



Etude sur l'utilisation de la baie de l'Aiguillon et des marais périphériques par les anatidés hivernants

Livable

Rapport d'étude sur l'utilisation de la baie de l'Aiguillon et des marais périphériques par les anatidés hivernants

Rédaction

Office français de la biodiversité – Ligue pour la Protection des Oiseaux (Paméla Lagrange)
Relecteurs : Régis Gallais, Emmanuel Joyeux, Matthieu Guillemain, Jean-Pierre Guéret, Louise Froud, Alain Texier, Elise Chourré, Loïc Chaigneau, Céline Arzel, Sébastien Farau.

Action de référence

Action A5 - Etude sur l'utilisation de la baie de l'Aiguillon et des marais périphériques par les anatidés hivernants

Bénéficiaire responsable de la mise en œuvre de l'action

OFB

Responsabilités des bénéficiaires

OFB, responsable de l'action et animation des partenariats et LPO, participation de la mise en œuvre

Période de mise en œuvre de l'action

01/01/2016 au 31/12/2020

Porteur du projet LIFE Baie de l'Aiguillon

Parc naturel régional du Marais poitevin

Pour citation du rapport

Lagrange, P. (2022). Etude sur l'utilisation de la baie de l'Aiguillon et des marais périphériques par les anatidés hivernants. OFB-LPO. Rapport d'étude Life Baie de l'Aiguillon, 69 p.



Remerciements

Un grand merci à tous les contributeurs de l'étude, bénévoles, partenaires ou « anciens » de la RNN baie de l'Aiguillon : Frédéric Corre, Sylvain Haie, Olivia Mercier, Anaïde Grit, Christophe Gillette, Jacques Marquis, Sébastien Farau, Fabrice Bernard, Stéphane Guhur, Maud Lardon et l'expertise de François Cavallo pour la détermination des graines, ainsi que les nombreux stagiaires : Fanny JOURNEAU (BTS **GPN**), Emma PORON (DUT Génie biologique), Marylin TRUBERT (M1 Patrimoine Naturel et Biodiversité), Paul Payen (Bac pro GMNF), Grégoire ROY (BTS GPN), Ferdinand LEDOUX (Licence 3 SVT), Mélissa FLEURY (M1 biologie, écologie, évolution), Baptiste BRUNET (IUT 'Génie biologique'), Céline Bouvais (M2 Ecologie et éco-ingénierie des zones humides).

Résumé

La complémentarité entre la vasière de la baie de l'Aiguillon, les prairies humides pour l'alimentation (zone de gagnage nocturne) et les espaces naturels protégés pour le repos (zone de remise diurne) a été démontrée en 2005 et expliquée par l'hypothèse d'une faible qualité trophique des différents sites. Cette hypothèse, grâce aux avancées technologiques, a été étudiée dans ce présent rapport à travers 3 volets portant sur 1) La mise à jour de la localisation des sites de gagnage/remise par l'équipement de balise GPS sur Sarcelle d'hiver, Canard colvert et Canard pilet, 2) l'étude du régime alimentaire par analyse des contenus de gésiers des anatidés prélevés à la chasse en périphérie de la baie et 3) l'étude de la ressource alimentaire via l'échantillonnage de la banque de graine du sol sur prairie humide et pré salé.

Il en ressort que le régime alimentaire divergeait partiellement de la littérature, comme par exemple chez la Sarcelle d'hiver observée consommant des invertébrés en dehors de sa période de reproduction. La ressource alimentaire en graines était plus élevée en prairie humide qu'en pré salé, bien que cette abondance variait entre les saisons et les années, probablement en lien avec les flux d'eau (marais en eau l'hiver, marées sur les prés salés), plus que par les effets du pâturage ou de la fauche. Les données des balises indiquaient la dispersion des individus la nuit pour l'alimentation sur les communaux pour les sarcelles (Magnils-Reigniers) ou des cours d'eau intérieurs pour les colverts (dont 12 % en dehors du Marais poitevin), alors que les individus se regroupent en journée sur les zones de remise en espaces protégés de la Prée mizottière, les RNNs de Saint-Denis-du-Payré et de la baie de l'Aiguillon. Si la Sarcelle d'hiver utilisait préférentiellement les espaces naturels protégés ou à vocation environnementale pour les zones de remise, le Canard colvert a fréquenté essentiellement des sites hors espaces protégés avec une fréquentation plus élevée en gagnage qu'en remise sur ces sites. Le type d'habitat utilisé a également été étudié au cours de l'hiver. Ces résultats renforcent et approfondissent la précédente étude sur le rôle fonctionnel du Marais poitevin.

Summary

The connectivity between the bay's mudflat, wet meadows for food (night feeding area) and natural protected areas for rest (diurnal rest area) was demonstrated in 2005 and explained by the hypothesis of low trophic quality of the different sites. This hypothesis, thanks to technological advances, has been studied in 3 parts: 1) Updating the location of feeding/rest areas by GPS beacon equipment on Teal, Mallard and Northern pintail, 2) studying diet by analysing the contents of gizzards of Anatidae hunted around the bay and 3) studying feeding resource by sampling the soil seed bank on wet meadows and salt marshes.

It appears that diet differed partially from the literature, as for example in teals observed consuming invertebrates outside breeding season. The feeding resource in seeds was higher in wet meadows than in salt marshes, although this abundance varied between seasons and years, probably in connection with water flow (flooding of meadows in winter, tides on salt marshes), more than by the effects of pasture or mowing. The data from the GPS beacons indicated the dispersion of individuals at night for food on the communaux for teals (Magnils-Reigniers) or interior streams for the mallards (including 12% outside the Marais poitevin), whereas individuals gather during the day in natural protected areas such as La Prée Mizottière, the nature reserves of Saint-Denis-du-Payré and Baie de l'Aiguillon. While the Winter Teal

preferentially used protected natural areas or those with an environmental vocation for rest areas, the Mallard mainly frequented sites outside protected areas particularly for feeding area. The used of habitat type was also studied during winter. These results strengthen and deepen the previous study on the functional role of the Marais poitevin.

TABLE DES MATIERES

1.	INTRODUCTION GENERALE	6
2.	ETUDE DU REGIME ALIMENTAIRE DES ANATIDES	7
2.1.	Mise en contexte	7
2.2.	Méthodologie	7
2.3.	Résultats et interprétations.....	8
2.3.1.	Echantillons collectés	8
2.3.2.	Contenu des gésiers et régime alimentaire	9
2.3.2.1.	Occurrence du type de ressource alimentaire pour l'ensemble des anatidés.....	9
2.3.2.2.	Occurrence du type de ressource alimentaire par espèce d'anatidés.....	10
	Canard pilet	10
	Canard souchet	10
	Sarcelle d'hiver	11
	Canard chipeau et Canard siffleur	11
	Canard colvert	11
2.3.2.3.	Diversité du régime alimentaire.....	12
2.3.2.4.	Biomasse en graines.....	13
	Limite de la biomasse en graines	13
	Evolution de la biomasse ingérée.....	14
2.3.2.5.	Variation du régime alimentaire des anatidés.....	17
2.3.2.6.	Zoom sur le régime alimentaire de la Sarcelle d'hiver.....	19
2.4.	Synthèse et perspectives	20
3.	ETUDE DE LA BANQUE DE GRAINES DISPONIBLE DANS L'HABITAT	22
3.1.	Mise en contexte	22
3.2.	Méthodologie.....	22
3.3.	Résultats et interprétations	25
3.3.1.	Echantillons collectés.....	25
3.3.2.	Description de la diversité en graines dans les carottages	25
3.3.3.	Evolution de la diversité en genres de graines dans le sol.....	29
3.3.4.	Evolution du nombre de graines dans le sol.....	32
3.3.5.	Evolution de la biomasse en graines dans le sol	35
3.3.5.1.	Limite de la biomasse intraspécifique	35
3.3.5.2.	Biomasse globale	35
3.3.6.	Effet de la fauche sur la banque de graines en prairie humide.....	39
3.3.7.	Evolution temporelles des occurrences de genres	40

3.4.	Synthèse et perspectives	41
4.	ETUDE DE L'UTILISATION DE L'ESPACE PAR LES ANATIDES.....	43
4.1.	Mise en contexte	43
4.2.	Méthodologie.....	43
4.2.1.	Techniques de captures et matériel pour le suivi individuel	43
4.2.2.	Analyse des localisations par les balises GPS	44
4.2.3.	Analyse des domaines vitaux.....	45
4.2.4.	Analyse par CMR des issues des relectures de marques nasales	46
4.3.	Résultats et interprétations	47
4.3.1.	Pose et fonctionnalité des GPS.....	47
4.3.2.	Cartographies des localisations enregistrées	52
4.3.2.1.	Echelle internationale sur l'ensemble du cycle biologique	52
4.3.2.2.	Echelle du Marais poitevin en hivernage	53
4.3.2.3.	Sarcelle d'hiver en hivernage et période de reproduction.....	53
4.3.2.4.	Canard colvert en hivernage hors Marais poitevin.....	55
4.3.2.5.	Canard pilet hivernant	55
4.3.3.	Etude des domaines vitaux.....	56
4.3.3.1.	Comparaison des trois méthodes d'estimation des domaines vitaux.....	56
4.3.3.2.	Domaines vitaux en hivernage.....	57
4.3.4.	Utilisation des parcelles à vocation environnementale.....	58
4.3.5.	Utilisation de l'habitat	59
4.3.6.	Survie et détection estimées (CMR)	60
4.4.	Synthèse et perspectives	61
5.	BIBLIOGRAPHIE.....	63
6.	LISTE DES PIECES ANNEXES	65

1. INTRODUCTION GENERALE

La zone humide du Marais poitevin et la baie de l'Aiguillon constituent un écosystème d'intérêt international pour les oiseaux d'eau, en particulier pendant l'hivernage (Synthèse Wetlands International 2020).

Le Marais poitevin est composé de 46 859 ha de marais desséchés (paysage ouvert exploité en cultures et en prairies), de 32 338 ha de marais mouillés et vallées alluviales (zone d'expansion de crues majoritairement constituée de prairies), du marais intermédiaire sur 18 819 ha (reliquat d'anciens marais mouillés gérés en desséchés) et de sa façade maritime, sur 9 510 ha, constituée de l'estran (vaseux, sableux ou rocheux, prés salés) ainsi que de milieux dunaires (Forum des Marais Atlantiques, 1999).

Ces différents milieux sont utilisés indépendamment par les anatidés suivant leur rythme d'activité nyctéméral. Il a été montré une utilisation des prairies humides pour l'alimentation (zone de gagnage nocturne) et une utilisation de la vasière de la baie de l'Aiguillon et des autres espaces naturels protégés pour le repos (zone de remise diurne). Fritz et al. (2005) supposent que ce comportement découle d'une faible qualité trophique des sites ou d'une rapide diminution de la ressource alimentaire due à une forte fréquentation du milieu dès le début de l'hiver.

Des comptages hivernaux sont réalisés dans le Marais poitevin et notamment sur des sites protégés depuis les années 1970, afin de mieux appréhender l'évolution des populations. Depuis 2004, ces données sont intégrées à l'observatoire du patrimoine naturel du Marais poitevin concernant les sites d'accueil majeurs pour les oiseaux d'eau hivernants dans le cadre de Natura 2000. Les suivis révèlent certains pics de près de 80 000 canards de surface au début des années 1980 alors que les effectifs avoisinent aujourd'hui les 25 000 individus (Guillemain et al. 1997, Synthèse Wetlands International 2020). Après une diminution des effectifs dans les années 1980, on note une légère augmentation sans atteindre les effectifs des années 1970. Même si des conditions climatiques extrêmes peuvent entraîner des afflux de migrateurs au cours de l'hiver, la principale cause avancée concernant le déclin observé repose sur la diminution de la capacité d'accueil de l'écosystème en raison de la transformation des prairies humides en terre arable (Duncan et al., 1999). Il a été estimé une perte de 50 % entre 1970 et 1995 de la superficie de ces prairies dans le Marais poitevin. Si ces comptages donnent des tendances de la taille des populations, ils ne renseignent pas sur l'utilisation du Marais poitevin par les anatidés. En effet, la dynamique spatiale et la fréquentation de la zone humide en lien avec les politiques environnementales (Natura 2000, MAEC, acquisition foncière, protocole de gestion de l'eau, etc.) n'ont pas été étudiées depuis les années 2000. Les précédentes études ont montré une concentration des anatidés sur la baie de l'Aiguillon et les espaces naturels protégés servant de zone de remise (Guillemain et al. 2002). Depuis, les avancées technologiques permettent de suivre plus finement les individus via des tailles d'échantillon plus élevées (en termes d'espèces, d'individus suivis, de nombre de localisations enregistrées et sur une période plus longue).

L'action A5 du LIFE Baie de l'Aiguillon a pour objectif d'améliorer la connaissance de la fonctionnalité de l'écosystème pour les anatidés en identifiant les zones de gagnages et de remises via (1) l'étude de leurs sites d'alimentation et la disponibilité alimentaire (ressource en graine), (2) de leur régime alimentaire et (3) de leurs déplacements. Cette action revêt donc un caractère opérationnel pour adapter une gestion de la zone humide favorable à l'accueil des oiseaux d'eau, aux corridors qui l'accompagnent. Cette action doit permettre d'orienter la mise en place des politiques publiques de protection.

Une compilation de ces études et de leurs résultats est présentée dans ce présent rapport.

2. ETUDE DU REGIME ALIMENTAIRE DES ANATIDES

2.1. Mise en contexte

Ce volet porté par l'OFB a fait l'objet d'une collaboration avec la Fédération Départementale des Chasseurs de Vendée, les associations de chasse la Sauvagine vendéenne et la Chasse maritime vendéenne afin de collecter des gésiers et jabots de canards prélevés à la chasse en période hivernale essentiellement.

Cette étude vise à définir le régime alimentaire de chaque espèce de canard échantillonnée sur la base de l'occurrence et du nombre de graines ingérées suivant leur niche écologique, afin d'en déduire le type d'habitat (pré salé ou prairie humide) utilisé pendant les phases d'alimentation des anatidés. L'étude a permis également de distinguer les anatidés granivores/herbivores/insectivores, les variabilités individuelles et cette concordance des régimes identifiés par rapport à la bibliographie. Il était attendu d'après la littérature un régime alimentaire carnivore, composé d'invertébrés pour le Canard souchet (Collins et al., 2017) et la granivorie de la Sarcelle d'hiver en période d'hivernage (Dessborn et al., 2011).

