 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, « s() » un effet non-linéaire et « ddl » le nombre de degrés de liberté de la courbe modélisée. La distribution utilisée est une Binomiale Négative. Les espèces principales sont figurées en gras et celles pour lesquelles le suivi est moins adapté en italique.

Taxon	GLMM			GAMM	
	Cycle_Q	AIC	s(Cycle_Q)	ddl	AIC
<b>Bécasseau variable</b>	NS	2217,8	***	4,25	372,4
<b>Huîtrier pie</b>	NS	2225,9	***	5,75	74,7
<b><i>Courlis cendré</i></b>	(+) <sup>***</sup>	1924,9	***	6,05	175,2
<b>Pluvier argenté</b>	(+) <sup>*</sup>	1375,1	***	4,97	411,3
<b>Grand gravelot</b>	NS	1743,3	*	2,6	427,4
<i>Barge rousse</i>	(+) <sup>**</sup>	1254,6	***	2,64	510,5
<i>Chevalier gambette</i>	NS	1254,8	***	3,94	455,9
<i>Bécasseau sanderling</i>	NS	1172,3	*	1	492,8
<i>Bécasseau maubèche</i>	NS	1244	***	3,35	504,8
<i>Courlis corlieu</i>	NS	850	NS	-	-
<i>Barge à queue noire</i>	(+) <sup>***</sup>	539,4	***	3,7	581,6
<i>Combattant varié</i>	(+) <sup>*</sup>	523,3	*	1	637,3
<i>Tournepierre à collier</i>	NS	970	NS	-	-
<i>Avocette élégante</i>	NS	240,2	***	4,86	760,7
<i>Chevalier aboyeur</i>	(+) <sup>*</sup>	537,5	**	4,17	539,2
<i>Gravelot à collier int.</i>	NS	220	NS	-	-
<i>Chevalier arlequin</i>	NS	370,7	*	2,41	606,3
<i>Chevalier guignette</i>	NS	484	NS	-	-
<i>Bécasseau minute</i>	NS	385,6		Non convergence	
<i>Bécasseau cocorli</i>	NS	417,8		NS	
<i>Chevalier cul-blanc</i>	(-) <sup>*</sup>	336,2	*	1	539,6
<b>Total Limicoles</b>	NS	2427,6	*	2,5	138,6

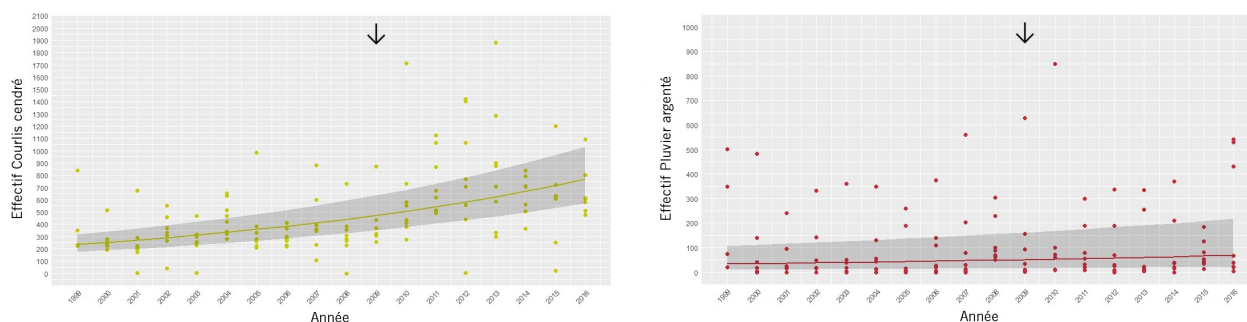


Figure 21 : Evolution des effectifs post-nuptiaux entre 1999 et 2016 en Baie des Veys. Les points représentent les valeurs observées et les courbes en train plein le modèle statistique de type GLMM. Les zones grisées représentent les écart-types de l'effet aléatoire du mois ou de la décade d'observation. La date de mise en eau du Polder est indiquée par une flèche.

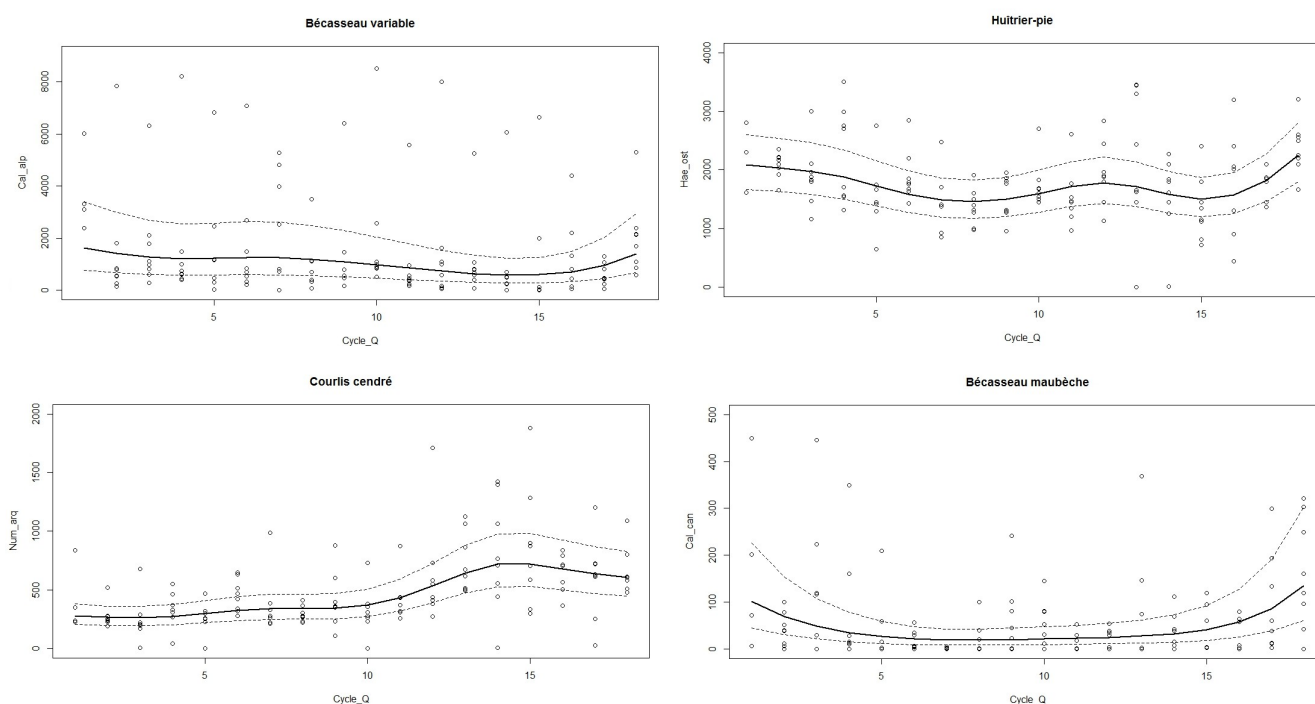


Figure 22 : Evolution des effectifs post-nuptiaux entre 1999 et 2016 en Baie des Veys. Les cercles représentent les valeurs observées et les courbes en train plein le modèle statistique de type GAMM. Les tirets représentent les écart-types de l'effet aléatoire du mois ou de la décade d'observation.

On remarque sur la Figure 21 ci-dessus la progression assez nette du Courlis cendré, comme c'était le cas sur le Littoral Est-Cotentin à la même période de l'année. Les tendances des autres espèces sont bien moins marquées. L'apport des modèles de type GAMM est ici incontestable puisque 13 tendances non linéaires significatives ont pu être modélisées. On observe chez le Courlis cendré ci-dessus, comme chez le Chevalier aboyeur et le Chevalier gambette en Annexe des tendances relativement proches, avec une augmentation des effectifs lors de la première partie des années 2010 suivie d'une régression plus ou moins appuyée. En revanche Bécasseau maubèche comme chez les Barges ou le Chevalier arlequin, on constate un croissance des populations sur les dernières années. Enfin on note un certain caractère cyclique chez les populations d'Huîtrier-pie.

### c. Tendances en période de migration pré-nuptiale :

#### *Littoral Est-Cotentin*

Les résultats des tendances des effectifs pré-nuptiaux sur l'unité fonctionnelle « Littoral Est-Cotentin » sont présentés dans le Tableau X ci-dessous. On remarque tout d'abord que seule la population de Grand Gravelot est en régression, contrairement aux autres taxons principaux qui sont stables (Bécasseau variable et Bécasseau maubèche) ou en augmentation (Tournepierrre à collier, Huîtrier-pie, Pluvier argenté). La résultante de ces tendances semble être une stabilité du nombre total de limicoles. On note également la croissance des effectifs de Gravelot à collier interrompu et du Courlis corlieu.

Tableau X : Significativité des tendances temporelles pré-nuptiales linéaires et non linéaires par taxon sur le Littoral Est-Cotentin. 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, « s() » un effet non-linéaire et « ddl » le nombre de degrés de liberté de la courbe modélisée. La distribution utilisée est une Binomiale Négative. Les espèces principales sont figurées en gras et celles pour lesquelles le suivi est moins adapté en italique.

Taxon	GLMM			GAMM	
	Cycle_Q	AIC	s(Cycle_Q)	ddl	AIC
<b>Bécasseau variable</b>	NS	1775,5	NS	-	-
<b>Bécasseau sanderling</b>	NS	1784,8	**	2,35	250,5
<b>Tournepierrre à collier</b>	(+)**	1677,1	***	3,05	257,1
<b>Grand gravelot</b>	(-)**	1584	***	2,43	272,1
<i>Huîtrier pie</i>	(+)**	1121,7	***	4,54	435,7
<i>Pluvier argenté</i>	(+)**	934,1	***	1	464,8
<i>Gravelot à collier int.</i>	(+)**	950,4	***	3,32	280,4
<i>Courlis corlieu</i>	(+)*	698,2	**	1	613
<i>Chevalier gambette</i>	(+)**	635,1	***	3,8	524,1
<i>Courlis cendré</i>	(+)**	682,1	***	4,9	506,2
<i>Barge rousse</i>	(+)*	497,5	*	1	610,2
<i>Bécasseau violet</i>	(+)**	461,3		Non convergence	
<i>Bécasseau maubèche</i>	NS	244,1	NS	-	-
<i>Chevalier guignette</i>	(+)**	237,7	***	5,33	643,7
<i>Petit Gravelot</i>	NS	215,9	NS	-	-
<b>Total Limicoles</b>	NS	2088,5	***	5,68	214,2



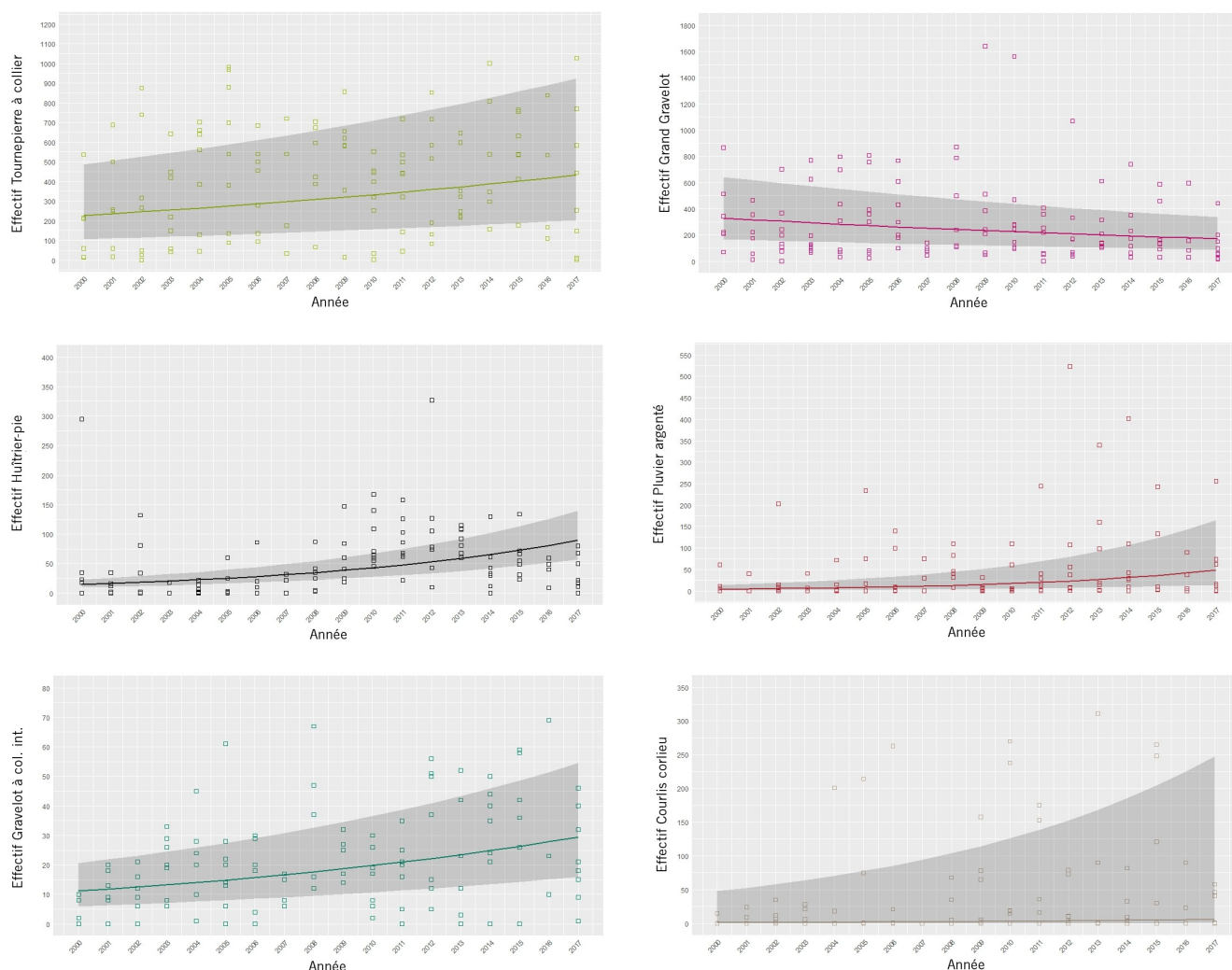


Figure 23 : Evolution des effectifs pré-nuptiaux entre 2000 et 2017 sur le Littoral Est-Cotentin. Les carrés représentent les valeurs observées et les courbes en train plein le modèle statistique de type GLMM. Les zones grisées représentent les écart-types de l'effet aléatoire du mois ou de la décade d'observation.

On constate d'après la Figure 23 ci-dessus que les tendances de certaines espèces comme le Grand Gravelot, le Tournepiere à collier ou le Gravelot à collier interrompu sont assez proches d'une fonction affine. En revanche, la tendance se rapproche plus d'une fonction exponentielle pour le Pluvier argenté ou le Chevalier guignette, le Bécasseau violet, le Chevalier gambette et la Barge rousse visibles en Annexe, avec une croissance s'accroissant sur les derniers cycles de suivi. Enfin on remarque la difficulté pour certains modèles à s'ajuster à la fois à des absences d'individus sur certaines décades et à de forts effectifs sur d'autres, notamment pour le Courlis Corlieu ci-dessus ou le Chevalier guignette en Annexe.



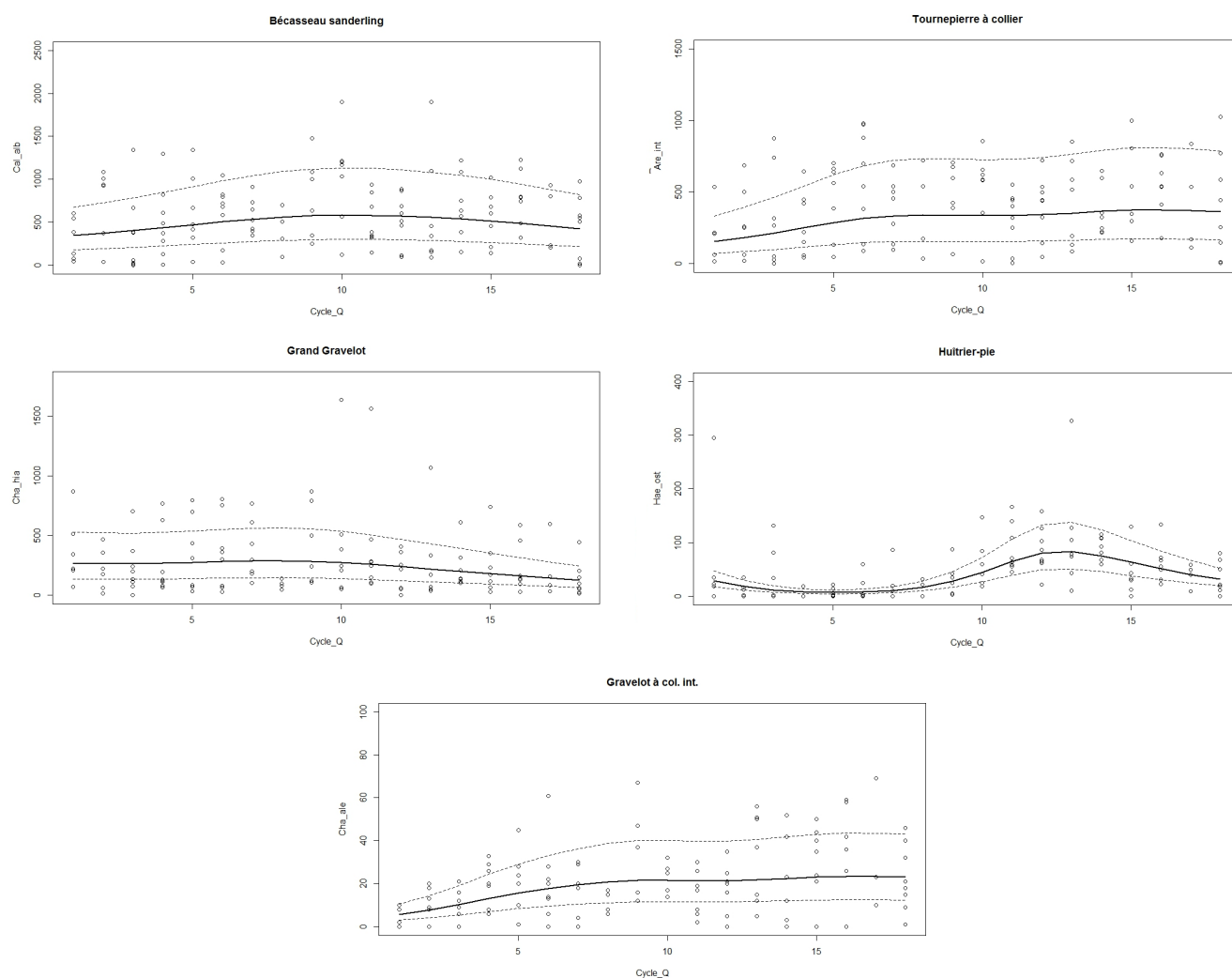


Figure 24 : Evolution des effectifs pré-nuptiaux entre 2000 et 2017 sur le Littoral Est-Cotentin. Les cercles représentent les valeurs observées et les courbes en train plein le modèle statistique de type GAMM. Les tirets représentent les écart-types de l'effet aléatoire du mois ou de la décennie d'observation.

Pour la Barge rousse, le Courlis corlieu et le Pluvier argenté, la tendance non-linéaire optimale étant identique à celle modélisée par un GLMM, l'utilisation d'un modèle de type GAMM n'est pas pertinente. En revanche elle apporte plus d'informations sur d'autres espèces dont la courbe de tendance est plus complexe. On remarque chez l'Huitrier-pie ci-dessus et en Annexe chez le Chevalier guignette, le Chevalier gambette, et le Courlis cendré cette allure de courbe qui nous est maintenant familière, avec une stabilité lors de la première décennie, une croissance au début des années 2000 puis une régression sur les derniers cycles de suivi. En revanche pour le Tournepiere à collier et le Gravelot à collier interrompu, la croissance s'est effectuée dans les années 2000 avant de se stabiliser alors que c'est dans les années 2010 que le Grand Gravelot a essentiellement régressé. Enfin on note la relative stabilité des effectifs du Bécasseau sanderling ainsi que les variations cycliques pour l'ensemble des individus toutes espèces confondues.

*Baie des Veys*

Enfin, les résultats des tendances temporelles en période de migration pré-nuptiale sur l'unité fonctionnelle « Baie des Veys » sont présentés Tableau XI ci-dessous. Comme pour la période post-nuptiale, assez peu de tendances sont significatives (8 sur 22) et ce avec un degré de significativité moindre que sur le Littoral Est-Cotentin. En outre toutes les tendances significatives sont positives. On notera également que certaines tendances étaient significatives à un seuil de 10%. Aucune tendance linéaire n'est détectée pour l'ensemble des Limicoles.

Tableau XI : Significativité des tendances temporelles pré-nuptiales linéaires et non linéaires par taxon en Baie des Veys. 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, « s() » un effet non-linéaire et « ddl » le nombre de degrés de liberté de la courbe modélisée. La distribution utilisée est une Binomiale Négative. Les espèces principales sont figurées en gras et celles pour lesquelles le suivi est moins adapté en italique.

Taxon	GLMM			GAMM	
	Cycle_Q	AIC	s(Cycle_Q)	ddl	AIC
<b>Bécasseau variable</b>	NS	2175,7	NS	-	-
<b>Huîtrier pie</b>	NS	2141,1	***	3,17	193
<b><i>Courlis cendré</i></b>	NS	1457,5	*	2,83	470,2
<b>Pluvier argenté</b>	(+)*	1633	***	4	464,1
<b>Grand gravelot</b>	NS	1732,6	NS	-	-
Barge rousse	(+)*	1426,5	***	7,44	431,5
Chevalier gambette	NS	1264,9	***	2,99	469,7
Bécasseau sanderling	(+)**	1262	***	3,38	494,1
Bécasseau maubèche	NS	937,6	NS	-	-
<i>Courlis corlieu</i>	(+)*	979,6	*	1	559,7
<i>Barge à queue noire</i>	(+)*	990,5	***	3,17	504,6
<i>Combattant varié</i>	NS	784,9	NS	-	-
Tournepierre à collier	NS	741,6	NS	-	-
<i>Avocette élégante</i>	NS	510,3	***	4,6	680,8
<i>Chevalier aboyeur</i>	NS	478,9	*	1	585,6
Gravelot à collier int.	(+)**	605,9	***	2,11	497,2
Chevalier arlequin	NS	451,3	NS	-	-
<i>Chevalier guignette</i>	(+)*	331,8	*	1,85	604,7
Bécasseau minute	NS	257,3	***	4,67	720,3
Echasse blanche	(+)**	338,1	***	7,17	748,5
Petit Gravelot	NS	272,7	NS	-	-
Total Limicoles	NS	2409,2	**	3,13	260,5

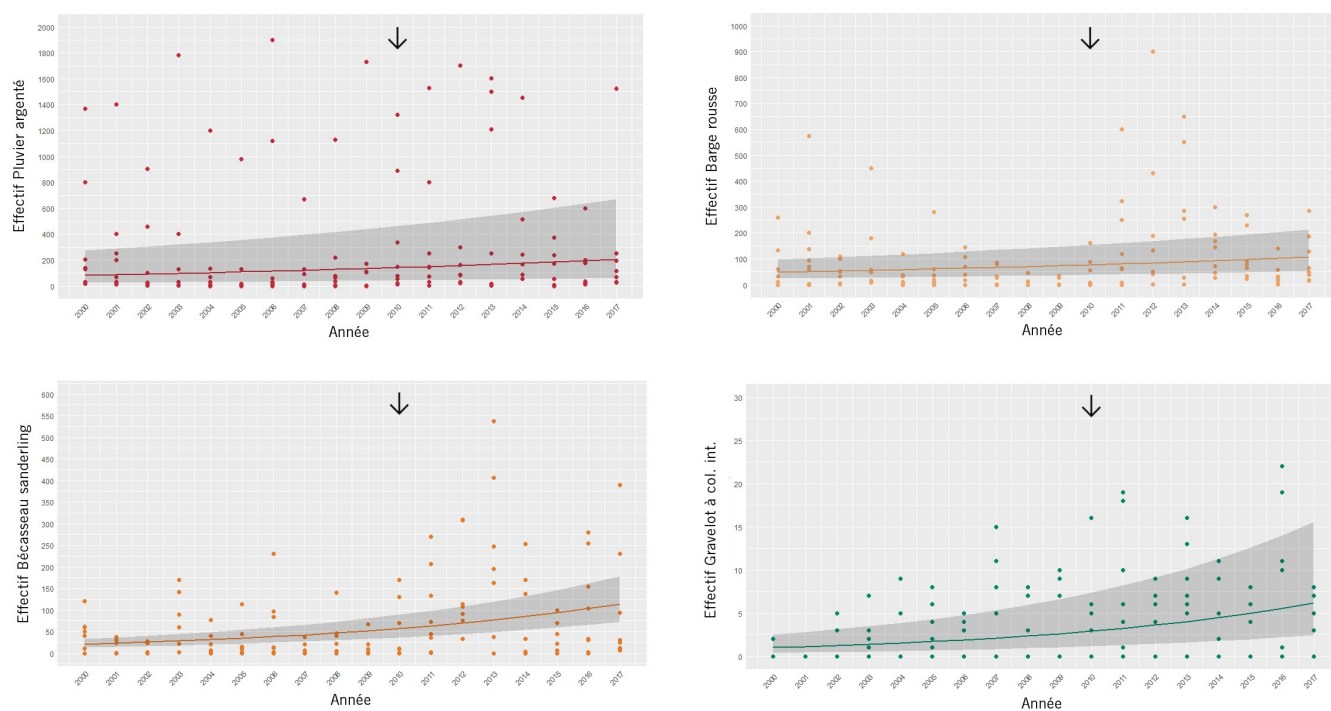
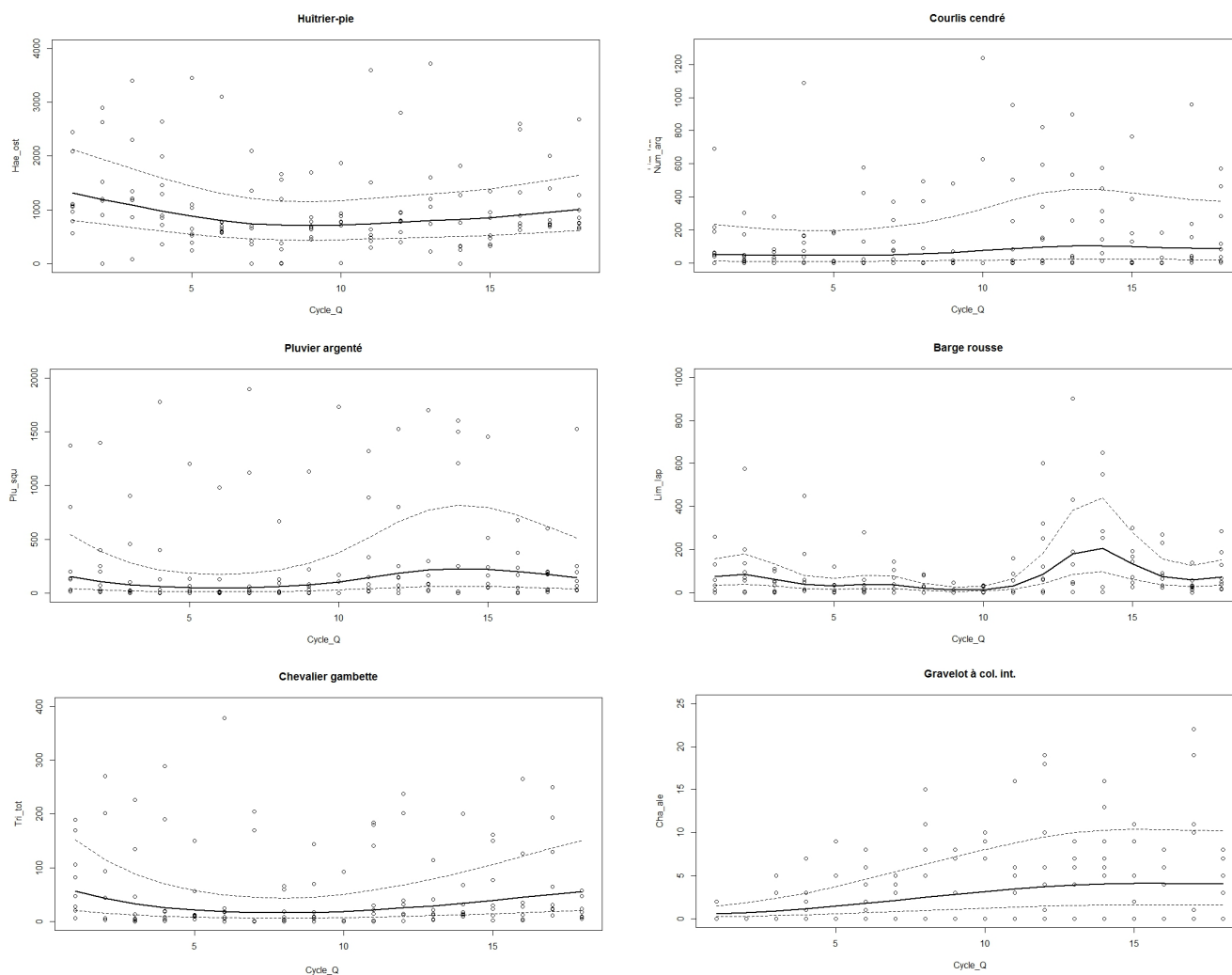


Figure 25 : Evolution des effectifs pré-nuptiaux entre 2000 et 2017 en Baie des Veys. Les cercles représentent les valeurs observées et les courbes en train plein le modèle statistique de type GLMM. Les zones grisées représentent les écart-types de l'effet aléatoire du mois ou de la décade d'observation. La date de mise en eau du Polder est indiquée par une flèche.

Sur la Figure 25 ci-dessus, on remarque les croissances considérables du Gravelot à collier interrompu, du Bécasseau sanderling et celle l'Echasse blanche en Annexe, dont les courbes ont des allures d'exponentielle. Pour les autres espèces dont l'augmentation des effectifs est significative, la progression se rapproche d'une fonction affine. De même que sur le Littoral Est-Cotentin pour la même période, les fortes variations d'individus entre les différentes décades ou mois chez le Courlis corlieu (représentées par les zones grisées en Annexe) montrent les limites de ces modèles pour la visualisation des tendances de certaines espèces.



**Figure 26 :** Evolution des effectifs pré-nuptiaux entre 2000 et 2017 en Baie des Veys. 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 du mois ou de la décennie d'observation.

Sur les 15 modèles de type GAMM dont la tendance ajustée est significative, seulement deux n'apportent rien de plus que les GLMM, l'effet ajusté étant linéaire (1 seul degré de liberté consommé) pour le Courlis corlieu et le Chevalier aboyeur. Pour 7 des 13 tendances non-linéaires significatives restantes, on retrouve une courbe à l'allure similaire déjà présentée plus avant dans ce rapport, à savoir une stabilité lors de la première décennie puis une augmentation plus ou moins forte des effectifs dans le début des années 2010 suivie d'une régression lors des précédents cycles, visibles chez le Courlis cendré, le Pluvier argenté et la Barge rousse ci-dessus. En revanche on observe pour l'Huïtrier-pie et le Chevalier gambette une allure différente, avec une décroissance sur les premières années de suivi puis une augmentation sur les derniers cycles. Le Gravelot à collier interrompu a vu lui ses effectifs augmenter progressivement avant de se stabiliser lors des dernières années. Enfin la courbe de tendance de l'ensemble des limicoles, disponible en Annexe, ressemble fortement à celle de l'Huïtrier-pie, mis-à-part la stabilisation des individus lors des derniers cycles.

**d. Synthèse :**

Le bilan des tendances d'évolution temporelles sur le Littoral Est-Cotentin est très positif. En effet, sur 41 tendances modélisées à l'aide de GLMM, 21 sont significativement positives pour seulement quatre négatives (cf. Tableau XII ci-après). Seuls deux taxons sont concernés par une décroissance mais ceux-ci font partie des espèces les plus observées de l'unité fonctionnelle : le Bécasseau variable dont les effectifs sont en régression en période de migration post-nuptiale et le Grand Gravelot, en décroissance sur l'ensemble des périodes analysées. On notera toutefois les très bons résultats en période hors hivernage (18 tendances positives sur les 21 au total), notamment pour le Tournepiere à collier, l'Huîtrier-pie, le Courlis corlieu, la Barge rousse ou encore le Chevalier guignette. Le Pluvier argenté, le Courlis cendré ainsi que le Chevalier gambette présentent des tendances positives sur l'ensemble des périodes analysées alors que le Gravelot à collier interrompu et le Bécasseau violet uniquement en période de migration pré-nuptiale. Dans certains cas la croissance est assez impressionnante, comme celle du Pluvier argenté et du Chevalier gambette en période d'hivernage ou celle du Gravelot à collier interrompu en période de migration pré-nuptiale. En revanche, les effectifs de Bécasseau sanderling ainsi que ceux des limicoles toutes espèces confondues sont stables quelle que soit la période du cycle.

Les modèles de type GAMM (Modèles Additifs Généralisés Mixtes) permettent de nuancer ces tendances : pour les tendances négatives détectées par les GLMM sauf pour le Grand Gravelot en période post-nuptiale, on remarque que les effectifs sont stables lors de la première décennie avant de diminuer à partir des années 2010. On retrouve également plusieurs fois la même allure de courbe chez plusieurs espèces, notamment en période migratoire, avec une stabilité des effectifs lors de la première décennie puis une augmentation plus ou moins marquée dans le début des années 2010 suivie d'une régression lors des derniers cycles. C'est notamment le cas pour l'Huîtrier-pie et le Courlis cendré.

En ce qui concerne l'unité fonctionnelle « Baie des Veys », 60 tendances temporelles ont été modélisées, parmi lesquelles 17 sont significativement positives et seulement 4 négatives. Toutefois on remarque la forte différence entre la période d'hivernage qui compte 3 tendances positives et trois négatives et les périodes de migration qui totalisent 14 tendances positives pour une seule négative. On constate notamment la croissance des effectifs de Pluvier argenté et de Barge rousse en période de migration pré et post-nuptiale, du Courlis corlieu en période pré-nuptiale et du Courlis cendré et du Combattant varié en période de migration post-nuptiale. La Barge à queue noire, elle, voit sa population augmenter sur toutes les périodes et le Bécasseau sanderling en période hivernale et pré-nuptiale. En revanche, les effectifs d'Huîtrier-pie, de Grand Gravelot et de Chevalier gambette sont stables sur l'ensemble des périodes alors que le Bécasseau variable est en régression en hivernage, entraînant ainsi la décroissance du nombre total de limicoles sur la même période. Certaines de ces tendances peuvent être assez marquées, comme la progression hivernale de la Barge à queue noire, celle du Courlis cendré en période post-nuptiale ou bien encore la régression hivernale du Bécasseau minute.

Tableau XII : Tendances temporelles des taxons étudiés en fonction de l'unité fonctionnelle et de la période considérée. « ↑ » correspond à une augmentation des effectifs, « ↓ » à une diminution, « → » à des effectifs stables, « ⇕ » à des effectifs fluctuant, Les espèces principales pour lesquelles le suivi est moins adapté sont figurées en italique.

Taxon	Littoral Est-Cotentin			Baie des Veys		
	Post-nuptial	Hivernage	Pré-nuptial	Post-nuptial	Hivernage	Pré-nuptial
Bécasseau variable	↓	→	→	→	↓	→
Huîtrier pie	↑	⇕	↑	→	⇕	→
<i>Courlis cendré</i>	↑	↑	↑	↑	→	→
Pluvier argenté	↑	↑	↑	↑	→	↑
Grand gravelot	↓	↓	↓	→	→	→
Barge rousse	↑	Non effectué	↑	↑	⇕	↑
Chevalier gambette	↑	↑	↑	→	⇕	→
Bécasseau sanderling	→	→	→	→	↑	↑
Bécasseau maubèche	→	Non effectué	→	→	→	→
<i>Courlis corlieu</i>	↑	Non effectué	↑	→	Non effectué	↑
<i>Barge à queue noire</i>	Non effectué	Non effectué	Non effectué	↑	↑	↑
<i>Combattant varié</i>	Non effectué	Non effectué	Non effectué	↑	⇕	→
Tournepierre à collier	↑	→	↑	→	↑	→
<i>Avocette élégante</i>	Non effectué	Non effectué	Non effectué	→	→	→
<i>Chevalier aboyeur</i>	Non effectué	Non effectué	Non effectué	↑	Non effectué	→
Gravelot à collier int.	→	→	↑	→	Non effectué	↑
Chevalier arlequin	Non effectué	Non effectué	Non effectué	→	→	→
<i>Chevalier guignette</i>	↑	Non effectué	↑	→	Non effectué	↑
Bécasseau minute	Non effectué	Non effectué	Non effectué	→	↓	→
Echasse blanche	Non effectué	Non effectué	Non effectué	Non effectué	Non effectué	↑
Petit Gravelot	Non effectué	Non effectué	→	Non effectué	Non effectué	→
Bécasseau violet	Non effectué	⇕	↑	Non effectué	Non effectué	Non effectué
Bécasseau cocorli	Non effectué	Non effectué	Non effectué	→	Non effectué	Non effectué
Chevalier cul-blanc	Non effectué	Non effectué	Non effectué	↓	Non effectué	Non effectué
Total Limicoles	→	→	→	→	↓	→

Enfin l'utilisation des modèles de type GAMM ne permet de préciser qu'une tendance négative : la régression hivernale du Bécasseau minute, qui se cristallise sur la première décennie car plus aucun individu n'est observé après 2010. Pour les trois autres régressions le modèle de type GLMM est suffisant. Par contre, les modèles GAMM permettent bien de mieux visualiser certaines tendances, comme le caractère cyclique des effectifs d'Huîtrier-pie et du Chevalier gambette en période hivernale, dont aucune tendance linéaire n'est détectée. On retrouve également cette allure

de courbe précédemment évoquée pour les périodes migratoire sur le Littoral Est-Cotentin, chez le Courlis cendré et le Chevalier aboyeur en migration post-nuptiale et chez l'Avocette élégante, le Pluvier argenté, la Barge rousse ou encore l'Echasse blanche en période de migration pré-nuptiale.

On constate sur certains graphiques, notamment ceux concernant les périodes pré et post-nuptiales, que les écart-types représentant la variabilité des effectifs entre les décades ou mois d'observations peuvent être très larges. C'est le cas pour le Corlis corlieu en période de migration pré-nuptiale : en effet, la phénologie de cette espèce est très marquée, avec un grand nombre d'individus sur uniquement 2 ou 3 décades et plus d'individus en dehors. Sont donc considérées dans l'analyse à la fois des décades avec très peu d'individus et des décades avec beaucoup d'individus, du fait de la large période considérée.

## 2.4. Rôle et intérêt biogéographiques

### a. Intérêt des unités fonctionnelles :

L'intérêt des deux unités fonctionnelles pour les principales espèces à la mi-Janvier est présenté dans le Tableau XIII ci-après. En ce qui concerne le Littoral Est-Cotentin, le seuil des 20 000 limicoles n'est jamais atteint. En revanche, l'intérêt est très élevé pour le Bécasseau sanderling qui dépasse le seuil international plusieurs années. L'importance est globalement nationale pour les deux espèces de Gravelots ainsi que pour le Tournepierre à collier et le Bécasseau variable, taxons qui comme on l'a vu précédemment, caractérisent les peuplements de cette unité fonctionnelle. Enfin l'intérêt est plus faible pour le Pluvier argenté, le Chevalier gambette, le Bécasseau minute et le Bécasseau violet. Pour les autres taxons, aucun seuil n'est dépassé.

Pour l'unité fonctionnelle « Baie des Veys », on constate au contraire un intérêt remarquable pour le Pluvier argenté et le Bécasseau variable dont les effectifs dépassent les seuils internationaux certaines années. Le seuil international des 20 000 limicoles est également atteint pour quatre années du suivi et de nombreuses espèces présentent un intérêt que l'on peut globalement qualifier de « national » : Huîtrier-pie, Barge rousse, Courlis cendré, Chevalier gambette et arlequin. En revanche l'intérêt est bien plus faible pour les autres taxons, dont les deux espèces de Gravelots et le Tournepierre à collier. Enfin le seuil d'intérêt régional pour le Combattant varié est franchi tous les cycles depuis la mise en place du suivi sauf en janvier 2009 où aucun effectif n'est observé en Normandie. On rappelle que pour cette espèce l'intérêt national et international ne peut être calculé en l'absence d'estimation des populations de ces échelles. On suppose toutefois que les 1 % de la population hivernante nationale doivent être souvent dépassés étant donné l'écrasante contribution régionale de l'unité fonctionnelle.

Si l'on compare l'intérêt de l'unité fonctionnelle précédente avec celui du complexe RNNDB –

Polder à la même période (composé des secteurs 07A, 07B, 07C et 07D) présenté en Annexe 3, on remarque une grande similitude dans les résultats. En effet, seules 15 cases diffèrent sur les 324 au total, soit une similarité à 95,37 % des deux tableaux. Ceci s'explique par le fait que les quatre secteurs concernés concentrent la quasi-totalité des effectifs de l'unité fonctionnelle à la mi-Janvier. On ne détaillera donc pas les résultats pour ce complexe dans cette section et les graphiques présentés représenteront uniquement les deux unités fonctionnelles.

En ce qui concerne l'intérêt international en période de migration post-nuptiale, présenté Tableau XI1, le Grand Gravelot dépasse le seuil des 1% de la population biogéographique estimée pour la plupart des cycles, en général en Août et ce sur les deux unités fonctionnelles, alors qu'il n'est jamais atteint en période d'hivernage. Aucune autre espèce n'est concernée par un intérêt biogéographique en migration post-nuptiale sur la Baie des Veys. En revanche pour le Littoral Est-Cotentin, le Bécasseau sanderling dépasse le seuil lors de quelques cycles et le Tourneperre à collier une seule et unique fois, tout comme c'était le cas pour la mi-Janvier.

Pour la période de migration pré-nuptiale, dont les résultats sont présentés Tableau XI2, le Grand Gravelot atteint le seuil d'intérêt biogéographique en Mai sur plus de la moitié des cycles et encore une fois sur les deux unités fonctionnelles. Le Bécasseau sanderling dépasse également ce seuil sur le Littoral Est-Cotentin de nombreux cycles alors que l'intérêt international est bien plus rare sur cette même unité pour le Tourneperre à collier ou le Pluvier argenté en Baie des Veys.



Tableau XIII : Intérêt des unités fonctionnelles à la mi-janvier pour les principales espèces. « I » correspond à un intérêt international, « N » à un intérêt national et « R » indique un intérêt régional.