Enfin, la variabilité de la ressource alimentaire au cours du temps (période de l'année/prélèvements matin ou soir) ou entre individus, tant dans sa quantité ingérée (masse du bol alimentaire mesurée), que dans sa distribution spatiale (en lien avec l'habitat de croissance des graines ingérées et le lieu de prélèvement des anatidés) a été brièvement explorée.

2.2. Méthodologie

Lors de chaque prélèvement de gésiers reçu anonymement, l'espèce (Sarcelle d'hiver, Canard colvert, Canard pilet, Canard souchet, Canard siffleur, Sarcelle d'été, Canard chipeau), l'âge (indéterminé : VOL, immature : 1A, adulte : +1A, 2A, +2A), le sexe (indéterminé, mâle, femelle), la date et l'heure de prélèvement et de congélation ainsi que le lieu de prélèvement ont été renseignés et l'échantillon a été congelé. Les graines ont été ensuite étuvées 4 jours à 60°C. Les masses du gésier vide, du jabot vide ont été mesurées séparément ainsi que la masse du contenu après décongélation.

La présence de grit et de débris de végétaux a également été renseignée. Lorsque le nombre de graines était trop nombreux (seuil non défini) dans le gésier, une fraction a été étuvée puis pesée. Le bol alimentaire prélevé dans les deux organes (gésier et jabot) a été étudié : le nombre de graines (si possible par espèce) et d'invertébrés (par famille) ont été comptés ainsi que la masse d'invertébrés, permettant de calculer la masse de graines ingérée a posteriori. La biomasse de graines ingérée par individu a été, soit de manière théorique (d'après les matières sèches par espèce de graines dans la littérature) soit par pesée des espèces de graines les plus abondantes sous échantillonnées dans les milieux de pré salé et prairie humide (pas de distinction de masse possible entre les milieux).

L'étude de la variation de la masse du bol alimentaire (contenu soit uniquement dans le gésier, soit dans le gésier cumulé au jabot quand celui-ci était présent) a nécessité l'utilisation de modèles additifs généralisés suivant une sélection descendante sur la base de l'AICc étant donné la taille de l'échantillon $N = 149$. Les prédictions suivantes étaient à valider :

- Il était attendu que les gésiers prélevés le matin soit plus remplis que ceux prélevés le soir du fait du comportement alimentaire nocturne connu chez les anatidés.
- Si les anatidés utilisaient les prairies humides comme zones de gagnage nocturne et les prés salés le jour, il était attendu une proportion de graines représentatives du cortège floristique des prairies humides dans les gésiers prélevés le matin plus élevée que dans les gésiers prélevés le soir.

- Il était attendu que les anatidés prélevés en bordure de baie consommassent plus de graines de pré salé que les anatidés tués à l'intérieur des terres.
- Plusieurs variables étaient attendues comme impactant la masse du bol alimentaire et ont été intégrées :
 - o le temps écoulé en minutes entre la mort du canard et la mise au congélateur de l'échantillon (hypothèse : plus l'échantillon est congelé tardivement, plus la masse du bol alimentaire diminue du fait de la dégradation enzymatique, particulièrement pour les invertébrés)
 - o les organes échantillonnés : parfois le bol alimentaire était prélevé dans le gésier et le jabot, parfois uniquement dans le gésier
 - o la période de prélèvement pendant l'hivernage, en supposant que la ressource alimentaire varie au cours de l'hiver. Elle a été mesurée en jour julien, en utilisant le 30 août, date d'ouverture de la chasse et donc des premiers prélèvements, comme jour 1.
 - o L'espèce, l'âge et le sexe des individus prélevés.

2.3. Résultats et interprétations

2.3.1. Echantillons collectés

Du 12/01/2016 au 26/01/2019, 150 gésiers ont été prélevés, dont 149 exploitables et pesés et dont 50 sont accompagnés du jabot (collectés en Vendée) : 12 canards pilet, 19 canards souchets, 89 sarcelles d'hiver, 2 canards chipeaux, 22 canards colverts et 6 canards siffleurs. Ils ont été collectés sur 4 saisons de chasse (la première étant incomplète) du 30 août au 26 janvier. L'ensemble des échantillons de gésiers (avec ou sans jabot en accompagnement) a été étudié afin de conserver un nombre d'individu suffisant, bien que la digestion soit rapide chez les anatidés et que le régime alimentaire détecté puisse être partiel dans les échantillons sans jabot. En effet, une partie des aliments (mous ou sans coque) peuvent être dégradés avant passage dans le gésier, dès ingestion dans le jabot. C'est par exemple le cas des invertébrés de type cladocère ou copépode. Pour être exhaustif, il aura donc fallu se limiter aux échantillons avec jabot prélevé, mais à noter que lorsque celui-ci était absent, il était quasi systématiquement vide.



Figure 1 : Localisation des prélèvements de gésiers d'anatidés de 2016 à 2019.

2.3.2. Contenu des gésiers et régime alimentaire

2.3.2.1. Occurrence du type de ressource alimentaire pour l'ensemble des anatidés

La **vacuité** des organes était de 17 % pour des gésiers et 10 % pour des jabots collectés.

La proportion d'individus ayant ingérés du **grit** représentait 6 % des échantillons, soit une fréquence par espèce de 11 % chez le Canard souchet, 8 % chez le Canard pilet, 6 % chez la Sarcelle d'hiver, 5 % chez le Canard colvert.

Des **débris de végétaux** ont été retrouvés dans 50 % des canards siffleurs, 32 % des canards souchets et colverts, 25 % des canards pilets, 1 % des sarcelles d'hiver et aucun dans les deux canards chipeau prélevés.

Les **dix taxons retrouvés le plus fréquemment** dans les gésiers qui composaient le régime alimentaire des anatidés (toutes espèces confondues) étaient : l'*Eleocharis palustris* (37 % des individus en avaient ingéré), les Chironomidaea (27 %), les salicornes (19 %), *Persicaria hydropiper* (19 %), *Carex vulpina* et *C. cuprina* (respectivement 15 et 10 %), *Puccinellia maritima* (8 %), *Trifolium arvense* (7 %), *Hydrobia ulvae* (6 %), *Medicago lupulina* (6 %), *Sueda vera* (5 %). Si les invertébrés ne permettent pas de définir le type de milieu servant d'alimentation aux anatidés (taxons non spécifique d'un habitat ou identifié pas assez finement), les espèces de graines retrouvées le permettent. Ainsi, l'*Eleocharis palustris*, la *Persicaria hydropiper*, le *Trifolium arvense*, les carex et le *Medicago lupulina* sont caractéristiques des prairies humides, alors que les salicornes, la *Puccinellia maritima* et la *Sueda vera* sont propres aux prés salés. **Le nombre de graines collectées au total est plus abondant dans le cortège floristique des prés salés que dans le cortège des prairies humides** (Fig. 2).

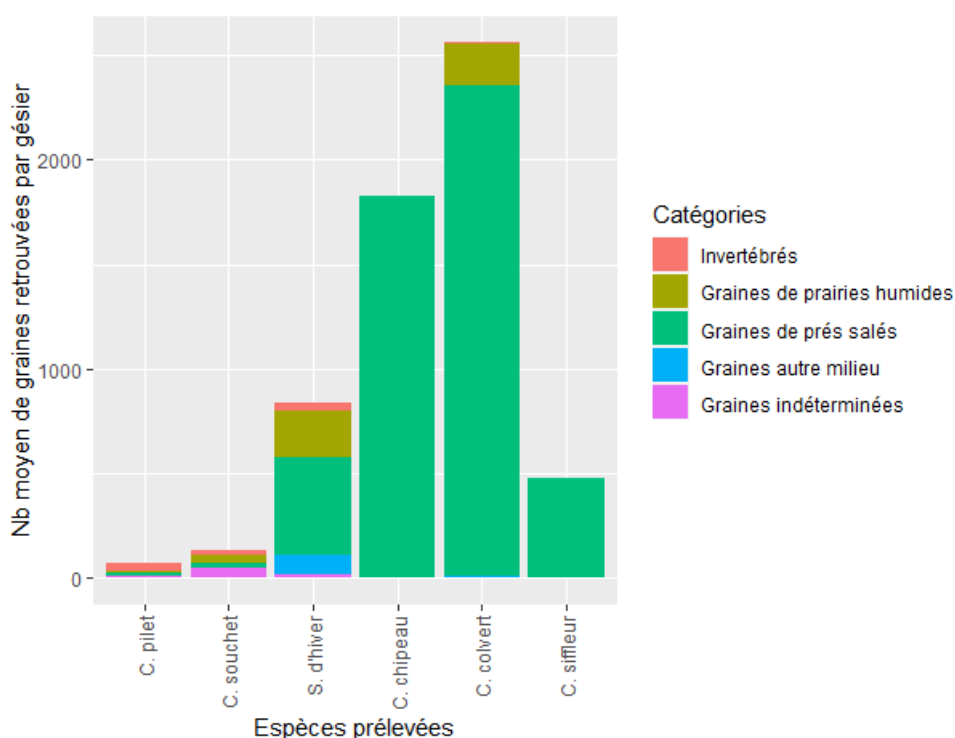


Figure 2 : Nombres moyens d'items retrouvés par type d'habitat (pré salé ou prairie humide) concernant les graines, invertébrés et taxons non identifiés chez les 6 espèces de canards prélevés.

2.3.2.2. Occurrence du type de ressource alimentaire par espèce d'anatidés

En détaillant par espèce de canards et en regroupant ces espèces par type de milieu, il en ressort une très forte occurrence d'**invertébrés** (genre non détaillé) retrouvés chez le Canard souchet (21 %), la Sarcelle d'hiver (24 %), le Canard colvert (28 %) et le Canard pilelet (38 %) (Fig. 3). A noter que les invertébrés ont pu être partiellement détruits une fois échantillonnés dans les gésiers. Néanmoins, ce biais est supposé constant quel que soit l'espèce de canards. Les **graines de prairie humide** représentent 58 % des C. souchet, 42 % des sarcelles d'hiver, 24 % des C. colverts, et 15 % des C. pilelets. Les **graines de pré salé** représentent 100 % des taxons retrouvés chez les C. chipeaux et C. siffleurs, 38 % des C. pilelets, 36 % des C. colverts, 18 % des sarcelles d'hiver et 11 % des C. souchets.

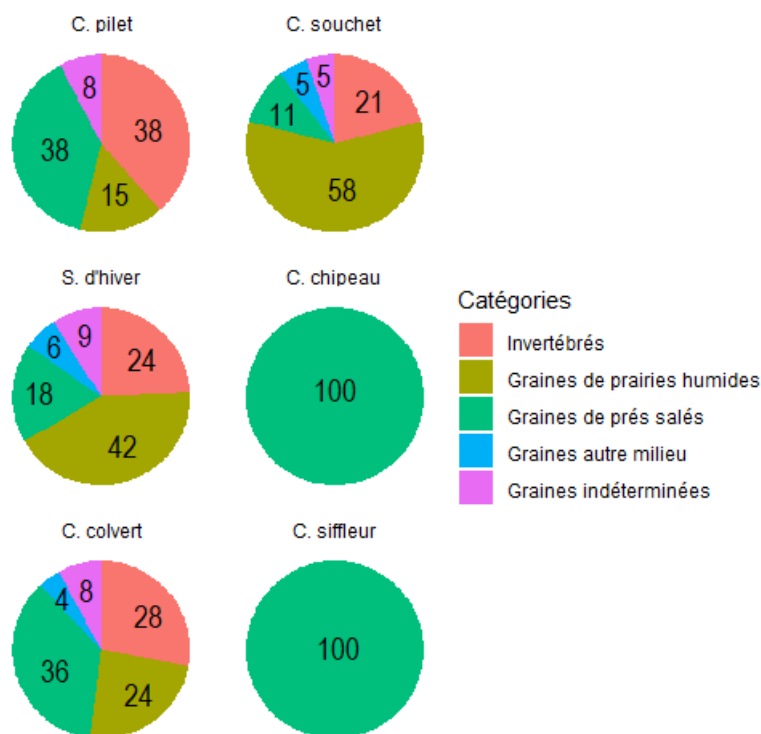


Figure 3 : Proportion par individu d'invertébrés et de graines retrouvées dépendamment du type d'habitat (pré salé, prairie humide ou autre milieu) suivant l'espèce de canard prélevée sur l'ensemble des taxons identifiés.

Canard pilelet

Trois taxons couramment retrouvés dans les prés salés ont été retrouvés dans le gésier des 12 canards pilelets prélevés : les graines de **salicornes**, des **hydrobies** (sur vasière), et des graines de **Carex vulpina** (présentes respectivement dans 42 %, 33 % et 17 % des gésiers). Six autres taxons, dont un non identifié, ont été retrouvés chez un individu (Flore de prairie humide : *Persicaria hydropiper*, *Eleocharis palustris* ; Flore de prés salés : *Puccinellia maritima* ; Faune d'habitat halophile : *Nereis diversicolor*, Chironomidaea).

Canard souchet

Les **graines de prairie humide** composent le régime alimentaire des 19 canards souchets prélevés avec le cortège suivant : *Persicaria hydropiper*, *Eleocharis palustris* (présentes respectivement dans 37 % et 26 %) et dans moins de 10 % des individus, de *Carex (vulpina et cuprina)*, *Trifolium arvense*, les joncs, *Potamogeton trichoides*. Treize autres taxons ont été retrouvés chez un individu dont 8 végétales :

Ranunculus baudotii, *Vicia craca*, 3 types de carex, *Myriophyllum spicatum*, *Potamogeton*, *Trifolium fragiferum*, et 4 animales : des ostracodes (tous stades de développement, invertébré à « carapace »), des Chironomidaea, des hydrobies et des mollusques.