Taxon	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<b>Littoral Est-Cotentin</b>																		
Bécasseau variable	N	N	N		N	N	N	N	N	N	N			N	N	N		N
Bécasseau sanderling	I	I	I	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	I		N
Tournepierrre à collier	N	N	I	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Grand gravelot	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N		N
Huîtrier pie																		
Pluvier argenté												N			N			N
Gravelot à collier int.	N	N	N	N	N	N		N	N	N	N		N	N	N			
Chevalier gambette											N	N	N	N				N
<i>Courlis cendré</i>																		
Barge rousse																		
Bécasseau violet		R	N								N		N	N				R
Bécasseau maubèche																		
Bécasseau minute							R				R	R	R		R	R	R	
Chevalier arlequin																		
<i>Barge à queue noire</i>																		
<i>Combattant varié</i>																		
<i>Avocette élégante</i>																		
Total Limicoles																		
<b>Baie des Veys</b>																		
Bécasseau variable	N	N	I	I	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Huîtrier pie	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N		N	N	N
<i>Courlis cendré</i>	N	N	N	N		N	N	N	N	N	N	N	N	N				N
Pluvier argenté	I	N	I	N	N	N	N	N	N	N	N	I	N	N	N	N	N	N
Grand gravelot				N														
Barge rousse	N	N	N	N	N	N	N	N		R	N	I	N	N	N	N	N	N
Chevalier gambette	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Bécasseau sanderling					N	N			N								N	
Bécasseau maubèche	R													R		R	R	R
<i>Barge à queue noire</i>	R	R	R			R	R	R	R	R	N	R	R	R	R	R	R	R
<i>Combattant varié</i>	R	R	R	R	R	R	R	R	R		R	R	R	R	R	R	R	R
Tournepierrre à collier							N											
<i>Avocette élégante</i>	R	R									R	R	R	R	R		R	R
Gravelot à collier int.																	N	
Chevalier arlequin	R	N	N	N	N	N	N	R	R	R	R	N		N	N	N	N	R
Bécasseau minute	R		R	R	R	R	R	R	R		R	R	R		R	R	R	
Bécasseau violet																		
Total Limicoles			I	I								I						I

Tableau XIV : Intérêt biogéographique en période de migration post-nuptiale pour les principales espèces entre 1999 et 2016. Les lettres correspondent à l'initiale du mois au cours duquel le seuil d'intérêt biogéographique est dépassé (« A », « S », « O » et « N »). Les espèces principales sont figurées en gras et celles pour lesquelles le suivi est moins adapté en italique.

Taxon	1999 - 2000	2000 - 2001	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	2016 - 2017
<b>Bécasseau variable</b>																		
<b>Bécasseau sanderling</b>	AS ON	AS ON	AS ON							A	S			N	N			
<b>Tournepierre à collier</b>						N												
<b>Grand gravelot</b>			AS	A	A	AS		A	A	AS	A	A	A	A	A	A		
Huîtrier pie																		
Pluvier argenté																		
Gravelot à collier int.																		
Chevalier gambette																		
<i>Courlis cendré</i>																		
Barge rousse																		
Bécasseau violet																		
Bécasseau maubèche																		
Bécasseau minute																		
Chevalier arlequin																		
<i>Barge à queue noire</i>																		
<i>Combattant varié</i>																		
<b>Bécasseau variable</b>																		
<b>Huîtrier pie</b>																		
<i>Courlis cendré</i>																		
<b>Pluvier argenté</b>																		
<b>Grand gravelot</b>	S	S	AS			A		A	A	A	AS	A	A	A		A		S
Barge rousse																		
Chevalier gambette																		
Bécasseau sanderling																		
Bécasseau maubèche																		
<i>Barge à queue noire</i>																		
<i>Combattant varié</i>																		
Tournepierre à collier																		
Gravelot à collier int.																		
Chevalier arlequin																		
Bécasseau minute																		
Bécasseau violet																		

Tableau XV : Intérêt biogéographique en période de migration pré-nuptiale pour les principales espèces entre 1999 et 2016. Les lettres correspondent à l'initiale du mois au cours duquel le seuil d'intérêt biogéographique est dépassé (« F », « M », « A » et « Mai »). Les espèces principales sont figurées en gras et celles pour lesquelles le suivi est moins adapté en italique.

Taxon	1999 - 2000	2000 - 2001	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	2016 - 2017
<b>Bécasseau variable</b>																		
<b>Bécasseau sanderling</b>	FA	FM A Mai	FM	A	Mai				Mai	A Mai			F	Mai		F		
<b>Tournepieuvre à collier</b>			M															
<b>Grand gravelot</b>	Mai		Mai	Mai	Mai	Mai	Mai		Mai	Mai	Mai		Mai		Mai			
Huîtrier pie																		
Pluvier argenté																		
Gravelot à collier int.																		
Chevalier gambette																		
<i>Courlis cendré</i>																		
Barge rousse																		
Bécasseau violet																		
Bécasseau maubèche																		
Bécasseau minute																		
Chevalier arlequin																		
<i>Barge à queue noire</i>																		
<i>Combattant varié</i>																		
<b>Bécasseau variable</b>																		
<b>Huîtrier pie</b>																		
<i>Courlis cendré</i>																		
<b>Pluvier argenté</b>	F	F																
<b>Grand gravelot</b>	Mai	Mai		Mai	Mai				Mai	Mai	Mai	Mai	Mai		Mai		Mai	Mai
Barge rousse																		
Chevalier gambette																		
Bécasseau sanderling																		
Bécasseau maubèche																		
<i>Barge à queue noire</i>																		
<i>Combattant varié</i>																		
Tournepieuvre à collier																		
Gravelot à collier int.																		
Chevalier arlequin																		
Bécasseau minute																		

**b. Contribution aux échelles supérieures :**

Il est également possible de déterminer l'évolution de la contribution en pourcentages des effectifs des unités fonctionnelles aux populations régionales et nationales. Celles-ci sont présentées Figure 27 pour les espèces traitées dans la section précédente (sauf pour le Bécasseau minute). La contribution du complexe RNNDB – Polder n'est pas représentée car très similaire à celle de l'unité fonctionnelle la contenant comme vu précédemment.

On constate tout d'abord que l'écart entre la contribution de l'unité fonctionnelle « Baie des Veys » et la contribution de l'unité fonctionnelle « Littoral Est-Cotentin » est pour la grande majorité des espèces assez élevé. En ce qui concerne le Littoral Est-Cotentin, la contribution, qu'elle soit régionale ou nationale, est très faible et stable pour la plupart des taxons étudiés. On note tout de même quelques évolutions intéressantes pour les espèces caractéristiques de l'unité fonctionnelle. Ainsi la contribution régionale et nationale du Tournepierre à collier et du Bécasseau sanderling, sont importantes mais semblent diminuer alors que la contribution du Bécasseau variable (régionale) et du Pluvier argenté (régionale et nationale) semblent augmenter bien qu'elle reste faible pour cette dernière espèce. Enfin les contributions nationales et régionales des Gravelots paraissent élevées et stables de même que la contribution nationale du Bécasseau variable.

Quant à l'unité fonctionnelle « Baie des Veys », on constate pour la plupart des espèces une relative stabilité des contributions aux effectifs nationaux et régionaux au cours du temps, bien que ces contributions soient très variables d'une espèce à l'autre. Toutefois on remarque une augmentation assez marquée de la contribution régionale et nationale de la Barge à queue noire. La contribution régionale du Chevalier gambette et du Chevalier arlequin ainsi que la contribution nationale du Bécasseau variable semblent elles diminuer. Enfin on note les contributions remarquables de la Baie des Veys aux effectifs de l'Huîtrier-pie, du Pluvier argenté, du Courlis cendré et des Chevaliers gambette et arlequin ainsi que la contribution exceptionnelle aux effectifs du Combattant varié.

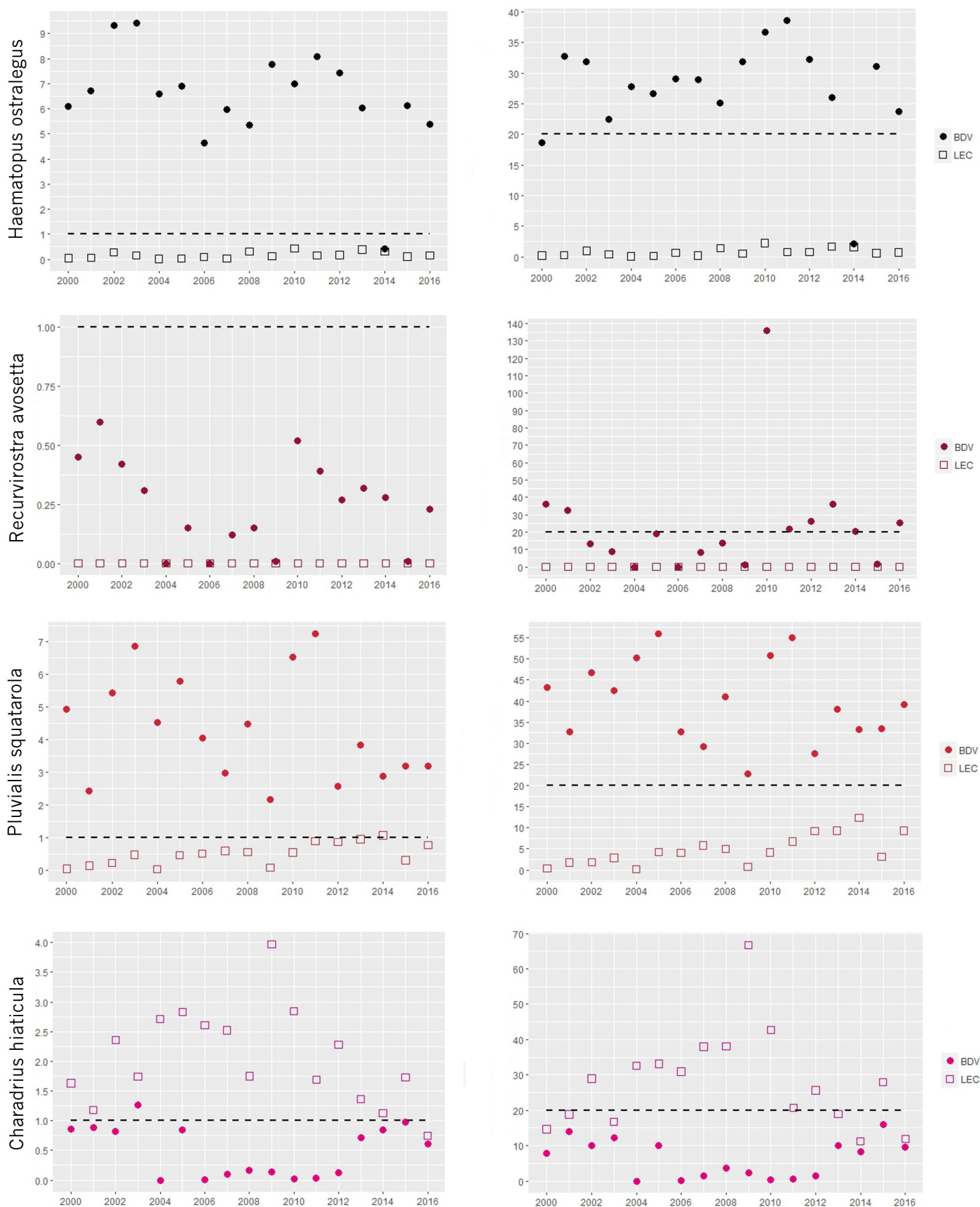


Figure 27a : Contribution nationale (à gauche) et régionale (à droite) de la Baie des Veys (cercle) et du Littoral Est-Cotentin (carré) pour l'Huîtrier pie, l'Avocette élégante, le Pluvier argenté et le Grand Gravelot (de haut en bas). Le seuil d'intérêt est représenté en tirets noirs



Figure 27b : Contribution nationale (à gauche) et régionale (à droite) de la Baie des Veys (cercle) et du Littoral Est-Cotentin (carré) pour le Gravelot à collier interrompu, la Barge à queue noire, la Barge rousse et le Courlis cendré (de haut en bas). Le seuil d'intérêt est représenté en tirets noirs



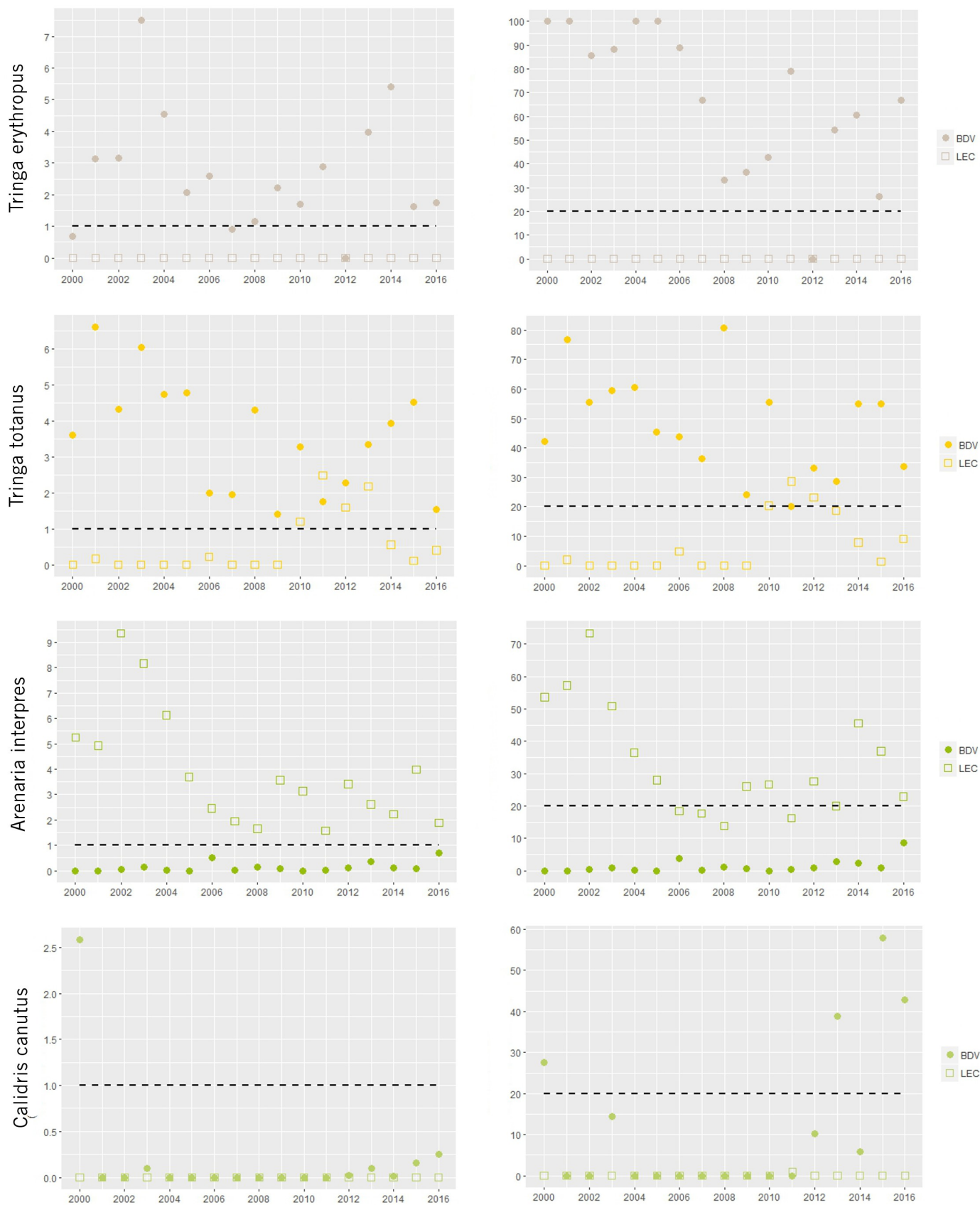


Figure 27c : Contribution nationale (à gauche) et régionale (à droite) de la Baie des Veys (cercle) et du Littoral Est-Cotentin (carré) pour le Chevalier arlequin, le Chevalier gambette, le Tourneperrière à collier et le Bécasseau maubèche (de haut en bas). Le seuil d'intérêt est représenté en tirets noirs

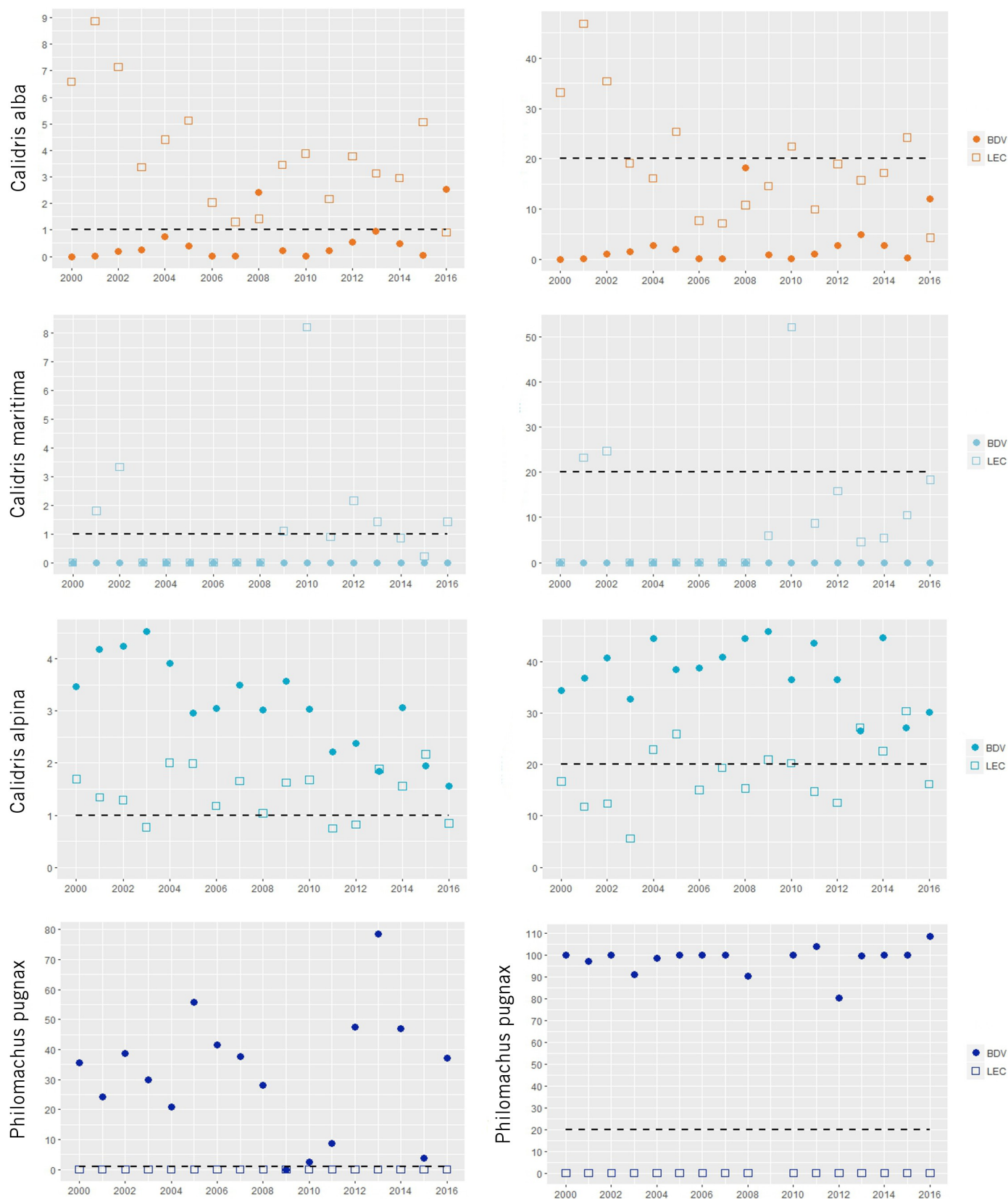


Figure 27d : Contribution nationale (à gauche) et régionale (à droite) de la Baie des Veys (cercle) et du Littoral Est-Cotentin (carré) pour le Bécasseau sanderling, le Bécasseau violet, le Bécasseau variable et le Combattant varié (de haut en bas). Le seuil d'intérêt est représenté en tirets noirs



### **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 XVI ci-dessous et il est possible de visualiser ces corrélations dans les graphiques présentés dans les prochaines pages Figure 28.

On constate tout d'abord que l'ensemble des corrélations détectées sont positives. En ce qui concerne le Littoral Est-Cotentin, on détecte seulement 3 corrélations sur 30 possibles. En effet, les taxons dont la présence est anecdotique sur cette unité fonctionnelle y ont des effectifs très faibles et stables alors qu'ils varient fortement aux échelles supérieures. De plus, les espèces caractéristiques du Littoral Est-Cotentin, comme le Bécasseau sanderling, le Bécasseau variable, le Tournepierre à collier et le Grand Gravelot, n'ont pas les effectifs qui varient conjointement aux effectifs des échelles supérieures.

Sur l'unité fonctionnelle « Baie des Veys », on détecte bien plus de corrélations, parfois avec un lien statistique fort, comme pour la Barge à queue noire (unité fonctionnelle / France), le Bécasseau variable (unité fonctionnelle / Normandie) et le Combattant varié (unité fonctionnelle / Normandie et France). Contrairement au Littoral Est-Cotentin, certaines espèces caractéristiques de l'unité fonctionnelle comme l'Huîtrier-pie, le Pluvier argenté ou le Bécasseau variable ont leurs effectifs liés aux échelles supérieures. Pour les autres, les effectifs varient de façon séparée d'où la non-corrélation, sauf pour le Gravelot à collier interrompu et le Bécasseau violet où l'absence de corrélation s'explique par la stabilité des effectifs (très faibles) sur l'unité fonctionnelle et la variabilité de ceux des échelles supérieures.

**Tableau XVI :** Résultat des tests de corrélation sur les effectifs à la mi-Janvier entre les unités fonctionnelles et l'échelle nationale (en-tête « France ») et entre les unités fonctionnelles et l'échelle régionale (en-tête « Normandie »). Dans la colonne intitulée «  $\rho$  » 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. Les espèces principales pour au moins l'une des unités fonctionnelles sont figurées en gras et celles pour lesquelles le suivi est moins adapté en italique.

Taxon	Corrélation Baie des Veys				Corrélation Littoral Est-Cotentin			
	France		Normandie		France		Normandie	
	$\rho$	p-value	$\rho$	p-value	$\rho$	p-value	$\rho$	p-value
<b>Bécasseau variable</b>	-	NS	0,92	< 0,001	-	NS	-	NS
<b>Huîtrier pie</b>	0,68	< 0,01	0,66	< 0,01	-	NS	-	NS
<i>Courlis cendré</i>	-	NS	-	NS	-	NS	-	NS
<b>Pluvier argenté</b>	-	NS	0,66	< 0,01	-	NS	-	NS
<b>Grand gravelot</b>	-	NS	-	NS	-	NS	-	NS
Barge rousse	0,56	< 0,05	0,62	< 0,01	-	NS	-	NS
Chevalier gambette	-	NS	0,56	< 0,05	0,67	< 0,01	-	NS
<b>Bécasseau sanderling</b>	0,51	< 0,05	-	NS	-	NS	-	NS
Bécasseau maubèche	-	NS	0,72	< 0,01	-	NS	-	NS
<i>Barge à queue noire</i>	0,86	< 0,001	-	NS	-	NS	-	NS
<i>Combattant varié</i>	0,82	< 0,001	0,99	< 0,001	-	NS	-	NS
<b>Tournepierre à collier</b>	0,67	< 0,01	-	NS	-	NS	-	NS
<i>Avocette élégante</i>	-	NS	-	NS	-	NS	-	NS
Gravelot à collier int.	-	NS	-	NS	-	NS	0,49	< 0,05
Chevalier arlequin	-	NS	0,73	< 0,001	-	NS	-	NS
Bécasseau violet	-	NS	-	NS	0,63	< 0,01	-	NS

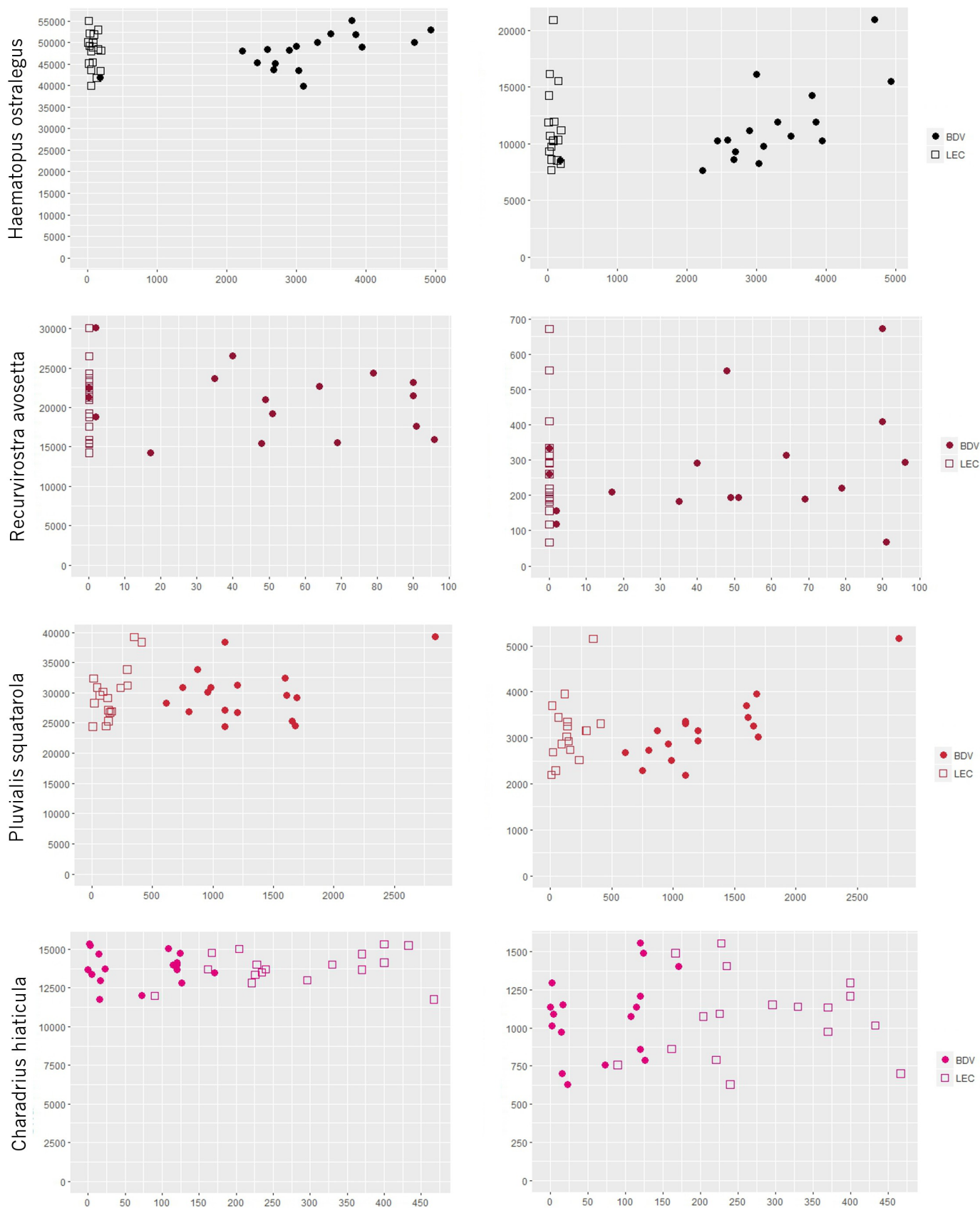


Figure 28a : Graphiques représentant en abscisse les effectifs à la mi-Janvier observé sur les unités fonctionnelles et en ordonnée ceux mesurés à la même période à l'échelle nationale (à gauche) et régionale (à droite) pour l'Huîtrier pie, l'Avocette élégante, le Pluvier argenté et le Grand Gravelot (de haut en bas).

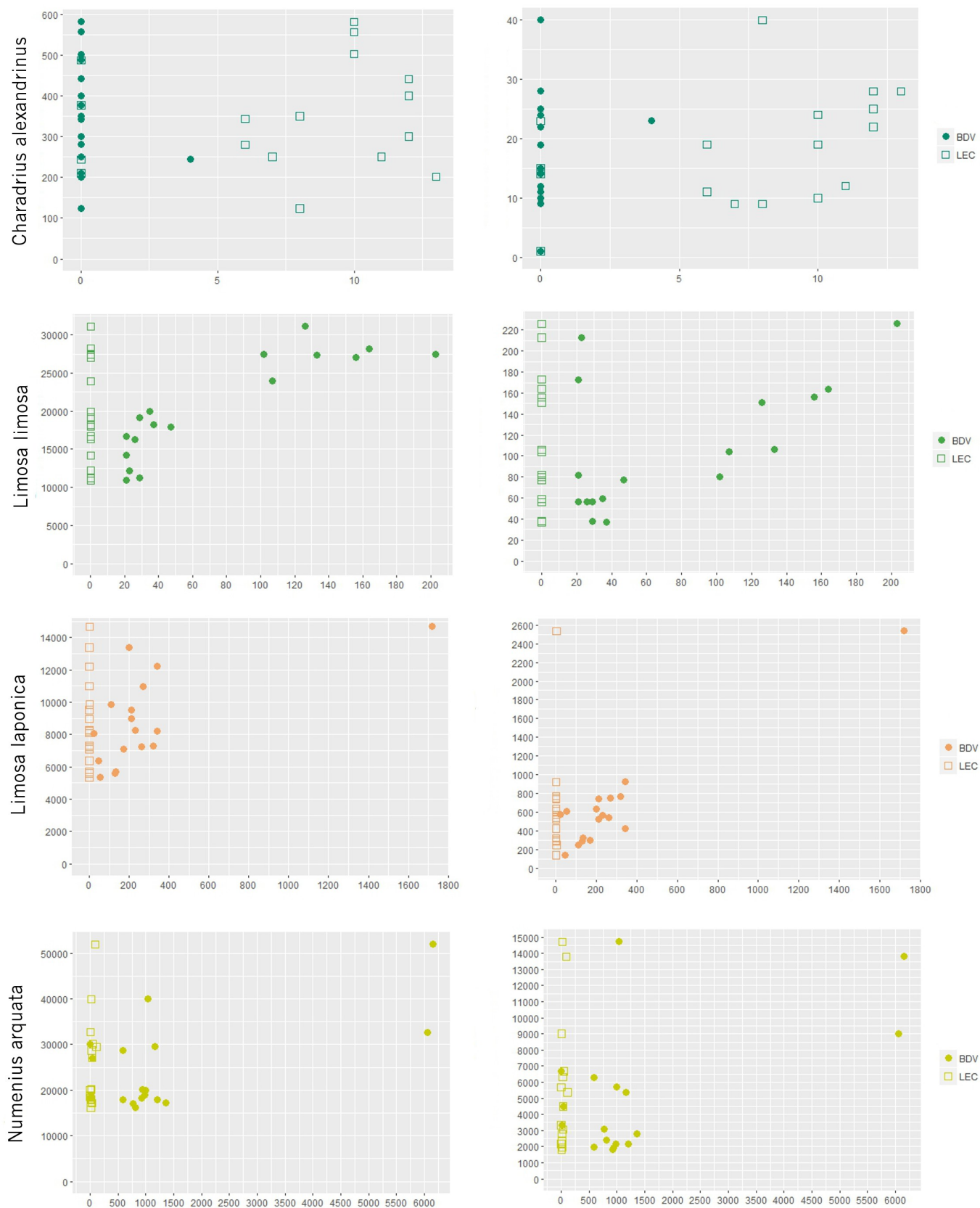


Figure 28b : Graphiques représentant en abscisse les effectifs à la mi-Janvier observés sur les unités fonctionnelles et en ordonnée ceux mesurés à la même période à l'échelle nationale (à gauche) et régionale (à droite) pour le Gravelot à collier interrompu, la Barge à queue noire, la Barge rousse et le Courlis cendré (de haut en bas).

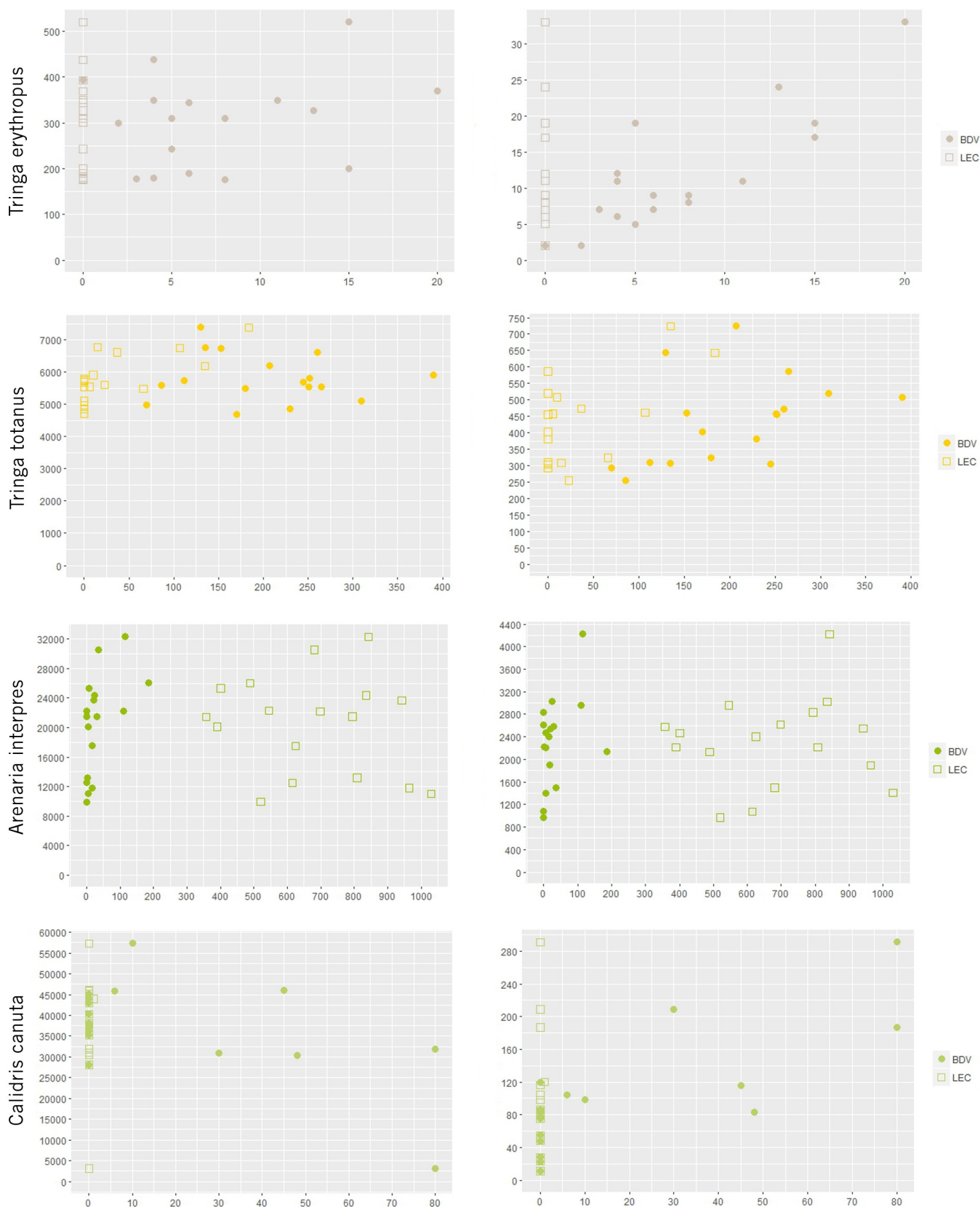


Figure 28c : Graphiques représentant en abscisse les effectifs à la mi-Janvier observé sur les unités fonctionnelles et en ordonnée ceux mesurés à la même période à l'échelle nationale (à gauche) et régionale (à droite) pour le Chevalier arlequin, le Chevalier gambette, le Tournepipe à collier et le Bécasseau maubèche (de haut en bas).

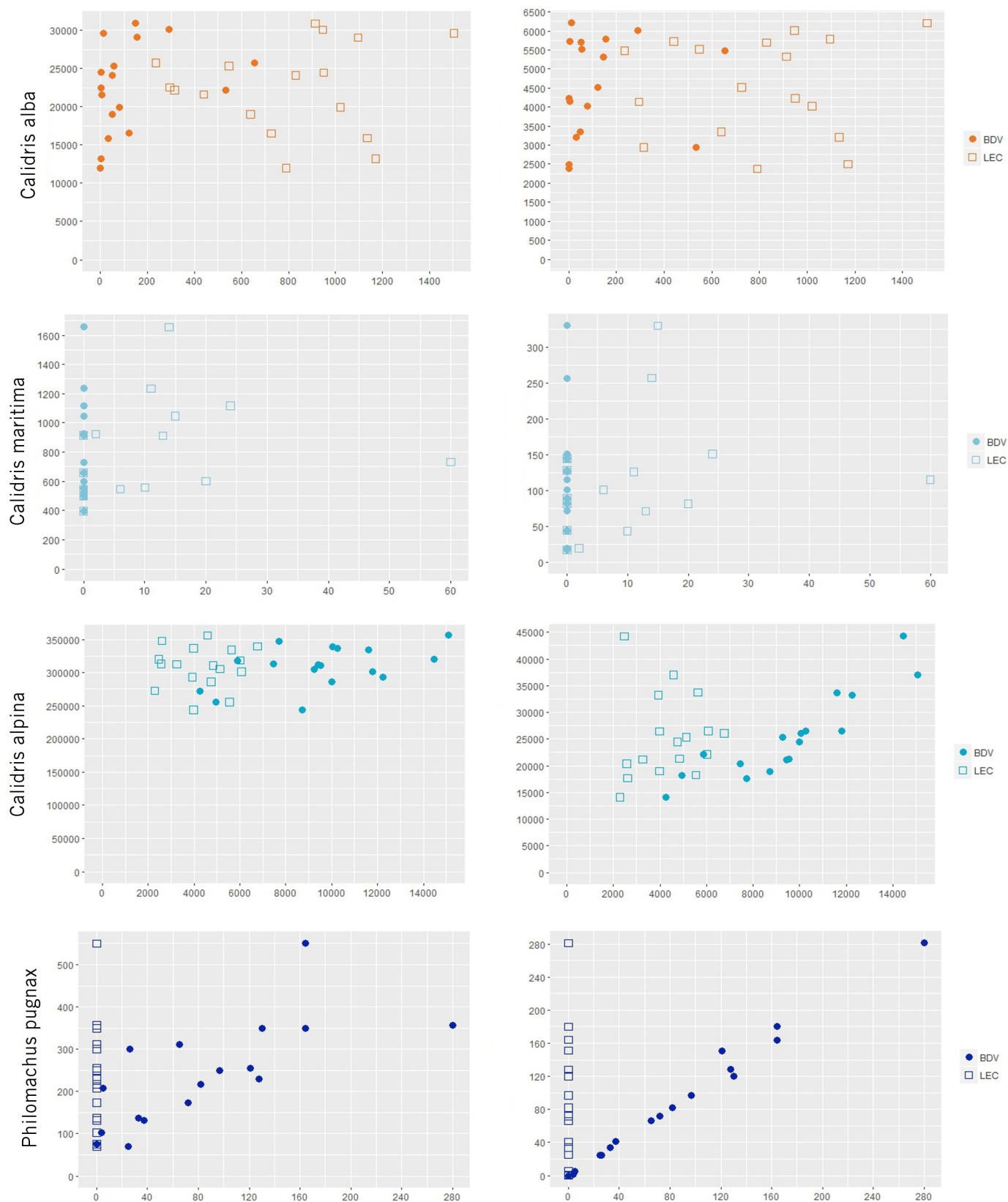


Figure 28d : Graphiques représentant en abscisse les effectifs à la mi-Janvier observé sur les unités fonctionnelles et en ordonnée ceux mesurés à la même période à l'échelle nationale (à gauche) et régionale (à droite) pour le Bécasseau sanderling, le Bécasseau violet, le Bécasseau variable et le Combattant varié (de haut en bas).



Le Tableau XVII ci-dessous permet de comparer les tendances temporelles des unités fonctionnelles calculées dans la section §2.3 avec celles des échelles supérieures issues de la bibliographie. On remarque tout d'abord que toutes les tendances à long terme du territoire national sont toutes positives mis-à-part celle du Combattant varié, situation bien meilleure qu'à l'échelle mondiale et dans une moindre mesure qu'à l'échelle de la voie de migration Est-Atlantique (Trolliet et al., 2017). Cette situation s'explique par plusieurs phénomènes : l'accroissement d'espèces en limite nord de leur aire de répartition du fait du réchauffement climatique, l'amélioration des conditions d'hivernage sur le littoral français à travers le réseau d'espaces naturels protégés et également de façon plus surprenante par l'augmentation d'effectifs de populations nichant exclusivement ou essentiellement en zone arctique (Trolliet et al., 2017). Ce dernier phénomène pourrait être dû à des individus hivernant en France plutôt que migrant jusqu'en Afrique.

Tableau XVII : Tendances temporelles hivernales des taxons en fonction des échelles considérées. « ↑ » correspond à une augmentation des effectifs, « ↓ » à une diminution, « → » à des effectifs stables, « ⇅ » à des effectifs fluctuant, « ( ) » à un degré moindre de fiabilité de la tendance et « ? » à une tendance inconnue ou non calculée. Les tendances à l'échelle de la façade maritime (Quaintenne et al., 2015) sont calculées sur la période 2000 – 2013 et les tendances nationales sur la période 1977 – 2016 (Trolliet et al., 2017) et 2000 – 2013 (Quaintenne et al., 2015). Les dates de calcul des tendances à l'échelle biogéographique (Wetlands International, 2017) diffèrent selon l'espèce. Les espèces principales pour au moins l'une des unités fonctionnelles sont figurées en gras et celles pour lesquelles le suivi est moins adapté en italique.

Taxon	BDV	LEC	Manche – Mer du Nord	France		Région Biogéographique
				1977 - 2016	2000 - 2013	
<b>Bécasseau variable</b>	↓	→	↓	↑	↓	→
<b>Huïtrier pie</b>	⇅	⇅	↓	↑	↓	↓
<i>Courlis cendré</i>	→	↑	↑	↑	↑	↓
<b>Pluvier argenté</b>	→	↑	→	↑	→	(↓)
<b>Grand gravelot</b>	→	↓	↓	↑	→	⇅
Barge rousse	⇅	?	↑	↑	↑	↑
Chevalier gambette	⇅	↑	→	↑	↑	↓
<b>Bécasseau sanderling</b>	↑	⇅	↑	↑	↑	(↑)
Bécasseau maubèche	→	?	↑	↑	↑	⇅
<i>Barge à queue noire</i>	↑	?	↑	↑	↑	↑
<i>Combattant varié</i>	⇅	?	?	↓	?	(↓)
<b>Tournepierre à collier</b>	↑	→	↑	↑	↑	(↑)
<i>Avocette élégante</i>	→	?	↓	↑	↑	(→)
Gravelot à collier int.	?	→	?	↑	↑	↓
Chevalier arlequin	→	?	→	↑	↑	(→)
Bécasseau violet	?	⇅	→	↑	→	(→)
Bécasseau minute	↓	?	?	↑	↓	(↑)
Limicoles	↓	→	→	↑	↑	?

Les tendances nationales à court terme sont plus contrastées qu'à long terme et se rapprochent de celles observées à l'échelle de la voie de migration (Quaintenne et al., 2015), avec notamment le déclin de l'Huîtrier-pie, du Bécasseau minute et du Bécasseau variable et la stabilisation d'effectifs d'espèces telles que le Pluvier argenté, le Grand Gravelot et le Bécasseau violet. Le bilan des tendances à court terme sur la façade Manche – Mer du Nord est également moins tranché que pour l'échelle nationale, du fait d'une moindre progression de certaines espèces par rapport à la façade Atlantique qui contribue en majorité aux effectifs nationaux ou même à des tendances opposées avec notamment une régression du Bécasseau variable et de l'Avocette élégante.

En ce qui concerne la Baie des Veys, on note quelques résultats « meilleurs » que pour la façade Manche – Mer du Nord, avec notamment l'Huîtrier-pie, l'Avocette élégante et le Grand Gravelot, stables ou fluctuants mais pas en régression. En revanche on note de moins bonnes tendances pour la Barge rousse et le Courlis cendré dont les effectifs ne sont pas croissants. Enfin la tendance est la même pour certaines espèces parmi les plus représentées sur l'unité fonctionnelle, notamment le Pluvier argenté qui est stable, le Bécasseau sanderling qui augmente et bien sûr le Bécasseau variable dont les effectifs diminuent. Cette dernière tendance explique la tendance décroissante des limicoles sur l'unité fonctionnelle.

Sur le Littoral Est-Cotentin, trois des taxons les plus observés présentent une meilleure tendance que sur la façade Manche – Mer du Nord : le Bécasseau variable et l'Huîtrier-pie dont les effectifs ne sont pas en recul et le Pluvier argenté dont la population est croissante. En revanche les effectifs de Bécasseau sanderling sont fluctuants et ceux du Tournepietre à collier sont stables alors que pour ces deux espèces les populations sont en croissance sur la façade maritime concernée. Enfin la tendance est identique pour le Grand Gravelot, à savoir une diminution des effectifs sur les deux échelles considérées. La résultante de ces résultats est une stabilité des effectifs de limicoles côtiers toutes espèces confondues sur l'unité fonctionnelle « Littoral Est-Cotentin ».



## 2.5. 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 les deux unités fonctionnelles. 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 un grand nombre de taxons. Nous avons donc opté pour des graphiques de type « carte de chaleur », comme la Figure 29 ci-dessous, qui permettent en un seul coup d'œil d'identifier les similitudes entre espèces.

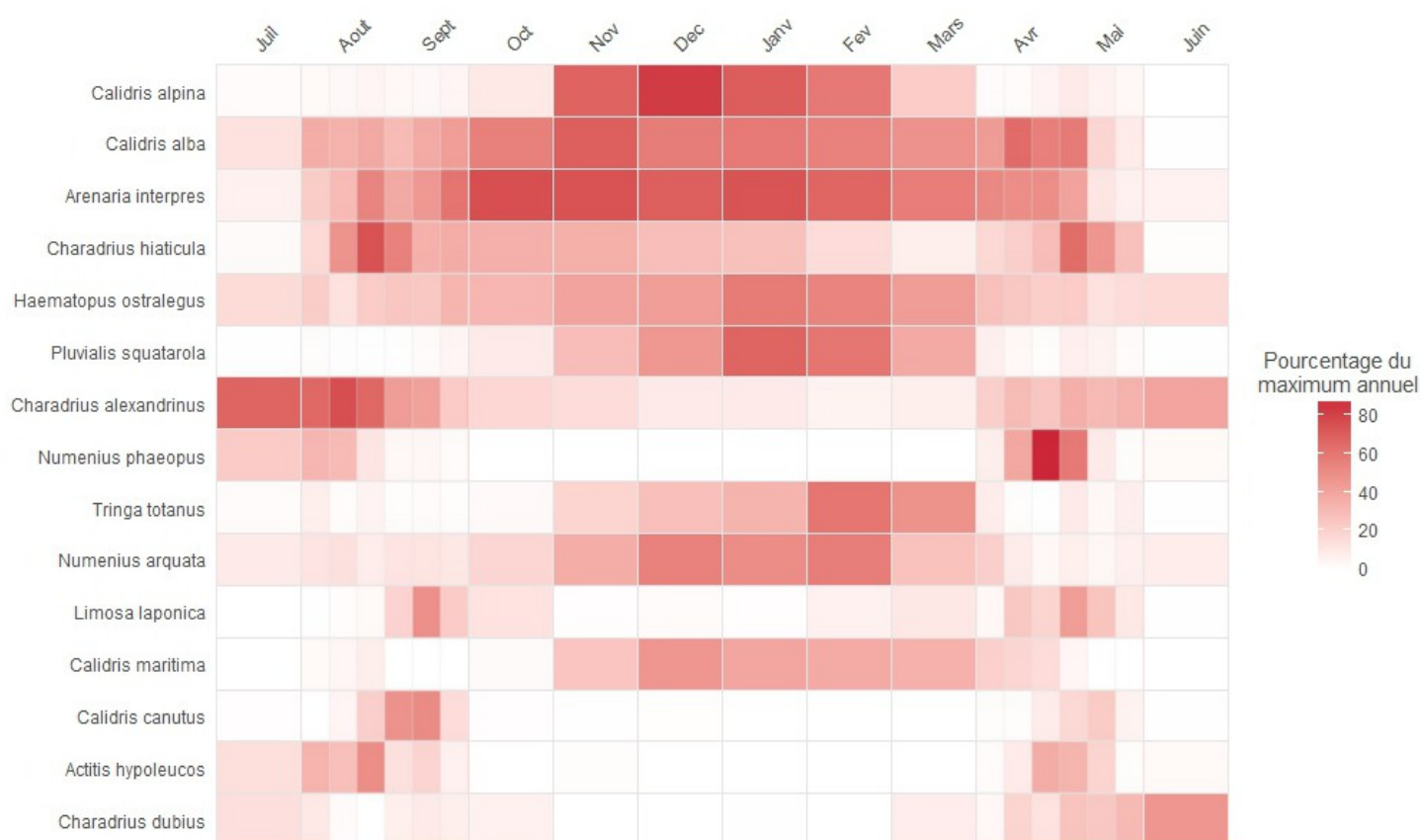


Figure 29 : Graphique représentant par mois (ou par décennie pour Août, Septembre, Avril et Mai) l'indice de présence moyen sur l'unité fonctionnelle « Littoral Est-Cotentin » pour les 15 espèces principales, classées par nombre d'individus observés total

En ce qui concerne le Littoral Est-Cotentin, on retrouve bien le pic du Bécasseau variable en Décembre ainsi que le caractère hivernant de l'espèce. On identifie ce comportement d'hivernant « strict » également chez le Pluvier argenté, le Chevalier gambette ou encore chez le Bécasseau violet. A l'inverse, certains taxons présentent une plus forte densité d'individus en période de migration. C'est le cas du Grand Gravelot, du Courlis corlieu, de la Barge rousse, du Chevalier

guignette ou encore du Bécasseau maubèche. D'autres espèces, parmi les plus représentées au sein du peuplement, sont fortement présentes à la fois en période d'hivernage et en période de migration, comme le Bécasseau sanderling et le Tournepipe à collier. Enfin quelques espèces sont principalement observées en période de migration ainsi qu'en période de reproduction : le Gravelot à collier interrompu et le Petit Gravelot. On note toutefois que l'Huîtrier-pie et le Courlis cendré semblent présents toute l'année bien qu'un peu plus en hiver.

Alors qu'on peut 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 l'on représente 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 30 ci-dessous. On remarque tout d'abord que sur les mois où la moyenne de l'indice de présence (représentée Figure 29) est très faible ou nulle, la variabilité l'est également, ce qui est en accord avec le comportement migrateur de ces oiseaux. En outre, pour les mois de présence, on constate que la phénologie est assez peu variable selon le cycle pour certaines espèces comme le Bécasseau variable ou le Pluvier argenté alors que pour d'autres on peut observer une forte variabilité de l'indice de présence en période de migration, pour le Bécasseau maubèche et la Barge rousse par exemple, ou en hivernage comme pour le Chevalier gambette ou le Courlis cendré.

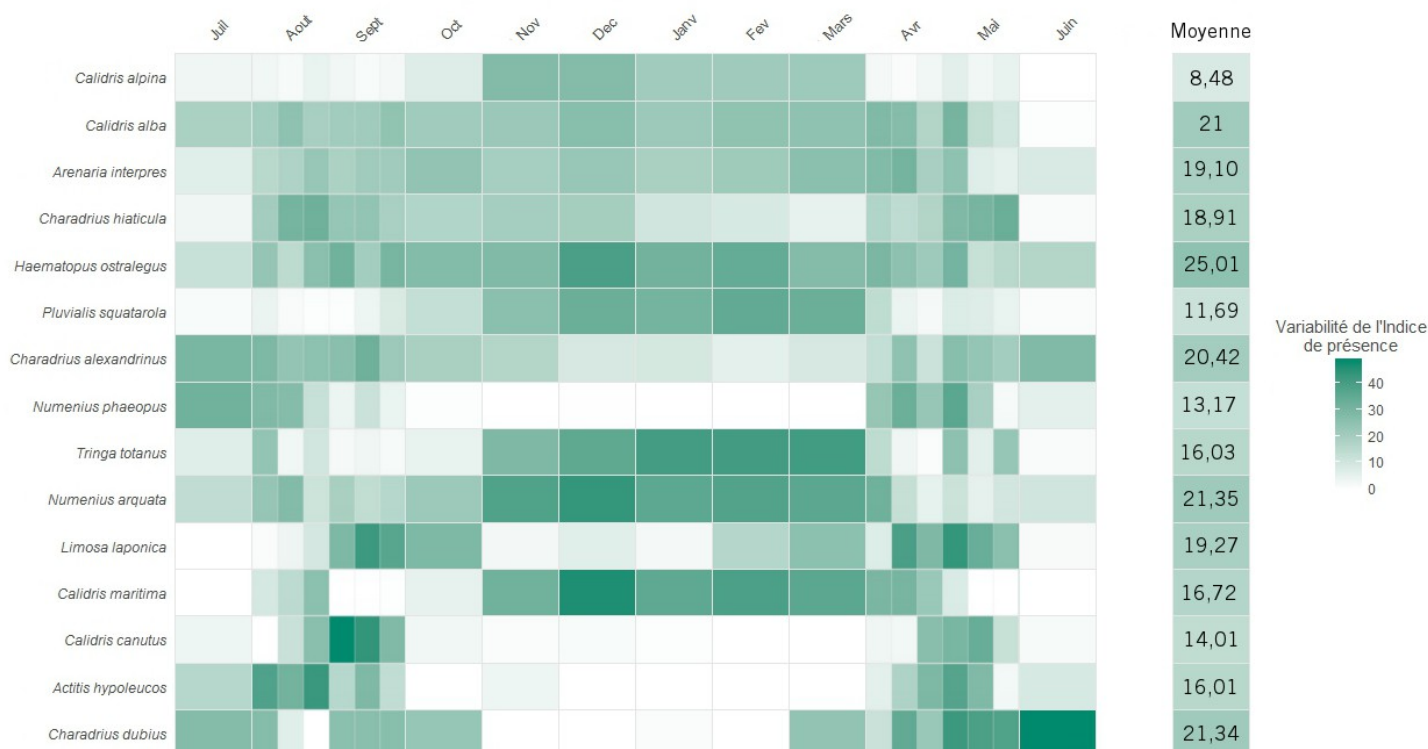


Figure 30 : Graphique représentant par mois (ou par décade pour Août, Septembre, Avril et Mai) l'écart-type de l'indice de présence sur l'unité fonctionnelle « Littoral Est-Cotentin » pour les 15 espèces principales, classées par nombre d'individus observés total. La colonne de droite indique la moyenne de cette écart-type par espèce.

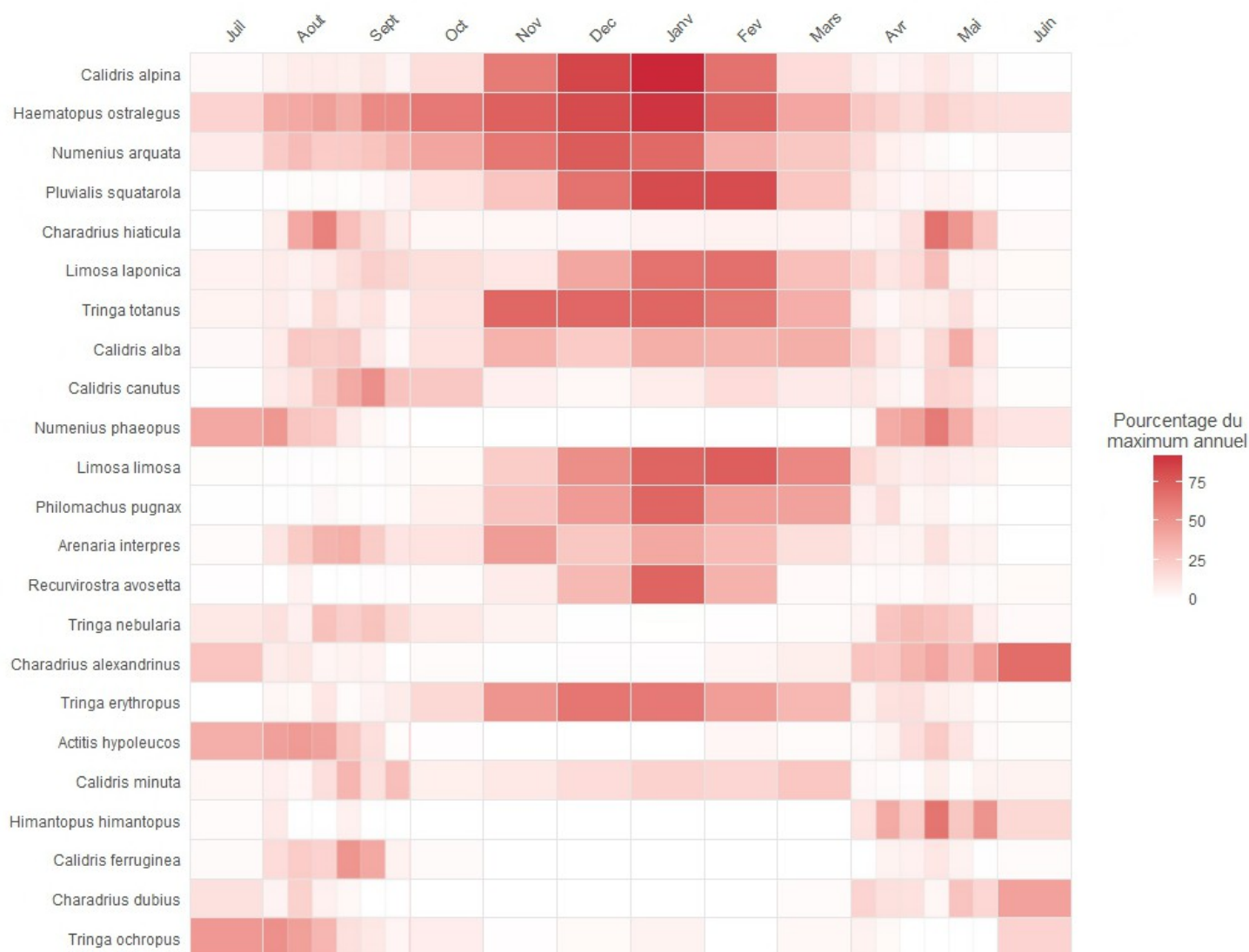


Figure 31 : Graphique représentant par mois (ou par décade pour Août, Septembre, Avril et Mai) l'indice de présence moyen sur l'unité fonctionnelle « Baie des Veys » pour les 23 espèces principales, classées par nombre d'individus observés total

Plusieurs éléments ressortent de l'étude du graphique ci-dessus. Tout d'abord on confirme que le pic de population est légèrement plus tardif en Baie des Veys que sur le Littoral Est-Cotentin pour le Bécasseau variable. Toutefois les variations inter-annuelles sont globalement très similaires pour cette espèce comme pour la plupart des autres. Ainsi on retrouve l'Huîtrier-pie sur l'ensemble du cycle avec une densité plus importante en hiver, la présence presque uniquement en migration post-nuptiale du Bécasseau maubèche ou encore la présence principalement hivernale du Chevalier gambette et du Pluvier argenté. En outre il est possible de distinguer quelques différences intéressantes entre les phénologies des deux unités fonctionnelles. Ainsi, si le Grand Gravelot est essentiellement présent en période de migration sur les deux entités, il est totalement absent de la Baie des Veys en hivernage alors qu'il reste encore des individus sur le Littoral Est-Cotentin. Au contraire, la Barge rousse elle n'est présente qu'en période de migration sur le Littoral Est-Cotentin

alors qu'elle est plutôt hivernante en Baie des Veys.

Parmi les espèces non traitées sur la Figure 29 mais présentes sur celle relative à la Baie des Veys, on peut citer le comportement hivernant « strict » du Combattant varié et de l'Avocette élégante, la présence en hiver et en migration du Chevalier arlequin, celle du Chevalier aboyeur, du Bécasseau minute, de l'Echasse blanche et du Bécasseau cocorli quasi exclusivement en période de migration (uniquement post-nuptiale pour ce dernier) ainsi que l'observation du Chevalier cul-blanc en période de migration (respectivement post-nuptiale et pré-nuptiale) et de reproduction.

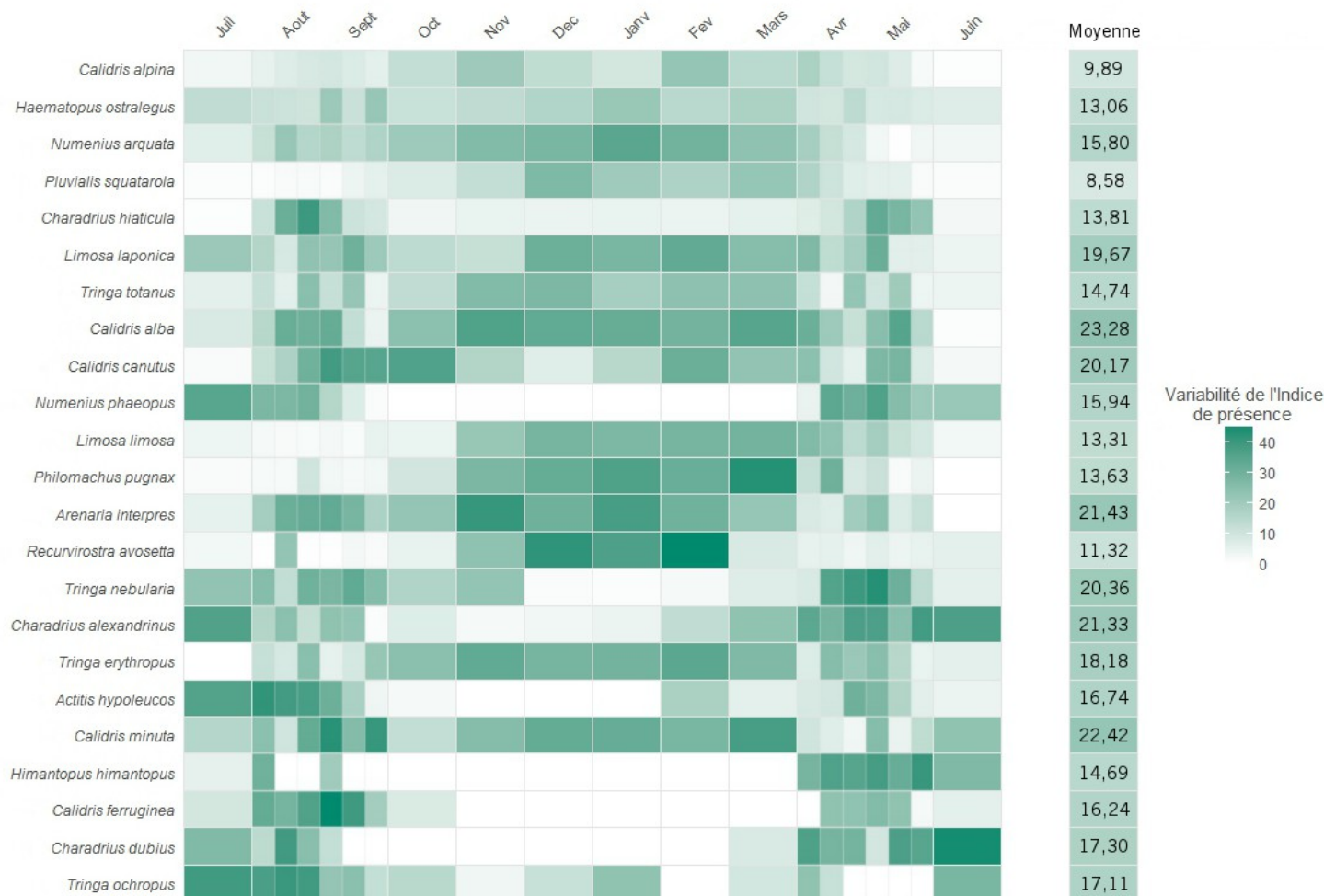


Figure 32 : Graphique représentant par mois (ou par décennie pour Août, Septembre, Avril et Mai) l'écart-type de l'indice de présence sur l'unité fonctionnelle « Baie des Veys » pour les 23 espèces principales, classées par nombre d'individus observés total. La colonne de droite indique la moyenne de cette écart-type par espèce.

Comme pour le Littoral Est-Cotentin, il convient également de représenter l'écart-type de l'indice de présence, comme dans la Figure 32 ci-dessus. Encore une fois, on constate la stabilité de la phénologie du Pluvier argenté et du Bécasseau variable et des pics de variabilité en période de migration ou en hivernage pour d'autres taxons.

L'ensemble de ces analyses permet de classer dans le Tableau XVIII ci-dessous les espèces les plus observées sur les deux unités fonctionnelles en cinq groupes de phénologie.

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

Groupe	Présence				Unité fonctionnelle	
	Post	Hiver	Pré	Repro	Littoral Est-Cotentin	Baie des Veys
Hivernants stricts		X			<b><i>Calidris alpina</i></b> <i>Pluvialis squatarola</i> <i>Tringa totanus</i> <i>Calidris maritima</i>	<b><i>Calidris alpina</i></b> <b><i>Pluvialis squatarola</i></b> <i>Philomachus pugnax</i> <i>Recurvirostra avosetta</i> <i>Tringa totanus</i> <i>Limosa limosa</i>
Hivernants	X	X	X		<b><i>Calidris alba</i></b> <b><i>Arenaria interpres</i></b>	<b><i>Numenius arquata</i></b> <i>Calidris alba</i> <i>Arenaria interpres</i> <i>Tringa erythropus</i> <i>Limosa laponica</i>
Migrateurs stricts	X		X		<b><i>Charadrius hiaticula</i></b> <i>Numenius phaeopus</i> <i>Limosa laponica</i> <i>Calidris canutus</i> <i>Actitis hypoleucos</i>	<b><i>Charadrius hiaticula</i></b> <i>Calidris canutus</i> <i>Numenius phaeopus</i> <i>Tringa nebularia</i> <i>Calidris ferruginea</i> <i>Himantopus himantopus</i> <i>Calidris minuta</i>
Estivants	X		X	X	<i>Charadrius alexandrinus</i> <i>Charadrius dubius</i>	<i>Charadrius alexandrinus</i> <i>Charadrius dubius</i> <i>Tringa ochropus</i> <i>Actitis hypoleucos</i>
Permanents	X	X	X	X	<i>Haematopus ostralegus</i> <i>Numenius arquata</i>	<b><i>Haematopus ostralegus</i></b>

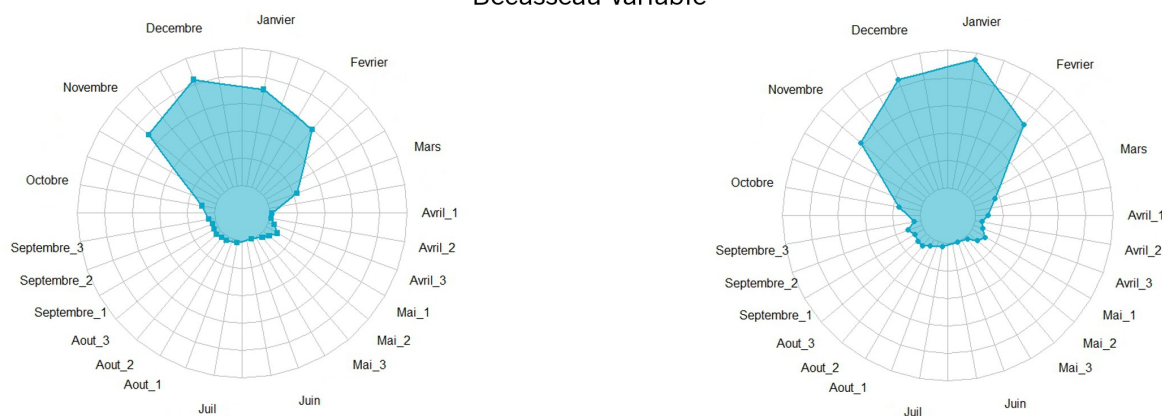
Bien entendu certains groupes sont relativement proches et il est parfois difficile de ranger dans telle ou telle case une espèce. C'est le cas notamment entre les hivernants stricts et les hivernants ou bien entre les hivernants et les migrateurs stricts. De plus au sein des migrateurs stricts on ne différencie pas les espèces plus présentes en migration pré-nuptiale de celles plus présentes en migration post-nuptiale ou bien autant présentes lors des deux périodes. Toutefois cette section a pour but de fournir une vision comparative des espèces selon leur phénologie, la phénologie spécifique plus fine 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 33 présentée ci-dessous et dans les prochaines pages permettent 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. Ainsi on retrouve comme dit précédemment le décalage de phénologie chez le Bécasseau variable entre les deux unités fonctionnelles, le caractère strictement migrateur du Grand Gravelot en Baie des Veys alors qu'on l'observe également en début d'hivernage sur le Littoral Est-Cotentin ou encore les phénologies très différentes pour la Barge rousse. On constate également la présence plus hivernale du Chevalier gambette en Baie des Veys que sur le Littoral Est-Cotentin ainsi qu'un décalage entre les deux unités fonctionnelles de la présence du Gravelot à collier interrompu.

Bécasseau variable



Huîtrier-pie

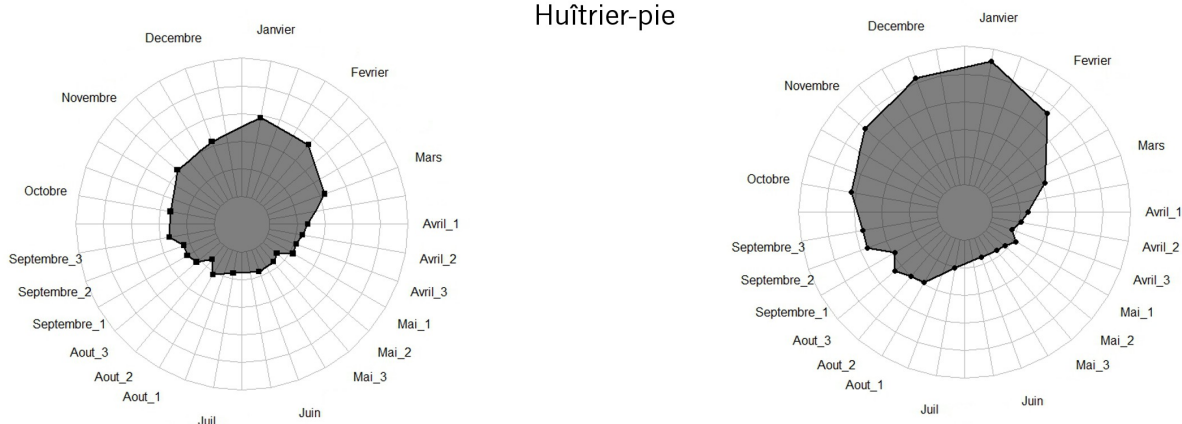
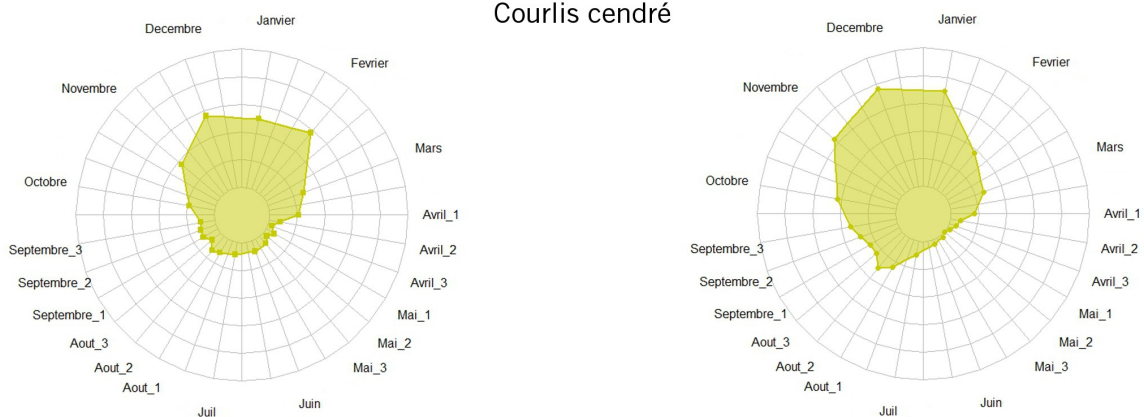
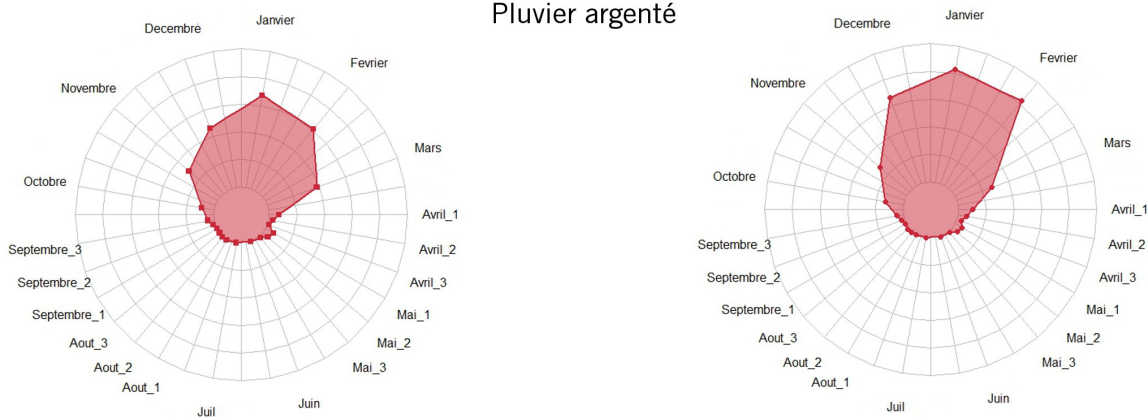


Figure 33a : **A gauche** : Indice de présence au cours d'un cycle sur l'unité fonctionnelle « Littoral Est-Cotentin » ; **à droite** : Indice de présence au cours d'un cycle sur l'unité fonctionnelle « Baie des Veys »

Courlis cendré



Pluvier argenté



Grand Gravelot

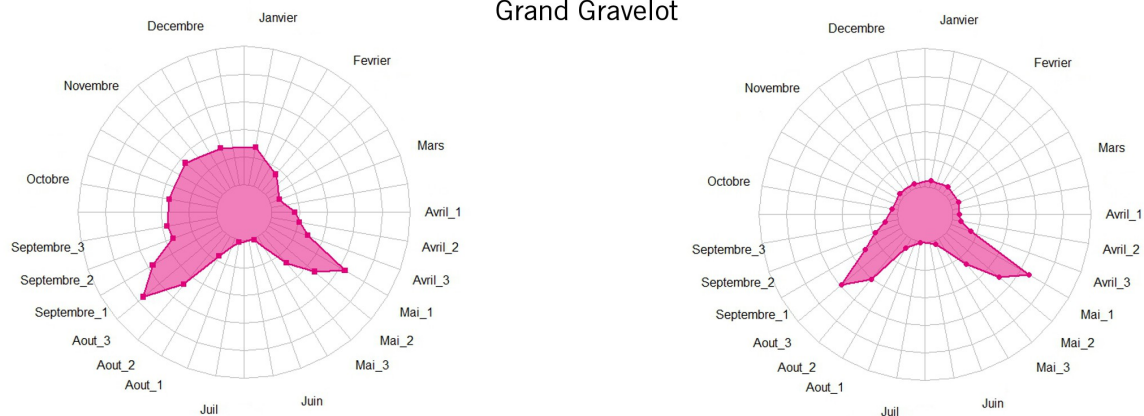
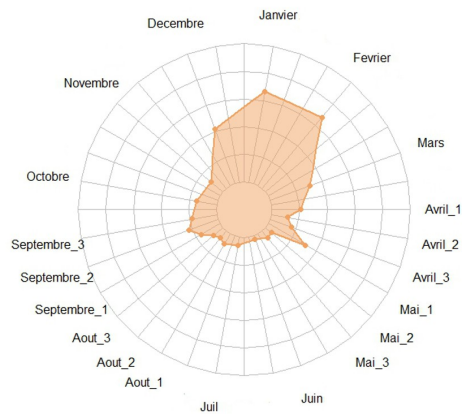
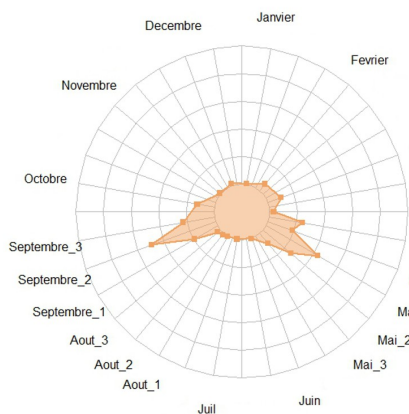
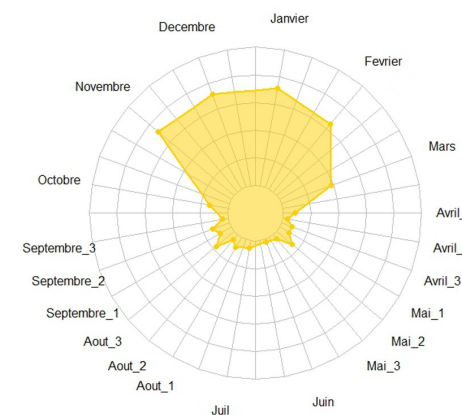
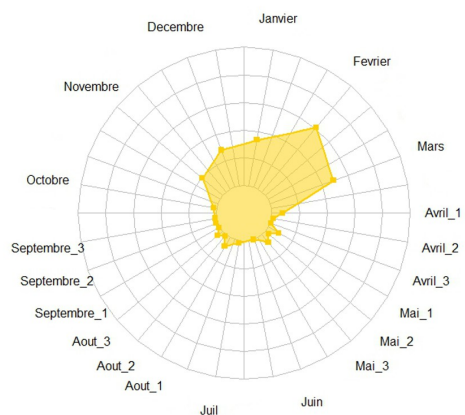


Figure 33b : **A gauche** : Indice de présence au cours d'un cycle sur l'unité fonctionnelle « Littoral Est-Cotentin » ; **à droite** : Indice de présence au cours d'un cycle sur l'unité fonctionnelle « Baie des Veys »

### Barge rousse



### Chevalier gambette



### Bécasseau sanderling

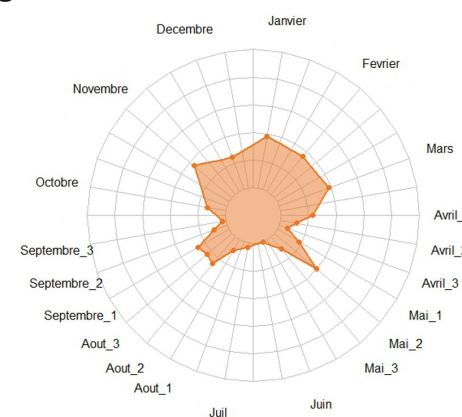
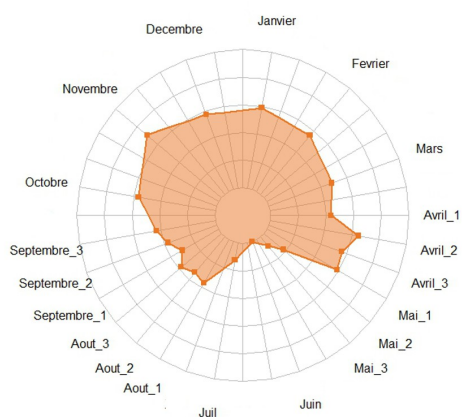
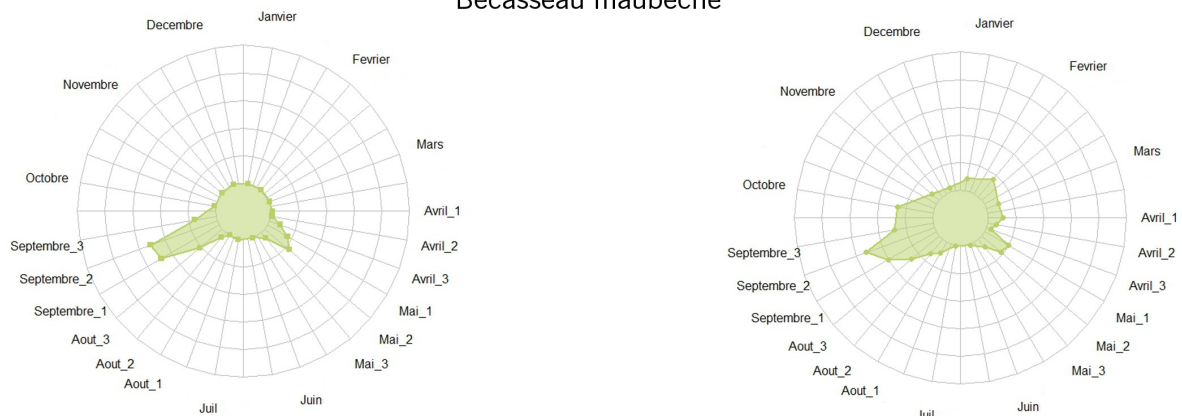


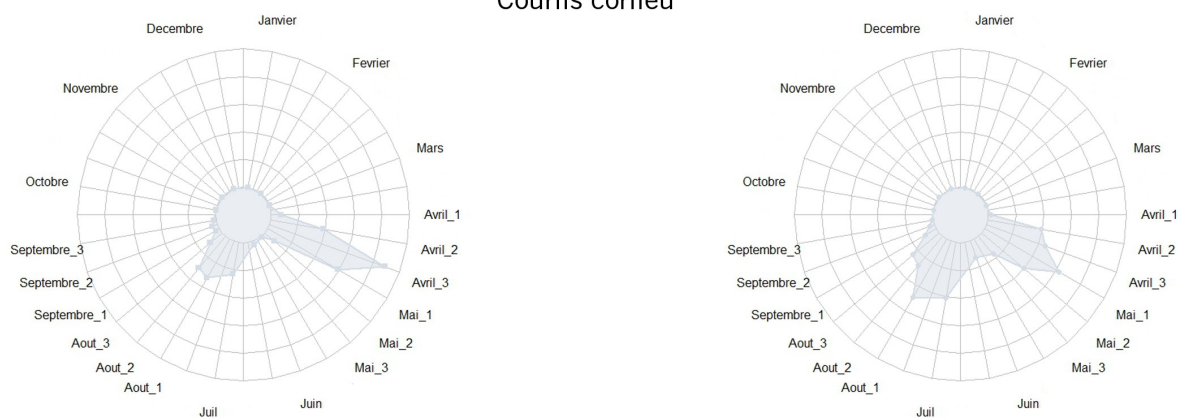
Figure 33c : **A gauche** : Indice de présence au cours d'un cycle sur l'unité fonctionnelle « Littoral Est-Cotentin » ; **à droite** : Indice de présence au cours d'un cycle sur l'unité fonctionnelle « Baie des Veys »



Bécasseau maubèche



Courlis corlieu



Tournepierre à collier

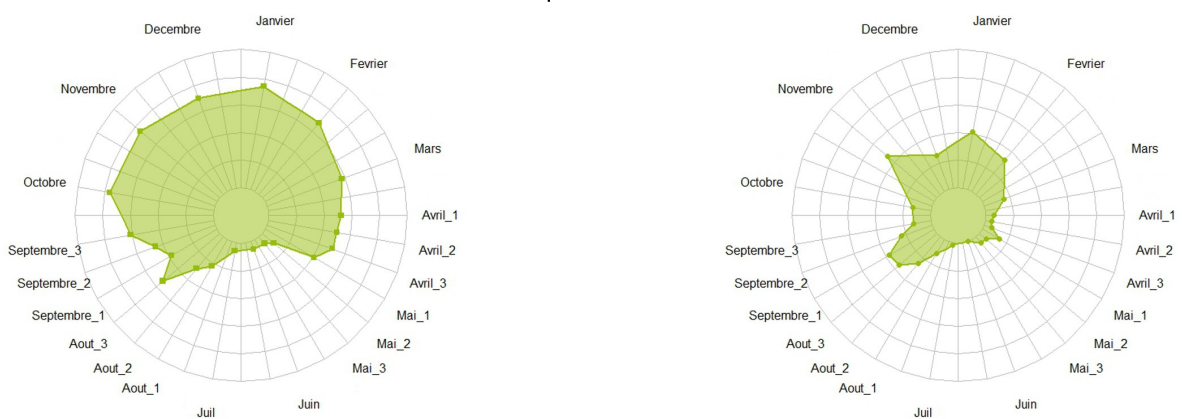


Figure 33d : **A gauche** : Indice de présence au cours d'un cycle sur l'unité fonctionnelle « Littoral Est-Cotentin » ; **à droite** : Indice de présence au cours d'un cycle sur l'unité fonctionnelle « Baie des Veys »

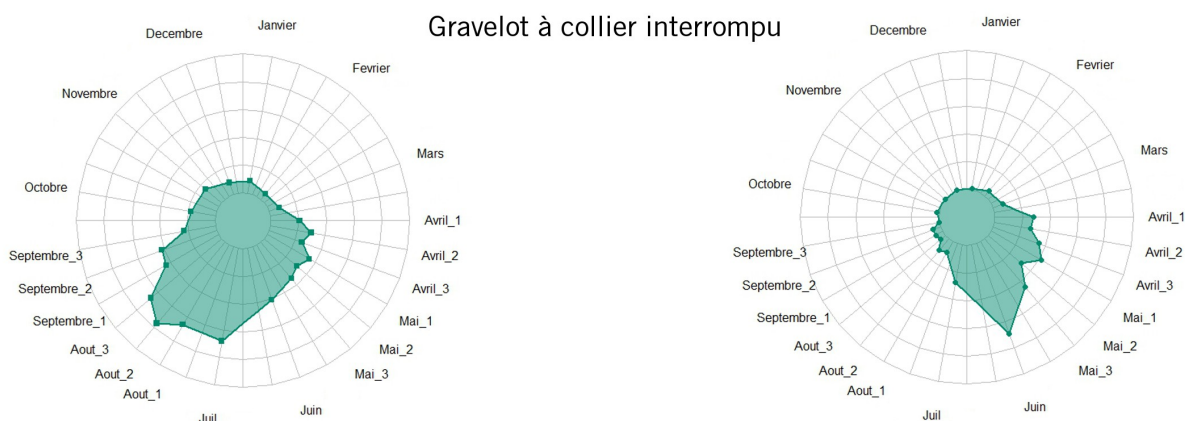


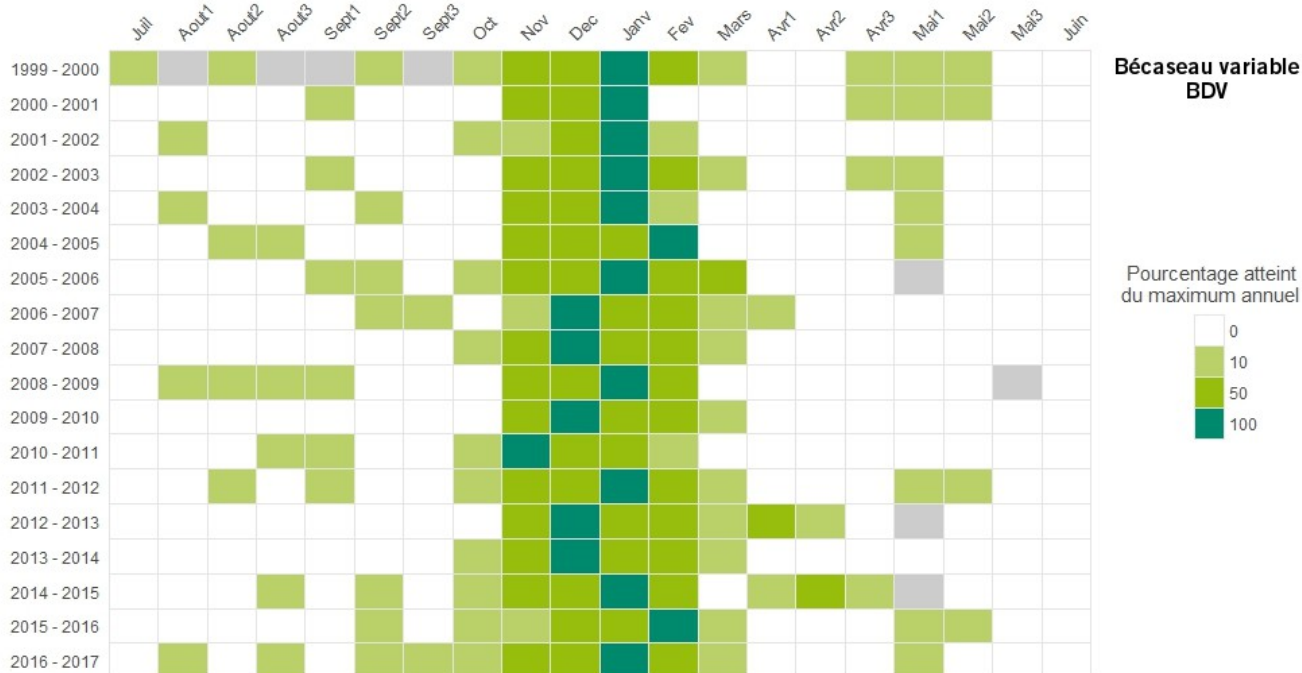
Figure 33e : **A gauche** : Indice de présence au cours d'un cycle sur l'unité fonctionnelle « Littoral Est-Cotentin » ; **à droite** : Indice de présence au cours d'un cycle sur l'unité fonctionnelle « Baie des Veys »

### 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. En ce qui concerne le Bécasseau variable, le Pluvier argenté et le Chevalier gambette, aucune tendance temporelle et aucune différence entre unités fonctionnelles n'est flagrante. En revanche, on remarque chez l'Huîtrier-pie que la position du maximum annuel est très variable sur le Littoral Est-Cotentin ce qui n'est pas le cas en Baie des Veys. On ne constate pas pour le Courlis cendré de tendance temporelle sur les maxima mais il semblerait que le seuil des 50 % du maximum soit de plus en plus tôt en Baie des Veys. On retrouve chez le Grand Gravelot ce que l'on avait déjà pu observer dans les sections précédentes, à savoir le caractère strictement migrateur de l'espèce en Baie des Veys alors qu'il hiverne sur le Littoral Est-Cotentin. Le calendrier de présence du Bécasseau sanderling et du Tournepière à collier est très variable d'un cycle à l'autre mais ne présente pas de tendance particulière. On observe chez le Courlis corlieu une plus forte présence sur le Littoral Est-Cotentin en période de migration pré-nuptiale qu'en migration post-nuptiale, ce que l'on ne retrouve pas en Baie des Veys. L'occupation des deux unités fonctionnelles par les limicoles est la plus forte en hiver bien que l'on retrouve comme précédemment un maximum d'individus plus précoce sur le Littoral Est-Cotentin (Novembre – Décembre) qu'en Baie des Veys (Janvier). Toutefois aucune tendance n'est observable pour l'ensemble des limicoles. Chez la Barge rousse, le Gravelot à collier interrompu et le Combattant varié, aucune tendance n'est observable. C'est également le cas pour le Bécasseau maubèche en Baie des Veys mais on relève chez cette espèce une forte variabilité du positionnement du maximum annuel d'un cycle à l'autre. Enfin il semblerait que la présence de la Barge à queue noire en Baie des Veys se soit avancée au fur et à mesure des cycles de suivi avec un maximum en Janvier lors des dernières années plutôt qu'en février ou mars comme dans les années 2000.