Sarcelle d'hiver

Chez la Sarcelle d'hiver (89 individus prélevés), le régime alimentaire est composé des graines d'*Eleocharis palustris* (présente dans 51 % des gésiers), de Chironomidae (38 %), de *Persicaria hydropiper* (21 %), de salicornes (18 %), de Carex (*vulpina* et *cuprina* dans respectivement 18 et 12 % des gésiers), de *Medicago lupulina* (10 %), *Trifolium arvense* (9 %), *Sueda maritima* (9 %), *Medicago arabica* (7 %), *Puccinellia maritima*, des œufs d'ostracodes et de Rumex (à hauteur de 6 %), et 44 autres taxons ont été retrouvés dans moins de 5 % des individus. **Globalement, le régime alimentaire est représentatif des prairies humides, avec occasionnellement des taxons de pré salé.** La présence de vers de vase à plusieurs occurrences est également à souligner.

Canard chipeau et Canard siffleur

L'échantillon de Canard chipeau (2 individus prélevés) et le Canard siffleur (6 individus prélevés) se sont **alimentés exclusivement sur les prés salés** avec des graines de salicornes (présentes dans 100 % des C. chipeaux et 17 % des siffleurs), de *Puccinellia maritima* (présentes dans 50 % des C. chipeaux et 33 % des siffleurs), d'*Atriplex portulacoïdes* (50 % des C. chipeaux) et d'*Elymus pungens* (17 % des C. siffleurs).

Canard colvert

Le Canard colvert (22 individus prélevés) s'alimente sur les **milieux à la fois de prairie humide et de pré salé** avec 5 taxons présents dans 1/5^{ème} des individus : des graines de salicornes, *Puccinellia maritima*, *Eleocharis palustris*, *Sueda maritima* et des Chironomidaea. Des graines prairiales de Carex (*vulpina*, *cuprina*, *divisa*), *Parapholis strigosa*, *Ranunculus sardous*, de pré salé tels que *Sueda vera*, *Aster tripolium* et des hydrobies sont retrouvés dans 10 % des gésiers. Sept autres taxons ont été trouvés chez un individu (*Atriplex portulacoïdes*, *Persicaria hydropiper*, *Trifolium arvense*, *Solanum dulcamara*, Coeloptera, invertébrés indéterminés).

2.3.2.3. Diversité du régime alimentaire

Bien que le nombre de taxons sur l'ensemble des individus soit relativement élevé (8 taxons d'invertébrés, 35 de graines de prairie humide, 15 de graines de pré salé, 9 de graines d'un autre milieu), chaque individu contenait en moyenne 2.98 ± 0.44 taxons (Fig. 4).

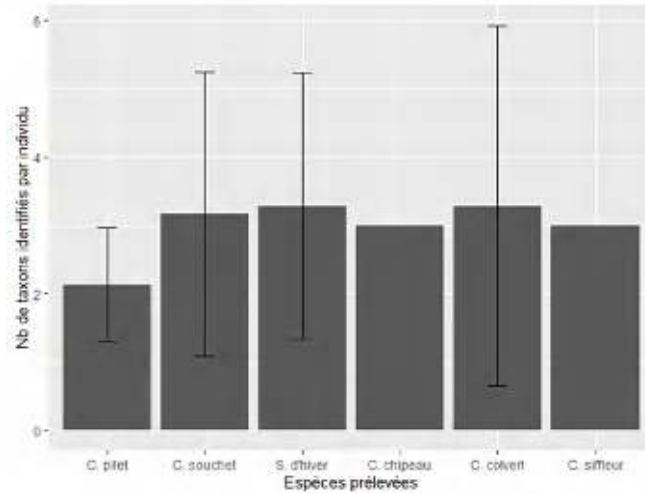


Figure 4 : Caractérisation du régime alimentaire par espèce d'anatidés (nombre moyen de taxons identifiés par individu $\pm$ écart type).

2.3.2.4. Biomasse en graines

Limite de la biomasse en graines

La biomasse en graines a été déduite a posteriori par gésier, et non par espèce de graines. Une masse de matière sèche a été attribuée à 70 % des espèces de graines identifiées soit par défaut à la masse indiquée dans la base de référence LEDA (<https://uol.de/en/landeco/research/leda>) ou à la littérature en dernière option. Même si **trois quarts des espèces ont une masse attirée, cette proportion représente seulement 25 % du nombre de graines identifiées** dans les gésiers. Par conséquent, la biomasse des espèces de graines ingérées est étudiée succinctement.

Dans un premier temps, la masse des graines pesées en laboratoire a été comparée à la masse retrouvée dans la base de données internationale LEDA et à la littérature. Il en ressort **des graines globalement plus légères dans nos échantillons traités par rapport aux autres références et la moitié des espèces mesurées ne figurent pas dans l'écart-type de la moyenne des graines inventoriées dans la base LEDA** (Fig. 5). Ces premiers éléments indiquent une grande hétérogénéité individuelle de la masse des graines, pour lesquels il aurait été nécessaire de peser toutes les espèces, dans chaque milieu, sur un échantillon d'assez grande taille, pour permettre l'étude de la biomasse par espèce de graines ingérées.

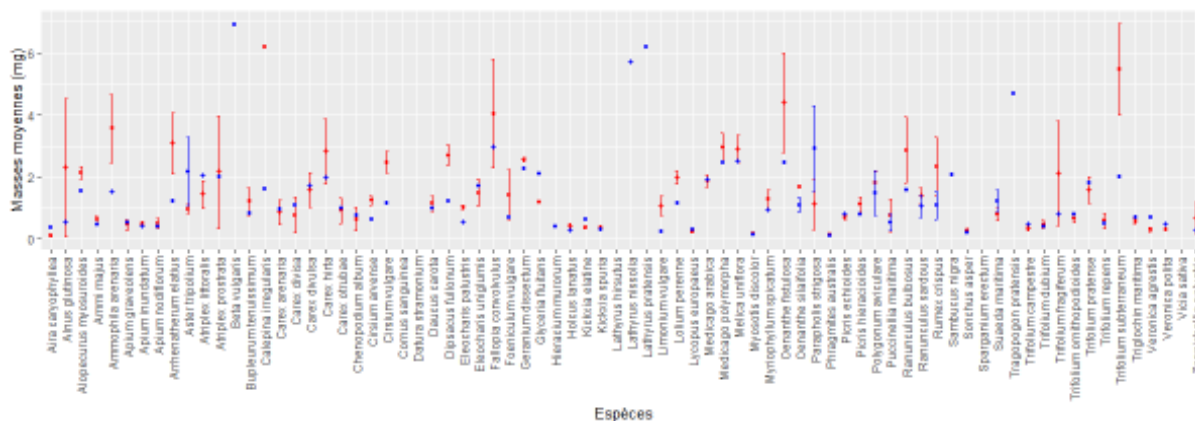


Figure 5 : Comparaison des masses moyennes accompagnées des écart-types par espèce de graines identifiées entre la base de données LEDA (points rouges), la littérature (points bleus sans sd) et les mesures en laboratoire à partir des graines prélevées dans les carottes de sol (points bleus avec sd, N = 30).

Par conséquent, si la suite de l'étude s'intéresse uniquement à la biomasse du bol alimentaire pour les espèces de graines pesées en laboratoire par nos soins, le nombre de graines considérées représenterait 3,7 % des graines ingérées. Il a donc été choisi **d'étudier la biomasse à partir des masses référencées** dans la littérature et la base LEDA, **et de la centrer sur les espèces les plus fréquentes** dans les gésiers, soit : *Eleocharis palustris* (occurrence : 37 %), *Carex vulpina* (15 %), *Puccinellia maritima* (8 %), *Trifolium arvense* (7 %), *Medicago lupulina* (6 %) qui représente 25 % des graines identifiées. Leur biomasse est respectivement de 2830 mg, 349 mg, 21 mg, 13 mg, 121 mg dans les gésiers collectés (Fig. 6). *Eleocharis* étant le genre le plus nombreux, il est effectivement le taxon à la **biomasse la plus importante pour le Canard souchet, le Canard colvert et la Sarcelle d'hiver**, alors que le **Canard pilet présente une plus grande biomasse de *Carex vulpina*** (relatif au nombre de gésiers collectés pour chaque espèce d'anatidés). La Sarcelle d'hiver est l'anatidé dont la biomasse de graines est la plus diversifiée.

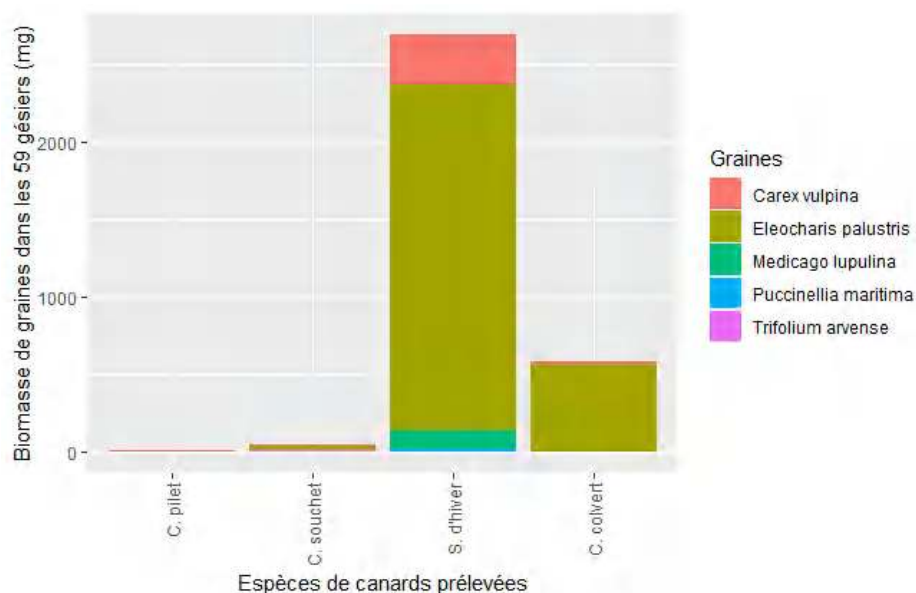


Figure 6 : Proportion de la biomasse de chaque graine retrouvée dans les gésiers d'Anatidés avec une occurrence forte (masse pesée en laboratoire pour *Puccinellia maritima* et *Trifolium arvense*, masse attribuée d'après la littérature pour les autres espèces).

Evolution de la biomasse ingérée

L'évolution de la biomasse ingérée a été étudiée via des modèles additifs généralisés. Suite à la sélection de modèles, **trois variables ont été retenues comme impactant la masse d'aliments ingérés** : le nombre de minutes écoulées entre la mort du canard et la mise au congélateur de l'échantillon, l'espèce et le type d'organes prélevés (tableau 1, modèle M21).

Comme supposé, **la masse de l'échantillon diminue avec le temps de séjour de l'échantillon à température ambiante** (Fig. 7). Elle peut diminuer au maximum de 0.05 g en 1h. La masse du bol alimentaire est également plus élevée quand le contenu a été collecté dans les 2 organes digestifs (gésier et jabot) que dans le simple gésier. Cette masse est 1.6 fois (± 1.2) fois moins élevée lorsque seul le gésier a été échantillonné. De plus, la masse du bol alimentaire est fortement liée à l'espèce d'anatidés : les espèces les plus grosses sont celles ayant un contenu plus lourd (Canard colvert, par opposition aux espèces plus petites comme la Sarcelle d'hiver).

Les autres variables étudiées n'ont pas impacté la masse du contenu prélevé, bien que la période de prélèvement tendait à indiquer un contenu plus lourd chez les anatidés prélevés le matin comparativement aux individus prélevés le soir (tableau 1, modèle M16, coefficient = $0.84 \text{ g} \pm 1.25$). Cette tendance était inversée chez le Canard colvert et le Canard siffleur ([annexe 1](#)). Cette tendance peut cependant découler de l'échantillonnage dont le nombre d'individus prélevés le matin représente 70 % des prélèvements. Cette période d'alimentation possiblement diurne est attendue chez des espèces herbivores comme le Canard siffleur (Jacobsen 1991) mais pas connue chez tous les anatidés. Dans une moindre mesure, les jeunes ont également des gésiers dont le contenu est plus léger.

La masse du contenu prélevé, bien que variable entre les sites chassés où les canards ont été prélevés, ne laisse pas supposer de tendance quant à l'origine des individus les moins alimentés ([annexe 2](#)).

Tableau 1 : Sélection de modèles étudiant la variation de la masse du bol alimentaire chez les anatidés de la baie de l'Aiguillon. Le nombre de paramètres (k) et la déviance sont utilisés pour calculer l'AICc. $\Delta AICc$ donne la différence entre l'AICc du modèle et celui du modèle au plus faible AICc.