**Figure 34a :** Graphique représentant le seuil de population de Bécasseau variable atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle sur le Littoral Est-Cotentin. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.



**Figure 34b :** Graphique représentant le seuil de population de Bécasseau variable atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle en Baie des Veys. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.

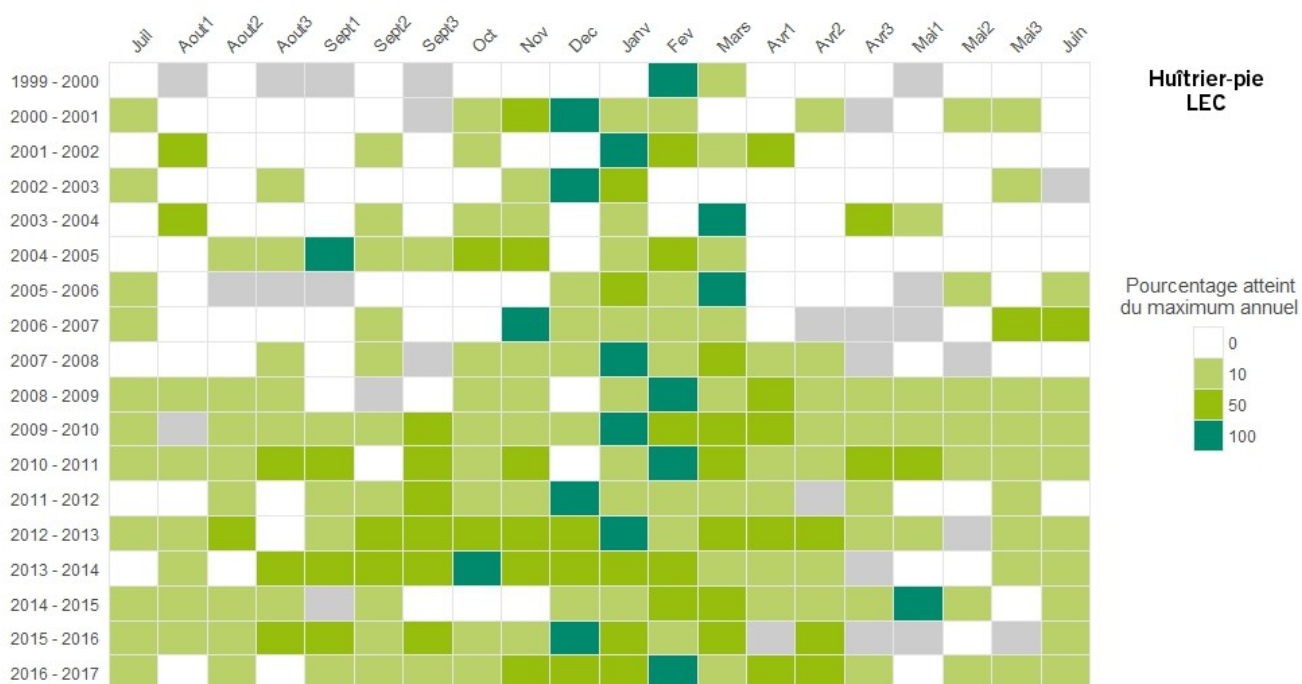


Figure 34c : Graphique représentant le seuil de population d'Huîtres-pie atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle sur le Littoral Est-Cotentin. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.

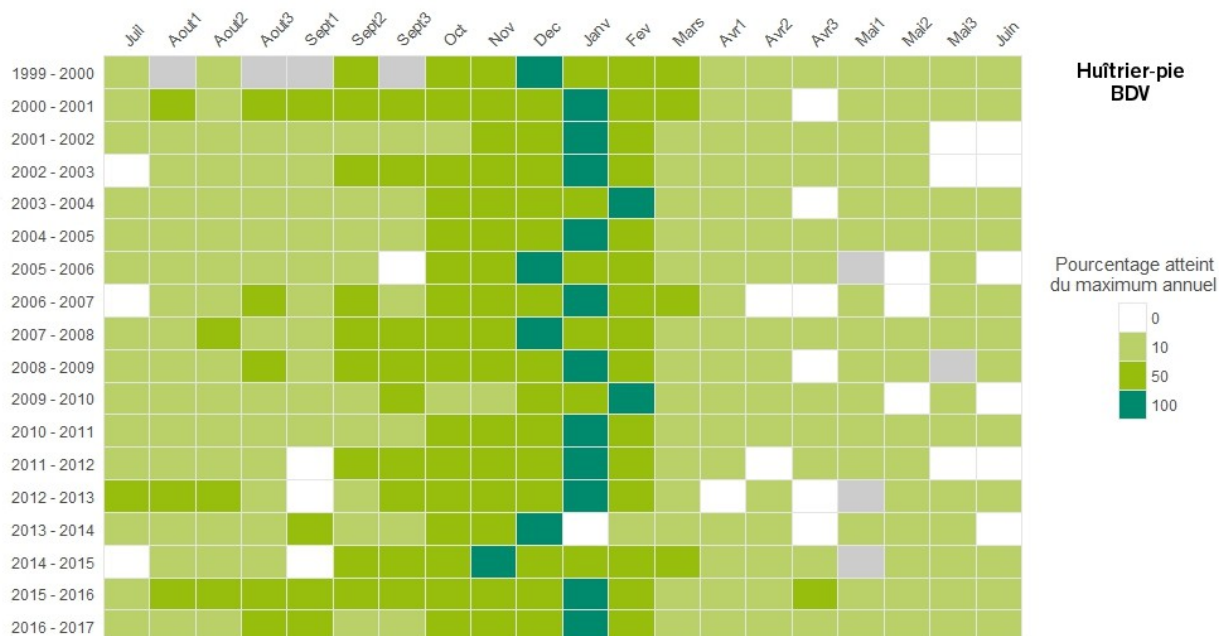


Figure 34d : Graphique représentant le seuil de population d'Huîtres-pie atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle en Baie des Veys. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.



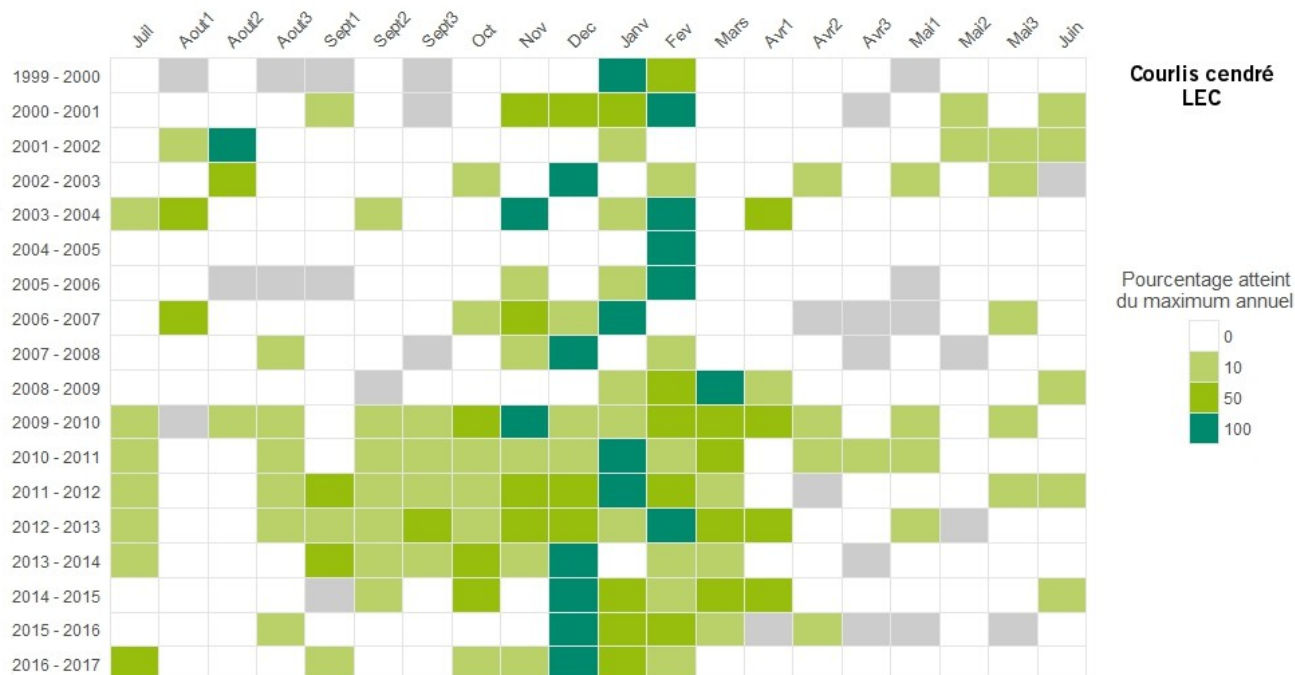


Figure 34e : Graphique représentant le seuil de population de Courlis cendré atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle sur le Littoral Est-Cotentin. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.

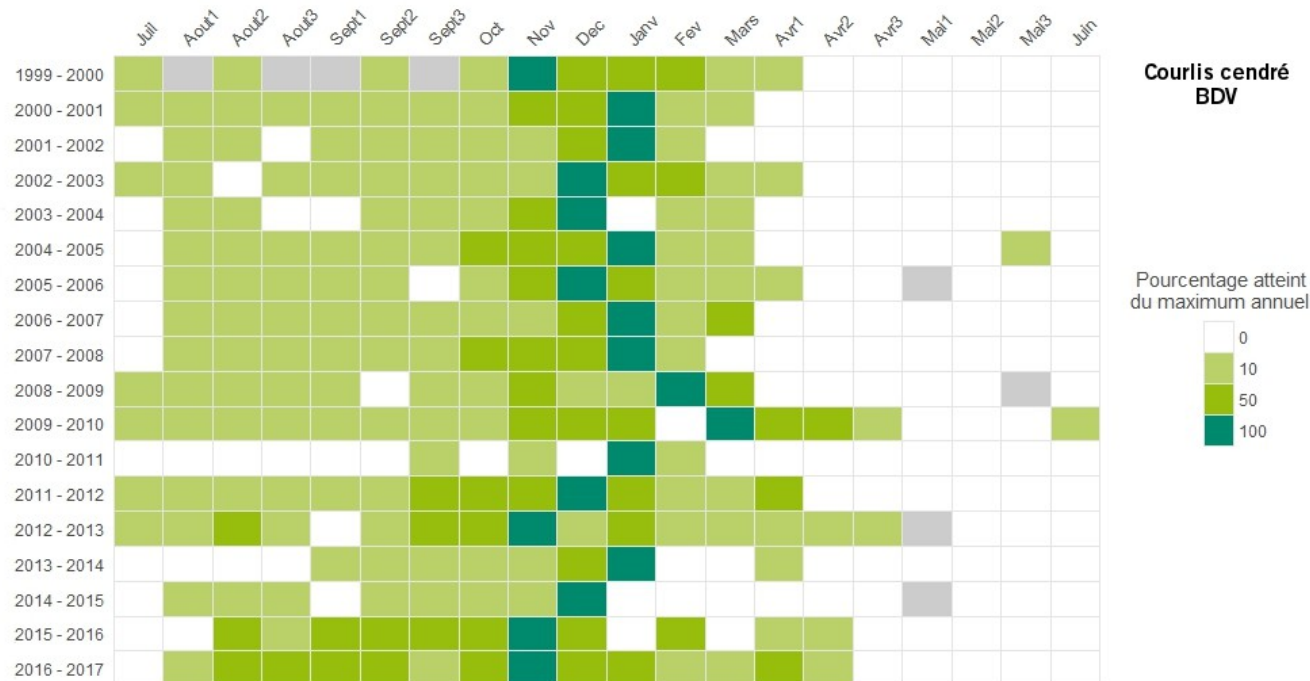


Figure 34f : Graphique représentant le seuil de population de Courlis cendré atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle en Baie des Veys. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.

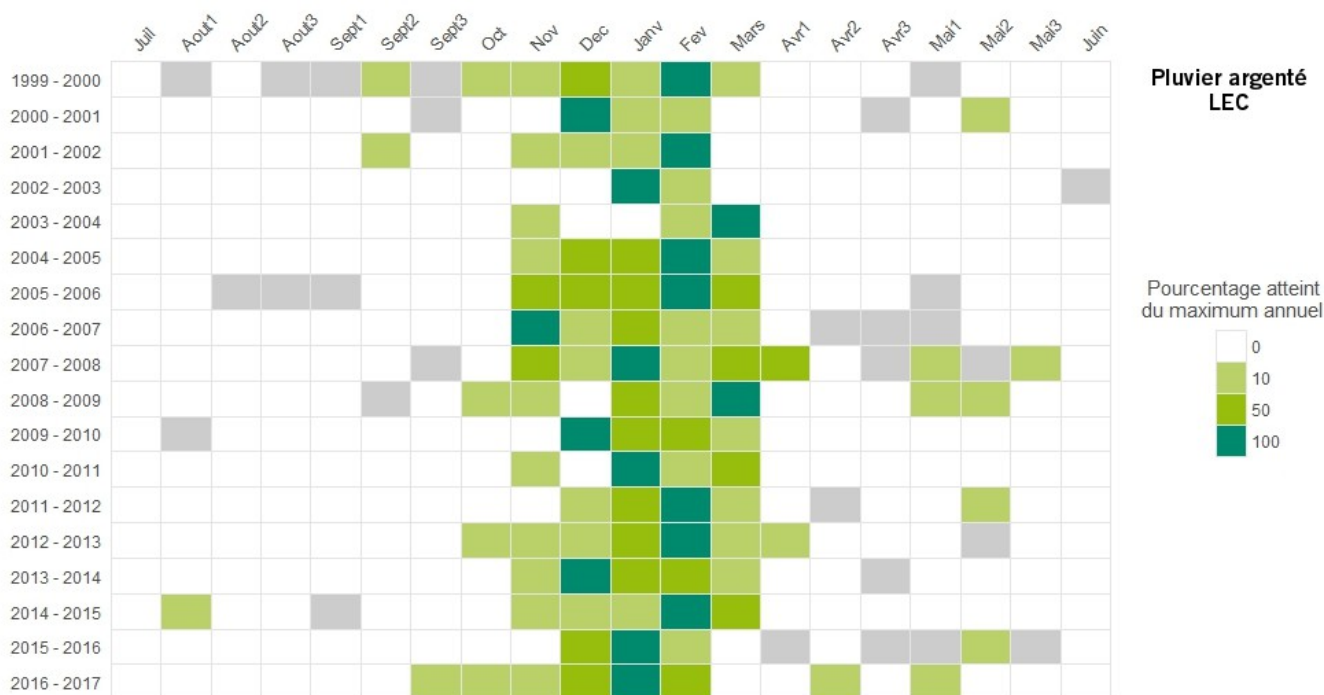


Figure 34g : Graphique représentant le seuil de population de Pluvier argenté atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle sur le Littoral Est-Cotentin. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.

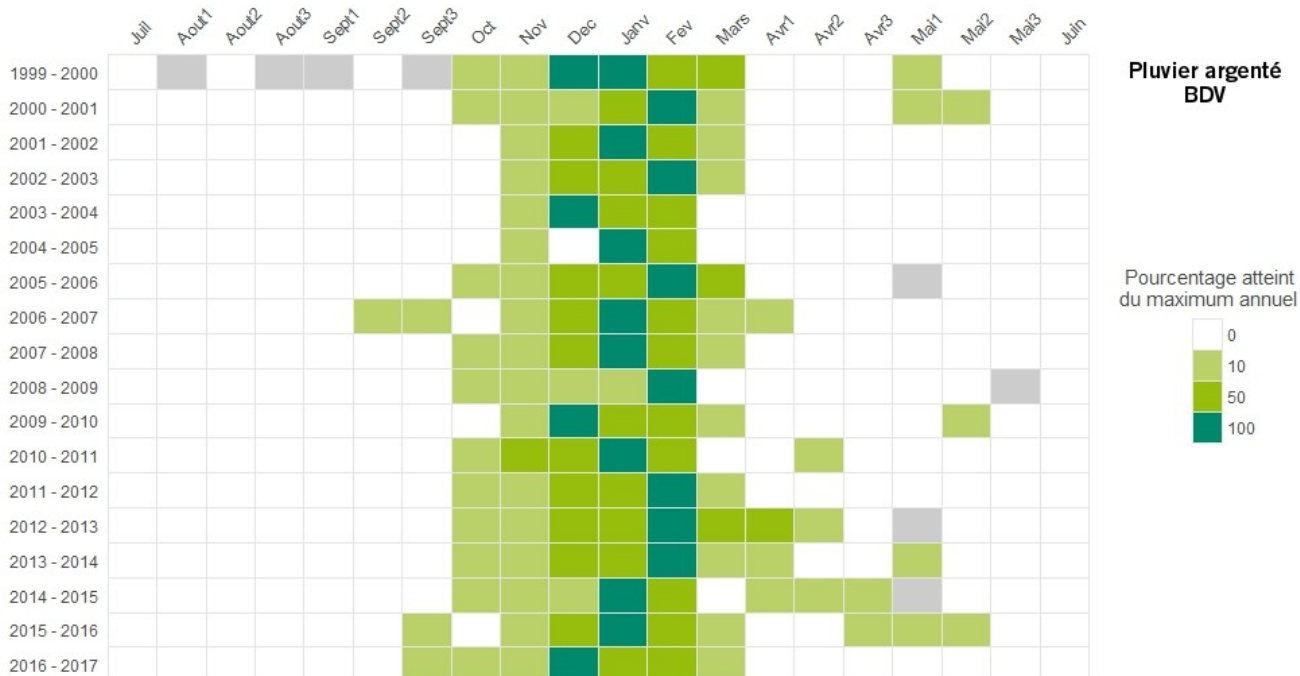


Figure 34h : Graphique représentant le seuil de population de Pluvier argenté atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle en Baie des Veys. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.



Figure 34i : Graphique représentant le seuil de population de Grand Gravelot atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle sur le Littoral Est-Cotentin. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.

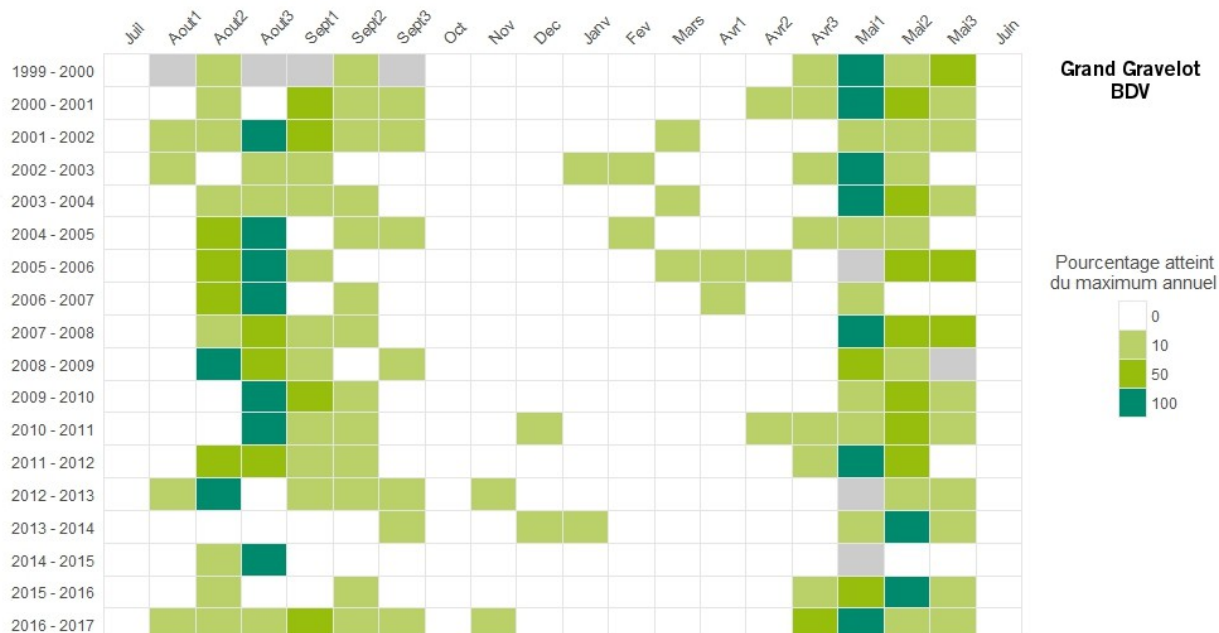


Figure 34j : Graphique représentant le seuil de population de Grand Gravelot atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle en Baie des Veys. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.



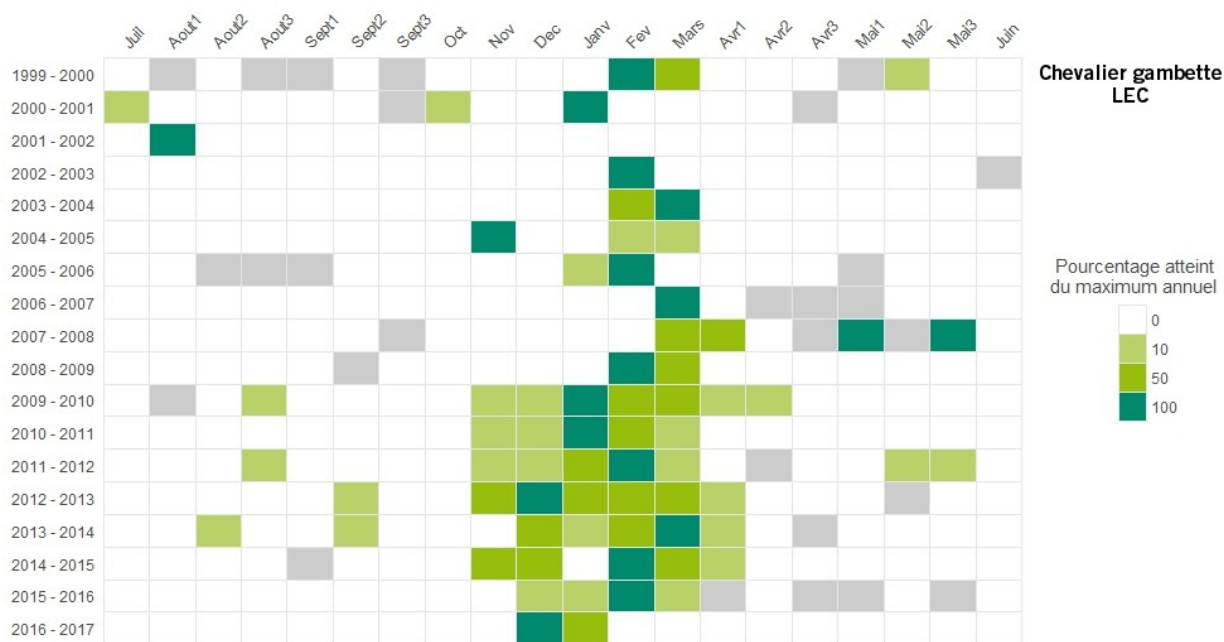


Figure 34k : Graphique représentant le seuil de population de Chevalier gambette atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle sur le Littoral Est-Cotentin. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.

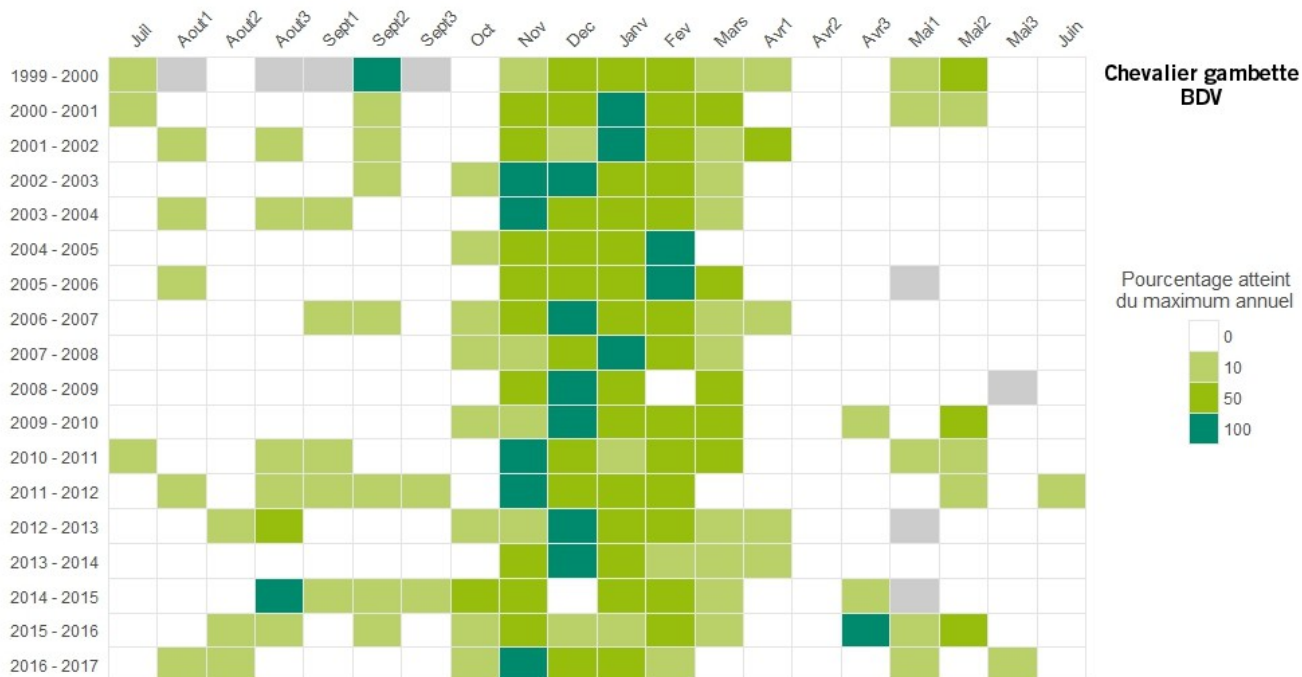


Figure 34l : Graphique représentant le seuil de population de Chevalier gambette atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle en Baie des Veys. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.

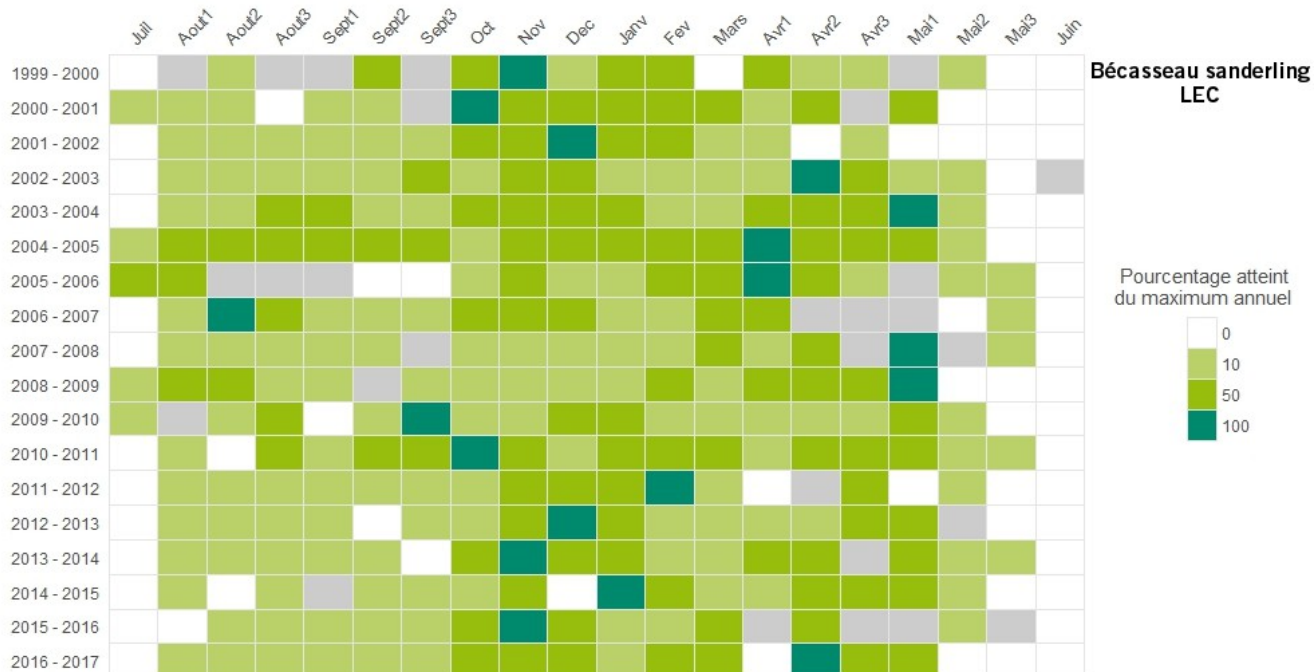


Figure 34m : Graphique représentant le seuil de population de Bécasseau sanderling atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle sur le Littoral Est-Cotentin. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.

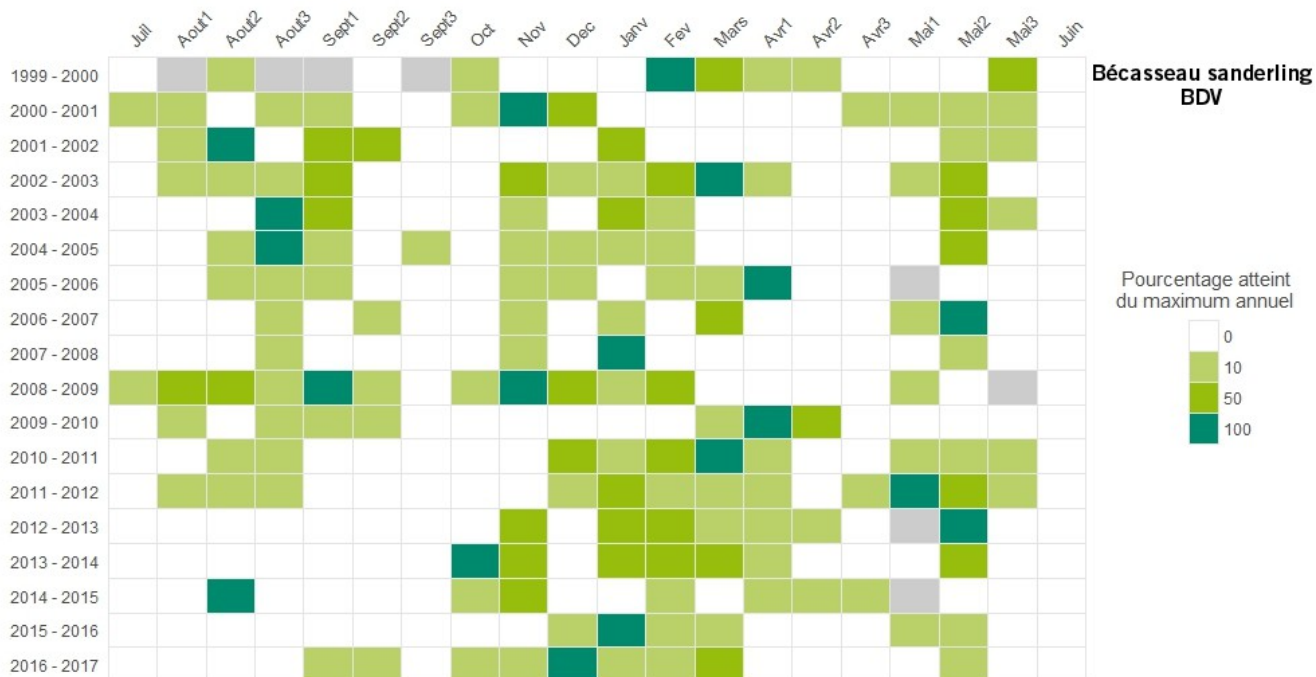


Figure 34n : Graphique représentant le seuil de population de Bécasseau sanderling atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle en Baie des Veys. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.



Figure 34o : Graphique représentant le seuil de population de Courlis corlieu atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle sur le Littoral Est-Cotentin. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.

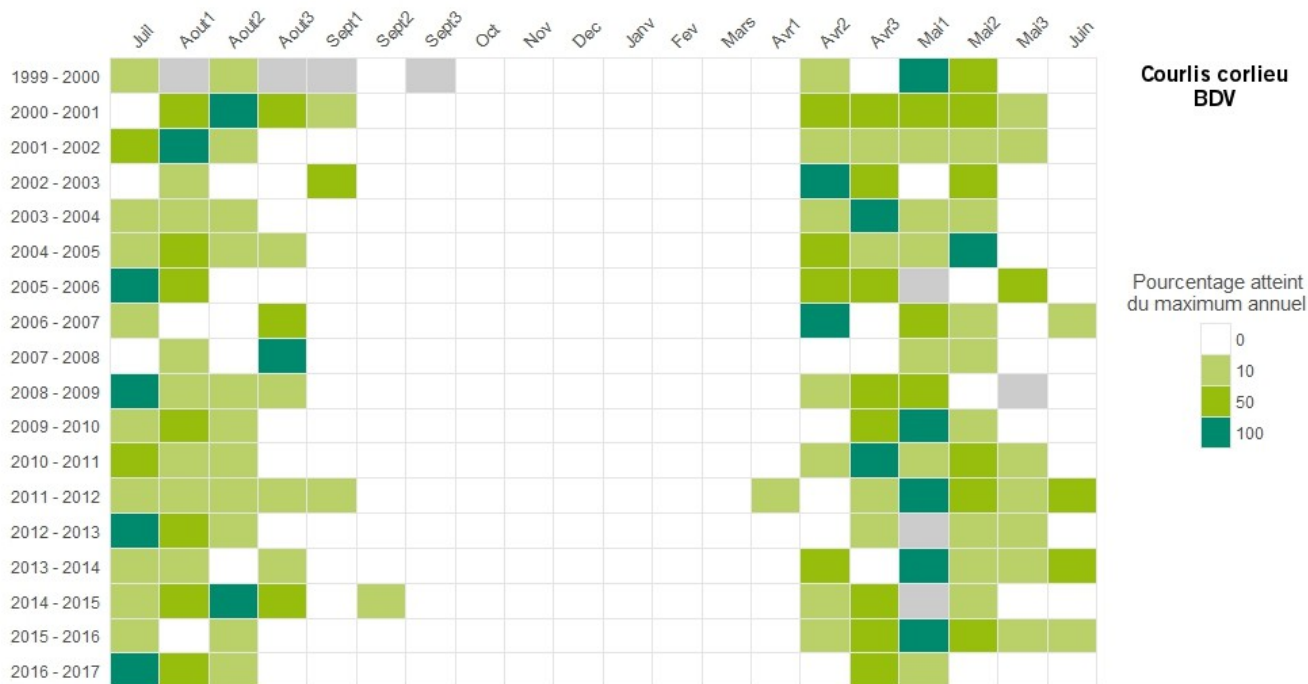


Figure 34p : Graphique représentant le seuil de population de Courlis corlieu atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle en Baie des Veys. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.

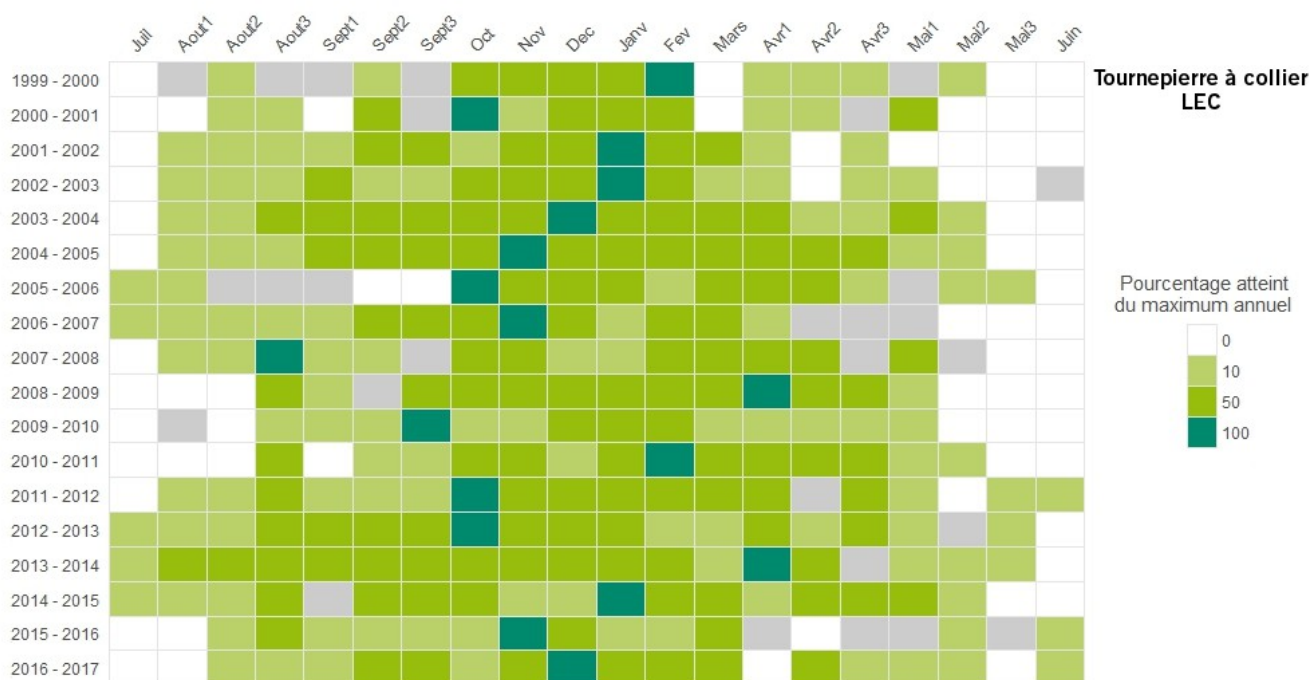


Figure 34q : Graphique représentant le seuil de population de Tourneepierre à collier atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle sur le Littoral Est-Cotentin. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.