Modèle	Nom	Df	AICc	$\Delta AICc$
Masse_bol~congel+organe+espèce	M21	8	312,7	0
Masse_bol~congel+organe+âge+espèce	M19	10	313,2	0,43
Masse_bol~période+congel+organe+espèce	M16	9	314,5	1,81
Masse_bol~période+congel+organe+âge+espèce	M12	11	315,2	2,44
Masse_bol~congel+espèce	M25	7	315,3	2,57
Masse_bol~période+congel+saison+organe+âge+espèce	M3	12,6	316,5	3,79
Masse_bol~période+congel+saison+organe+âge+espèce	M14	12,6	316,5	3,79
Masse_bol~période+congel+saison+organe+espèce	M10	10,3	317	4,24
Masse_bol~congel+âge+espèce	M22	9	319,1	6,4
Masse_bol~congel+saison+organe+âge+sexe+espèce	M8	13,5	319,4	6,62
Masse_bol~période+congel+organe+âge+sexe+espèce	M6	13	319,8	7,09
Masse_bol~période+congel+saison+âge+espèce	M11	11,8	320,1	7,4
Masse_bol~période+congel+âge+espèce	M17	10	321,3	8,53
Masse_bol~période+congel+saison+organe+âge+sexe+espèce	M1	14,5	321,6	8,83
Masse_bol~période+congel+saison+organe+sexe+espèce	M4	12,1	321,6	8,86
Masse_bol~période+congel+saison+âge+sexe+espèce	M5	13,8	325,4	12,66
Masse_bol~congel+organe+âge	M20	5	343,5	30,76
Masse_bol~période+congel+organe+âge	M15	6	345,7	32,99
Masse_bol~congel+organe	M24	3	346	33,23
Masse_bol~période+congel+saison+organe+âge	M9	7,65	346,5	33,76
Masse_bol~période+congel+saison+organe+âge+sexe	M2	9,68	351,1	38,34
Masse_bol~période+organe+âge+espèce	M18	10	536,5	223,8
Masse_bol~période+saison+organe+âge+sexe+espèce	M7	13,2	537,4	224,7
Masse_bol~période+saison+organe+âge+espèce	M13	11,2	538,7	225,9
Masse_bol~organe+espèce	M26	7	541,5	228,8
Masse_bol~organe+âge+espèce	M23	9	545,9	233,2
Masse_bol~1	M0	1	558,9	246,1

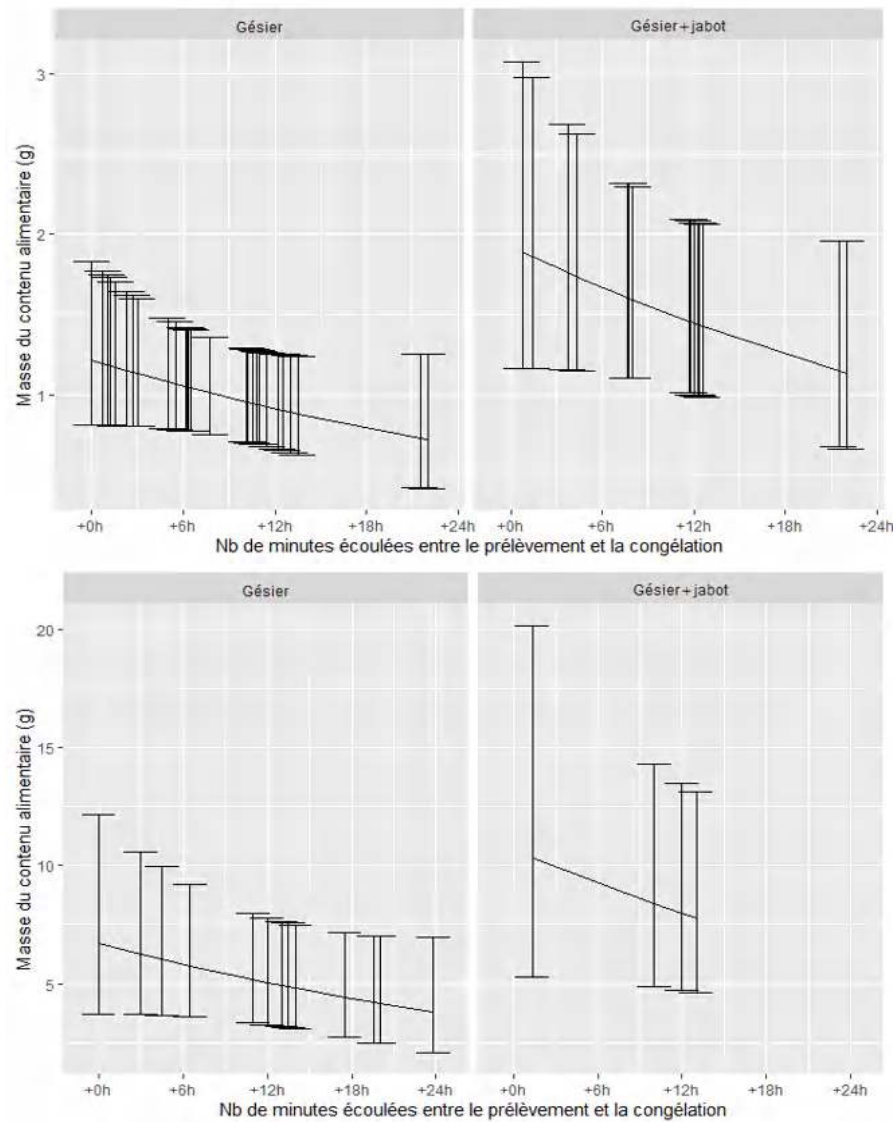


Figure 7 : Masse du bol alimentaire prélevé dans le gésier seul ou dans le gésier et le jabot chez la Sarcelle d'hiver (haut) et le Canard colvert (bas) à partir du meilleur modèle retenu.

2.3.2.5. Variation du régime alimentaire des anatidés

La proportion d'invertébrés présents dans le gésier (13.2 ± 0.1 %) et dans le jabot (9.9 ± 0.1 %) diffère et indique une **dégradation des invertébrés hétérogène entre le jabot et le gésier**.

L'étude du régime alimentaire **n'a pas permis de mettre en évidence un changement de ressources alimentaires entre le jour et la nuit** (reflété par la variable période de prélèvement), **ni entre les adultes et les immatures, ni entre les sexes ou les espèces de canards, ou encore au cours de la saison de chasse** entre la fin août et la fin janvier (respectivement en [annexes 3, 4, 5, 6, 7](#)).

En comparant les taxons collectés dans les gésiers sur les différents lieux de prélèvements, il est mis en évidence que ceux prélevés sur la **Tranche-sur-Mer et Triaize (Cabane verte) possèdent des taxons différents des autres sites** de prélèvements, indiquant une alimentation différente (tableau 2). On retrouve par exemple *Rumex conglomeratus*, *Rubus sp.*, des vesces ou *Carex extensa*. **Sur Triaize**, au site de prélèvement la Cabane verte, sont retrouvées des graines de *Stachys palustris* ou *Solanum dulcamara*, **espèces de prairie humide propres au marais**. Les autres taxons se retrouvent dans les gésiers de plusieurs sites de prélèvement, ou en faible quantité, ne permettant pas de renseigner davantage les secteurs d'alimentation. A noter également que le temps de rémanence des graines dans un gésier diffère probablement entre les espèces de graines. Les graines de prairie humide, possiblement plus fragiles que les graines de pré salé (résistantes au sel), sont susceptibles de se dégrader plus vite et donc, de se retrouver plus facilement dans les individus prélevés proche du marais.

Tableau 2 : Nombre de graines ou individus collectés par taxons (végétal ou animal) par gésiers sur chaque site de prélèvements.

Taxons	Charron	Charron - les Grandes Mizottes	Esnandes - Curé	Grues	La Tranche-sur-Mer	Moreilles - La Chevrotière	Puyravault - La bosse	Triaize - Cabane Verte	Triaize - La Duranderie	Triaize - Le Bourdeau	Triaize - Les relais	Triaize - Wagons	Total
Alopecurus bulbosus					1								1
Aster tripolium						1			1				4
Atriplex hastata										2			226
Atriplex portulacoides										5		2	7
Atriplex prostrata										1			1
Atriplex sp												3000	3000
Brassica napus					1								1
Butomus umbellatus					3								3
Callitriche truncata					2								2
Carex acuta					1								1
Carex cuprina				4	35			13			3	1	56
Carex disticha						1		1					2
Carex divisa		2			10			90	1				103
Carex divulsa					6			4	1				11
Carex echinata			1										1
Carex extensa					31								31
Carex otrubae					2								2
Carex sp					10			2		2	1		13
Carex vulpina		29	72	53	87			10			10		261
Chenopodium album					210					5300			5300
Chenopodium glaucum				570								7	780
Chironomidae		2			1156	37		157			6		1365
Coeloptera								1					1
Datura stramonium					2								2
Dipsacus fullonum											5		5
Eleocharis palustris			860	129	2456	33		1345		15	437	43	5318
Elymus pungens												5	5
Hordeum marinum					2								2
Hydrobia ulvae	204	14	3				3				1		225
Invertébrés											4		4
Juncus acutiflorus					2						3		5
Juncus effusus					55								55
Juncus gerardii												1	1
Juncus sp		45											45
Medicago arabica					7			3			2	15	27
Medicago lupulina					73								73
Mollusque					6								6
Myriophyllum spicatum					1								1
Nereis diversicolor	1				8								1
oeufs ostracodes					60				19				27
Ostracodes													60
Parapholis strigosa		2	1			2						8	13
Persicaria hydropiper		42			2733						30		2805
Phalaris arundinacea												18	18
Plantago maritima												1	1
Poaceae								1					1
Polygonum amphibium		63											63
Potamogeton					2								2
Potamogeton trichoides					7								7
Puccinellia maritima	1	3	19						3		13	268	307
Ranunculus baudotii					2								2
Ranunculus flammula					3								3
Ranunculus sardous					4			9					9
Ranunculus sp												1	5
Rubus sp					21								21
Rumex conglomeratus					421								421
Rumex sp					215								215
Salicornia sp	44	580	175		6	495				122		8827	10249
Solanum dulcamara								11					11
sp	12				97	10		156	6				281
Sphaerome												3	3
Stachys palustris								28					28
Sueda maritima		30			11			1			7715	1561	9318
Sueda vera						1	8				1	12595	12605
Trifolium arvense					40			9				2	51
Trifolium fragiferum					185							2	187
Vicia cracca					1								1
Vicia hirsuta					5								5
Zanichellia palustris					1								1
Total	262	812	1131	756	7981	580	11	1841	31	5317	8587	26360	53669

2.3.2.6. Zoom sur le régime alimentaire de la Sarcelle d'hiver

En comparant le bol alimentaire échantillonné dans les sarcelles prélevées le matin et le soir en Charente-Maritime et Vendée (Fig. 8), il en ressort pour les échantillons prélevés le soir, une plus grande proportion de gésiers contenant des graines d'espèces de pré salé, laissant supposer une alimentation le jour sur la baie de l'Aiguillon. Sur les échantillons prélevés le matin, la proportion de gésiers contenant des graines caractéristiques des prairies humides est plus importante que le soir, ce qui laisserait supposer un gagnage nocturne sur des prairies humides. De plus, la proportion de gésiers contenant des graines non caractéristiques des prairies humides ou des prés salés ('autre') est plus importante que le soir, ce qui laisse supposer, notamment sur Grue et Le Bourbeau (Triaize), que les sarcelles ont un comportement alimentaire plus opportuniste, ou sur des secteurs non inventoriés. La consommation d'invertébrés est plus importante pour les individus prélevés à La Tranche-sur-Mer et Esnandes (Le Curé). Ce petit échantillon de gésiers de sarcelle tend à confirmer que la RNN baie de l'Aiguillon est utilisée de jour comme zone d'alimentation, et que les zones de gagnage nocturne concernent plusieurs types d'habitat. Il suppose également que les individus prélevés le plus loin de la baie de l'Aiguillon (par exemple sur la Tranche-sur-Mer) consomment pas ou peu de graines de pré salé.

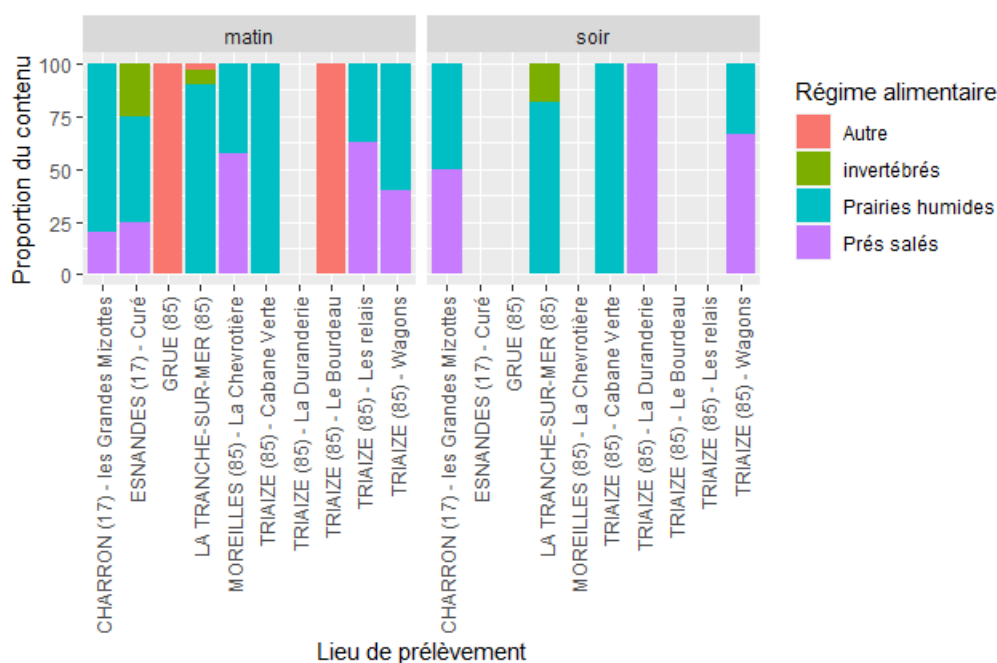


Figure 8 : Occurrence des taxons (invertébrés, graines de prairie humide et graines de pré salé) dans chaque gésier définissant le régime alimentaire de la Sarcelle d'hiver d'après le site et la période (matin ou soir) de prélèvement à la chasse (N = 5,4,1,31,7,8,0,1,8,5 pour le matin et N = 2,0,0,11,0,4,1,0,0,3 pour le soir).

2.4. Synthèse et perspectives

Il a été montré par cette étude que le régime alimentaire des anatidés de la baie de l'Aiguillon pouvait diverger de la littérature (tableau 3), bien que l'étude ait essentiellement porté sur le contenu des gésiers, organe dans lequel une partie du bol alimentaire ingéré a déjà été assimilé. Il aurait été préférable d'utiliser les contenus des jabots pour définir plus exactement les régimes alimentaires des anatidés. Néanmoins, le Canard colvert a été classé d'opportuniste, granivore et carnivore, sans préférence de taxon, comme référé dans la littérature (Dessborn et al. 2011). Le Canard pilet a été défini comme granivore sur tout type d'habitat (cortège de pré salé et de prairie humide retrouvés) préférant le genre *Persicaria* et les *Polygonacées*, ainsi que carnivore. La Sarcelle d'hiver a été qualifiée de granivore essentiellement sur prairie humide, préférant les genres *Medicago*, *Rumex* et *Persicaria* et carnivore régulièrement sur divers taxons, dont le ver de vase. Ce régime alimentaire était peu fréquent dans la littérature pour l'espèce en hivernage, décrite préférentiellement granivore à cette étape du cycle biologique et occasionnellement carnivore (Guillemain et al. 2007). Du fait des hivers plus chauds ces dernières années, il est possible que les chironomes soient plus présents que par le passé et que cette ressource alimentaire soit facilitée pour la sarcelle. Le Canard souchet a été décrit dans cette étude comme granivore et herbivore comme le Canard siffleur, mais s'alimentant sur prairie humide et milieu aquatique (jonc, myriophylle et potamogeton) avec occasionnellement quelques invertébrés, alors que le Canard siffleur est granivore et herbivore strict, s'alimentant exclusivement sur pré salé en préférant le genre *Elymus* et les *Poacées*. De même le Canard chipeau s'alimente sur pré salé et a été qualifié de granivore strict. Néanmoins, Canard chipeau et Canard siffleur sont définis d'après la littérature comme des herbivores : il est donc possible que l'étude des gésiers plutôt que des jabots, sureprésente la présence de graines pouvant s'être accumulées au cours du temps lors de l'ingestion de végétaux, ces derniers étant possiblement plus facilement digérés. A noter que si la soude est très présente dans les prés salés, elle n'est pas retrouvée dans le bol alimentaire et semble être évitée des canards chipeaux et siffleurs.

Tableau 3 : Régime alimentaire des anatidés prélevés en périphérie de la RNN baie de l'Aiguillon.

	Canard pilet	Canard souchet	Sarcelle d'hiver	Canard colvert	Canard chipeau	Canard siffleur
Prés salés	++	+	+	++	+++++	+++++
Prairies humides	+	++++	+++	++	0	0
Invertébrés	++	++	++	++	0	0
Débris végétaux	+	++	0	++	0	+++

Il ressort que les gésiers prélevés, toutes espèces d'anatidés confondues, ont un nombre de graines appartenant au cortège végétal de pré salé plus abondant que pour le cortège végétal de prairie humide, ce qui indique une utilisation de la baie de l'Aiguillon privilégiée pour l'alimentation, a minima pour les individus échantillonnés.

L'étude du régime alimentaire n'a pas mis en évidence un changement de ressources alimentaires entre le jour et la nuit, ni entre les adultes et les immatures, ni entre les sexes, ou encore au cours de la saison de chasse. La masse du contenu des gésiers diminuait avec le temps de séjour de l'échantillon à température ambiante. Les autres variables étudiées n'ont pas impacté la masse du contenu prélevé, bien que la période de prélèvement tendait à indiquer un contenu plus lourd chez les anatidés prélevés le matin.

Concernant la caractérisation de la zone fonctionnelle des anatidés, ces résultats indiquent que, toutes espèces confondues, les anatidés utilisent à la fois les prairies humides et la baie de l'Aiguillon pour

s'alimenter, et ce, avec quelques tendances suivant les espèces d'anatidés en fonction du lieu de prélèvement. Par exemple, les sarcelles d'hiver prélevées utilisaient la RNN baie de l'Aiguillon de jour pour l'alimentation sur zone de remise, et plusieurs types d'habitats pour les zones de gagnage nocturne. Cependant, ces résultats nécessiteraient une collecte de gésiers supplémentaire afin de les confirmer avec un échantillon plus grand pour chaque espèce d'anatidés.

3. ETUDE DE LA BANQUE DE GRAINES DISPONIBLE DANS L'HABITAT

3.1. Mise en contexte

Il s'agit par cette étude de caractériser et quantifier la banque de graines du sol de différents habitats constituant la ressource alimentaire disponible pour les anatidés granivores via l'analyse d'échantillon de carottages de graines prélevés dans le sol. Cette caractérisation de la banque de graines a identifié les taxons les plus abondants ou fréquents suivant l'habitat de prélèvement (pré salé ou prairie humide) et chacun des 5 sites sur 3 années. Elle a également permis d'étudier l'évolution spatiale de la banque de graines au cours des saisons et des années pour mettre en avant les potentielles zones de déplétion alimentaire et évaluer indirectement le potentiel d'accueil des surfaces échantillonnées pour l'hivernage des anatidés (Pernollet et al. 2017).

Sur les prés salés, l'effet de la fauche dans la composition de la banque de graines a également été évalué.

3.2. Méthodologie

Un tirage aléatoire de 270 points a été effectué sur 5 sites : le Communal de Lairoux, la Prée mizottière la RNR Marais de la Vacherie, la RNN baie de l'Aiguillon secteurs Champagné-les-Marais-les-Marais et Charron (Fig. 9). Chaque point a fait l'objet d'un prélèvement à trois périodes : début (automne : début novembre), milieu (hiver : janvier) et fin (printemps : début avril) d'hivernage, sur 3 années (hivernages de 2016/2017, 2017/2018, 2018/2019), totalisant 12 150 carottes théoriques.



Figure 9 : Localisation des sites de prélèvement des carottes de graines de 2016 à 2019 selon le type d'habitat inventorié.

Dans la zone intertidale de la baie de l'Aiguillon, les prélèvements ont été effectués lors des marées de mortes-eaux. Les prélèvements ont été réalisés à l'aide de carottiers de 10 cm de diamètre et de 5 cm de

profondeur (Pernollet et al. 2017). Cette profondeur correspond à la longueur moyenne d'un bec de canard colvert fouillant le sédiment pour sa recherche alimentaire (Madge et Burn 1988 dans Legagneux 2007).

Sur site, chaque carotte a été individualisée pour identification postérieure des graines. La localisation GPS et la date de prélèvement ont été renseignées. Au laboratoire, le tamisage s'est déroulé en deux étapes pour récupérer les graines : via un tamis au maillage de 4 mm pour éliminer les surplus de végétation et via un tamis au maillage de 300 microns afin d'éliminer les résidus de sol. Les échantillons ont ensuite été placés à l'étuve pendant 4 jours à 60°C avant l'identification des graines à la loupe binoculaire. L'identification a été réalisée à minima au genre et si possible jusqu'à l'espèce. Chaque taxon identifié a ensuite été pesé et compté (nombre de graines).

En ce qui concerne les prés salés, la banque de graines a été prélevée aléatoirement au niveau de différents groupements de végétaux, sur des surfaces fauchées ou non (Fig. 10).

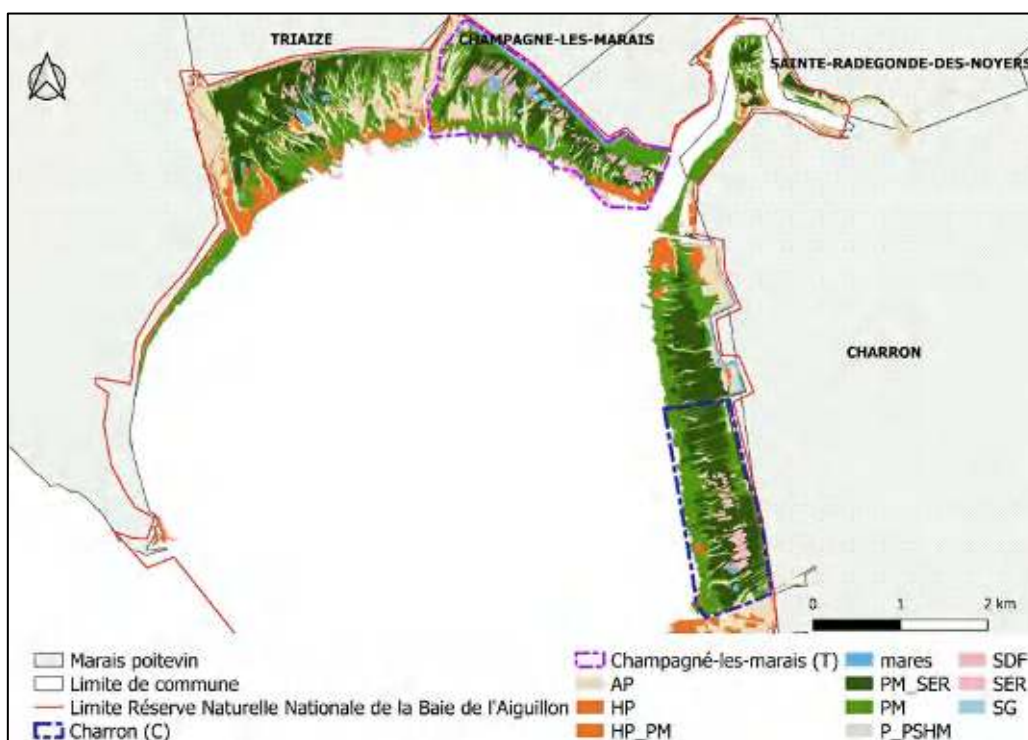


Figure 10 : Cartographie des groupements phytosociologiques sur les prés salés de la RNN baie de l'Aiguillon (Groupements de végétaux : *Agropyron Pungentis* (AP), *Halimionetum portulacoidis* (HP), *Halimionetum portulacoidis* x *Puccinellietum maritimae* (HP_PM), *Puccinellietum maritimae* (PM), *Puccinellietum maritimae* x *Salicornion europeao_ ramosissimae* (PM_SER), *puccinellietum* x *parapholidostygiosae hordeetum marini* (P_PSHM), *Salicornion dolichostachyo-fragilis* (SDF), *Salicornion europeao_ ramosissimae* (SER), *Spartinetea glabrae* (SG), les mares (MA)).

L'évolution de la diversité et de la quantité de graines (nombre et biomasse) disponible dans le milieu s'est faite sur un carroyage de 812 mailles dans lesquelles les carottes prélevées ont été regroupés dans un maillage de 100 mètres sous SIG. Chaque maille comprend entre 1 et 8 carottes, soit une moyenne de 2 ± 1 stations théoriques par maille. Ce carroyage a été nécessaire pour pallier les biais dus à une stratégie d'échantillonnage très fine (nombre de prélèvements par site et par session = 270) intégrant une potentielle autocorrélation spatiale des carottes prélevées dans un secteur proche. De plus, le nombre d'échantillons par site est constant mais la surface de chaque site varie, rendant donc l'effort d'échantillonnage hétérogène par unité de surface.

Les variables réponses étudiées sont donc des moyennes par maille : le nombre moyen de genres par maille, le nombre moyen de graines par maille et la biomasse moyenne collectée par maille. L'identifiant de la maille est considéré comme une variable aléatoire et les variables habitat (prairie humide ou pré salé), site (5 différents), saison (printemps, automne, hiver) et année (2016-2017, 2017-2018, 2018-2019) ont été utilisées comme variables explicatives. Les variables saison et année étant colinéaires, elles ont été regroupées en une variable catégorielle nommée « SaiPér » pour constituer 9 périodes d'études. L'habitat et le site étant fortement liés n'ont pas été utilisés simultanément dans les modèles.

L'étude de la variabilité du nombre de genres par maille a nécessité l'utilisation de modèles linéaires mixtes généralisés. Le nombre de graines et la biomasse ont été modélisés par des modèles linéaires mixtes avec une log-transformation des données portant sur le nombre de graines afin de satisfaire les conditions de normalité nécessaires à l'utilisation du modèle. Une sélection descendante reposant sur le critère d'information d'Akaike (AIC) a ensuite été réalisée. Une différence de 2 points d'AIC ou plus entre le modèle nul et celui à variable reflète un impact de la dite variable. La normalité des résidus du meilleur modèle ont été vérifiées. Les effets des variables sont illustrés dans les régressions par leur coefficient estimé (noté « coef » par la suite).

Un sous-échantillon des carottes prélevées sur les prés salés a permis de tester l'impact des surfaces fauchées ou non, ainsi que des groupements phytosociologiques sur la diversité, la biomasse et l'abondance en graines.

Les prédictions suivantes étaient à valider :

- la banque de graines serait plus diversifiée dans les prairies humides que dans les prés salés (Joyeux et Corre, 2013) ;
- l'évolution de la banque de graines serait plus marquée dans les prés salés que dans les prairies humides du fait de l'impact des marées et des conditions météorologiques entraînant des flux ;
- la fauche favoriserait la présence de *Puccinellia maritima*, alors que l'absence de fauche favoriserait l'*Aster maritima* ou *Elymus repens*.

3.3. Résultats et interprétations

3.3.1. Echantillons collectés

Au total, ce sont **11 314 carottes** qui ont été prélevées sur les 5 sites pendant 3 hivernages. La localisation de 94.5 % carottes a été enregistrée sur le terrain et les autres non localisées ont été retirées de l'analyse. Ci-dessous, le tableau des carottes réalisées par site, année et saison. Trois sessions, correspondant aux saisons de prélèvement, n'ont pas fait l'objet de carottages du fait de l'inaccessibilité des sites situés en zone inondée (tableau 4).

Tableau 4 : Nombre de carottes de graines prélevé par site et saison de 2016 à 2019.

	Hivernage 2016-2017			Hivernage 2017-2018			Hivernage 2018-2019		
	Automne	Hiver	Printemps	Automne	Hiver	Printemps	Automne	Hiver	Printemps
Charron	270	270	269	270	270	270	270	270	270
Lairoux	270	270	270	270	0	270	270	0	270
Prée mizottière	270	270	270	270	270	270	270	266	259
Champagné	270	270	270	270	270	270	260	270	270
Vacherie	270	270	0	270	270	270	270	270	270

3.3.2. Description de la diversité en graines dans les carottages

Les carottes ne contenant pas de graine constituaient 1.11 % de l'échantillon prélevé. L'hivernage 2018-2019 contenait plus de carottes sans graine, indiquant une banque de graines plus faible. Les carottes sans graine prélevées en hiver ou début de printemps sont plus nombreuses qu'en automne et celles prélevées sur les sites de pré salé (Charron et Champagné-les-Marais) sont également plus nombreuses que sur les prairies humides (Fig. 11). Etant donné que l'échantillonnage a reposé sur les mêmes localisations au cours du temps et la même méthode de collecte des carottes il est possible que la ressource alimentaire ait été plus limitée pour les canards sur ces périodes ou sites. Néanmoins, l'équipe technique a changé au cours du projet.