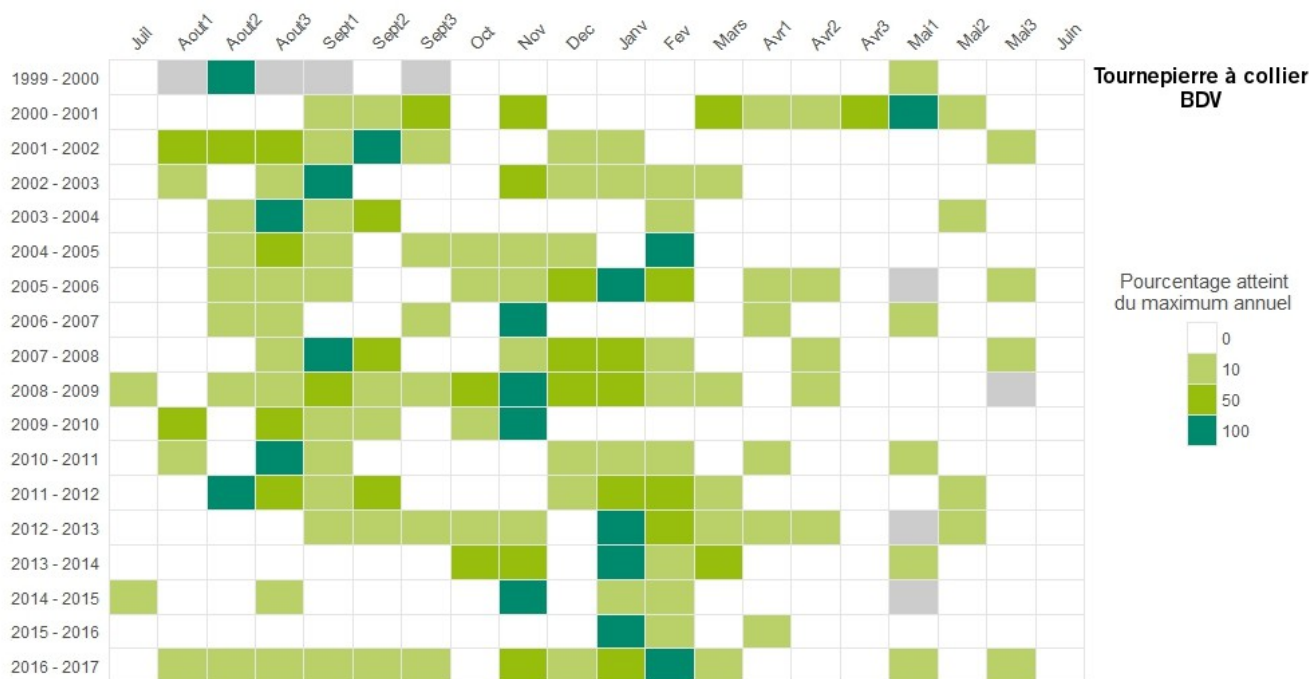


Figure 34r : Graphique représentant le seuil de population de Tourneepierre à collier atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle en Baie des Veys. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.



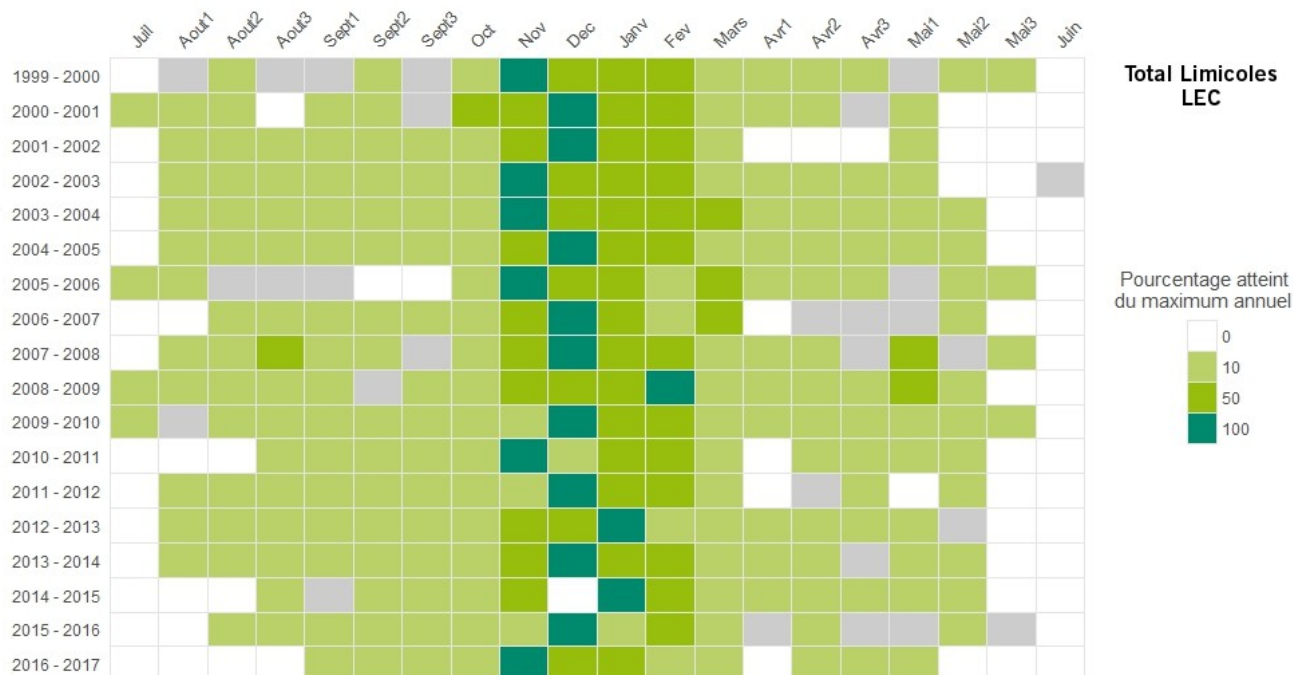


Figure 34s : Graphique représentant le seuil de population totale de limicoles atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle sur le Littoral Est-Cotentin. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.

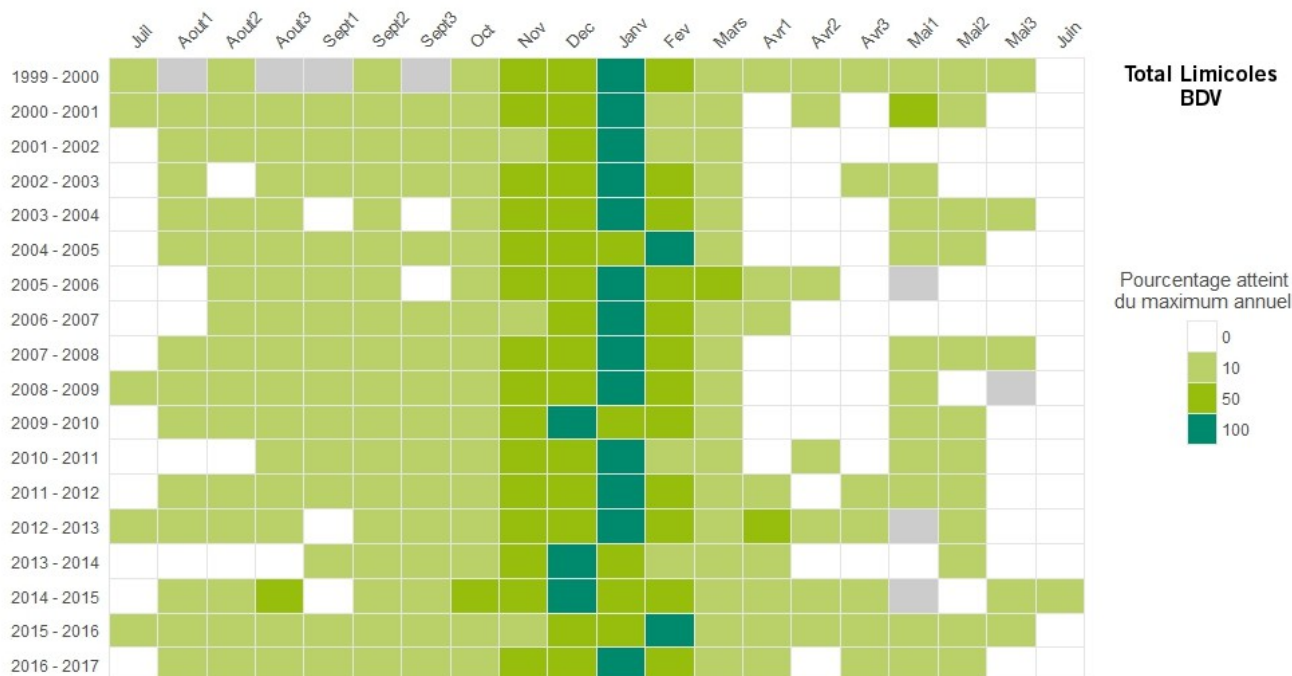


Figure 34t : Graphique représentant le seuil de population totale de limicoles atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle en Baie des Veys. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.

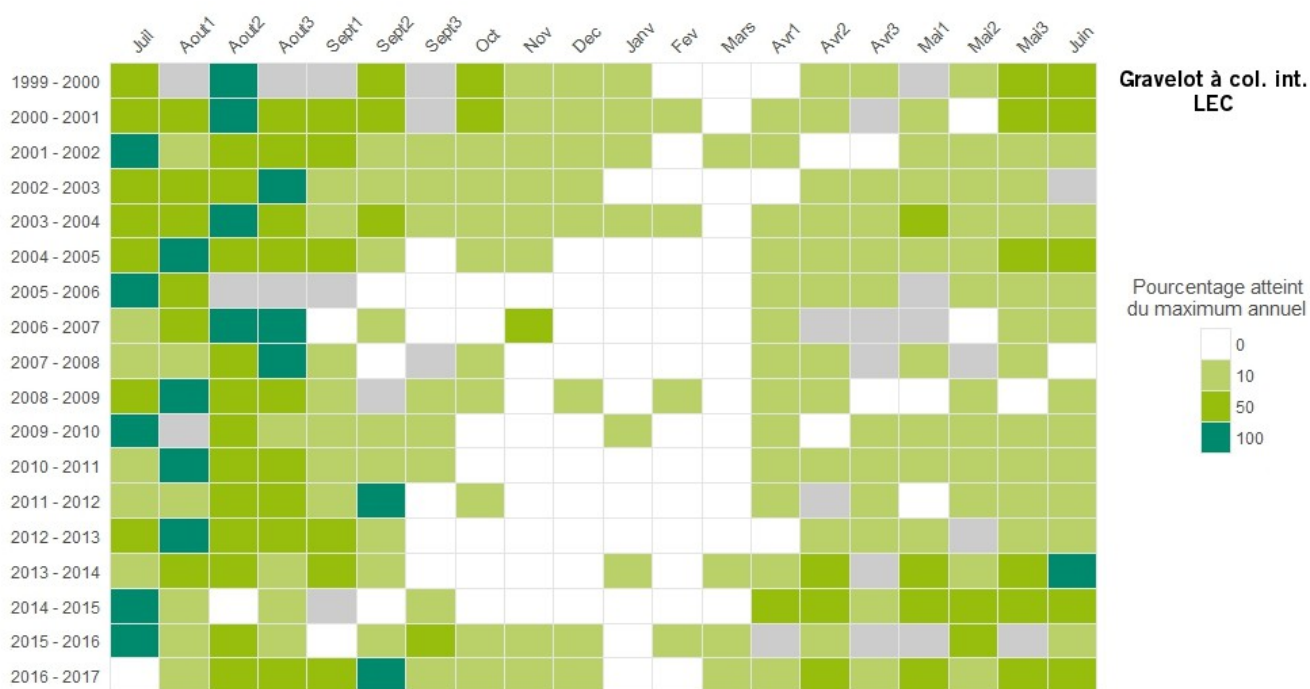


Figure 34u : Graphique représentant le seuil de population de Gravelot à collier interrompu atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle sur le Littoral Est-Cotentin. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.

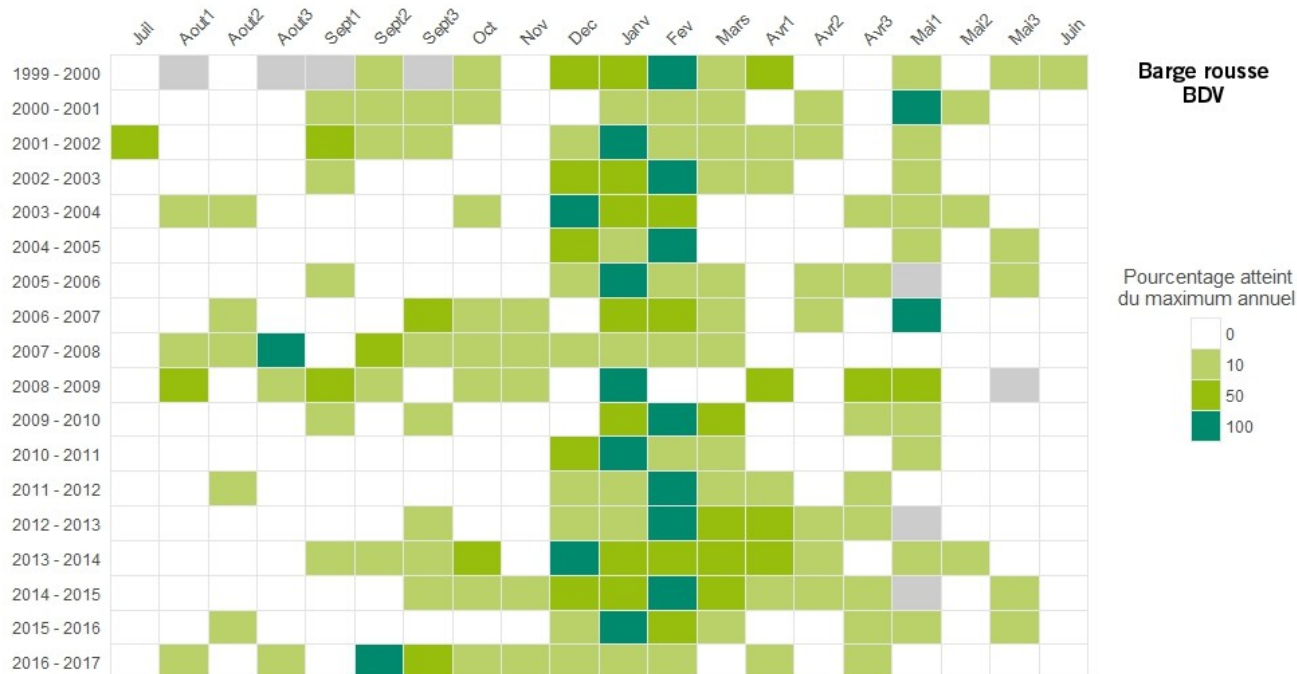


Figure 34v : Graphique représentant le seuil de population de Barge rousse atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle en Baie des Veys. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.

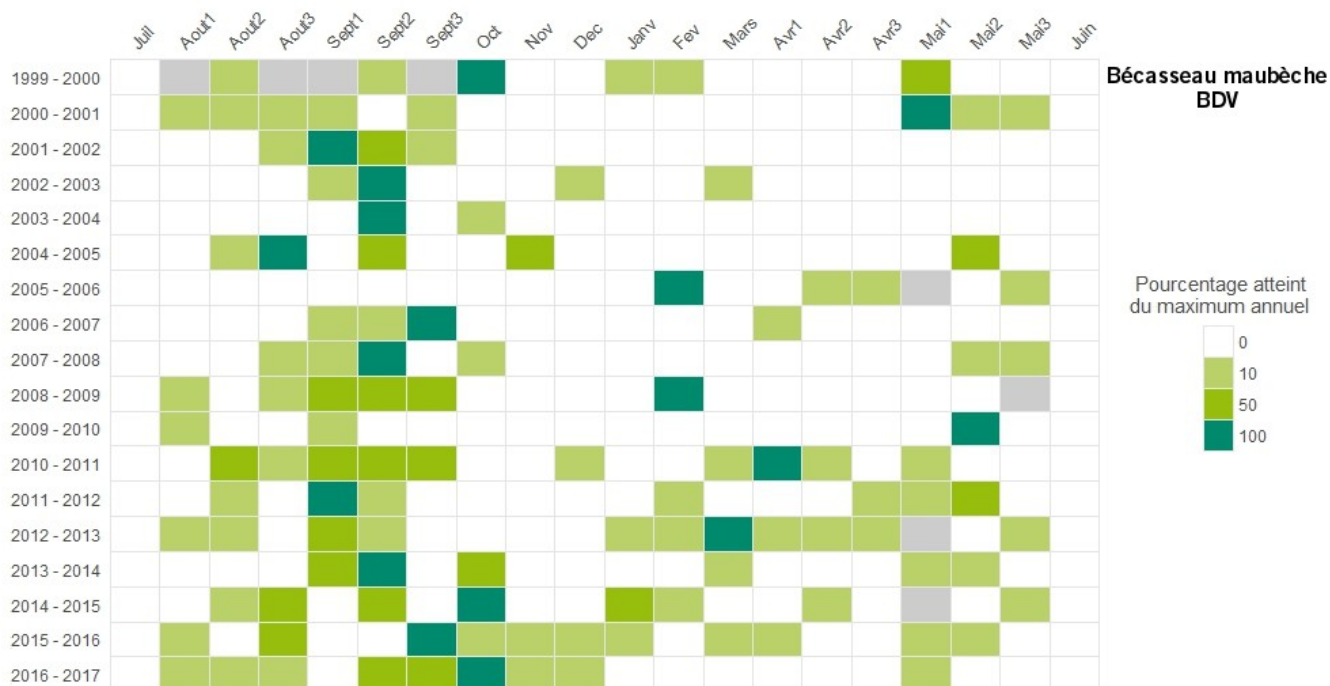


Figure 34w : Graphique représentant le seuil de population de Bécasseau maubèche atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle en Baie des Veys. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.

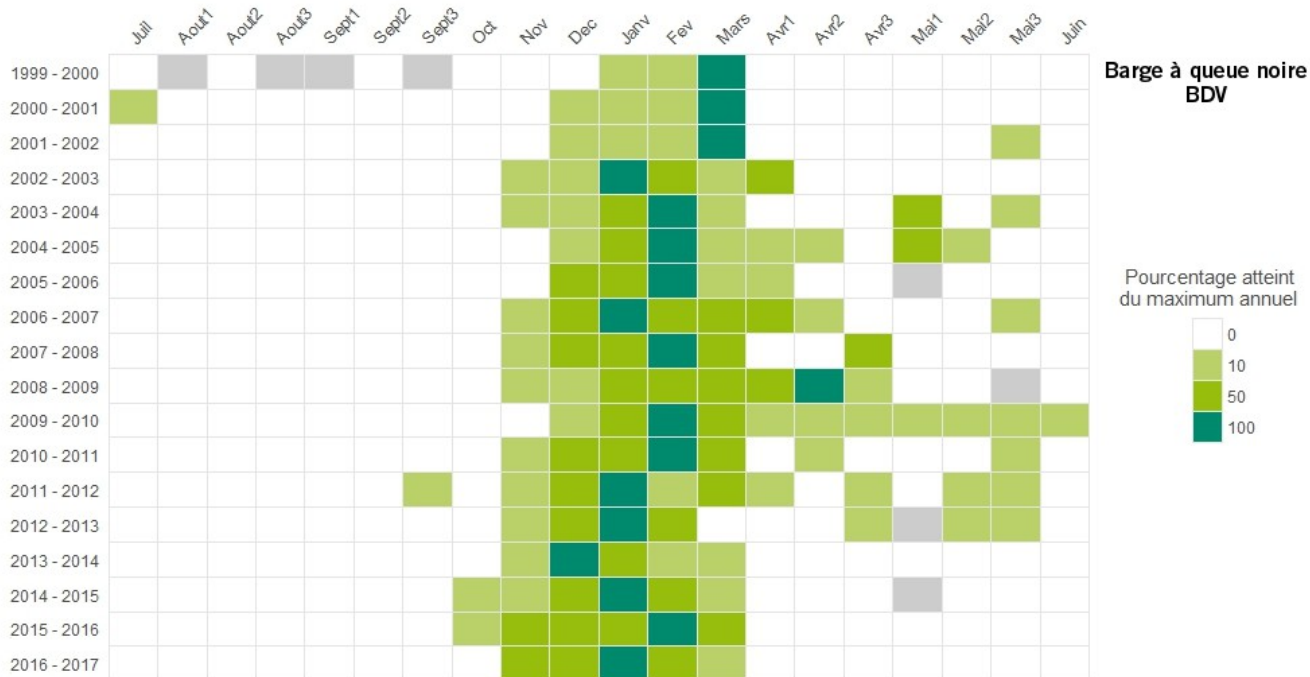


Figure 34x : Graphique représentant le seuil de population de Barge à queue noire atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle en Baie des Veys. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.



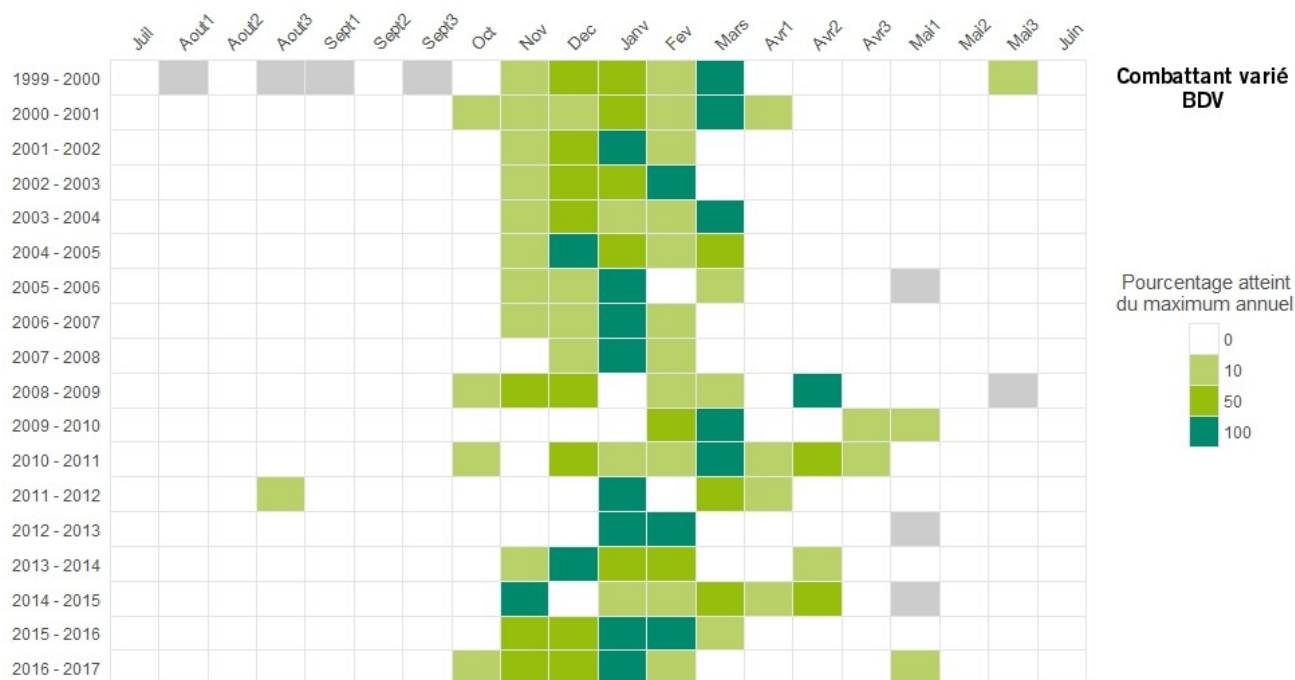


Figure 34y : Graphique représentant le seuil de population de Combattant varié atteint par décade en comparaison avec le maximum de chaque cycle en Baie des Veys. Les cases grisées correspondent aux suivis non effectués.

## 2.6. Analyse des communautés

Les cartes présentées Figures 35 à 38 dans les pages suivantes permettent d'appréhender les différences de peuplements entre secteurs ainsi qu'entre périodes de l'année. Sur la carte des peuplements totaux, on constate une nouvelle fois la part importante du Tournepierre à collier sur l'ensemble des secteurs du Littoral Est-Cotentin alors que l'espèce est quasiment absente en Baie des Veys. Les peuplements de cette unité fonctionnelle ne sont toutefois pas homogènes : les secteurs 5 et 6 se démarquent par la très faible proportion de Bécasseau variable au profit du Bécasseau sanderling. En Baie des Veys, on remarque l'omniprésence d'espèces plus continentales comme le Courlis cendré ou le Chevalier gambette sur certains secteurs caractérisés par des milieux moins littoraux.

Le peuplement hivernal est assez proche du total bien que la part du Grand Gravelot soit extrêmement réduite, du fait de sa présence essentiellement en période de migration. En termes de nombre d'individus, les secteurs 3 et 4 sont les plus importants pour le Littoral Est-Cotentin alors que les secteurs composant le complexe RNNDB – Polder (secteurs 7A, 7B, 7C et 7D) sont ceux qui accueillent les plus grands effectifs en Baie des Veys. En période de migration post-nuptiale, on relève la part plus importante du Grand Gravelot sur les secteurs du Littoral Est-Cotentin ainsi que sur certains secteurs de la Baie des Veys. L'Huîtrier-pie constitue également plus de la moitié du peuplement du secteur 7B, secteur principal de l'unité fonctionnelle « Baie des Veys ». On remarque également les effectifs plus conséquents sur le Polder de Sainte-Marie (secteur 7D) que sur la partie terrestre de la Réserve Naturelle Nationale du Domaine de Beauguillot (secteur 7A) en cette période. L'écart en nombre total d'individus entre secteurs est plus faible en période de migration pré-nuptiale et les peuplements, relativement similaires à la période post-nuptiale, semblent tout de même plus diversifiés. On constate également de fortes variations de part du Bécasseau variable sur certains secteurs entre ces deux périodes.

Enfin il est intéressant de constater que l'écart d'effectifs entre les remises les plus occupées et les moins occupées diminue au cours du cycle, cet écart étant minimal en période de migration pré-nuptiale et maximal en période de migration post-nuptiale.

# Limicoles côtiers - Peuplement total

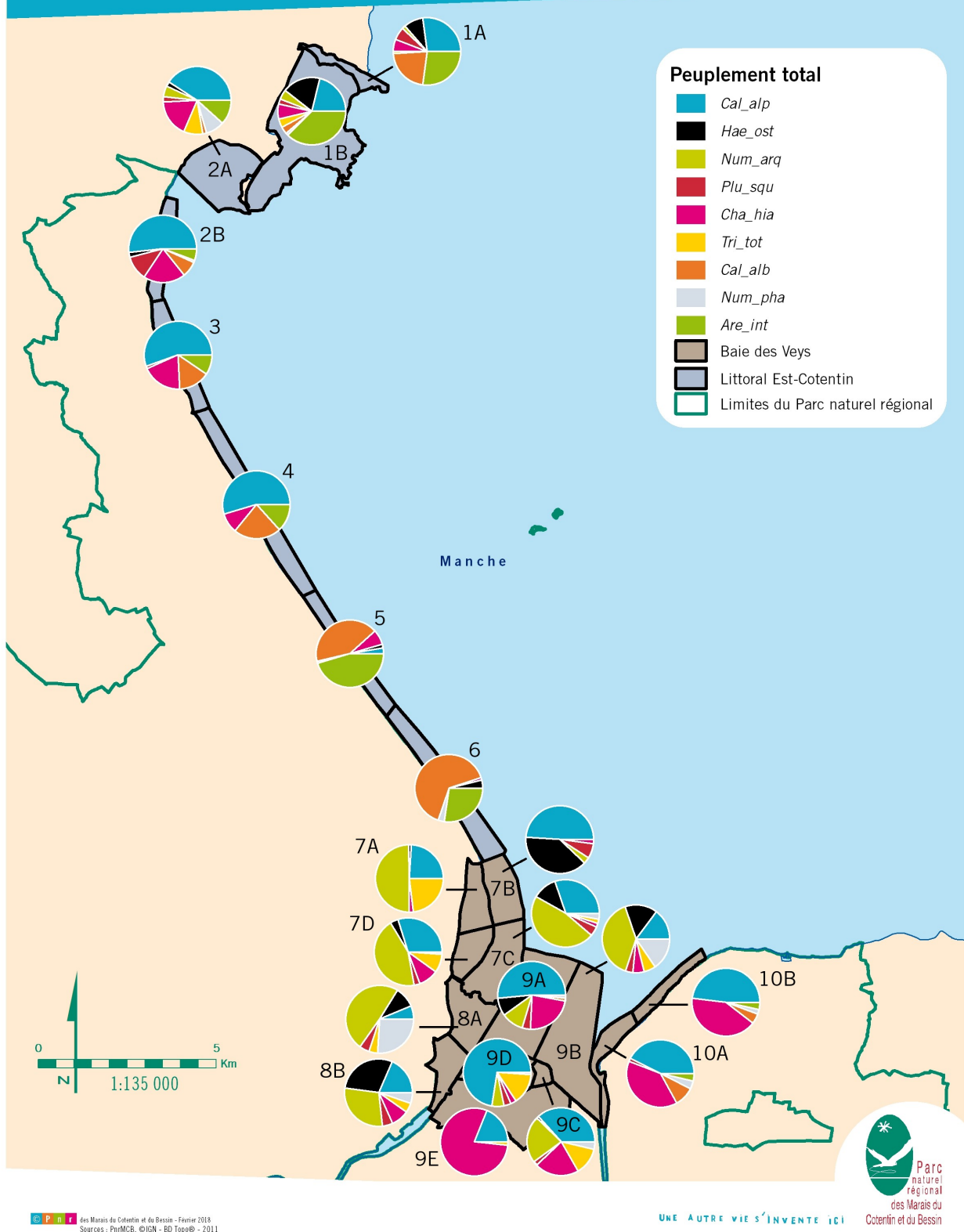


Figure 35 : Carte présentant la répartition des espèces principales au sein du peuplement total de chaque secteur. « Cal\_alp » signifie *Calidris alpina*, « Hae\_ost » *Haematopus ostralegus*, « Num\_arq » *Numenius arquata*, « Plu\_squ » *Pluvialis squatarola*, « Cha\_hia » *Charadrius hiaticula*, « Tri\_tot » *Tringa totanus*, « Cal\_alb » *Calidris alba*, « Num pha » *Numenius phaeopus* et « Are\_int » *Arenaria interpres*.

# Limicoles côtiers - Peuplement hivernal

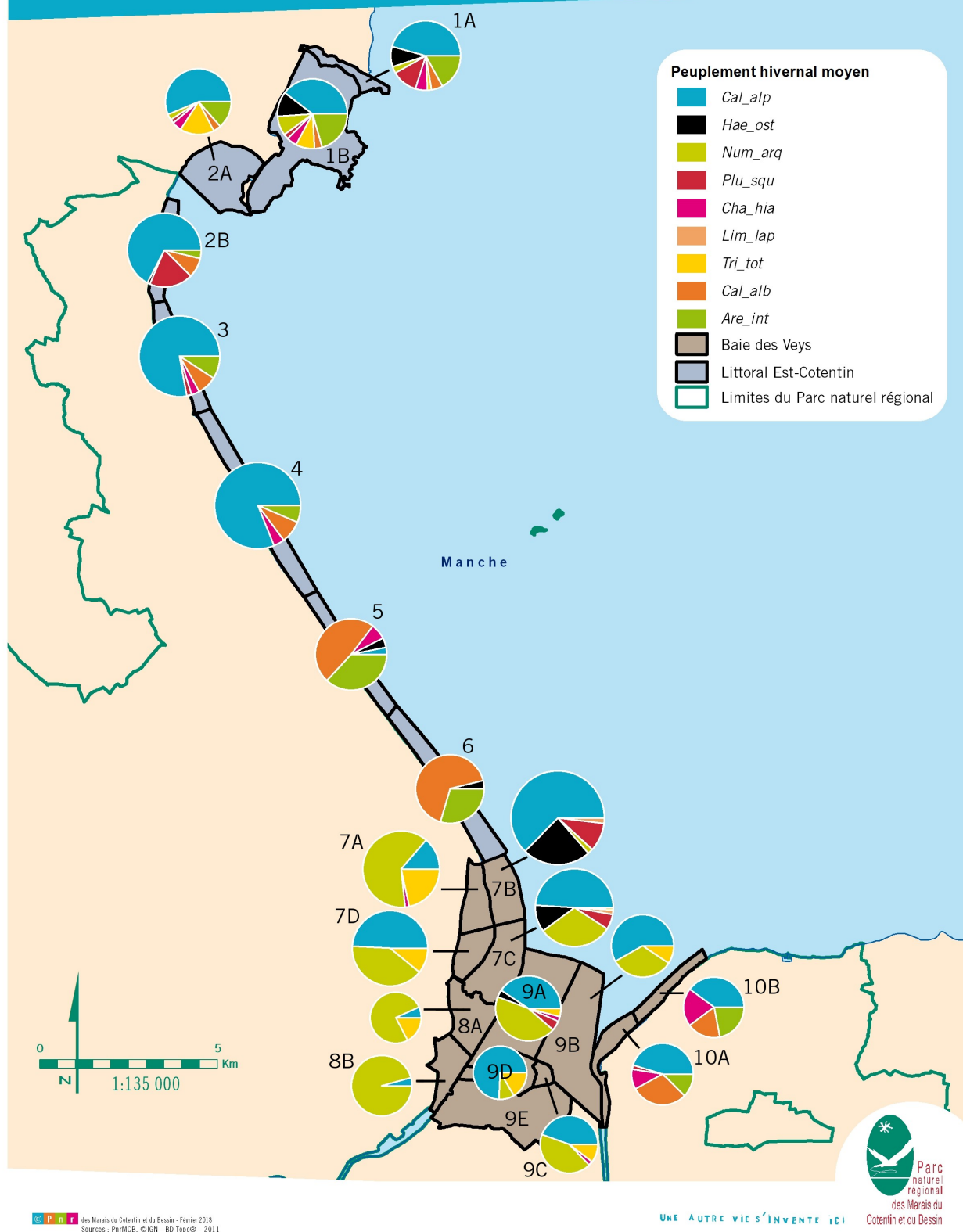
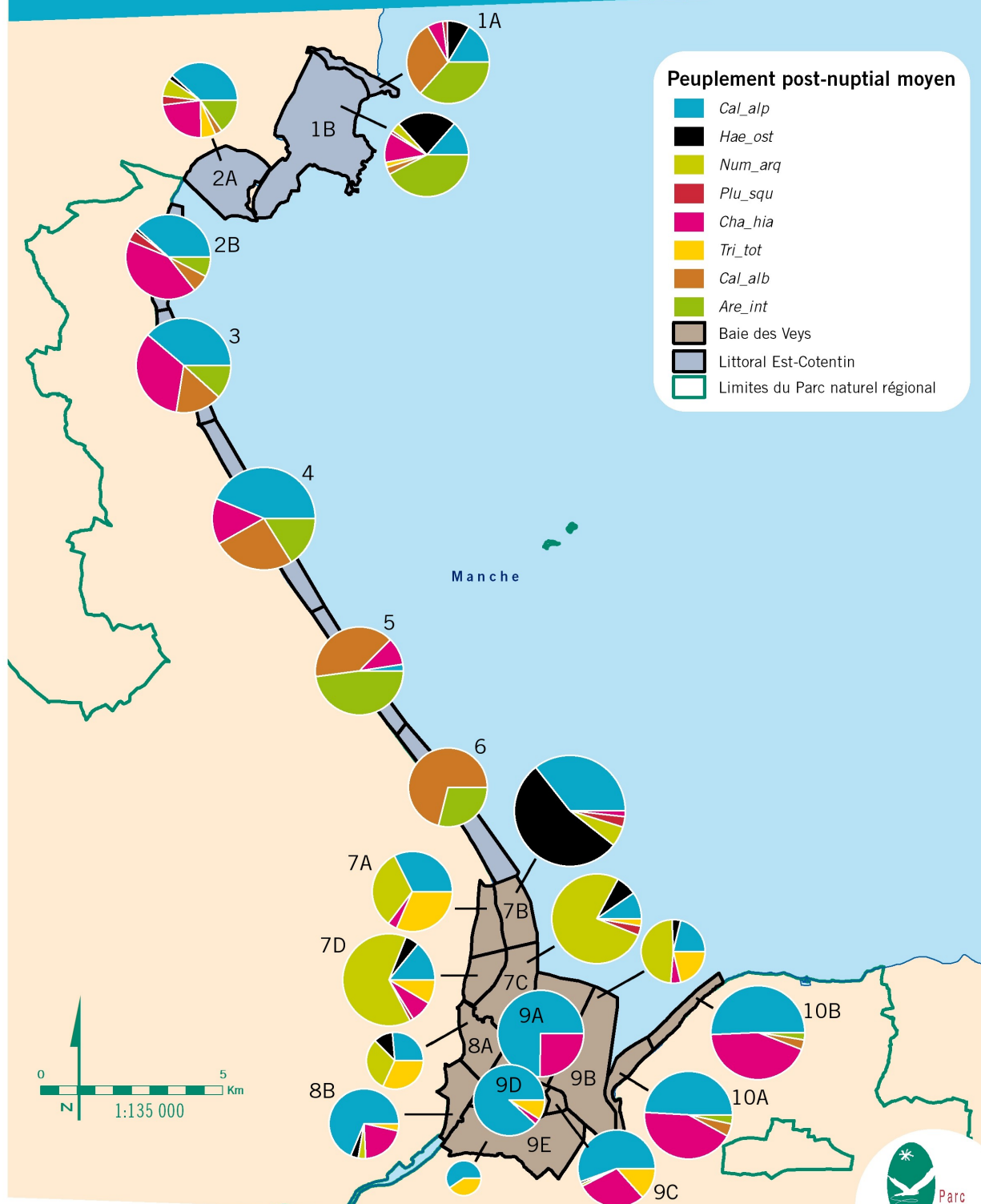


Figure 36 : Carte présentant la répartition des espèces principales au sein du peuplement hivernal moyen de chaque secteur. « Cal\_alp » signifie *Calidris alpina*, « Hae\_ost » *Haematopus ostralegus*, « Num\_arq » *Numenius arquata*, « Plu\_squ » *Pluvialis squatarola*, « Cha\_hia » *Charadrius hiaticula*, « Lim\_lap » *Limosa lapponica*, « Tri\_tot » *Tringa totanus*, « Cal\_alb » *Calidris alba* et « Are\_int » *Arenaria interpres*. La taille des diagrammes est proportionnelle au nombre d'individus total au sein du peuplement (échelle logarithmique).

# Limicoles côtiers - Peuplement post-nuptial



PNR des Marais du Cotentin et du Bessin - Février 2018  
Sources : PNRMCB, ©IGN - BD Topo® - 2011

UNE AUTRE VIE S'INVENTE ICI



**Figure 37 :** Carte présentant la répartition des espèces principales au sein du peuplement post-nuptial moyen de chaque secteur. « *Cal\_alp* » signifie *Calidris alpina*, « *Hae\_ost* » *Haematopus ostralegus*, « *Num\_arq* » *Numenius arquata*, « *Plu\_squ* » *Pluvialis squatarola*, « *Cha\_hia* » *Charadrius hiaticula*, « *Tri\_tot* » *Tringa totanus*, « *Cal\_alb* » *Calidris alba* et « *Are\_int* » *Arenaria interpres*. La taille des diagrammes est proportionnelle au nombre d'individus total au sein du peuplement (échelle logarithmique).

# Limicoles côtiers - Peuplement pré-nuptial

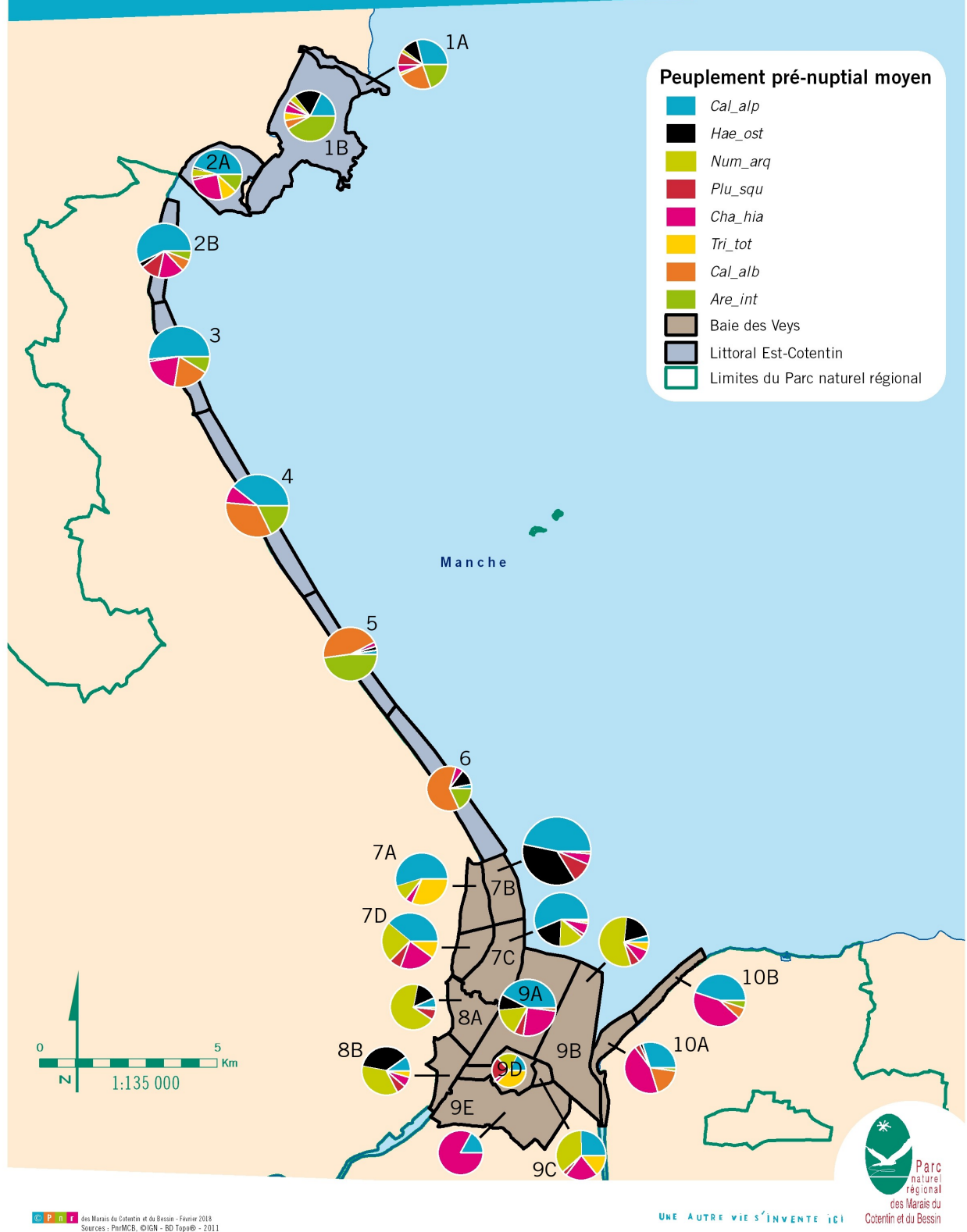


Figure 38 : Carte présentant la répartition des espèces principales au sein du peuplement post-nuptial moyen de chaque secteur. « Cal\_alp » signifie *Calidris alpina*, « Hae\_ost » *Haematopus ostralegus*, « Num\_arq » *Numenius arquata*, « Plu\_squ » *Pluvialis squatarola*, « Cha\_hia » *Charadrius hiaticula*, « Tri\_tot » *Tringa totanus*, « Cal\_alb » *Calidris alba* et « Are\_int » *Arenaria interpres*. La taille des diagrammes est proportionnelle au nombre d'individus total au sein du peuplement (échelle logarithmique).