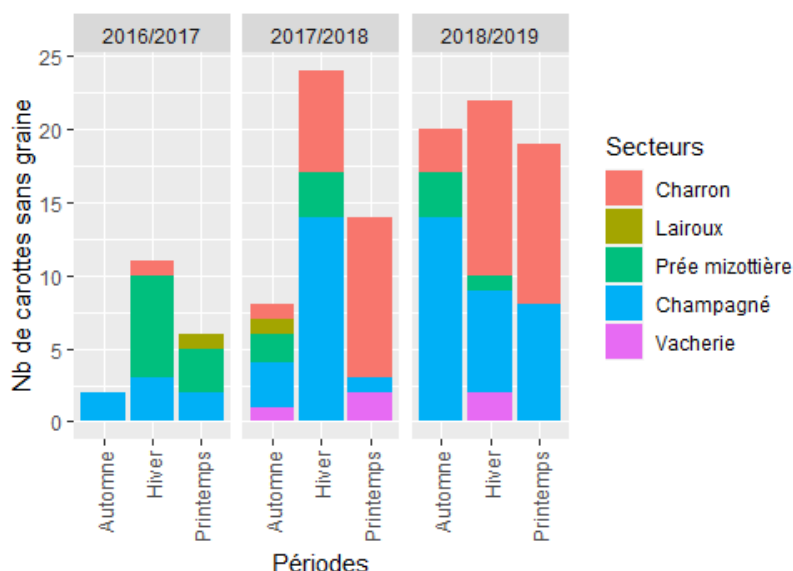


Figure 11 : Distribution des carottes sans graine collectées suivant les saisons de 2016 à 2019 et les secteurs échantillonnés.

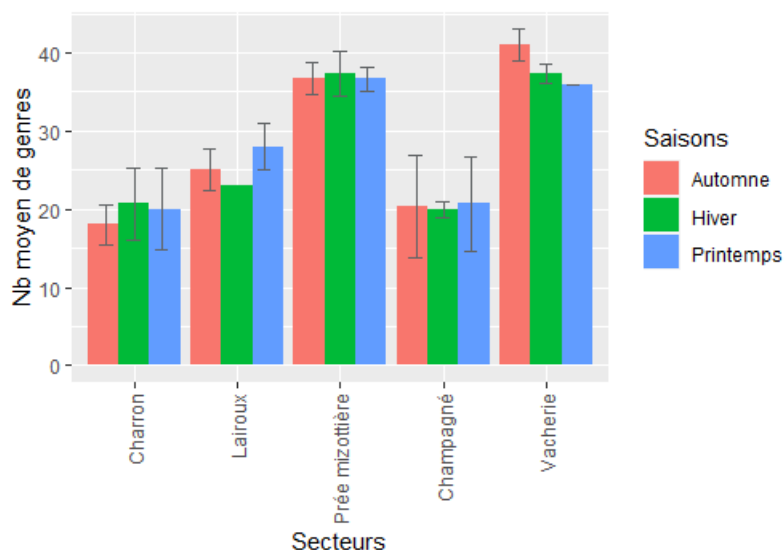


Figure 12 : Nombre moyen de genres par secteur (prés salés de Charron et Champagné-les-Marais-les-Marais, prairies humides du Communal de Lairoux, la Prée mizottière et la RNR des Marais de la Vacherie) retrouvé dans la banque de sur les hivernages de 2016 à 2019 ($\pm$ écart-type) au cours des trois saisons échantillonnées.

La diversité spécifique de la banque de graines est hétérogène entre les sites, avec un nombre de genres par maille variant de 42 sur le site de Champagné-les-Marais à 58 à la Vacherie (45 à Charron, 46 à Lairoux et 57 à la Prée mizottière) (Fig. 12). Les dix genres les plus fréquents dans les carottes ont été listés par site (Fig. 13).

Sur le site de Charron, les cinq genres les plus fréquents sont *Puccinellia* (21 %), *Salicornia* (20 %), *Suaeda* (20 %), *Atriplex* (12 %), *Parapholis* (7 %). Comparativement à Charron où la banque de graines est marquée par une plus grande occurrence de *Puccinellia*, Champagné-les-Marais représente également un site en pré salé avec les quatre mêmes genres les plus abondants, mais à dominance de salicornes : *Salicornia* (24 %), *Puccinellia* (21 %), *Suaeda* (20 %), *Atriplex* (7 %). Sur ce site, *Triglochin* et *Spergularia* représentent chacun 6 % des genres les plus fréquents alors qu'ils ne figurent pas parmi les dix genres les plus fréquents à Charron. Bien que les groupements phytosociologiques des prés salés soient les mêmes entre ces deux sites, ils constituent des patchs plus petits et plus diffus sur les mizottes de Champagné-les-Marais que sur Charron, ceci n'affectant visiblement pas le nombre de genres moyen par maille, mais pouvant expliquer la variance plus grande sur Champagné-les-Marais (Fig. 12).

Sur le site de Lairoux, les cinq genres les plus fréquents sont *Ranunculus* (30 %), *Trifolium* (28 %), *Eleocharis* (21 %), puis minoritairement *Matricaria* (3 %) et *Glyceria* (3 %). *Trifolium* et *Ranunculus* se retrouvent également sur les deux autres sites de prairie humide de la Prée mizottière et la Vacherie, mais les cortèges restent plus diversifiés que sur les deux sites de pré salé avec à la Prée mizottière les genres *Trifolium* (17 %), *Polygonum* (14 %), *Chenopodium* (14 %), *Picris* (12 %), *Ranunculus* (11 %) et à la Vacherie : *Trifolium* (20 %), *Carex* (20 %), *Ranunculus* (18 %), *Eleocharis* (9 %), *Ananthe* (6 %).

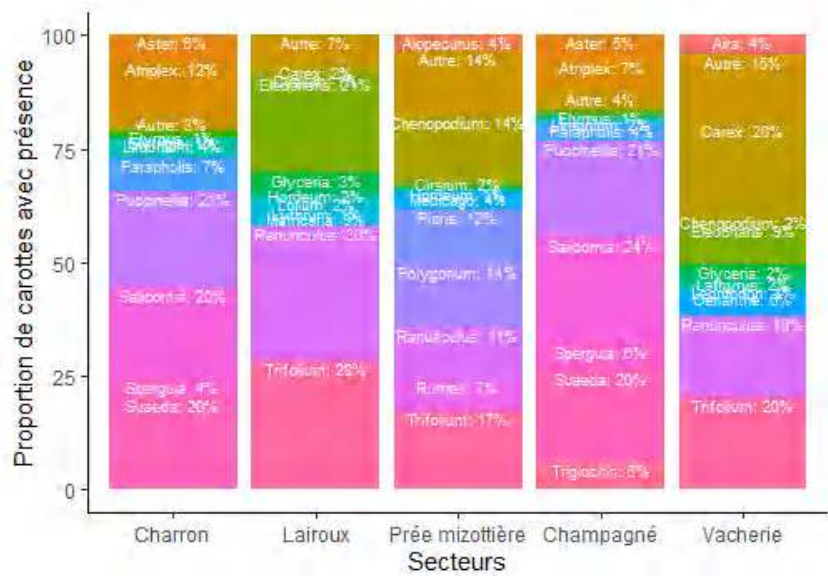


Figure 13 : Distribution des 10 genres les plus fréquents par site échantillonné.

Au total, ce sont 82 genres retrouvés et identifiés dans les prairies humides contre 54 dans les prés salés. La diversité spécifique est plus grande dans les prairies humides, dont la proportion de genre « autre » que les 10 genres les plus fréquents représentent 25 % des genres inventoriés en prairie humide contre 5 % en pré salé (Fig. 14).

Les cinq genres les plus présents en **prairie humide** sont **Trifolium** (13 %, dont majoritairement l'espèce *alexandrinum*, mais aussi *T. repens*, *T. fragiferum*, *T. subterraneum*), **Ranunculus** (12 %, dont essentiellement l'espèce *sardous*, et anecdotiquement *R. bulbosus*, *R. baudotii*, *R. ophioglossifolius*), **Carex** (9 %, dont essentiellement l'espèce *obtrubae* et anecdotiquement *C. arenaria* et *C. divisa*), **Eleocharis** (9 % dont uniquement l'espèce *E. palustris*), et **Polygonum** (8% dont uniquement l'espèce *P. aviculare*).

Les cinq genres les plus présents en **pré salé** sont **Salicornia** (19 % espèces non identifiées), **Suaeda** (18 % dont uniquement l'espèce *S. maritima*), **Puccinellia** (18 % dont uniquement l'espèce *P. maritima*), **Atriplex** (11 % espèces non identifiées), **Parapholis** (7 % dont uniquement l'espèce *P. strigosa*).

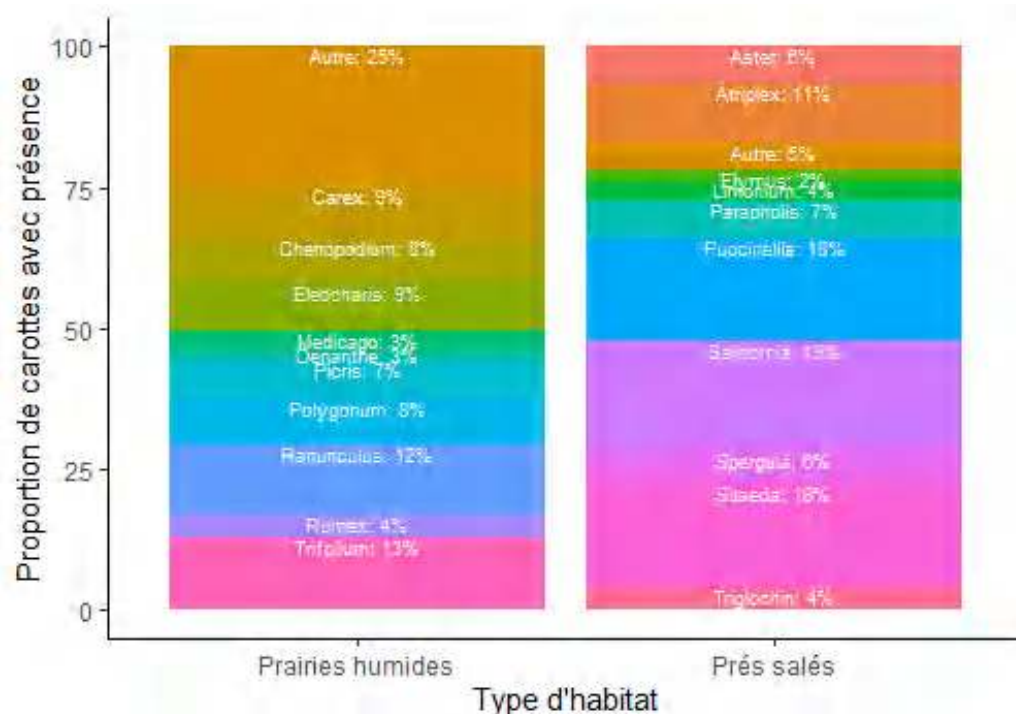


Figure 14 : Distribution des 10 genres les plus fréquents par habitat échantillonné.

3.3.3. Evolution de la diversité en genres de graines dans le sol

Une légère autocorrélation spatiale d'ordre 1 entre le nombre de genres par maille a été notée (indice de Moran = 0.13 p-value < 0.001), c'est-à-dire que **la diversité en genres d'une maille est très similaire à celle des mailles voisines** qui la jouxtent.

Tableau 5 : Sélection de modèles étudiant la variation du nombre de genres dans la banque de graines par maille. La déviance résiduelle est utilisée pour calculer l'AICc. $\Delta AICc$ donne la différence entre l'AICc du modèle et celui du modèle au plus faible AICc.

Modèles	Df	AICc	$\Delta AICc$
Diversité~1	5931	21440	2301
Diversité~ Secteur+Saison+Période	5923	21220	2081
Diversité~ Habitat+Saison+Période	5926	21270	2131
Diversité~ Secteur+SaiPér	5919	21210	2071
Diversité~(1 id_maille)+Secteur+SaiPér	5918	19139	0
Diversité~(1 id_maille)+Habitat+SaiPér	5921	19142	3
Diversité~(1 id_maille)+SaiPér	5922	19147	8
Diversité~(1 id_maille)+Secteur	5926	19295	156

Le secteur a un effet plus important que le type d'habitat (pré salé ou prairie humide) sur la variabilité du nombre de genres (tableau 5, AIC = 19139 pour le modèle avec secteur vs. AIC = 19142 pour le modèle avec habitat) mais cet effet est négligeable par rapport à la saison ou l'année de collecte des carottes. **La diversité est plus grande sur la RNR Marais de la Vacherie** (coef = 0.79 ± 0.05), puis sur les prairies de la Prée mizottière (coef = 0.70 ± 0.06), les prés salés de la RNN baie de l'Aiguillon à Champagné-les-Marais (coef = 0.60 ± 0.05), les prairies du Communal de Lairoux (coef = 0.58 ± 0.05), et enfin, **les prés salés de la RNN à Charron sont les plus pauvres** (coef = 0.54 ± 0.05). Si deux des trois sites de prairies présentent la plus grande diversité en genre, ce n'est pas le cas du Communal de Lairoux, qui est plus pauvre que le pré salé de Champagné-les-Marais.

Les variables années et saisons impactent fortement le nombre de genres présent dans les carottes indépendamment du secteur de prélèvement (Fig. 15). La diversité était plus grande lors de la période d'hivernage 2016-2017 et équivalente entre les périodes d'hivernage 2017-2018 et 2018-2019. L'année 2017 fut une année globalement plus sèche que la moyenne (Fig. 16), ce qui a pu diminuer la production de **graines de certaines espèces végétales** et donc réduire la diversité en genres de la banque de graines les périodes suivantes. L'hypothèse de crue lessivant les sols et la banque de graine n'est pas retenue car aucune crue majeure n'a été notée fin 2017. **La diversité est globalement stable entre les saisons d'un même hivernage**, sans tendance nette entre les saisons.

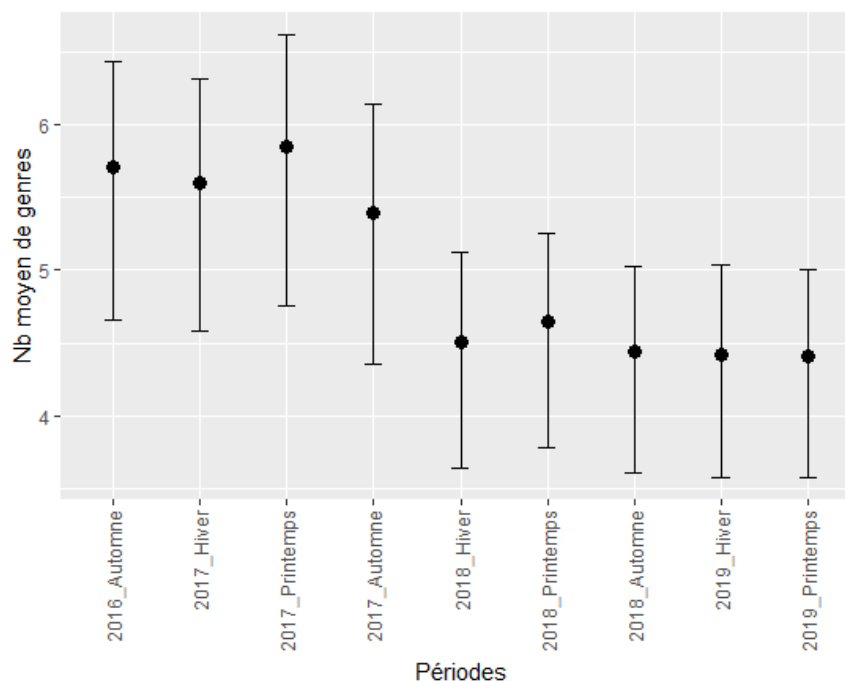


Figure 15 : Effets estimés de chaque période de prélèvements sur la diversité en genres dans les carottes par maille.