## 2.7. Evolution de la répartition spatiale

### a. Au sein des unités fonctionnelles :

Plutôt que d'étudier l'évolution des peuplements de chaque secteur au cours du temps, comme nous l'avons fait au cours d'un cycle dans la section précédente, nous avons choisi de plutôt étudier l'évolution de la contribution de chaque secteur pour les effectifs des espèces principales au sein des deux unités fonctionnelles.

Le constat pour le Bécasseau variable est assez intéressant sur le Littoral Est-Cotentin. En effet, on remarque une augmentation de la contribution des secteurs 2B et 1B ainsi qu'une forte diminution de la contribution du secteur 3, ce qui correspondrait globalement à un déplacement de cette espèce vers le Nord. Le secteur 4 reste le secteur principal sur cette unité fonctionnelle. En Baie des Veys, c'est le secteur 7B qui accueille la majeure partie des effectifs de cette espèce et aucune tendance franche n'est observable.

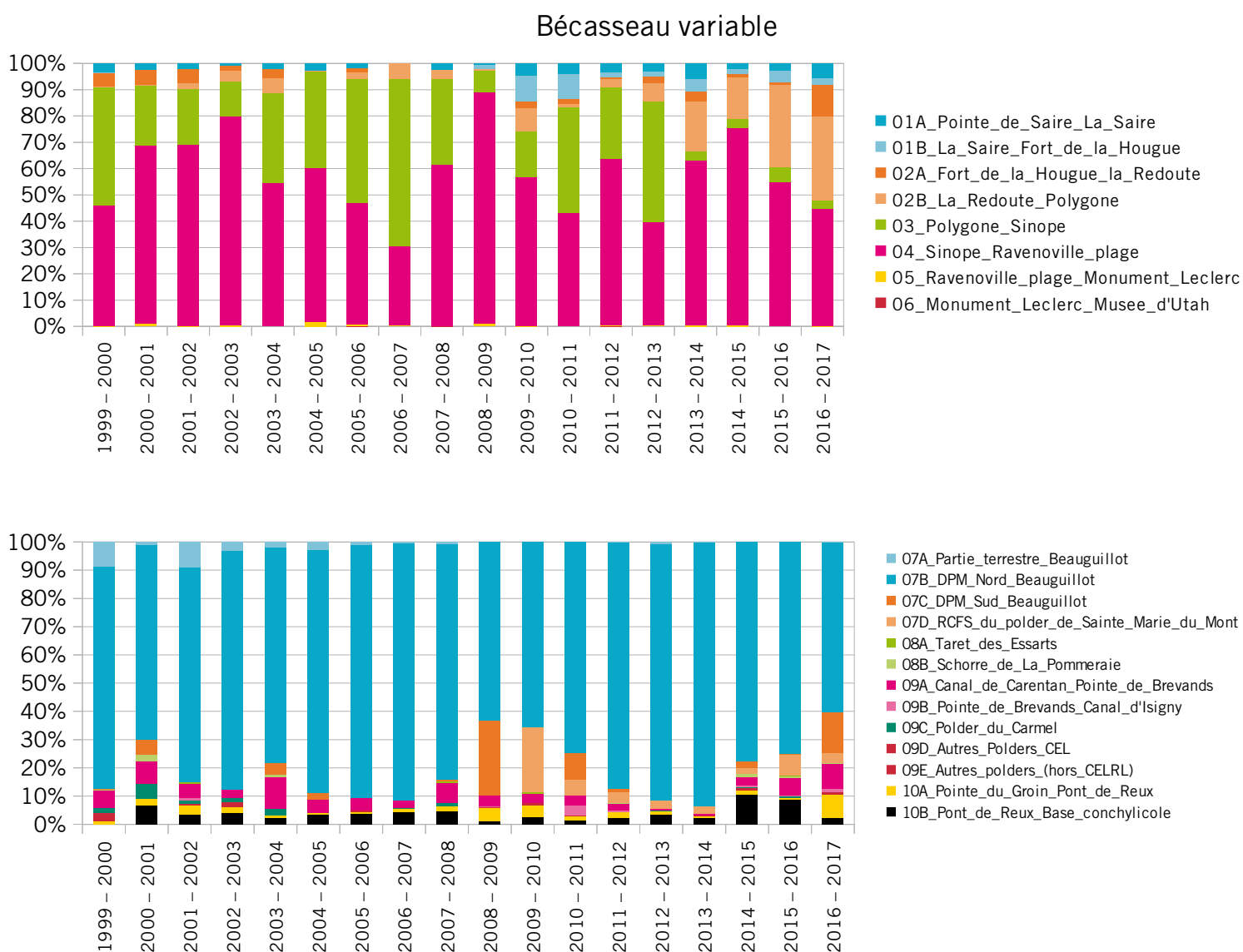


Figure 39a: Part moyenne du Bécasseau variable sur chaque secteur par cycle de suivi en Littoral Est-Cotentin (en haut) et en Baie des Veys (en bas)



### Huître-pie

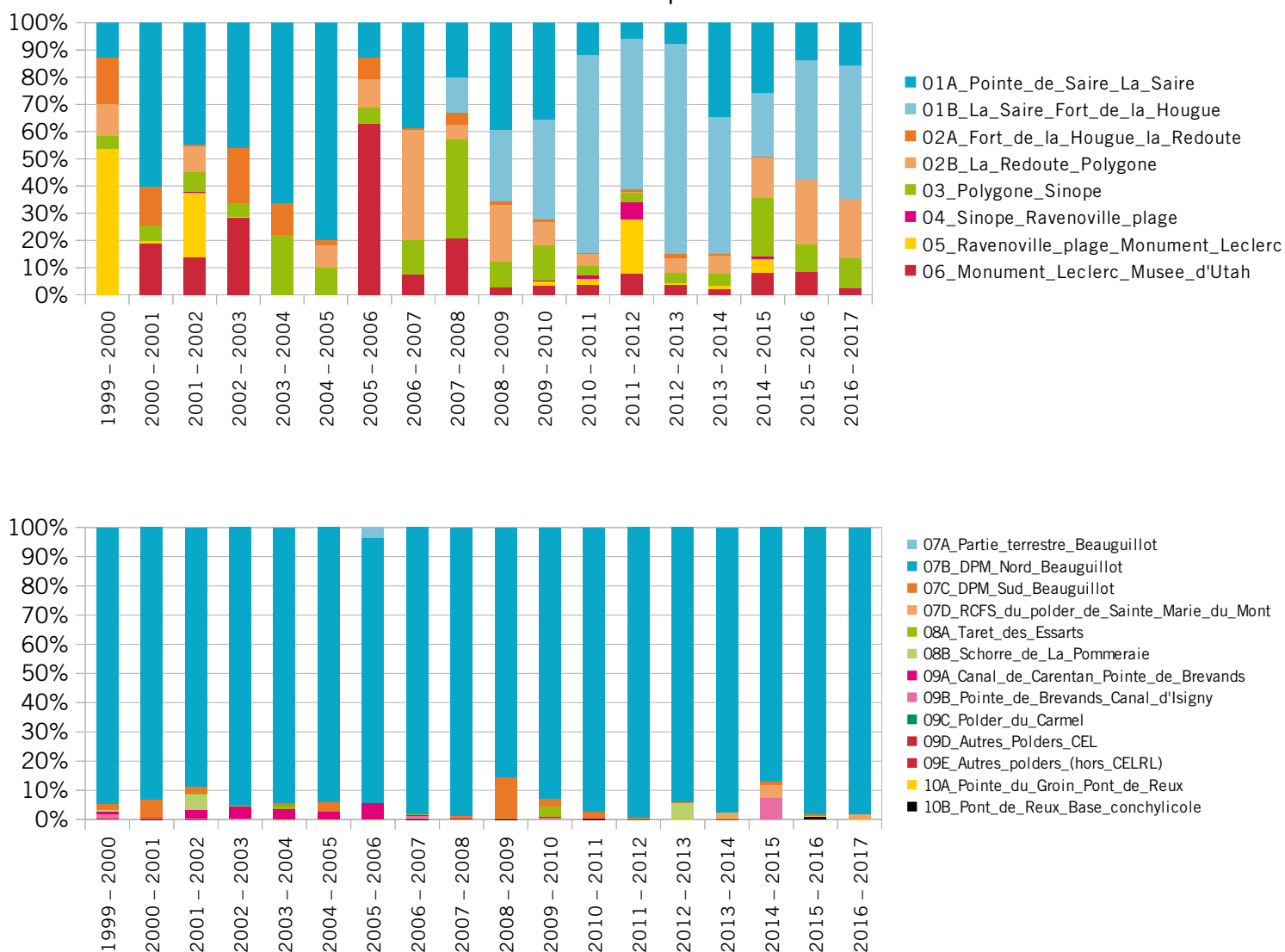


Figure 39b : Part moyenne de l'Huître-pie sur chaque secteur par cycle de suivi en Littoral Est-Cotentin (en haut) et en Baie des Veys (en bas)

En ce qui concerne l'Huître-pie, le constat en Baie des Veys est similaire à celui pour le Bécasseau variable, bien que la contribution du secteur 7B soit encore plus prononcée. La majorité des individus sur le Littoral Est-Cotentin semble être plutôt située sur les secteurs les plus au Nord (sauf pour quelques cycles) avec le secteur 1B qui semble gagner au fil du temps sur le secteur 1A.

Courlis cendré

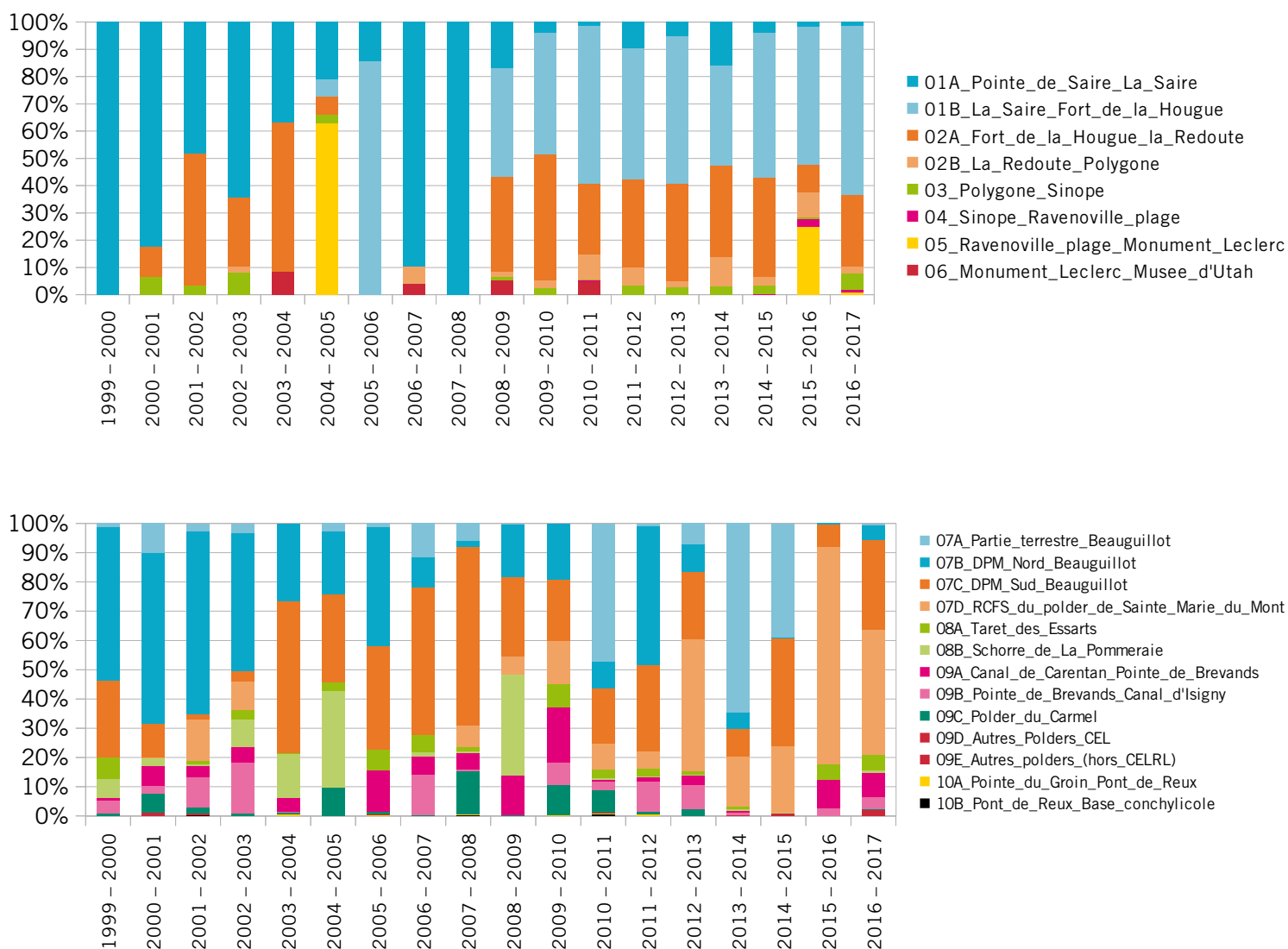


Figure 39c : Part moyenne du Courlis cendré sur chaque secteur par cycle de suivi en Littoral Est-Cotentin (en haut) et en Baie des Veys (en bas)

On remarque également chez le Courlis cendré sur le Littoral Est-Cotentin une augmentation de la contribution du secteur 1B au cours du temps aux dépends du secteur 1A. En Baie des Veys, il semblerait qu'une grande partie des effectifs soit présente sur les secteurs 7C et 7D plutôt que sur le secteur principal, à savoir le secteur 7B et on n'observe pas d'évolution particulière sur cette unité fonctionnelle.

Pluvier argenté

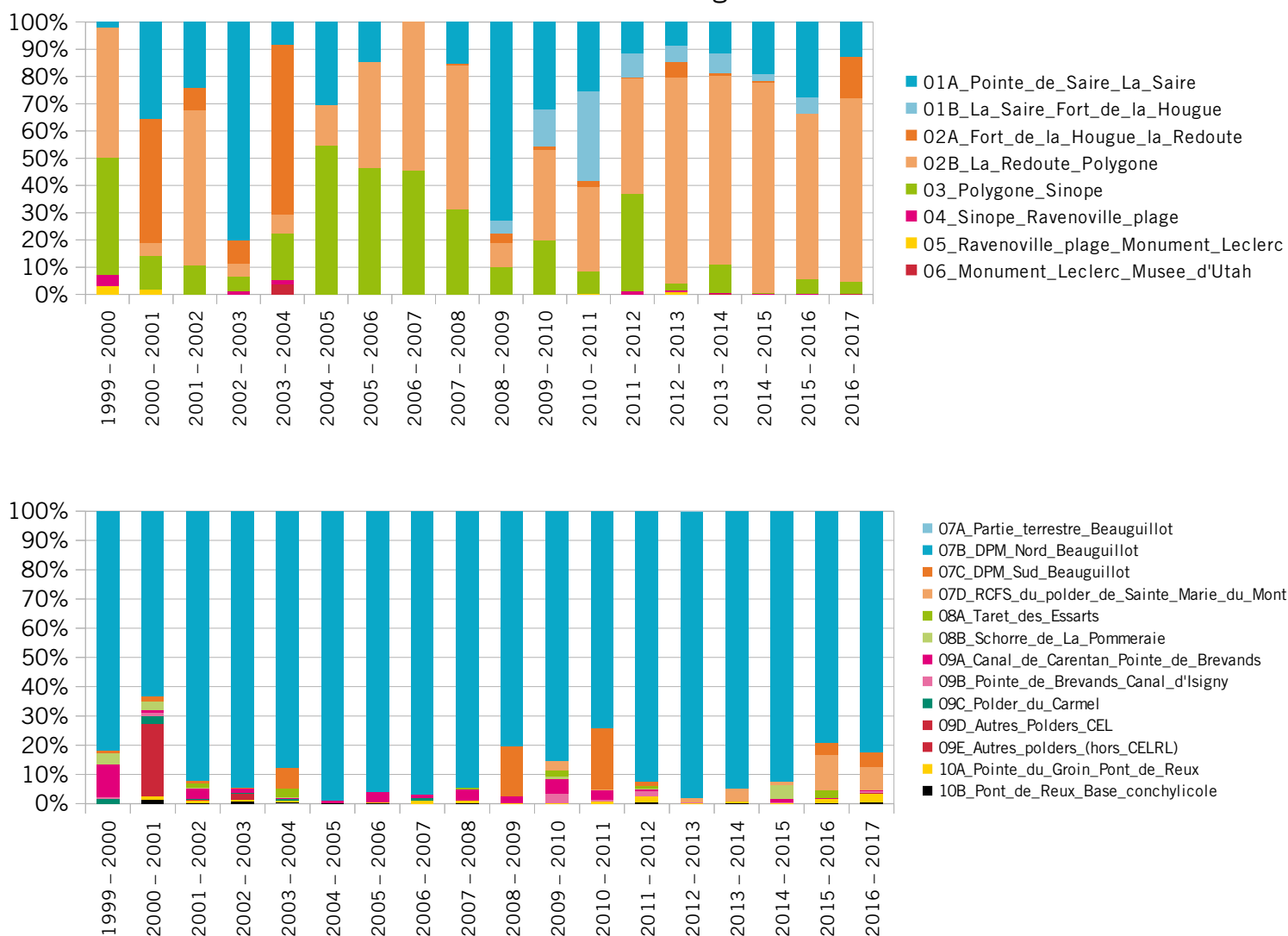


Figure 39d : Part moyenne du Pluvier argenté sur chaque secteur par cycle de suivi en Littoral Est-Cotentin (en haut) et en Baie des Veys (en bas)

Pour le Pluvier argenté, la contribution de chaque secteur sur le Littoral Est-Cotentin semble assez variable d'une année à l'autre. On constate tout de même la forte proportion de secteurs plutôt situés au Nord. En Baie des Veys, la majeure partie des effectifs est accueillie sur le Domaine Public Maritime au Nord de Beauguillet et aucune tendance n'est visible.

Grand Gravelot

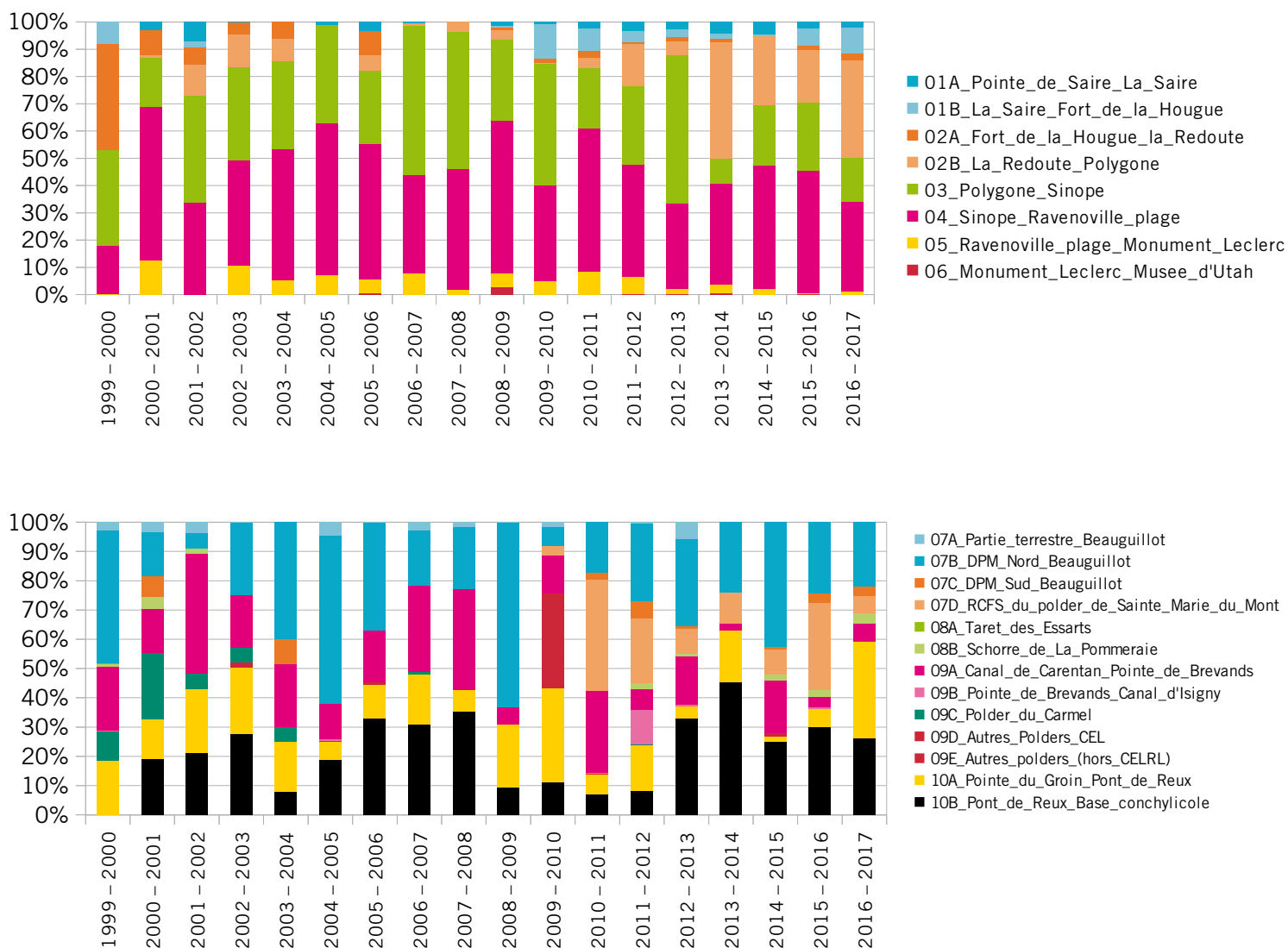


Figure 39e : Part moyenne du Grand Gravelot sur chaque secteur par cycle de suivi en Littoral Est-Cotentin (en haut) et en Baie des Veys (en bas)

En ce qui concerne le Grand Gravelot, les secteurs 3 et 4 sont ceux sur lesquels on recense le plus grand nombre d'individus, bien que la part de ces deux secteurs diminue lors des derniers cycles, au profit de secteurs 1B et 2B. La proportion diminue également sur le secteur 5. Sur cette unité fonctionnelle, on remarque donc un léger déplacement vers le Nord du Littoral Est-Cotentin. En Baie des Veys, on constate l'importance des secteurs les plus à l'Est (10A et 10B) pouvant atteindre 50 % des effectifs totaux de l'unité fonctionnelle ainsi que du secteur 7B qui est le principal en termes de nombre d'individus toutes espèces confondues.

Barge rousse

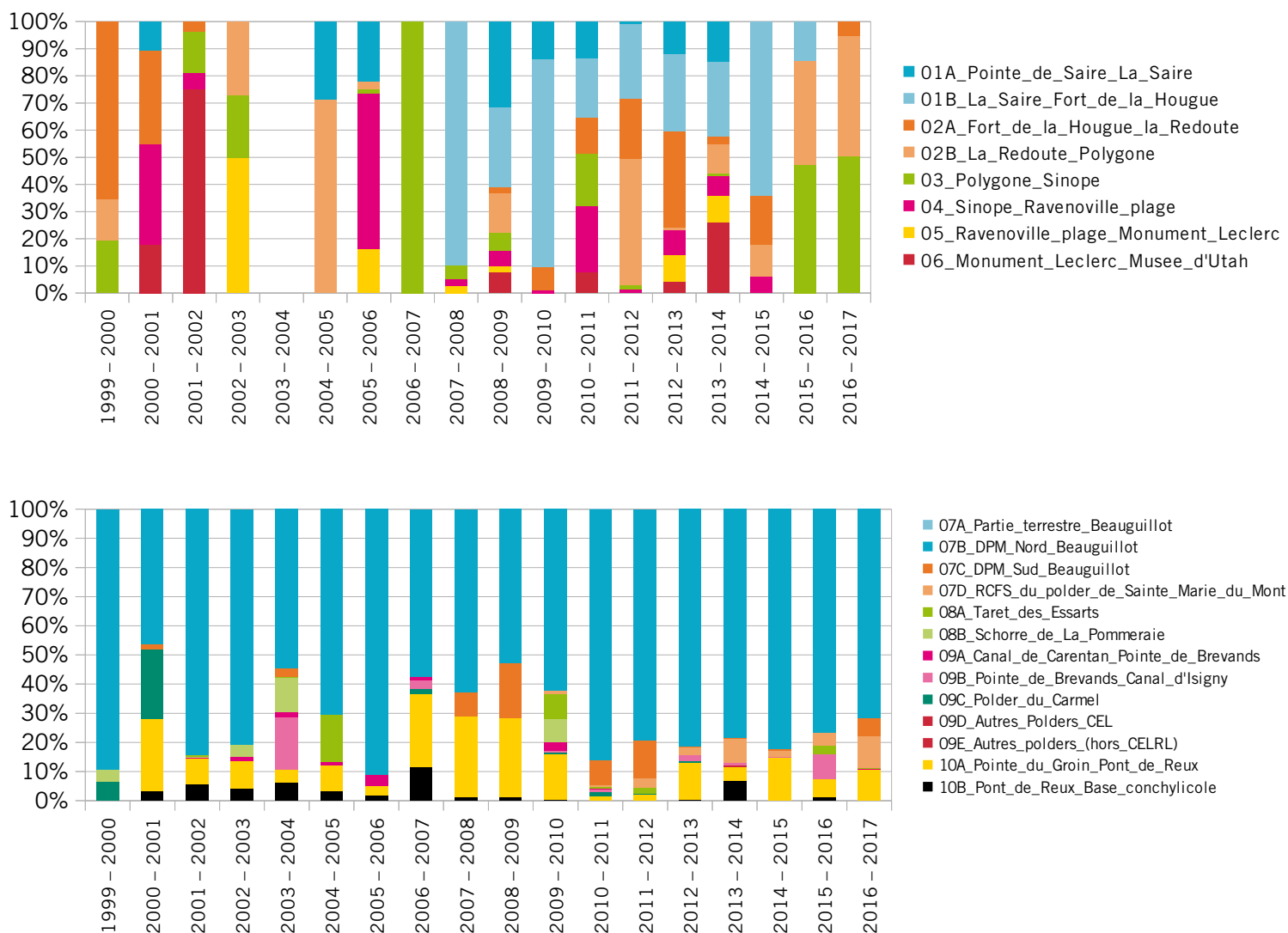


Figure 39f : Part moyenne de la Barge rousse sur chaque secteur par cycle de suivi en Littoral Est-Cotentin (en haut) et en Baie des Veys (en bas)

La Barge rousse, dont les effectifs sont faibles sur le Littoral Est-Cotentin, semble présente selon l'année sur différents secteurs et aucune évolution n'est particulièrement visible. En revanche en Baie des Veys, la majorité des effectifs est observée sur le secteur 7B mais on ne constate encore une fois aucune tendance temporelle particulière.

### Chevalier gambette

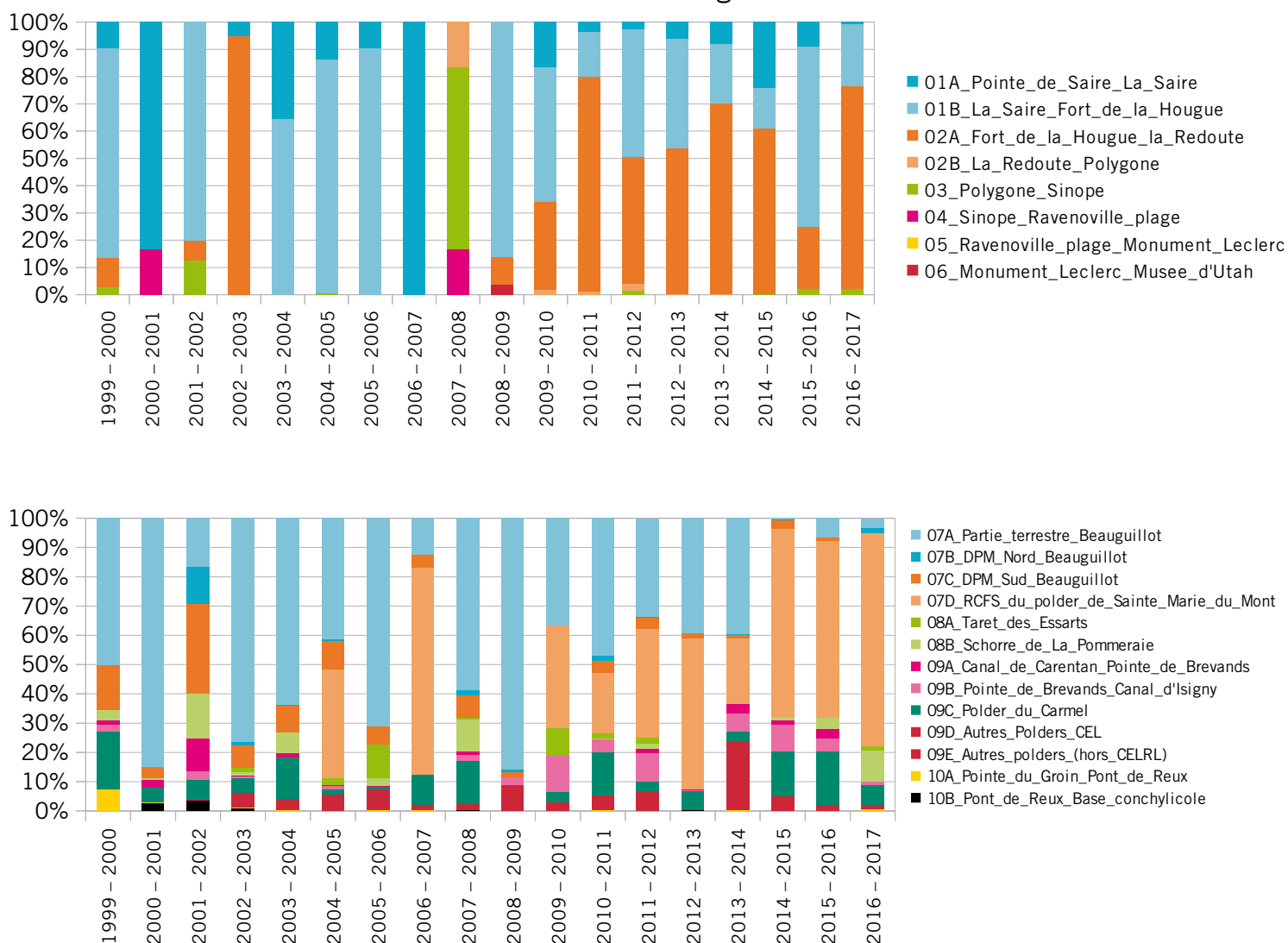


Figure 39g : Part moyenne du Chevalier gambette sur chaque secteur par cycle de suivi en Littoral Est-Cotentin (en haut) et en Baie des Veys (en bas)

Chez le Chevalier gambette, la proportion des effectifs situés sur le secteur 1B semble diminuer au profit de celle du secteur 2A lors de la dernière décennie. En Baie des Veys, c'est la part de la Partie terrestre de la RNNDB qui diminue alors que celle du Polder augmente, devenant ainsi le secteur principal pour ce taxon lors des 10 derniers cycles. On remarque l'importance au sein de cette unité fonctionnelle des secteurs plus continentaux chez cette espèce.

Bécasseau sanderling

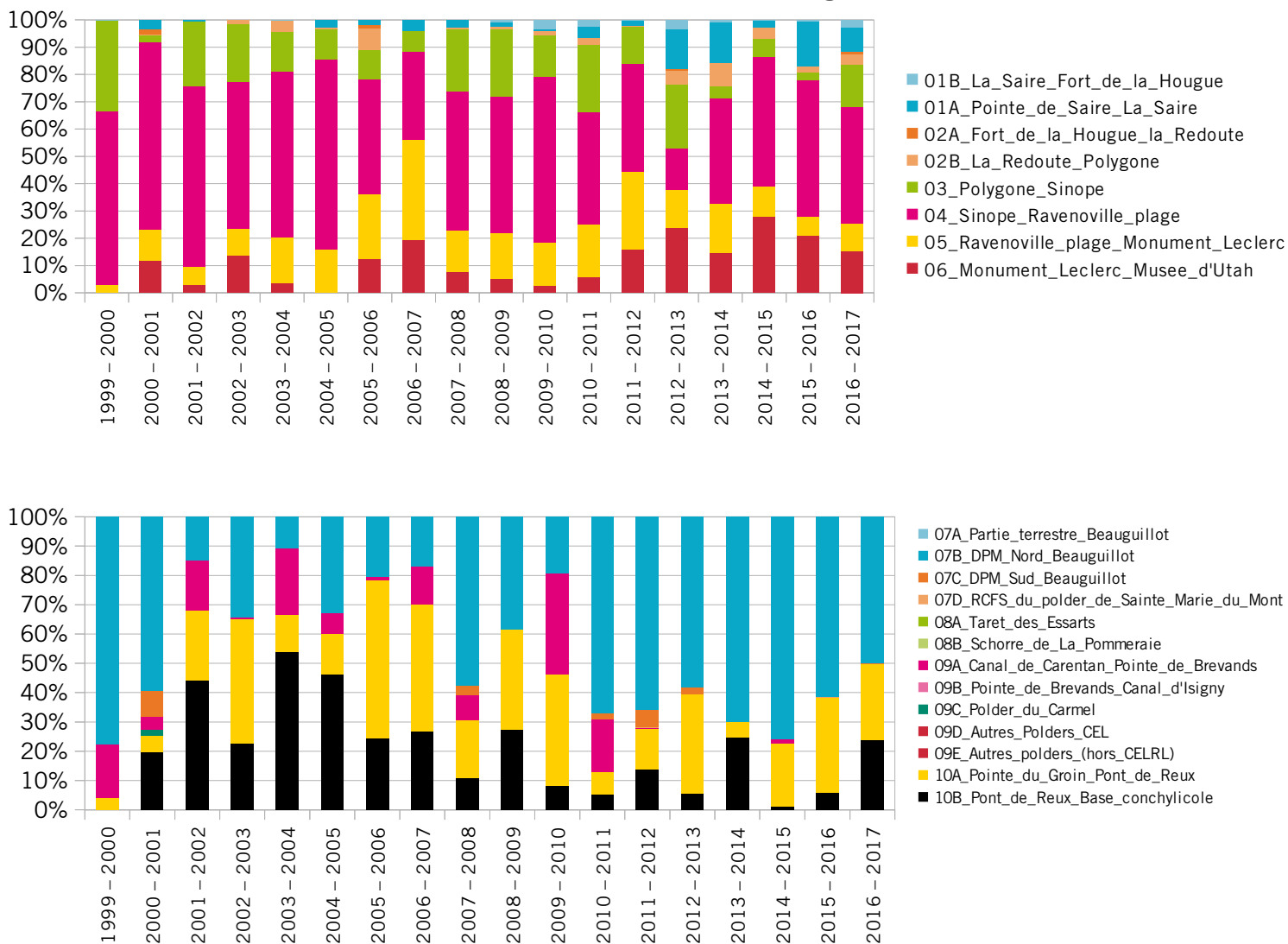


Figure 39h : Part moyenne du Bécasseau sanderling sur chaque secteur par cycle de suivi en Littoral Est-Cotentin (en haut) et en Baie des Veys (en bas)

En ce qui concerne le Bécasseau sanderling, il est principalement présent sur les secteurs les plus au Sud du Littoral Est-Cotentin. La proportion dans les effectifs du secteur 6 semble augmenter au cours du temps mais il est difficile d'identifier une diminution sur un secteur en particulier. Au sein de l'unité fonctionnelle « Baie des Veys », la tendance est plus nette, avec une augmentation de la proportion des effectifs du secteur 7B et une diminution de la proportion du secteur 10B.



Tournepieuvre à collier

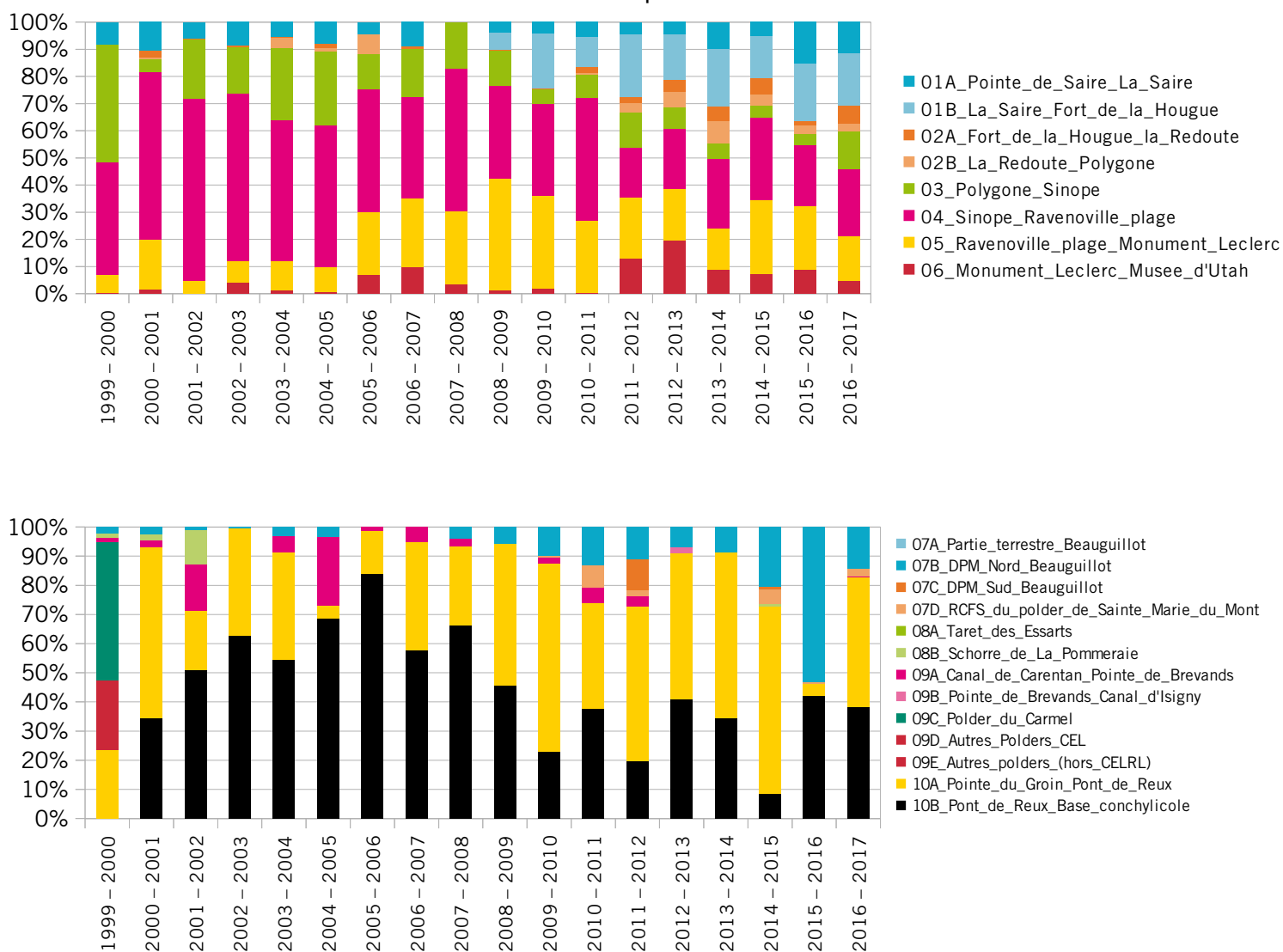


Figure 39i : Part moyenne du Tournepieuvre à collier sur chaque secteur par cycle de suivi en Littoral Est-Cotentin (en haut) et en Baie des Veys (en bas)

Enfin pour le Tournepieuvre à collier, on constate sur le Littoral Est-Cotentin comme pour le Grand Gravelot et le Bécasseau variable une remontée assez nette des effectifs depuis les secteurs 3 et 4 vers des secteurs plus au Nord. En Baie des Veys, la majeure partie des effectifs est située sur les secteurs 10A et 10B et il semblerait que la proportion du secteur 10B diminue au profit de celle du secteur 10A.

**b. Glissement de populations :**

La possibilité évoquée dans la section §2.1 de faire basculer le secteur 7B dans l'unité fonctionnelle « Littoral Est-Cotentin » ainsi que le changement de milieu de ce secteur accompagné de la suspicion d'une modification du peuplement (J.-F. Elder & T. Galloo, 2018, *comm. pers.*) nous

a poussé à étudier, comme précédemment, l'évolution de la contribution aux effectifs spécifiques annuels mais en prenant compte uniquement les secteurs 6 et 7B. Pour la plupart des espèces on ne constate pas de tendance particulière ainsi qu'une écrasante proportion des effectifs du secteur 7B. En revanche on remarque chez le Bécasseau sanderling une augmentation globale de la proportion du secteur 7B au détriment de la proportion du secteur 6. Chez le Tournepieuvre à collier, à défaut de faire le même constat, il semble tout de même que la proportion des effectifs du secteur 7B lors des dernières décennies soit plus stable que lors de la première décennie de suivi.

### Bécasseau sanderling



Figure 40a : Part moyenne du Bécasseau sanderling sur les secteurs 6 et 7B

### Tournepieuvre à collier

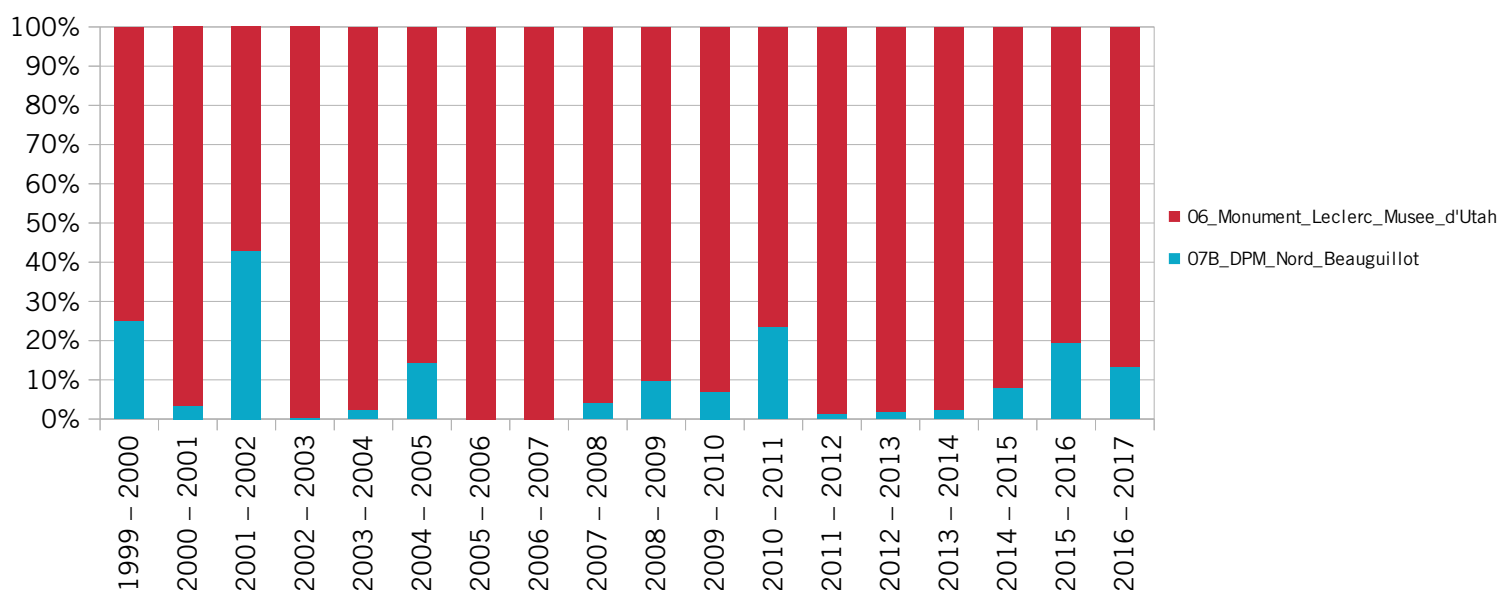


Figure 40b : Part moyenne du Tournepieuvre à collier sur les secteurs 6 et 7B

## 3. Discussion

### 3.1. Interprétation des résultats

#### **a. Pertinence du découpage des unités fonctionnelles :**

Il est intéressant de constater que le secteur pour lequel l'attribution à l'une ou à l'autre unité est la plus difficile, à savoir le secteur « 07B DPM Nord Beauguillot », est celui qui justement posait question au personnel de la Réserve Naturelle Nationale du Domaine de Beauguillot. En effet, ce secteur évolue d'un milieu à influence estuarienne, et donc caractéristique de la Baie des Veys, vers un milieu plus littoral du fait de l'apport important de sable par les secteurs plus au Nord et il s'avère que le peuplement de ce secteur évolue en conséquence (J.-F. Elder & T. Galloo, 2017, *comm. pers.*). Ainsi, bien que sur l'ensemble des cycles étudiés il semblerait que la structure initiale des unités fonctionnelles soit pertinente, il se pourrait que sur les derniers cycles ainsi que pour les futurs, ce secteur soit intégré à l'unité fonctionnelle « Littoral Est-Cotentin » plutôt qu'à l'unité fonctionnelle « Baie des Veys ».

#### **b. Présentation générale :**

On retrouve la différence de milieux entre les deux unités fonctionnelles à travers les disparités dans la composition des peuplements. En effet, bien que la Bécasseau variable et le Grand Gravelot soient fortement présents sur les deux unités, on retrouve en Baie des Veys un grand nombre d'Huître-pie, espèce qui apprécie particulièrement les étendues vaseuses des baies et des estuaires et dont la présence est également à mettre en relation avec le gisement de coques présent en Baie des Veys. Le Bécasseau sanderling et surtout le Tournepiere à collier sont plus caractéristiques du peuplement du Littoral Est-Cotentin, les platiers rocheux et formations de galets étant plus favorables à ce dernier sur ses quartiers d'hivernage alors que le Bécasseau sanderling préfère un estran très sableux. On retrouve également parmi les espèces occasionnelles ou accessoires bien plus de taxons liés aux milieux continentaux en Baie des Veys, du fait des milieux échantillonnés. Toutefois comme indiqué dans Caille (2011), les deux communautés font partie des communautés à Bécasseau variable et sont relativement similaires si on les compare aux communautés d'autres unités fonctionnelles françaises. Les peuplements des deux unités fonctionnelles déterminés dans cette étude ainsi que dans Bunel (2008) et Pedrot *et al.* (2009) sont très proches de ceux issus de nos analyses bien que la dominance du Bécasseau variable semble moins forte dans notre étude.

La capacité d'accueil des deux unités est très différente, puisque l'on peut observer le double d'individus en Baie des Veys en hiver par rapport au Littoral Est-Cotentin. Cette différence peut s'expliquer par de meilleures conditions d'hivernage en Baie des Veys, le complexe RNNDB – Polder assurant un moindre dérangement, une protection vis-à-vis de l'activité cynégétique ainsi qu'une proximité et une préservation des ressources alimentaires de certaines espèces en limitant la pêche des mollusques bivalves pour l'Huître-pie par exemple.

Enfin d'après la phénologie des deux unités, il semblerait que l'arrivage des individus pour l'hivernage soit plus précoce sur le Littoral Est-Cotentin qu'en Baie des Veys, résultat identique à Bunel (2008). On peut avancer l'hypothèse que ce décalage soit dû aux différences de communautés entre les deux unités. Toutefois il semblerait que la phénologie soit également décalée chez le Bécasseau variable. Les secteurs du Littoral Est-Cotentin pour cette espèce seraient donc plus attractifs mais leur capacité d'accueil étant plus faible, les individus arrivant plus tard se redirigeraient en Baie des Veys ? Cela contredirait en partie l'explication précédente quant à la forte densité de population sur le secteur 7. Une autre interprétation possible serait l'existence de deux populations de Bécasseau variable bien distinctes et à la phénologie légèrement différente, l'une fréquentant uniquement le Littoral Est-Cotentin et l'autre la Baie des Veys.

### **c. Tendances d'évolution :**

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'ont pas été testés par les modèles statistiques (ce dont il est question dans la partie §3.2).

Il faut tout d'abord préciser que l'échantillon statistique étant assez limité, il est probable que des tendances soient trop fines pour être détectées et donc qu'une population soit jugée stable alors qu'elle est en réalité légèrement croissante ou décroissante.

La diminution des effectifs du Grand Gravelot en Littoral Est-Cotentin pourrait être liée à la diminution de sa détectabilité lors des derniers cycles, beaucoup d'individus étant repérés depuis peu dans des bancs de crépidules situés dans des vasières au moment du comptage. Cette diminution peut également être liée à la régression des populations de l'espèce sur la façade Manche-Mer du Nord.

Alors que les populations hivernales de Bécasseau sanderling et de Tournepierrre à collier sont en augmentation à toutes les échelles supra ainsi qu'en Baie des Veys, celles sur le Littoral Est-Cotentin semblent relativement stables. Il est possible que la capacité d'accueil du Littoral Est-Cotentin soit plus réduite que celle de la Baie des Veys et qu'elle ait été atteinte pour ces espèces, d'où leur stabilité apparente. Cela appuie également l'hypothèse évoquée plus avant de la progression de ces espèces caractéristiques du Littoral Est-Cotentin en Baie des Veys du fait des changements de milieux du secteur le plus au Nord de l'unité fonctionnelle. Il est cependant difficile avec les données analysées de déterminer si les individus supplémentaires en Baie des Veys sont issus d'un transfert depuis l'unité fonctionnelle voisine ou bien de sites bien plus éloignés. Ces modifications au sein du peuplement de la Baie des Veys sont également visibles à travers la régression du Bécasseau variable sur cette même unité, peut-être en partie du fait de la compétition avec le Bécasseau sanderling et le Tournepierrre à collier et du glissement vers des milieux moins favorables. Toutefois il paraît peu probable que ces raisons expliquent en totalité cette forte diminution d'effectifs et on peut présumer que la régression de l'espèce à l'échelle de la façade Manche – Mer du Nord et de la France est également responsable. Dans la précédente

évaluation du plan de gestion, la tendance pour le Bécasseau variable était positive jusque dans les années 2000 et négative entre 2000 et 2007 (Elder, 2011). Les résultats concernant les autres espèces traitées dans cette étude sont assez différents, du fait de la différence de période, d'échelle et de méthodologie considérées.

L'augmentation du nombre de Gravelots à collier interrompu en période de migration pré-nuptiale en Baie des Veys est à mettre en relation avec l'augmentation du nombre d'individus nicheurs sur l'unité, bien que ces effectifs restent marginaux. La détection de ces individus nicheurs, certainement exhaustive en Baie des Veys, est certainement bien plus faible sur le Littoral Est-Cotentin où les individus sont très dispersés d'avril à juin (T. Galloo, 2018, *comm. pers.*). De même, l'augmentation des effectifs pré-nuptiaux d'Echasse blanche depuis le début des années 2010 en Baie des Veys est très certainement liée aux changements de gestion hydraulique du Polder de Sainte-Marie, secteur sur lequel l'espèce niche (Galloo, 2013).

L'aspect cyclique de certaines tendances, notamment celle de l'Huîtrier-pie en hiver sur les deux unités fonctionnelles, pose question. En effet, la présence de cette espèce est intimement liée à celle d'un important gisement de coques et cette allure cyclique n'est pas sans rappeler les modèles prédateur – proie en dynamique de population. Il se pourrait donc que le moteur principal de la variabilité des effectifs d'Huîtrier-pie soit l'accessibilité aux ressources alimentaires et non les modifications de milieux, le dérangement anthropique, les conditions climatiques ou encore les tendances aux échelles supra. Pour confirmer cette hypothèse, il faudrait cependant avoir connaissance des variations inter-annuelles des effectifs de coques.

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 ou même de sous espèces totalement différentes. Ce phénomène est particulièrement bien identifié chez le Bécasseau maubèche chez qui certaines sous-espèces et populations peuvent être impactées par des modifications des escales de migration et pas d'autres (J.-F. Elder, 2018, *comm. pers.*). Une autre raison pourrait être un décalage important de la phénologie au cours du temps chez une même population mais la taille importante des plages d'observations devrait limiter assez fortement ce phénomène. Toutefois notre étude ne met pas en évidence de tendances opposées entre deux périodes pour une même espèce sur une même unité fonctionnelle.

#### **d. 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 unités fonctionnelles / périodes au cours du cycle, ce qui fait déjà l'objet d'autres paragraphes. De même, les forts écarts de contribution aux échelles supérieures entre les deux unités fonctionnelles s'expliquent à la fois par les différences de peuplements mais également par le déséquilibre dans le nombre d'individus entre Littoral Est-Cotentin et la Baie des Veys.

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. La diminution

de la contribution du Littoral Est-Cotentin aux effectifs régionaux et nationaux de Bécasseau sanderling et de Tournepiere à collier est en accord avec l'étude des tendances temporelles. En effet ces deux espèces ont leurs effectifs stables sur le Littoral Est-Cotentin alors qu'ils sont en progression à l'échelle de la France et de la façade Manche - Mer du Nord. L'explication est similaire pour l'augmentation de la contribution de cette unité fonctionnelle aux effectifs de Bécasseau variable et Pluvier argenté, les effectifs du premier étant stables sur l'unité et décroissants à l'échelle de la façade maritime alors que pour le second ils sont croissants sur l'unité et stables en Manche – Mer du Nord et en France. En Baie des Veys, l'augmentation de la contribution aux effectifs de la Barge noire, alors que les tendances pour cette espèce sont identiques (positives) à toutes les échelles, indiquerait une tendance locale positive plus prononcée qu'aux échelles supra. Le cas du Bécasseau variable est intéressant : la contribution de l'unité fonctionnelle aux effectifs nationaux est en baisse alors que celle aux effectifs régionaux est stable. Or on sait que la décroissance nationale de cette espèce est moins prononcée et essentiellement due à la décroissance des effectifs sur la façade Manche – Mer du Nord (Quaintenne *et al.*, 2015). D'après l'évolution de la contribution, il semblerait que la diminution des effectifs de Bécasseau variable en Baie des Veys soit du même ordre qu'à l'échelle de la région et de la façade Atlantique et plus prononcée qu'à l'échelle de la France. En revanche il est plus difficile d'imaginer comment la contribution de l'Huîtrier-pie n'augmente pas, la tendance locale étant stable et les tendances aux échelles supra étant à la baisse. Idem pour le Courlis cendré pour lequel les tendances supra sont à la hausse alors que les effectifs locaux semblent stables. Les tendances sont peut-être trop fines pour être détectées localement alors qu'elles le sont à une échelle plus large.

En ce qui concerne les corrélations entre effectifs d'échelles différentes, le fait que les corrélations détectées soient positives signifie que les tendances des populations doivent être similaires d'une échelle à l'autre lorsqu'une corrélation est détectée. Cela est confirmé par le fait que pour aucune espèce on ne retrouve de tendance opposée entre les tendances des unités fonctionnelles et les tendances des échelles supérieures. On retrouve d'ailleurs une forte corrélation entre les effectifs de Bécasseau variable en Baie des Veys et ceux en Normandie, ce qui soutient la thèse de la similarité des tendances sur ces deux échelles. On remarque également que les effectifs de l'Huîtrier-pie en Baie des Veys sont corrélés à ceux des autres échelles, ce qui renforce l'hypothèse d'une légère tendance à la baisse pour cette espèce, non détectée par les modèles statistiques. Dans les cas où le test n'est pas significatif, la non-corrélation peut s'expliquer par deux phénomènes : les effectifs plus variables à une échelle qu'à une autre, ou bien les effectifs des deux échelles varient mais pas de façon conjointe

La conformité entre les tendances à l'échelle biogéographique et l'échelle nationale depuis les années 2000 semble montrer que les causes du déclin de certaines populations sont certainement extérieures à l'échelle nationale et qu'il ne provient pas de la qualité des sites d'hivernage français. La différence de tendance entre les façades Atlantique et Manche – Mer du Nord serait due à un rapprochement plus rapide de la capacité d'accueil des sites présents sur cette dernière façade mais également à une pression anthropique localement plus importante (activités cynégétiques, dérangement, perte d'habitat, etc.) (Quaintenne *et al.*, 2015).

**e. Phénologie :**

Cette section des analyses confirme une nouvelle fois le décalage de phénologie du Bécasseau variable entre les deux unités fonctionnelles, constat pour lequel de potentielles explications ont été précédemment évoquées. L'absence de Grand Gravelot en hiver en Baie des Veys alors qu'il reste présent sur le Littoral Est-Cotentin est intéressante. On peut supposer que lorsque la présence de l'espèce est la plus élevée en période de migration, les deux unités fonctionnelles sont utilisées, diminuant ainsi la compétition intra-spécifique alors qu'à cette période la compétition inter-spécifique est réduite. En revanche en période d'hivernage, le plus faible nombre de Grands Gravelots entraîne une compétition intra-spécifique réduite alors que la compétition inter-spécifique est importante du fait de la phénologie différente des autres espèces, le poussant à se concentrer sur les secteurs favorables plutôt situés sur le Littoral Est-Cotentin. Une nouvelle fois le fonctionnement en deux populations séparées à la phénologie différente pourrait également expliquer le phénomène, d'autant plus que deux sous-espèces sont observées : *C. h. hiaticula* et *C. h. tundrae* (Caillot & Elder, 2005). Le caractère hivernant de la Barge rousse en Baie des Veys alors qu'elle n'est présente qu'en migration sur le Littoral Est-Cotentin est également étonnant. Si le fonctionnement en deux populations distinctes constitue une nouvelle fois une explication valable, on peut aussi imaginer qu'une même population va utiliser des milieux et donc des secteurs différents au cours d'un cycle. L'explication est similaire chez le Gravelot à collier interrompu, plus présent les mois de mai, juin et juillet en Baie des Veys où il trouve peut-être des milieux moins dérangés et plus favorables à la nidification que sur le Littoral Est-Cotentin où on l'observe plus en période de migration post-nuptiale. De façon générale, les courbes de variation des effectifs obtenues dans le cadre de cette étude sont très similaires à celles qui avaient été déterminées il y a une dizaine d'années à l'échelle des unités fonctionnelles (Pedrot *et al.*, 2009) et de la Réserve Naturelle Nationale du Domaine de Beauguillot (Elder, 2011). Enfin en ce qui concerne les décalages de phénologie, seul le Courlis cendré et la Barge à queue noire en Baie des Veys sont concernés, avec en l'occurrence un avancement du pic de présence au sein du cycle au cours du temps. L'interprétation de ce décalage est difficile, d'autant plus qu'elle n'est pas généralisée aux autres taxons. Chez le Courlis cendré, c'est le maximum d'effectif qui précède de peu le départ des oiseaux du site qui semble être avancé alors que l'unité fonctionnelle semble être de plus en plus occupée en période de migration post-nuptiale. Pour la Barge à queue noire, c'est l'ensemble de sa plage de présence qui semble s'être avancée. Ce phénomène pourrait être un changement du calendrier d'occupation du site par la population ou bien une évolution dans le rapport d'effectifs entre deux populations ayant une phénologie différente, ce qui chez le Courlis cendré ne paraît pas improbable. La forte variabilité du positionnement des maxima chez une espèce est à mettre en relation avec le caractère permanent de certaines espèces et à leur phénologie peu marquée et / ou avec le faible nombre d'individus de l'espèce sur l'unité fonctionnelle en question.

**f. Analyse des communautés :**

On constate la particularité des communautés des secteurs 5 et 6 avec la forte présence du Bécasseau sanderling, secteurs caractérisés par un estran très sableux, favorable à cette espèce. La forte différence d'effectifs de Tournepière à collier entre la Baie des Veys et le Littoral Est-Cotentin



s'explique également par une disparité des milieux entre les deux unités fonctionnelles, les platiers rocheux et formations de galets recherchés par ces oiseaux étant présents uniquement sur certains secteurs du Littoral Est-Cotentin. En Baie des Veys, la plus grande part d'espèces à affinité littorale moindre s'explique par la plus grande surface de milieux plus continentaux, notamment sur les polders. La répartition des espèces au sein des communautés est très similaire à l'étude de 2009 (Pedrot *et al.*).

On justifie la forte importance du secteur 7B en termes de nombre d'individus par le faible dérangement anthropique ainsi que la présence de milieux favorables, d'un gisement de coques et de reposoirs surélevés accessibles même lors de forts coefficients de marées. Les secteurs 3 et 4 qui sont les principaux sur le Littoral Est-Cotentin présentent également ces reposoirs surélevés et leur configuration permet un suivi exhaustif. La plus faible occupation de certains secteurs, comme les secteurs 5 et 6, peut être liée à une présence de l'Homme trop importante, puisque l'on sait que celle-ci et particulièrement à travers la pêche à pied, peut avoir un effet négatif sur la présence des limicoles (Timsit, 2000, 2001, 2002). De plus, le secteur 6 présente moins de visibilité, limitant la détectabilité des oiseaux et présente également un attrait touristique important (plage du débarquement d'Utah Beach). Enfin il faut préciser que pour éviter que la mer n'atteigne le pied des digues et assurer la présence d'oiseaux sur les reposoirs lors du suivi du Littoral Est-Cotentin, ceux-ci sont réalisés par coefficient inférieur à 85. La répartition des effectifs sur l'unité fonctionnelle est donc certainement tout autre à l'occasion de plus gros coefficients. Les secteurs arrière-littoraux présentent également une plus faible importance quantitative, bien qu'ils puissent être utilisés comme reposoirs alternatifs en cas de fort coefficient de marée ou comme zone d'alimentation à marée haute. Dans Pedrot *et al.* (2009), les secteurs 7A, 7C et 7D semblent moins importants quantitativement que nos résultats ne le laissent penser. On serait tenté de l'expliquer par le fait que nous ayons également utilisé des données issues du protocole de suivi des remises diurnes, augmentant les effectifs du Polder de Sainte-Marie-du-Mont et de la partie terrestre de la Réserve Naturelle Nationale du Domaine de Beauguillot. Toutefois ces données concernent principalement des espèces terrestres à faibles effectifs. Par contre la gestion du Polder a été modifiée depuis l'étude citée plus avant et celui-ci propose désormais des milieux plus favorables à l'accueil des limicoles, hypothèse explicative bien plus convaincante.

Les différences de communautés entre les différentes périodes d'un cycle sur un même secteur peuvent être causées deux facteurs : les différences de phénologie des espèces occupant le secteur et / ou le déplacement d'espèces entre secteurs selon la période. La diminution de l'écart relatif du nombre d'individus total entre secteurs au cours d'un cycle est plus difficile à interpréter. Cet écart pourrait à nouveau être directement provoqué par des différences de communautés et donc de phénologies entre les secteurs concernés. Toutefois il pourrait également venir de différences de qualité et donc d'attractivité entre secteurs : les individus arrivant les premiers sur le site privilégient les secteurs les plus favorables au détriment des autres, puis en hiver la capacité de ces secteurs étant restreinte, les individus plus tardifs se regroupent dans des secteurs moins favorables, diminuant l'écart de population entre secteurs et enfin les individus arrivés les premiers sur les sites favorables repartent les premiers en période de migration pré-nuptiale, ce qui diminuerait encore cet écart.

**g. Evolution de la répartition spatiale :**

Pour plusieurs espèces, on constate une remontée depuis les secteurs 3 et 4 voire même 5 vers des secteurs plus au Nord du Littoral Est-Cotentin (secteurs 1 et 2). C'est le cas pour le Bécasseau variable, le Grand Gravelot et le Tournepieuvre à collier, qui sont des espèces caractéristiques du Littoral Est-Cotentin. Bien qu'il soit tentant d'avancer l'hypothèse du réchauffement climatique pour expliquer ce déplacement, il paraît peu probable que ce phénomène agisse à une échelle aussi locale et une modification des milieux ou des facteurs limitant l'occupation des reposoirs constitue sans doute une interprétation bien plus pertinente. On sait par exemple que des îlots de crépidule sont apparus au milieu des vasières du secteur 2B au cours de la période de suivi, d'où une augmentation possible de la contribution de ce secteur. Chez le Chevalier gambette, l'augmentation de la part du Polder de Sainte-Marie-du-Mont au détriment de la partie terrestre de la réserve est probablement due à l'utilisation accrue du polder des suites de sa mise en eau, comme indiqué dans Galloo (2013). Le Courlis cendré et l'Huîtrier-pie semblent désormais privilégier le secteur 1B au secteur 1A. Cette nouvelle localisation semble plus logique pour l'Huîtrier-pie du fait de la présence de vasières à proximité sur le secteur 2A.

Alors que les effectifs de Bécasseau sanderling augmentent au cours du temps sur le secteur 6, on remarque que la part du secteur 7B par rapport au secteur 6 augmente également, ce qui indique une croissance supérieure sur le secteur 7B. En ce qui concerne le Tournepieuvre à collier, la part du secteur 7B ne semble pas progresser car les effectifs du secteur 6 comme du secteur 7B sont en augmentation. On confirme ainsi le changement au sein du peuplement du secteur 7B qui était soupçonné, en lien certainement avec l'apport de sable depuis le secteur 6 et donc une substitution des milieux originels par des milieux plus favorables.

### 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 quelques erreurs (incohérences entre la date et le cycle, la date et la décennie, 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 issues du protocole de suivi des limicoles côtiers 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. Enfin le fait de tenir compte des observations du protocole de suivi des remises diurnes pour les espèces à affinité plus continentale pose un souci méthodologique mais permet d'avoir une analyse plus pertinente pour ces taxons dont le seul suivi

des limicoles côtiers n'est pas adapté. On restera toutefois prudent quant aux résultats des analyses concernant ces taxons, dont le protocole de suivi des limicoles côtiers n'est pas adapté.

La gestion des relevés manquants a constitué un autre enjeu important de cette étude. Au final, très peu sont dus à la perte ou à la non-transmission des données mais plutôt à de mauvaises conditions météorologiques ou au manque d'agents. Malheureusement le renseignement non systématique de l'absence d'individus sur un secteur a rendu complexe la détection des relevés manquants, notamment pour l'unité fonctionnelle « Baie des Veys ». Nous avons choisi pour cette unité de conserver l'ensemble des relevés, la quasi-totalité des individus étant présente sur le secteur 07 et les relevés manquants étant très probablement des secteurs suivis mais sans aucun limicole observé. Les effectifs à l'échelle de la Baie des Veys sont donc certainement légèrement sous-estimés. En revanche pour l'unité « Littoral Est-Cotentin », les quelques relevés où la couverture n'était pas suffisante ont été supprimés, entraînant une perte d'information plutôt qu'une forte sous-estimation des effectifs.

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 une méthode a été développée par les Réserves Naturelles de France et l'Agence des aires marines protégées utilisant des modèles bayésiens à espace d'état pour évaluer les tendances temporelles depuis l'unité fonctionnelle jusqu'aux échelles supérieures (sous-région marine, France et région biogéographique) (Caillot, 2016 ; Caillot & Caille, 2015). D'autres outils de statistiques fréquentistes peuvent également être mis en œuvre (Trolliet *et al.*, 2017), nécessitant d'autres logiciels particulièrement adaptés à l'analyse des séries temporelles comme TRIM (TRends and Indices for Monitoring data), TrendSpotter (Quaintenne *et al.*, 2015 ; 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<sup>er</sup> août de chaque cycle) et d'un modèle de type GAMM (cf. modèle 3 ci-après). 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  $\text{Date\_Jul}$

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

De plus, il aurait 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 le dérangement anthropique ou la ressource trophique 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, comme celle de (Timsit, 2000, 2001, 2002).

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.

### 3.3. Pistes d'améliorations du protocole

D'après les graphiques produits pour l'analyse de la phénologie, les variations d'effectifs de certaines espèces comme le Courlis corlieu et le Grand Gravelot peuvent être très marquées d'une décennie à l'autre en période de migration. Il est donc pertinent d'effectuer des relevés décennaux et non mensuels sur ces périodes-là. Il ne semble donc pas justifié de modifier le calendrier de suivi tel qu'il est actuellement.

Comme indiqué dans la section précédente, il n'a pas été possible d'intégrer des facteurs environnementaux (marée, 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 des unités fonctionnelles 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 de limicoles sur un secteur n'est pas systématiquement relevée alors que cette information est importante puisqu'elle permet notamment de faire la distinction avec un secteur non suivi et ainsi de déterminer la couverture de l'unité fonctionnelle lors d'un relevé.

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 les deux unités fonctionnelles 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

Les deux unités fonctionnelles étudiées dans ce rapport présentent de nombreuses différences, en termes de phénologie et de capacité d'accueil mais également et surtout en termes de peuplements. Ainsi, le Littoral Est-Cotentin est caractérisé par d'importants effectifs de Bécasseau variable, Bécasseau sanderling, Tournepieuvre à collier et Grand Gravelot, espèces pour lesquelles l'intérêt de l'unité fonctionnelle est national voire international. On note également la forte présence du Gravelot à collier interrompu. Le peuplement de la Baie des Veys, dont la capacité d'accueil est bien plus importante que celle de l'unité fonctionnelle précédente, est essentiellement composé Bécasseaux variables, Huîtres-pie, Courlis cendré, Pluvier argenté et Grand Gravelot. On note également la part plus importante d'espèces à affinité continentale sur cette unité. Cette disparité dans les peuplements s'explique principalement par la différence de milieux entre les deux unités, avec le Littoral Est-Cotentin qui présente des plages sableuses et quelques platiers rocheux et la Baie des Veys des milieux plus estuariens avec la présence de vasières, de schorre ainsi que de prairies humides sur les polders. Bien que les milieux au Nord de Beauguillot semblent subir des modifications, la structure des unités fonctionnelles n'est pas à remettre en question sur la période étudiée. Les différences de phénologie spécifiques entre les deux unités fonctionnelles peuvent être liées à une utilisation différentes des milieux selon la période de l'année, en lien avec les divers facteurs limitants, tout comme elles peuvent être liées au fonctionnement en deux populations distinctes entre les unités. Les différences de peuplements, phénologie et capacité d'accueil entre secteurs appartenant à une même unité fonctionnelle s'expliquent de la même manière que les différences entre unités fonctionnelles, à ceci près que l'hypothèse de populations distinctes semble moins pertinente. Les tendances négatives de certaines espèces principales comme le Bécasseau variable et le Grand Gravelot sont certainement fortement liées à une régression aux échelles supra. Toutefois certaines modifications des milieux ont pu localement influencer les tendances observées : c'est le cas de la mise en eau du Polder de Sainte-Marie-du-Mont qui a favorisé des espèces à affinité plus littorale et maritime sans qu'elles se substituent aux espèces à affinité plutôt continentale. En revanche, le changement des milieux du secteur 7B, secteur principal de la Baie des Veys, a certainement eu un effet plus nuancé, participant potentiellement à l'augmentation des effectifs du Tournepieuvre à collier et du Bécasseau sanderling mais également à la régression du Bécasseau variable. De telles modifications des milieux, sans forcément affecter les tendances à l'échelle de l'unité fonctionnelle, peuvent entraîner une évolution de la répartition spatiale des individus.

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 secteurs et unités fonctionnelles ainsi que les tendances temporelles spécifiques aux secteurs 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, du dérangement anthropique ou de la marée sur les effectifs accueillis sur les reposoirs. Enfin la



réalisation d'autres protocoles répondant à des questionnements différents peut venir compléter nos connaissances sur les populations d'oiseaux utilisant ces deux unités fonctionnelles. Le suivi des zones de gagnage en lien avec le dérangement anthropique, qui sera mis en place en 2018, devrait nous permettre de mieux comprendre certaines disparités entre secteurs, reposoirs et zones de gagnage étant fortement liés. L'étude des déplacements d'individus, par baguage ou méthode télémétrique, permettrait également de mieux comprendre les mouvements au sein et en dehors de chaque unité fonctionnelle. Enfin le suivi des ressources trophiques telles que le gisement de coques pour l'Huîtrier-pie pourrait confirmer ou infirmer les hypothèses quant aux variations temporelles et répartition spatiale de certaines populations.

## 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), 549-559.
- Bunel, M., 2008. Peuplements de limicoles côtiers de la Baie des Veys et de la Côte Est Cotentin : étude des reposoirs de haute-mer (Rapport de stage de Master 2).
- Caille, M., 2011. Approche comparée des communautés de limicoles côtiers en Hiver au service des gestionnaires du littoral métropolitain (Rapport de stage Master 1).
- Caillot, E., 2012. Volet " limicoles côtiers " - Observatoire " littoral, limicoles et macrofaune benthique ".
- Caillot, E., 2016. Observatoire du patrimoine naturel littoral – un outil piloté par et pour les gestionnaires.
- Caillot, E., Caille, M., 2015. Observatoire du Patrimoine Naturel Littoral - Rapport final (convention AAMP-RNF 2012-2015): Etat d'avancement et perspectives.
- Caillot, E., Elder, J.-F., 2000. Synthèse annuelle (Déc 98 - Déc 99) - Réseau "Limicoles côtiers ", Baie des Veys / Littoral Est Cotentin.
- 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., 2000. Evaluation du Plan de Gestion 1995 – 2000 de la Réserve Naturelle du Domaine de Beauguillot
- 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., Blond, M., 2012. Plan de gestion 2012 - 2021 de la Réserve Naturelle Nationale du Domaine de Beauguillot.
- 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.
- Mahéo, R., Le Dréan-Quenec'hdu, S., (2000 à) 2017. Limicoles séjournant en France (Littoral) - Janvier (2000 à) 2017.
- Pedrot, C., Bunel, M., Caillot, E., 2009. Peuplements de limicoles côtiers Baie des Veys - Littoral Est Cotentin - Bilan 1999 - 2007. Réseau " Limicoles côtiers " Baie des Veys - Littoral Est Cotentin.
- Quaintenne, G., Dubois, P.J., Deceunick, B., Mahéo, R., 2015. Limicoles côtiers hivernant en France: tendances des stationnements (1980 - 2013). *Ornithos* **2**, 57-71.
- Réserves Naturelles de France, n.d. Un protocole mensuel de surveillance au service du littoral français ...
- 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.
- Timsit, O., 2000. Etude spatio-temporelle des stationnements de limicoles en Baie des Veys – Relation avec les activités humaines.
- Timsit, O., 2001. Evaluation de l'impact des dérangements d'origine anthropique sur les limicoles de la baie des Veys.
- Timsit, O., 2002. Evaluation de l'impact des dérangements d'origine anthropique sur les limicoles de la baie des Veys.

- Trolliet, B., Mahéo, R., Le Dréan-Quenec'hdu, S., Boudina, S., Girard, O., 2017. Les limicoles côtiers hivernant en France métropolitaine: bilan de 40 années de suivi (1977 - 2016). *Faune Sauvage*.
- Visser, H., 2004. Estimation and detection of flexible trends. *Atmospheric Environment*. **38** (25)
- Wetlands International, 2017. Waterbird population Estimates, [wpe.wetlands.org](http://wpe.wetlands.org).
- 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](http://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

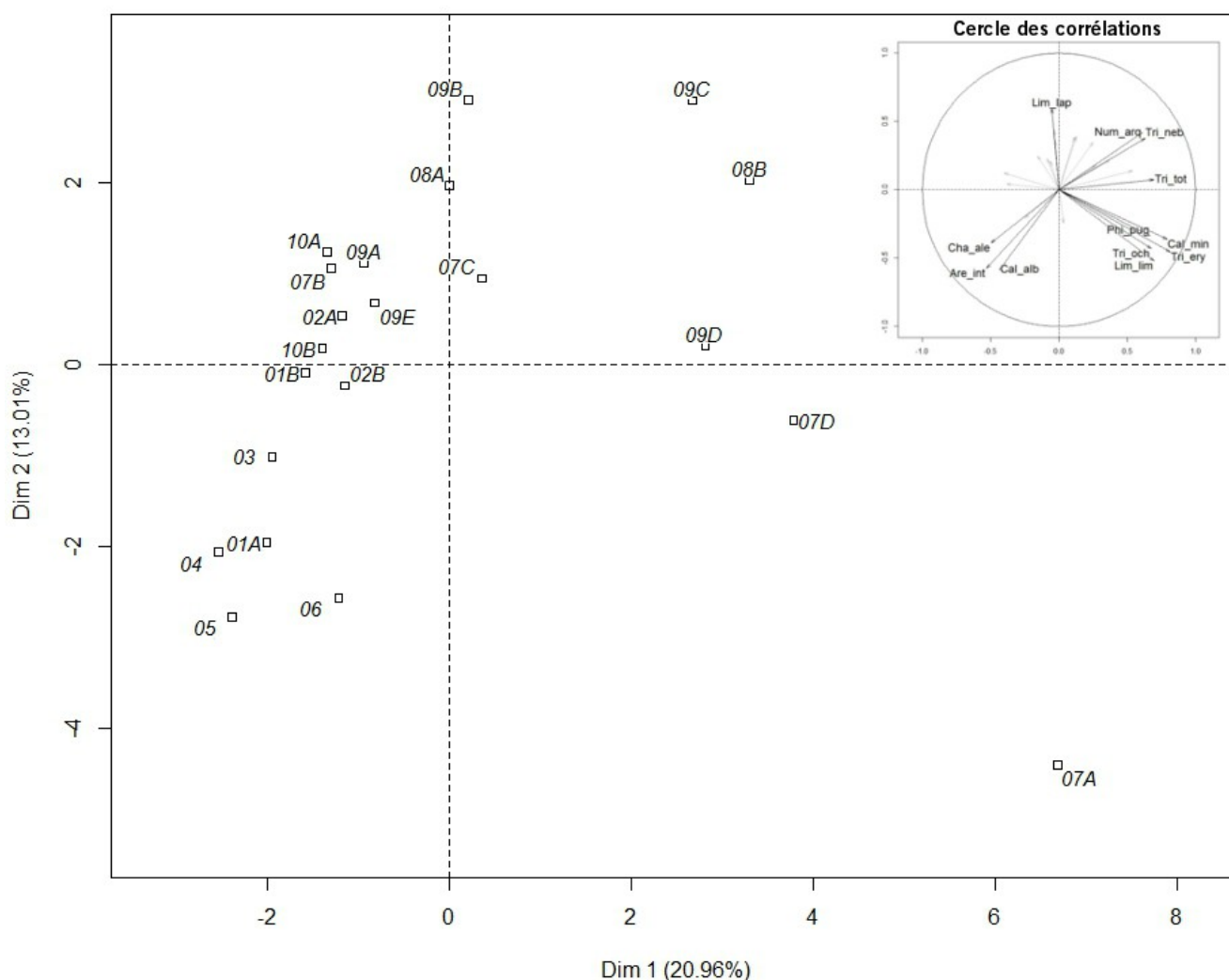
<u>Annexe 1</u> : Tableau présentant les principaux packages R utilisés afin de réaliser les analyses....	130
<u>Annexe 2</u> : Nuage d'individus et cercle des corrélations de l'ACP réalisée à partir de la part dans le peuplement annuel de chaque taxon sur l'ensemble des secteurs de suivi.....	131
<u>Annexe 3</u> : Evolution des effectifs hivernaux entre 2000 et 2017 en Baie des Veys.....	132
<u>Annexe 4</u> : Evolution des effectifs post-nuptiaux entre 2000 et 2017 sur le Littoral Est-Cotentin.....	133
<u>Annexe 5</u> : Evolution des effectifs post-nuptiaux entre 2000 et 2017 en Baie des Veys.....	134
<u>Annexe 6</u> : Evolution des effectifs pré-nuptiaux entre 2000 et 2017 sur le Littoral Est-Cotentin.....	137
<u>Annexe 7</u> : Evolution des effectifs pré-nuptiaux entre 2000 et 2017 en Baie des Veys.....	139
<u>Annexe 8</u> : Intérêt du complexe RNNDB - Polder entre 2000 et 2016.....	141
<u>Annexe 9</u> : Variation de l'indice de présence au cours d'un cycle sur l'unité fonctionnelle.....	142

## Annexes

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

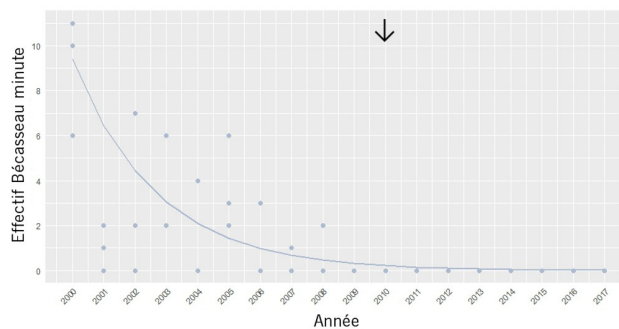
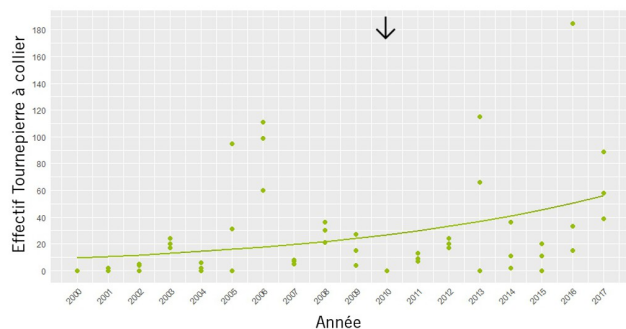
Package / fichier	Fonctions utilisées	Utilisation dans l'étude	Source
GrapheR	-	Graphiques basiques	Hervé, 2011
ggplot2	-	Graphiques	Wickham, 2009
fmsb	radarchart( )	Diagrammes radar (phénologie)	Nakazawa, 2017
Rcmdr	-	ACP et CAH	Fox, 2005, 2017 ; Fox & Bouchet-Valat, 2016
glmmADMB	glmmadmb( )	Modèles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

## Nuage des individus

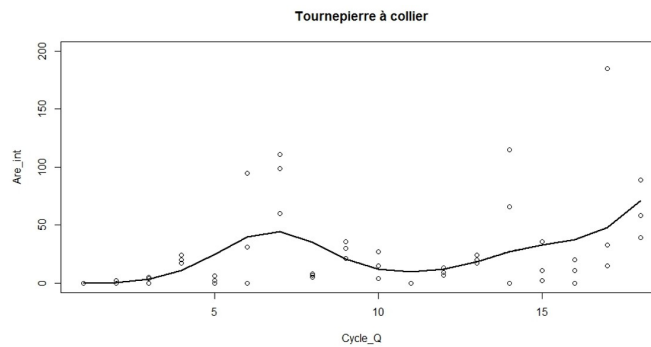
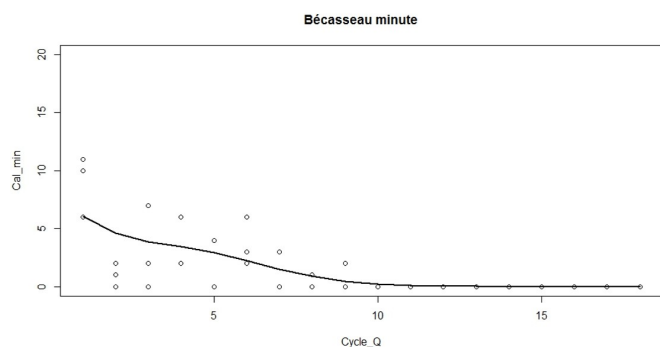


Annexe 2 : Nuage d'individus et cercle des corrélations (coin supérieur droit) de l'ACP réalisée à partir de la part dans le peuplement annuel de chaque taxon sur l'ensemble des secteurs de suivi. Afin d'en faciliter la lecture, seuls les 12 taxons les mieux projetés sont représentés sur le cercle des corrélations, les autres sont indiquées par des flèches grisées

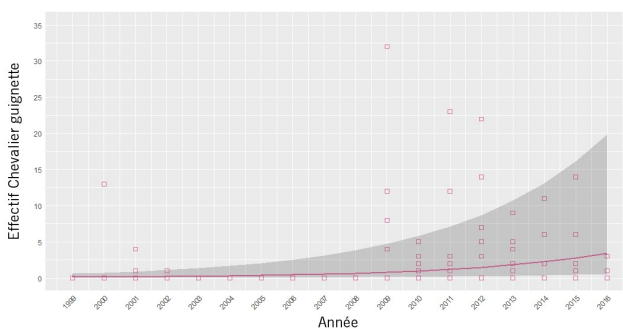
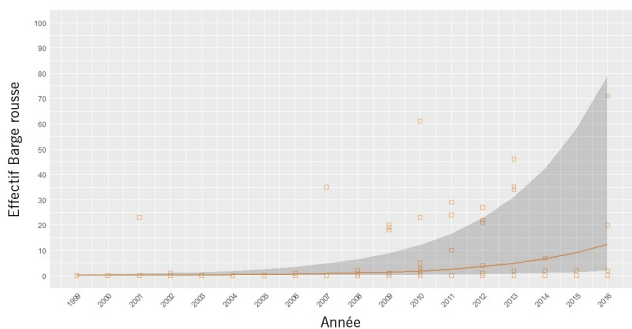
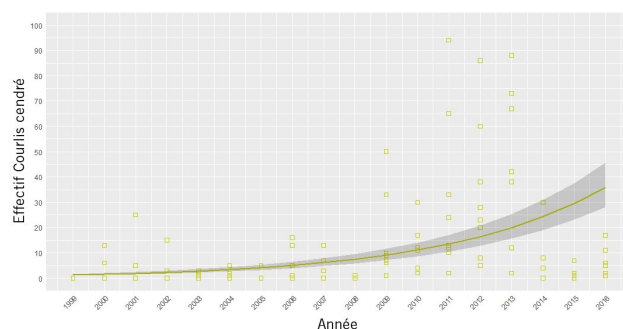
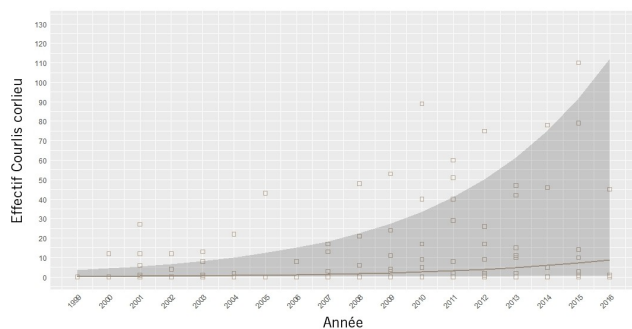




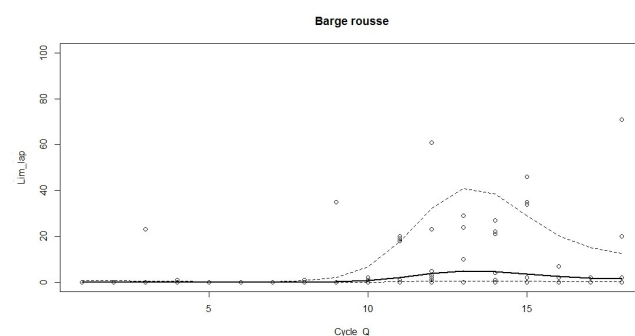
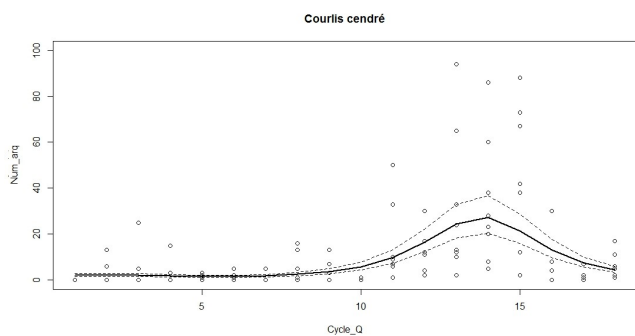
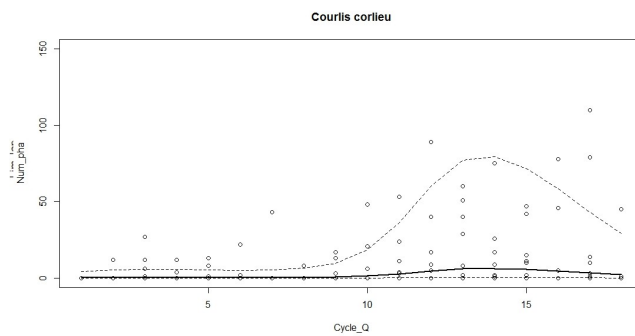
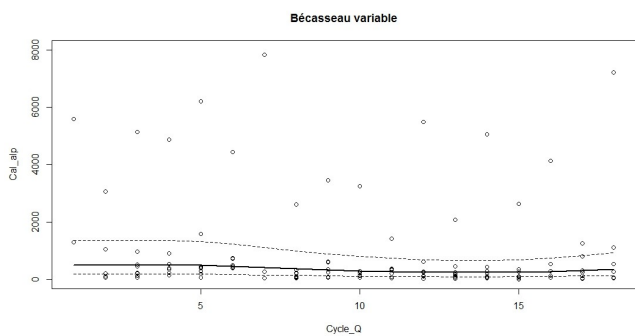
**Annexe 3a :** Evolution des effectifs hivernaux entre 2000 et 2017 en Baie des Veys. Les cercles représentent les valeurs observées et les courbes en train plein le modèle statistique de type GLMM. Les zones grisées représentent les écart-types (très faibles pour le Tournepieuvre à collier et le Bécasseau minute) de l'effet aléatoire du mois ou de la décade d'observation. La date de mise en eau du Polder est indiquée par une flèche.