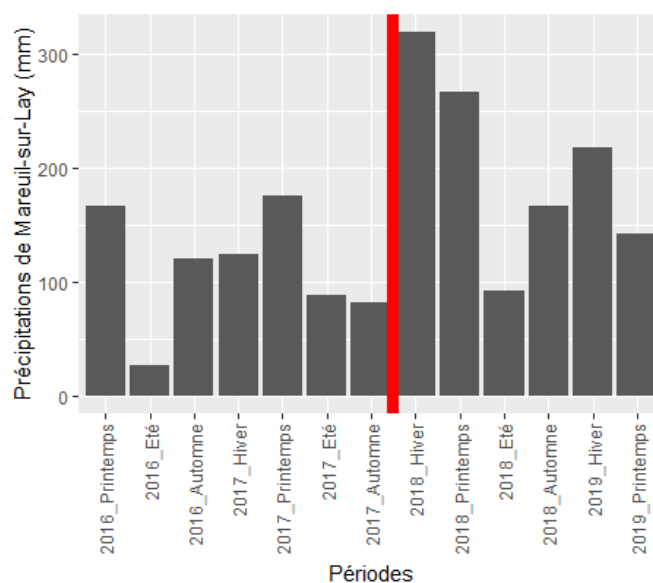


Figure 16 : Précipitations cumulées par saison à Mareuil-sur-Lay sur la période d'échantillonnage. Le trait rouge indique la scission dans la diversité en genres entre 2017 et 2018.

Sur le sous-échantillon ciblant les carottes prélevées en pré salé, la fauche tend non significativement à diminuer la diversité en genre (AIC identiques entre les modèles avec et sans la variable fauche). Le type de groupement phytosociologique n'a pas eu d'impact sur la diversité en genres (AIC = 7299 du modèle complet vs. AIC = 6643 sans la variable groupement phytosociologique, tableau 6).

Tableau 6 : Sélection de modèles étudiant la variation du nombre de genres dans la banque de graines par maille sur le sous-échantillon en pré salé en incluant les variables « effet fauche » et « groupement phytosociologique ». La déviance résiduelle est utilisée pour calculer l'AICc. $\Delta AICc$ donne la différence entre l'AICc du modèle et celui du modèle au plus faible AICc.

Modèle	Df	AICc	$\Delta AICc$
Diversité_2~1	2137	7710	1073
Diversité_2~(1 id_maille)+Secteur+SaiPér+Fauche+Phytosocio	2116	7299	662
Diversité_2~(1 id_maille)+Secteur+SaiPér+Fauche	2126	6643	6
Diversité_2~(1 id_maille)+Secteur+SaiPér+Phytosocio	2117	6642	5
Diversité_2~(1 id_maille)+Secteur+Fauche+Phytosocio	2124	6904	267
Diversité_2~(1 id_maille)+SaiPér+Fauche+Phytosocio	2117	6642	5
Diversité_2~(1 id_maille)+Secteur+SaiPér	2127	6637	0
Diversité_2~(1 id_maille)+Secteur+Fauche	2134	6895	258
Diversité_2~(1 id_maille)+SaiPér+Fauche	2127	6637	0
Diversité_2~(1 id_maille)+SaiPér	2128	6637	0
Diversité_2~(1 id_maille)+Fauche	2135	6896	259
Diversité_2~(1 id_maille)	2136	6930	293

3.3.4. Evolution du nombre de graines dans le sol

Une légère autocorrélation spatiale d'ordre 2 entre le nombre de genres par maille a été notée (indice de Moran = 0.05 p-value < 0.001), c'est-à-dire que le nombre de graines d'une maille est très similaire à celle des deux mailles voisines qui la jouxtent.

Tableau 7 : Sélection de modèles étudiant la variation du nombre de graines dans la banque de graines par maille. La déviance résiduelle est utilisée pour calculer l'AICc. $\Delta AICc$ donne la différence entre l'AICc du modèle et celui du modèle au plus faible AICc.

Modèle	Df	AICc	$\Delta AICc$
$\log(Nb_moyen) \sim 1$	5931	21028	1387
$\log(Nb_moyen) \sim (1 id_maille) + Secteur + SaiPér$	5917	19641	0
$\log(Nb_moyen) \sim (1 id_maille) + Habitat + SaiPér$	5920	19690	49
$\log(Nb_moyen) \sim (1 id_maille) + Secteur$	5925	20421	780
$\log(Nb_moyen) \sim (1 id_maille) + SaiPér$	5921	19710	69
$\log(Nb_moyen) \sim (1 id_maille)$	5929	20420	779

Tout comme pour la diversité de la banque de graines, le secteur a un effet plus important que le type d'habitat (AIC = 19641 pour le modèle avec secteur vs. AIC = 19690 pour le modèle avec habitat, tableau 7) mais cet effet est négligeable par rapport à la saison ou l'année de collecte des carottes. **La quantité de graines est plus grande sur la RNR Marais de la Vacherie** (coef = 2.92 ± 0.07), puis sur les prés salés de la RNN baie de l'Aiguillon de Champagné-les-Marais (coef = 2.55 ± 0.06) et de Charron (coef = 2.48 ± 0.06), les prairies humides de **la Prée mizottière** (coef = 2.44 ± 0.07) et enfin, **les prairies du communal de Lairoux sont les moins abondantes en graines** (coef = 2.40 ± 0.06). L'habitat (prés salé ou prairie humide) ne semble donc pas influencer la quantité de graines disponibles dans la banque du sol.

Les variables années et saisons impactent fortement la quantité de graines présente dans les carottes indépendamment du secteur de prélèvement, sans pour autant afficher de tendance (Fig. 17). L'abondance, tout comme la diversité en genres, était plus grande lors de la période d'hivernage 2016-2017 et plus faible pendant l'hivernage 2018-2019. En revanche, la quantité de graines diminue d'un tiers en 2017, entre l'automne et l'hiver ce qui appuie l'hypothèse d'une influence environnementale forte à cette période. Outre les événements météorologiques, **la déplétion en graines pourrait s'expliquer par une surconsommation de la ressource par les anatidés**. Néanmoins, les données du comptage sur le Communal de Lairoux ne sont pas disponibles pour tous les mois avant 2017, ce qui ne permet pas la comparaison temporelle des effectifs d'anatidés vérifiant cette hypothèse à l'heure actuelle. A noter que le communal est le seul secteur prairial chassé parmi les trois étudiés, ce qui pourrait impacter la fréquentation de ce secteur en et ors période de chasse.

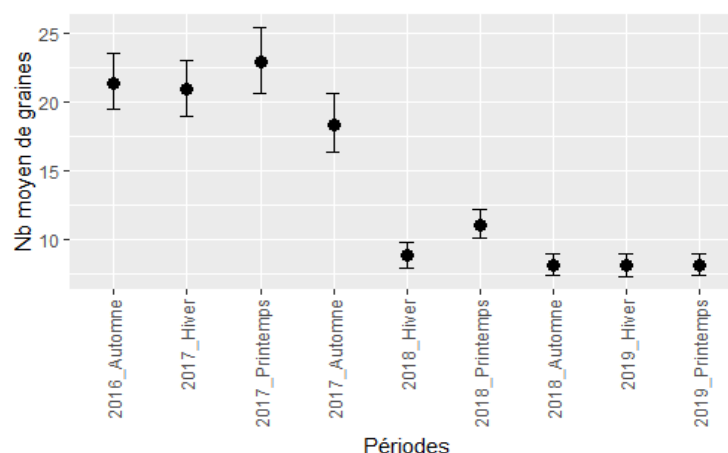


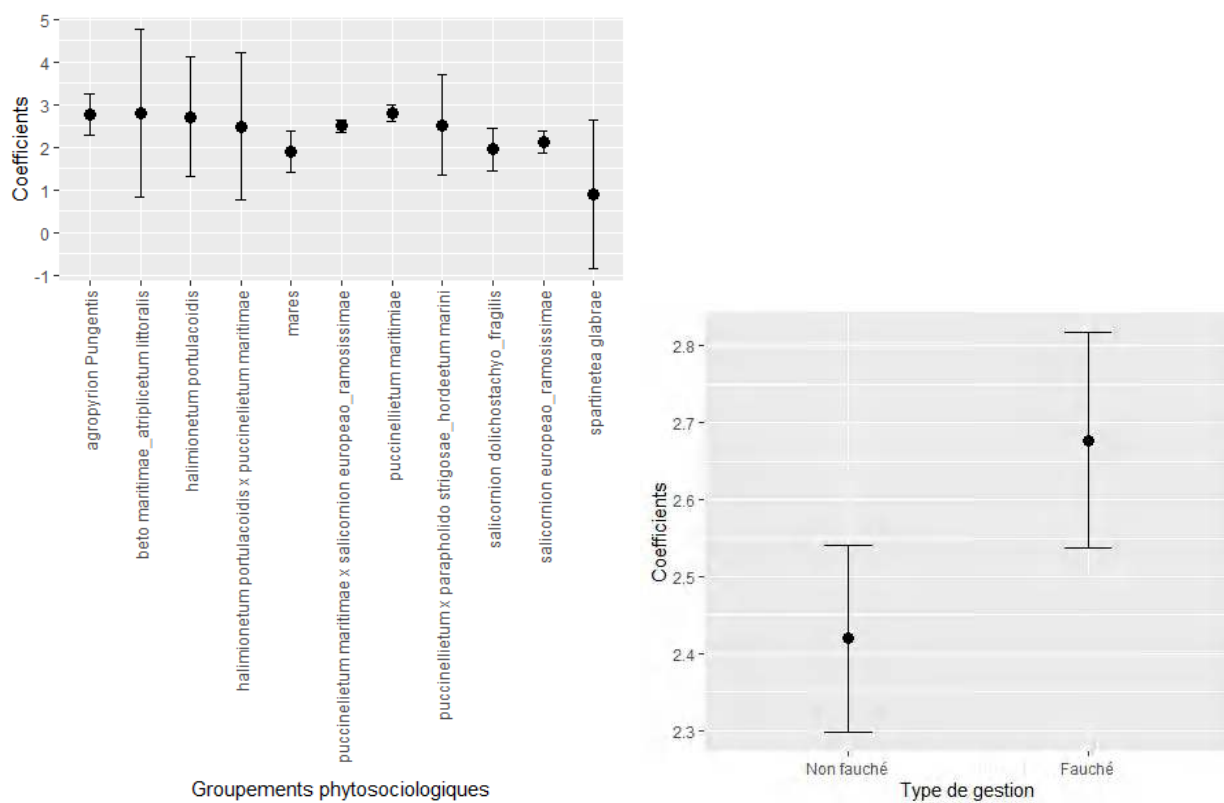
Figure 17 : Nombre moyen de graines estimé à chaque période de prélèvements par carotte collectée.

Sur le sous-échantillon ciblant les carottes prélevées en pré salé, **la fauche et le type de groupement phytosociologique ont impacté la quantité de graines** (AICc = 7539 du modèle complet vs. AICc = 7561 sans ces 2 variables, tableau 8).

Tableau 8 : Sélection de modèles étudiant la variation du nombre de graines dans la banque du sol par maille sur le sous-échantillon en pré salé en incluant les variables « effet fauche » et « groupement phytosociologique ». La déviance résiduelle est utilisée pour calculer l'AICc. Δ AICc donne la différence entre l'AICc du modèle et celui du modèle au plus faible AICc.

Modèle	AICc	Δ AICc
$\log(\text{Nb_moyen}) \sim (1 \text{id_maille}) + \text{Secteur} + \text{SaiPér} + \text{Fauche} + \text{Phytosocio}$	7817	278
$\log(\text{Nb_moyen}) \sim (1 \text{id_maille}) + \text{Secteur} + \text{SaiPér} + \text{Fauche}$	7885	346
$\log(\text{Nb_moyen}) \sim (1 \text{id_maille}) + \text{Secteur} + \text{SaiPér} + \text{Phytosocio}$	7820	281
$\log(\text{Nb_moyen}) \sim (1 \text{id_maille}) + \text{Secteur} + \text{Fauche} + \text{Phytosocio}$	8404	865
$\log(\text{Nb_moyen}) \sim (1 \text{id_maille}) + \text{SaiPér} + \text{Fauche} + \text{Phytosocio}$	7539	0
$\log(\text{Nb_moyen}) \sim (1 \text{id_maille}) + \text{SaiPér} + \text{Fauche}$	7549	10
$\log(\text{Nb_moyen}) \sim (1 \text{id_maille}) + \text{SaiPér} + \text{Phytosocio}$	7545	6
$\log(\text{Nb_moyen}) \sim (1 \text{id_maille}) + \text{Phytosocio} + \text{Fauche}$	8288	749
$\log(\text{Nb_moyen}) \sim (1 \text{id_maille}) + \text{SaiPér}$	7561	22
$\log(\text{Nb_moyen}) \sim 1$	8777	1238

Les groupements phytosociologiques dans lesquels le nombre de graines est le plus élevé indépendamment de la variance estimée sont ceux du haut de schorre caractérisés par les groupements *Halimionetum portulacoidis* et *Puccinellietum maritimae* (Fig. 18). A l'inverse les carottes réalisées dans les spartines caractéristiques des espèces du bas schorre, sont moins abondantes en graine. Le nombre de graines dénombré dans les secteurs fauchés est quant à lui plus élevé que dans les secteurs non fauchés. La fauche semble donc être une mesure de gestion augmentant l'abondance de graines dans la banque du sol.