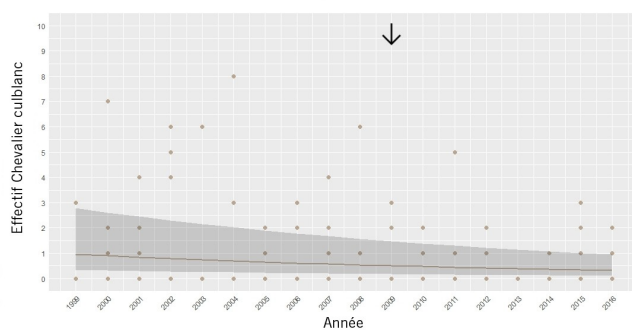
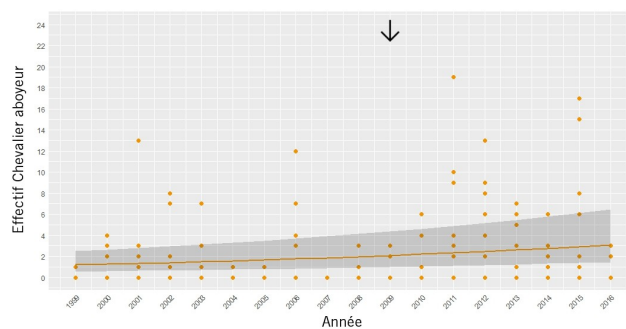
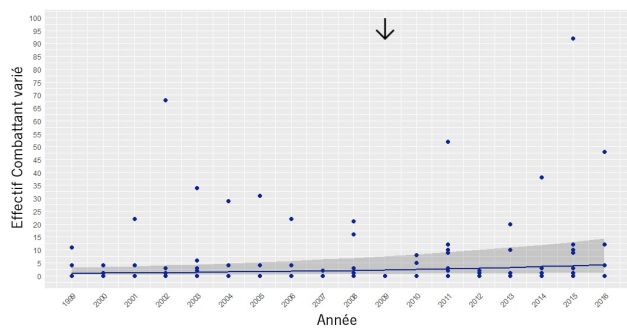
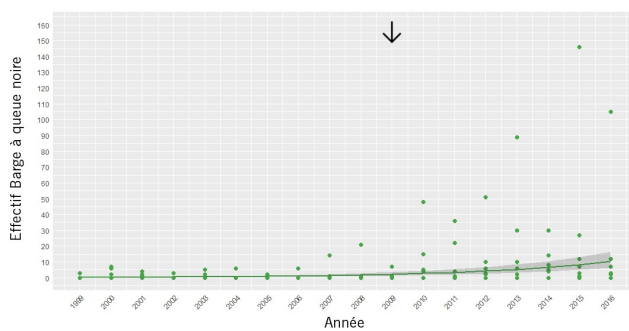
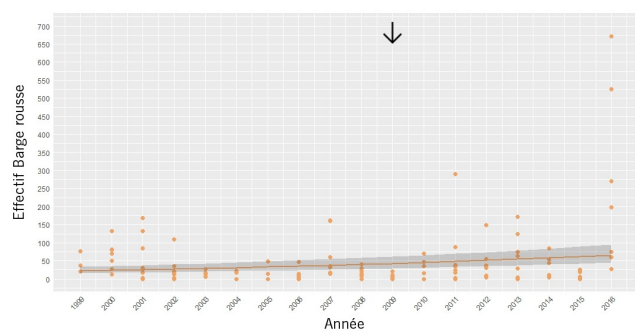
**Annexe 3b :** Evolution des effectifs hivernaux entre 2000 et 2017 en Baie des Veys. Les cercles représentent les valeurs observées et les courbes en train plein le modèle statistique de type GAMM. Les tirets représentent les écart-types (très faibles pour le Tournepieuvre à collier et le Bécasseau minute) de l'effet aléatoire du mois ou de la décade d'observation.



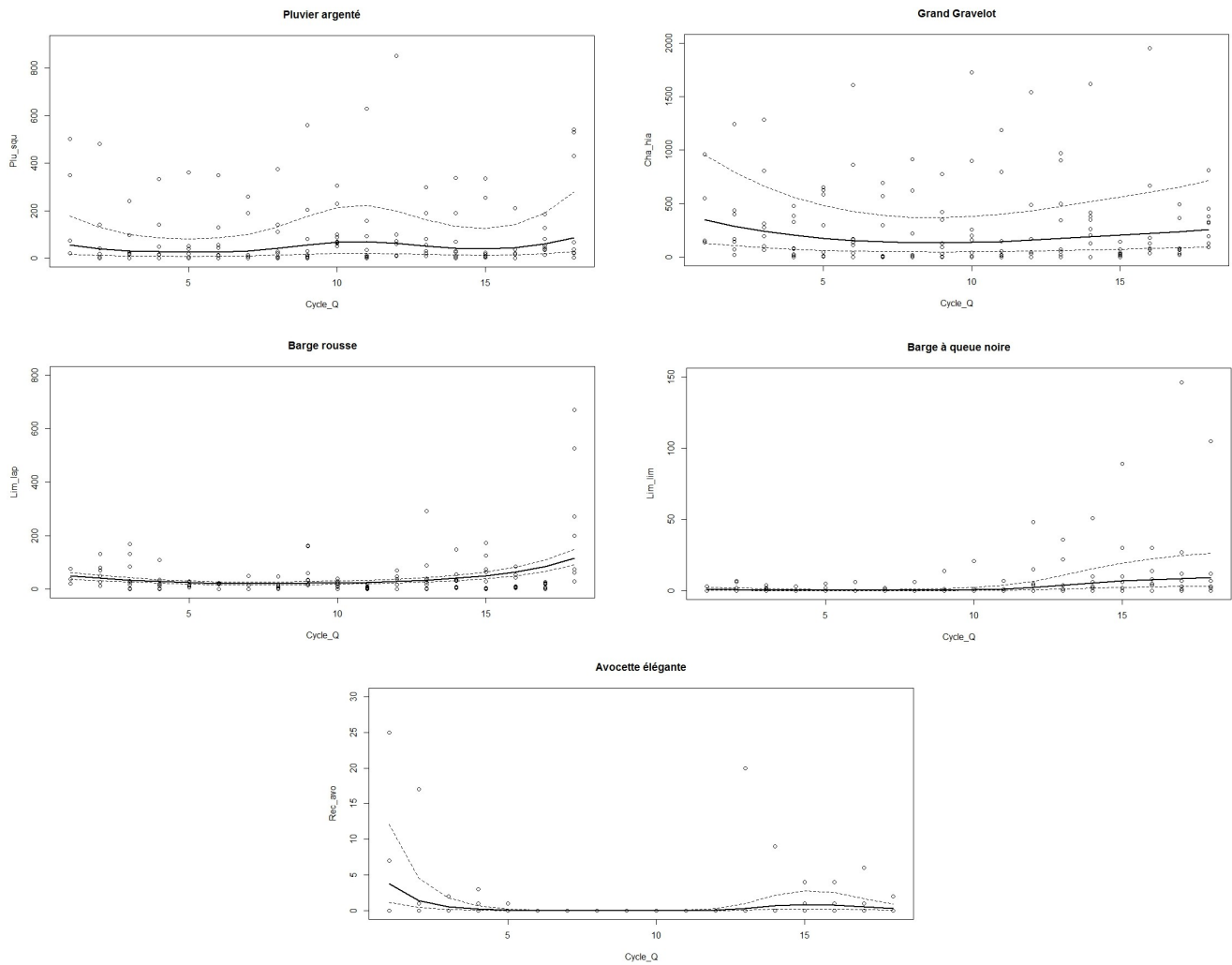
**Annexe 4a :** Evolution des effectifs post-nuptiaux entre 2000 et 2017 sur le Littoral Est-Cotentin. Les carrés représentent les valeurs observées et les courbes en train plein le modèle statistique de type GLMM. Les zones grisées représentent les écart-types de l'effet aléatoire du mois ou de la décade d'observation.



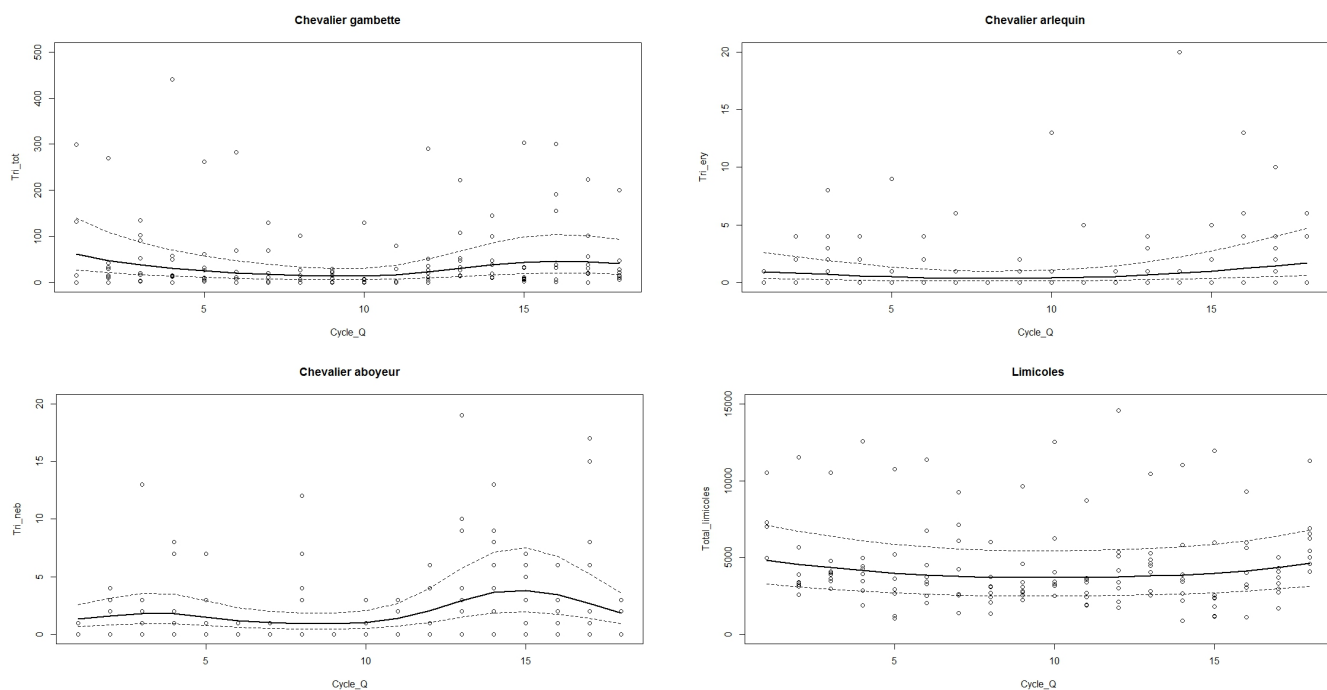
**Annexe 4b :** Evolution des effectifs post-nuptiaux entre 2000 et 2017 sur le Littoral Est-Cotentin. Les cercles représentent les valeurs observées et les courbes en train plein le modèle statistique de type GAMM. Les tirets représentent les écart-types de l'effet aléatoire du mois ou de la décade d'observation.



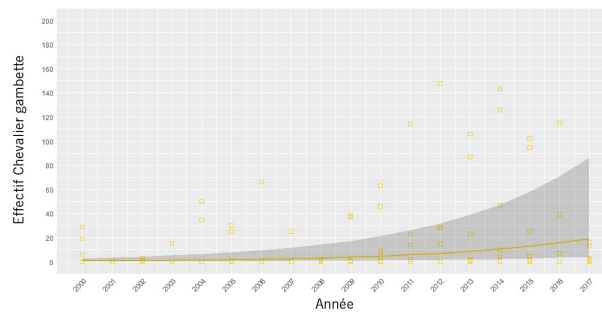
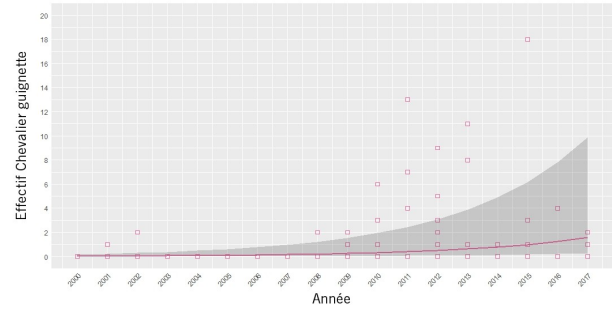
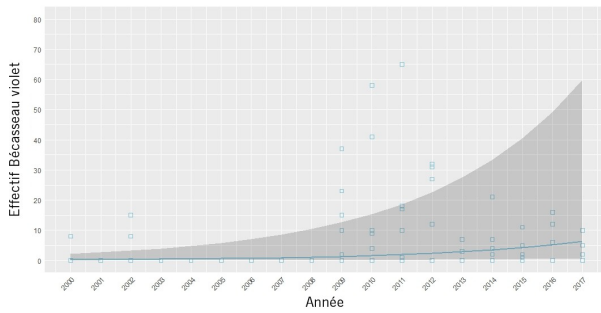
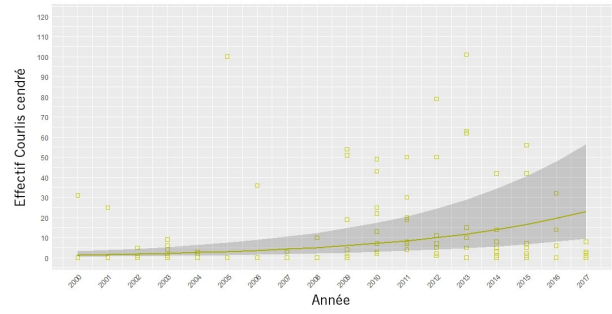
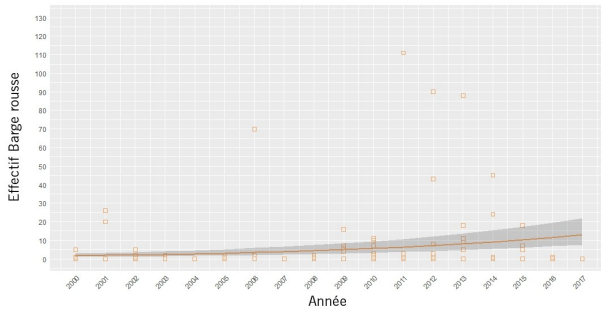
Annexe 5a : Evolution des effectifs post-nuptiaux entre 2000 et 2017 en Baie des Veys. Les cercles représentent les valeurs observées et les courbes en train plein le modèle statistique de type GLMM. Les zones grisées représentent les écart-types de l'effet aléatoire du mois ou de la décade d'observation. La date de mise en eau du Polder est indiquée par une flèche.



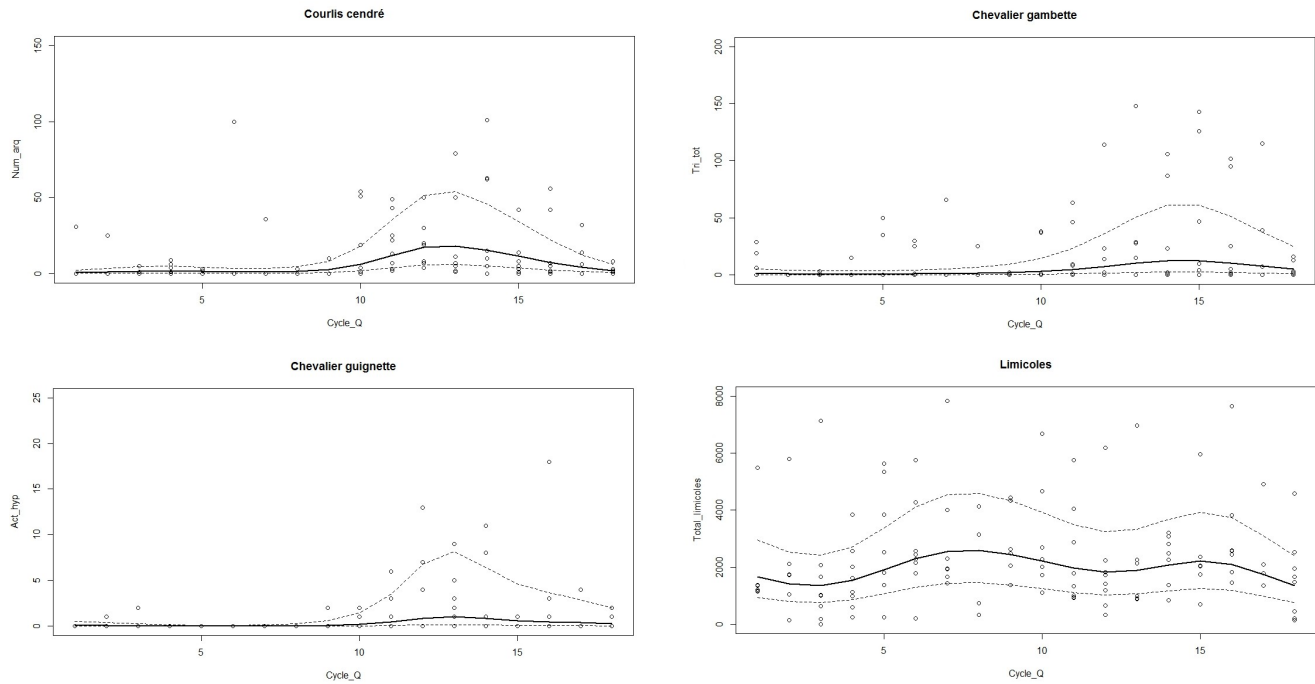
Annexe 5b: Evolution des effectifs post-nuptiaux entre 2000 et 2017 en Baie des Veys. Les cercles représentent les valeurs observées et les courbes en train plein le modèle statistique de type GAMM. Les tirets représentent les écart-types de l'effet aléatoire du mois ou de la décade d'observation.



Annexe 5c : Evolution des effectifs post-nuptiaux entre 2000 et 2017 en Baie des Veys. 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 du mois ou de la décade d'observation.

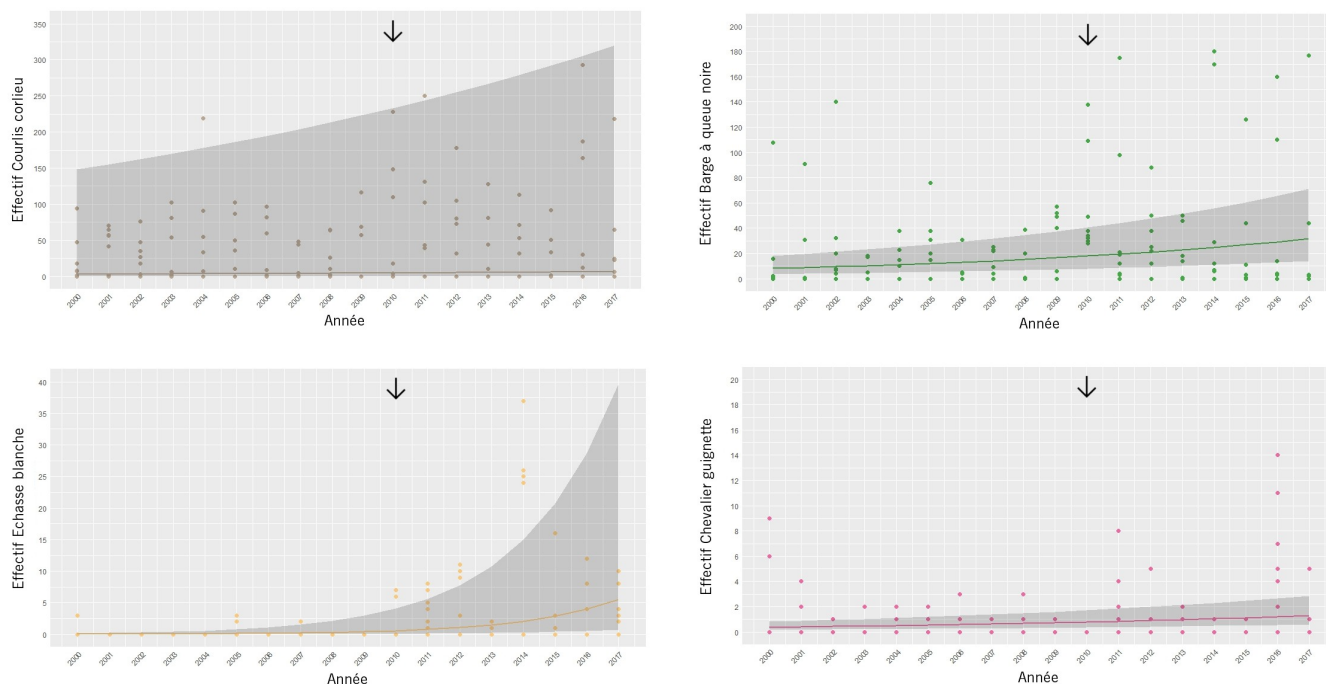


Annexe 6a : Evolution des effectifs pré-nuptiaux entre 2000 et 2017 sur le Littoral Est-Cotentin. Les carrés représentent les valeurs observées et les courbes en train plein le modèle statistique de type GLMM. Les zones grisées représentent les écart-types de l'effet aléatoire du mois ou de la décade d'observation.

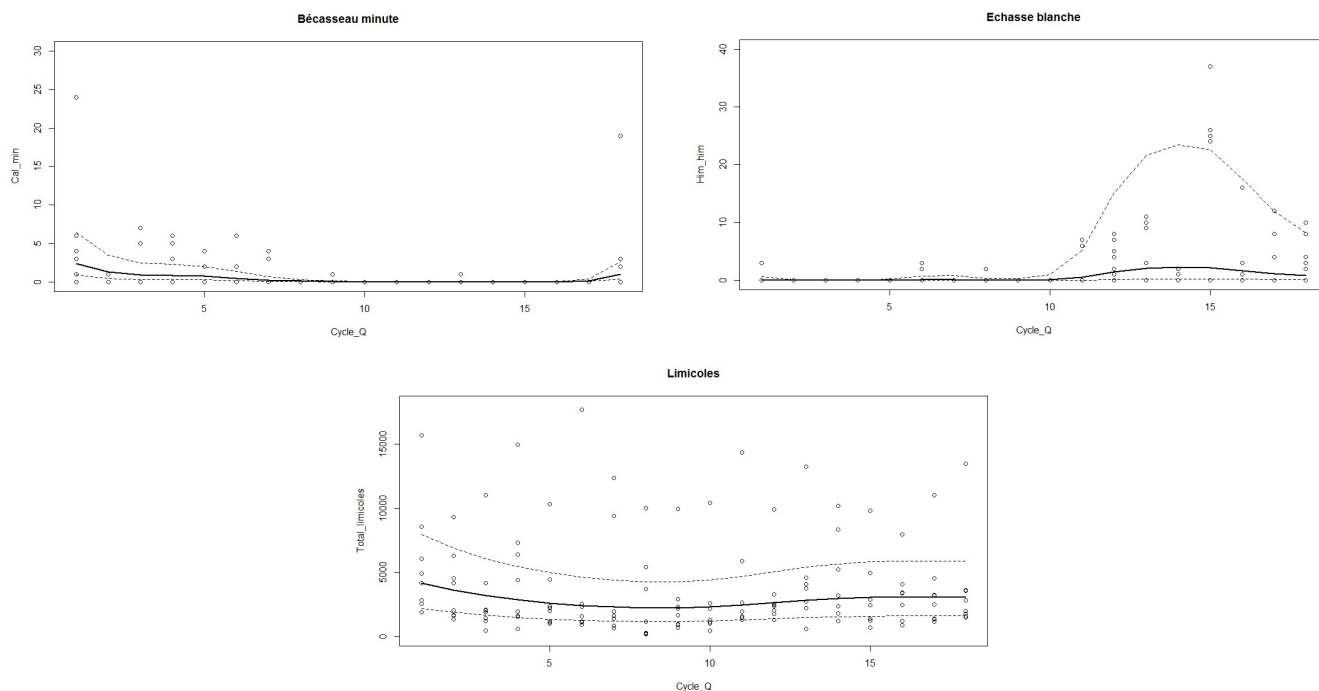


Annexe 6b : Evolution des effectifs pré-nuptiaux entre 2000 et 2017 sur le Littoral Est-Cotentin. Les cercles représentent les valeurs observées et les courbes en train plein le modèle statistique de type GAMM. Les tirets représentent les écart-types de l'effet aléatoire du mois ou de la décade d'observation.

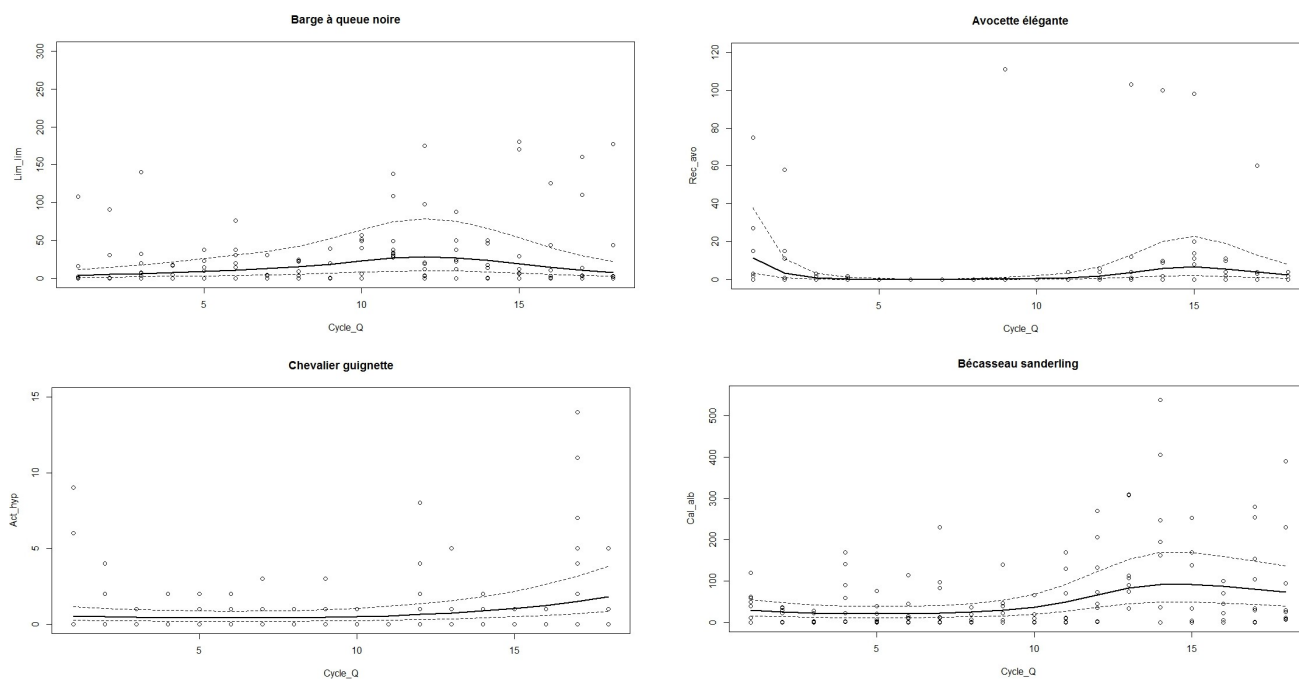




**Annexe 7a :** Evolution des effectifs pré-nuptiaux entre 2000 et 2017 en Baie des Veys. Les cercles représentent les valeurs observées et les courbes en train plein le modèle statistique de type GLMM. Les zones grisées représentent les écart-types de l'effet aléatoire du mois ou de la décade d'observation. La date de mise en eau du Polder est indiquée par une flèche.



**Annexe 7b :** Evolution des effectifs pré-nuptiaux entre 2000 et 2017 en Baie des Veys. 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 du mois ou de la décade d'observation.

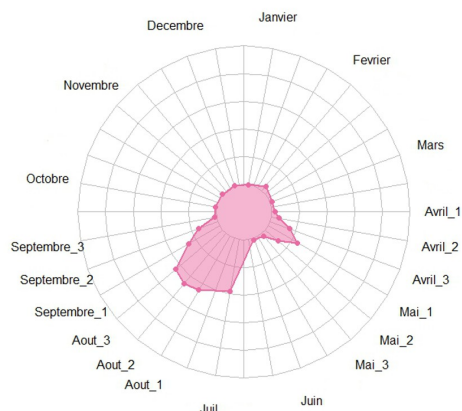
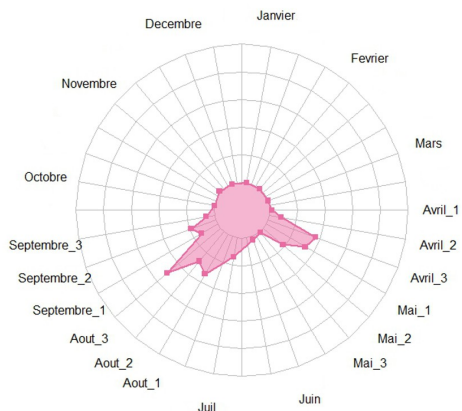


Annexe 7c : Evolution des effectifs pré-nuptiaux entre 2000 et 2017 en Baie des Veys. Les cercles représentent les valeurs observées et les courbes en train plein le modèle statistique de type GAMM. Les tirets représentent les écart-types de l'effet aléatoire du mois ou de la décade d'observation.

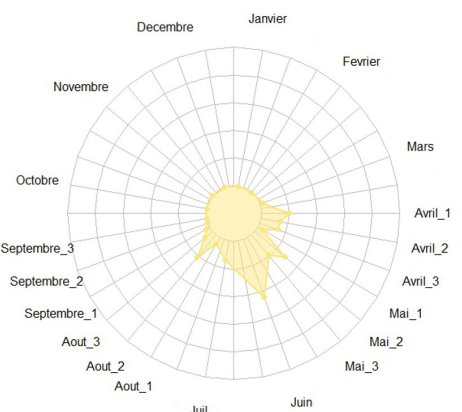
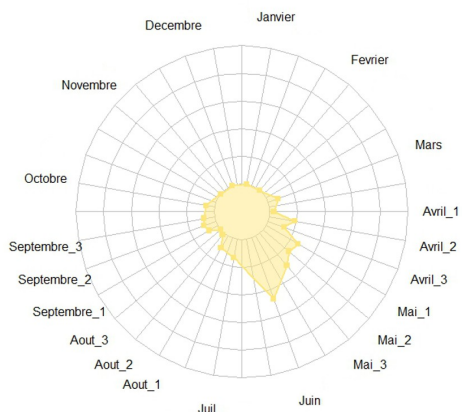
Annexe 8 : Intérêt du complexe RNNDB - Polder pour les principales espèces entre 2000 et 2016. « I » correspond à un intérêt international, « N » à un intérêt national et « R » indique un intérêt régional. L'intérêt n'est pas calculé pour l'année 2017, la synthèse annuelle n'étant pas encore publiée. Les espèces principales sont figurées en gras et celles pour lesquelles le suivi est moins adapté en italique.

Taxon	Intérêt du complexe RNNDB - Polder																	
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<b>Bécasseau variable</b>	N	N	I	I	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
<b>Huîtrier pie</b>	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N		N	N	N
<i>Courlis cendré</i>	N	N	N	N		N	N	N	N	N	N	N	N	N				N
<b>Pluvier argenté</b>	I	N	I	N	N	N	N	N	N	N	N	I	N	N	N	N	N	N
<b>Grand gravelot</b>																		
Barge rousse	N	N	N	N	N	N	N	N		R	N	I	N	N	N	N	N	N
Chevalier gambette	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	R	N
Bécasseau sanderling						N			N									N
Bécasseau maubèche	R													R		R	R	R
<i>Barge à queue noire</i>	R	R				R	R	R	R	R	N	R	R	R	R	R	R	R
<i>Combattant varié</i>	R	R	R	R	R	R	R	R	R		R	R	R	R	R	R	R	R
Tourneperre à collier																		
<i>Avocette élégante</i>	R	R																
Gravelot à collier int.																		N
Chevalier arlequin	R	N		N	N	N	N	R	R	R	R	N		N	N	N	N	R
Bécasseau minute	R			R	R	R	R	R	R		R	R	R		R	R	R	
Bécasseau violet																		
Total Limicoles			I	I								I						

Chevalier guignette

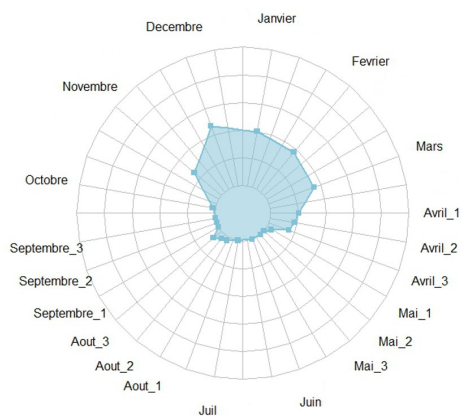


Grand Gravelot

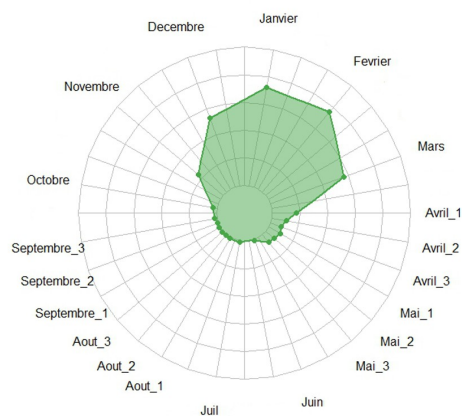


Annexe 9a : **A gauche** : Indice de présence au cours d'un cycle sur l'unité fonctionnelle « Littoral Est-Cotentin » ; **à droite** : Indice de présence au cours d'un cycle sur l'unité fonctionnelle « Baie des Veys »

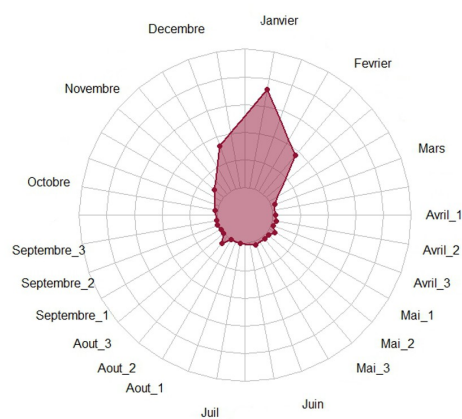
Bécasseau violet (LEC)



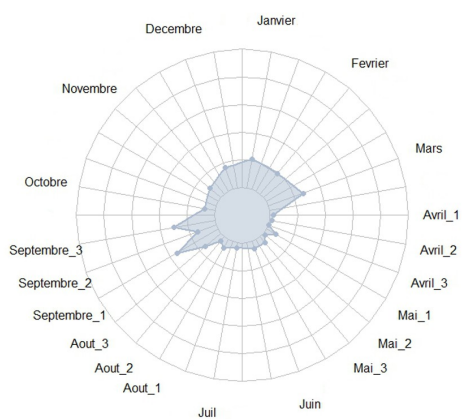
Barge à queue noire (BDV)



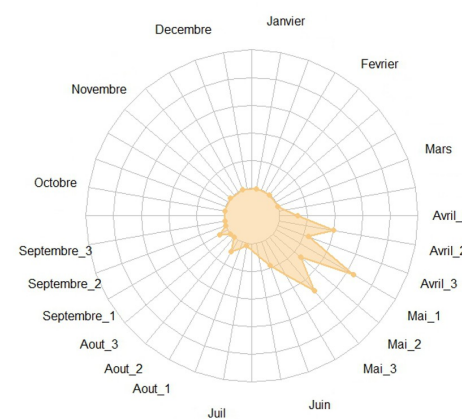
Avocette élégante (BDV)



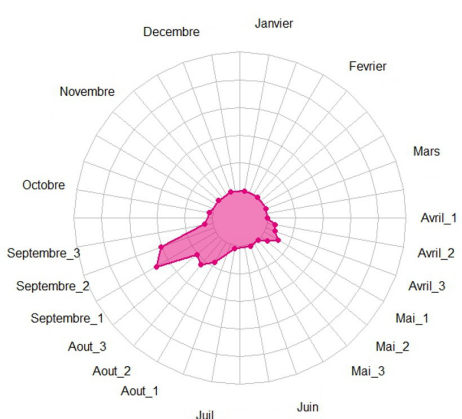
Bécasseau minute (BDV)



Echasse blanche (BDV)

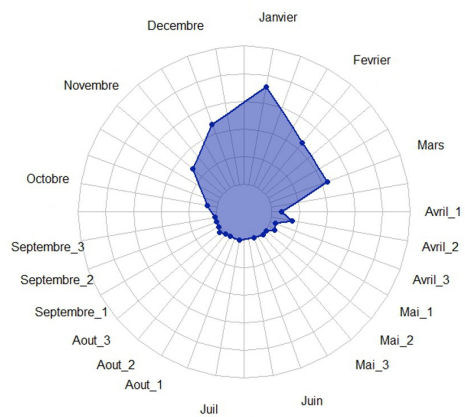


Bécasseau cocorli (BDV)

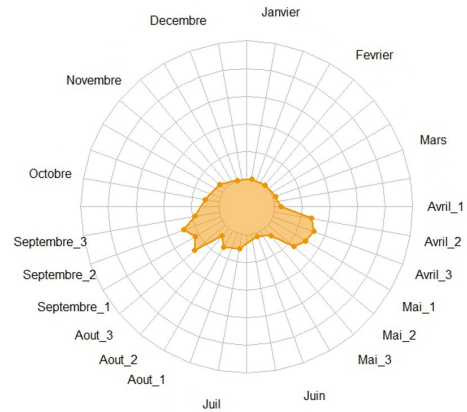


Annexe 9b : Indice de présence au cours d'un cycle sur l'unité fonctionnelle. L'unité fonctionnelle concernée est indiquée entre parenthèses : « BDV » pour « Baie des Veys » et « LEC » pour « Littoral Est-Cotentin »

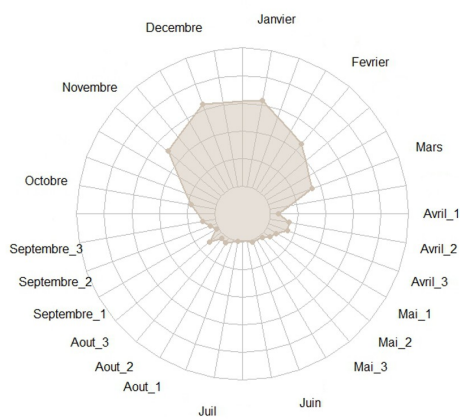
Combattant varié



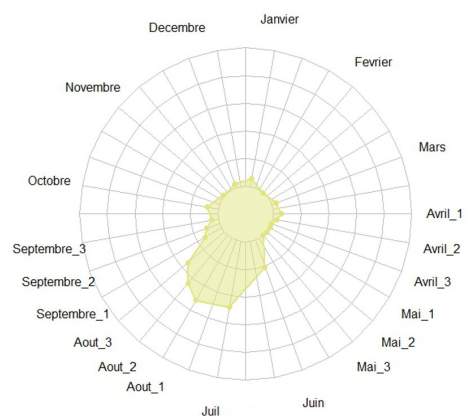
Chevalier aboyeur



Chevalier arlequin



Chevalier cul-blanc



Annexe 9c : Indice de présence au cours d'un cycle sur l'unité fonctionnelle « Baie des Veys »