Figures 18 : Effets estimés de chaque groupement phytosociologique (gauche) et du type de gestion sur secteur (droite) sur le nombre moyen de graines par maille dans l'habitat de pré salé.

3.3.5. Evolution de la biomasse en graines dans le sol

3.3.5.1. Limite de la biomasse intraspécifique

Les cinq espèces de graines les plus fréquentes dans les carottes échantillonnées dans les prés salés (*Aster tripolium*, *Atriplex*, *Parapholis strigosa*, *Puccinellia maritima*, *Suaeda maritima*) et les cinq plus fréquentes dans les prairies humides (*Trifolium alexandrinum*, *Ranunculus sardous*, *Polygonum aviculare*, *Oenanthe silaifolia*, *Rumex crispus*) ont été pesées à hauteur de 50 individus par espèce (Fig. 19).

Il en ressort un **écart-type important** par rapport aux masses moyennes calculées à partir de la base de données internationale LEDA, ce qui indique **une grande variabilité intraspécifique de la masse des graines, probablement liées aux conditions environnementales dans lesquelles les plantes ont évolué**. Il n'est donc pas possible d'utiliser une masse théorique issue de la littérature pour étudier l'évolution de la biomasse espèce par espèce dans la banque de graines au cours du temps. Néanmoins, la biomasse totale de chaque carotte a été mesurée et a fait l'objet d'une étude.

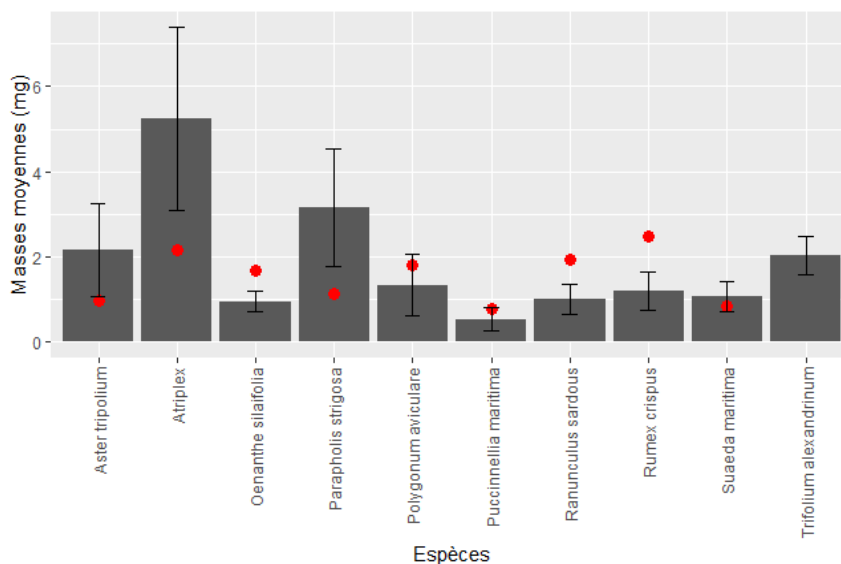


Figure 19 : Masses mesurées des graines des 10 espèces végétales les plus fréquentes et suffisamment volumineuses pour être pesées (histogrammes) accompagnées de l'écart-type (N = 50 pour chaque espèce) et de la masse moyenne théorique issue de la banque de graines LEDA (points rouges).

3.3.5.2. Biomasse globale

Un modèle linéaire mixte a été utilisé pour modéliser la variabilité de la biomasse en graines en fonction de divers facteurs : le secteur, la saison, la période et de l'habitat avec l'identifiant de la maille comme effet aléatoire.

Une légère autocorrélation spatiale a été notée d'ordre 2 (indice de Moran = 0.02 p-value < 0.001), c'est-à-dire que la biomasse en graines d'une maille est proche de celle des deux mailles voisines qui la jouxtent. Le secteur a un effet plus important que le type d'habitat (pré salé ou prairie humide) sur la variabilité de la biomasse en graines (AIC=20508 pour le modèle avec secteur vs. AIC=20569 pour le modèle avec habitat, tableau 9). **La biomasse est plus grande sur la RNR Marais de la Vacherie** (coef = 3.10 ± 0.07), puis sur les prairies de la Prée mizottière (coef = 2.58 ± 0.08), les prés salés de la RNN baie de l'Aiguillon Charron

(coef = 2.42 ± 0.07) et à Champagné-les-Marais-les-Marais (coef = 2.29 ± 0.07) et enfin, les prairies du communal de Lairoux (coef = 2.23 ± 0.07) sont les plus pauvres.

Tableau 9 : Sélection de modèles étudiant la variation de la biomasse de graines dans la banque du sol par maille. La déviance résiduelle est utilisée pour calculer l'AICc. $\Delta AICc$ donne la différence entre l'AICc du modèle et celui du modèle au plus faible AICc.

Modèle	Df	AICc	$\Delta AICc$
$\log(\text{Biomasse_moy}) \sim 1$	5931	21949	1441
$\log(\text{Biomasse_moy}) \sim (1 \text{id_maille}) + \text{Secteur} + \text{SaiPér}$	5917	20508	0
$\log(\text{Biomasse_moy}) \sim (1 \text{id_maille}) + \text{Habitat} + \text{SaiPér}$	5920	20569	61
$\log(\text{Biomasse_moy}) \sim (1 \text{id_maille}) + \text{Secteur}$	5925	21072	564
$\log(\text{Biomasse_moy}) \sim (1 \text{id_maille}) + \text{SaiPér}$	5921	20579	71
$\log(\text{Biomasse_moy}) \sim (1 \text{id_maille})$	5929	21111	603

Les variables temporelles impactent la biomasse en graines présente dans les carottes (Fig. 20). Tout comme la diversité en genres et l'abondance de graines, la biomasse était plus grande lors de la période d'hivernage 2016-2017 et plus faible pendant l'hivernage 2018-2019 avec une scission nette où la biomasse diminue d'un tiers fin 2017. La biomasse est peu variable d'une saison à l'autre au sein d'une même période d'hivernage, sauf pour l'année 2017 où la scission est notée.

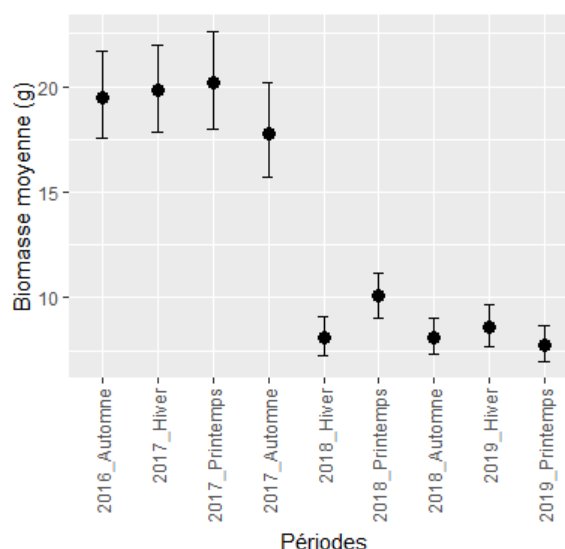


Figure 20 : Effets estimés de chaque période de prélèvements sur la biomasse moyenne de graines collectée par maille dans les carottes.

Sur le sous-échantillon ciblant les carottes prélevées en pré salé, la fauche n'a qu'un effet mineur sur la biomasse (AIC=7813 du modèle complet vs. AIC=7816 sans la fauche, tableau 10), avec une **tendance à l'augmentation de la biomasse de la banque de graines sur les secteurs fauchés.**

Tableau 10 : Sélection de modèles étudiant la variation de la biomasse en graines moyenne par maille dans la banque du sol sur le sous-échantillon en pré salé en incluant les variables « effet fauche » et « groupement phytosociologique ». La déviance résiduelle est utilisée pour calculer l'AICc. $\Delta AICc$ donne la différence entre l'AICc du modèle et celui du modèle au plus faible AICc.

Modèle	Df	AICc	$\Delta AICc$
$\log(\text{Biomasse_moy}) \sim 1$	2137	8777	964
$\log(\text{Biomasse_moy}) \sim (1 \text{id_maille}) + \text{Secteur} + \text{SaiPér} + \text{Fauche} + \text{Phytosocio}$	2115	7817	4
$\log(\text{Biomasse_moy}) \sim (1 \text{id_maille}) + \text{Secteur} + \text{SaiPér} + \text{Fauche}$	2125	7885	72
$\log(\text{Biomasse_moy}) \sim (1 \text{id_maille}) + \text{Secteur} + \text{SaiPér} + \text{Phytosocio}$	2116	7820	7
$\log(\text{Biomasse_moy}) \sim (1 \text{id_maille}) + \text{Secteur} + \text{Fauche} + \text{Phytosocio}$	2123	8404	591
$\log(\text{Biomasse_moy}) \sim (1 \text{id_maille}) + \text{SaiPér} + \text{Fauche} + \text{Phytosocio}$	2116	7813	0
$\log(\text{Biomasse_moy}) \sim (1 \text{id_maille}) + \text{SaiPér} + \text{Fauche}$	2126	7884	71
$\log(\text{Biomasse_moy}) \sim (1 \text{id_maille}) + \text{SaiPér} + \text{Phytosocio}$	2117	7816	3
$\log(\text{Biomasse_moy}) \sim (1 \text{id_maille}) + \text{Fauche} + \text{Phytosocio}$	2124	8400	587
$\log(\text{Biomasse_moy}) \sim (1 \text{id_maille})$	2135	8548	735

Le type de groupements phytosociologiques présent impacte également la biomasse, alors qu'il n'influe pas la diversité ou l'abondance en graines. Comme attendu, **la biomasse en graines est plus faible dans les groupements du bas du schorre ou de la slikke**, caractérisés par les salicornes ou spartines (habitats Natura 2000 classés 1310-1 et 2, 1320-1) **comparativement aux groupements de haut de schorre**, caractérisés par le groupement Halimionetum portulacoidis x Puccinellietum maritimae (habitats 1330-2) (Fig. 21).

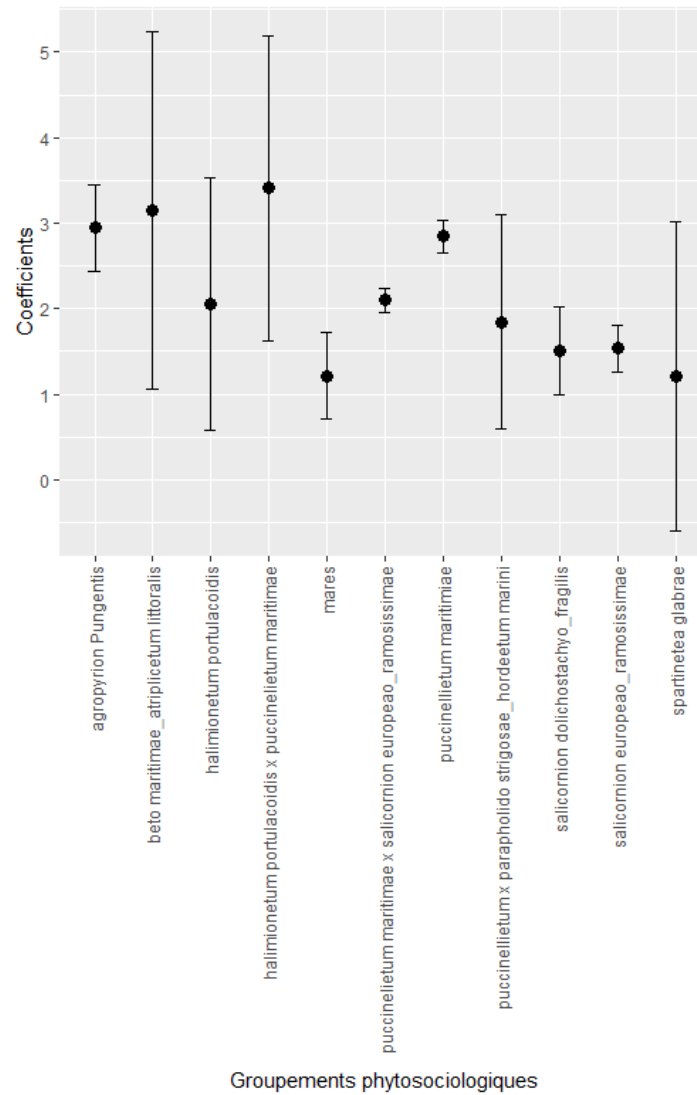


Figure 21 : Effets estimés de chaque groupement phytosociologique sur la biomasse moyenne en graines par maille dans l'habitat de pré salé.

3.3.6. Effet de la fauche sur la banque de graines en prairie humide

Les précédentes études (2.3.3., 2.3.4., 2.3.5.) sur la **fauche en pré salé** ont indiqué **aucun effet significatif de ce mode de gestion sur la biomasse** de graines dans la banque du sol. La diversité de genres contenus tend à être légèrement plus pauvre dans les échantillons prélevés en surface fauchée alors que l'abondance en graines tend à augmenter dans la banque de graines. Ces effets de la fauche sur la composition de la banque de graines dans les prés salés peut **s'expliquer par les conditions de marées et flux d'eau qui impactent probablement encore plus fortement la composition de la banque de graines**. Il est donc attendu un signal plus clair dans les prairies humides en l'absence de phénomène de marée.

Diversité en genres, abondances en graines et biomasse théorique ne semblent pas impactées clairement par la pratique de la fauche en prairie humide (Fig. 22). Les parcelles pâturées possèdent mêmes une banque de graines plus pauvres que les parcelles fauchées, particulièrement après l'hiver. Nous pouvons supposer que la fauche, bien qu'exportant la matière sèche, contribue mécaniquement à faire tomber au sol les graines des plantes au moment de la fauche (d'autant que celle-ci de déroulé après le 15 juin à la Vacherie). A l'inverse les plantes sur pied sont consommées par les herbivores avant leur montée à graine, et celles qui arrivent à maturité sont potentiellement consommées également. Il est possible que tout comme les marées, les crues puissent impacter la banque de graines. Ceci expliquerait également pourquoi le Communal de Lairoux est le site le moins diversifié et abondant en graines, puisqu'il est inondé en période hivernal.

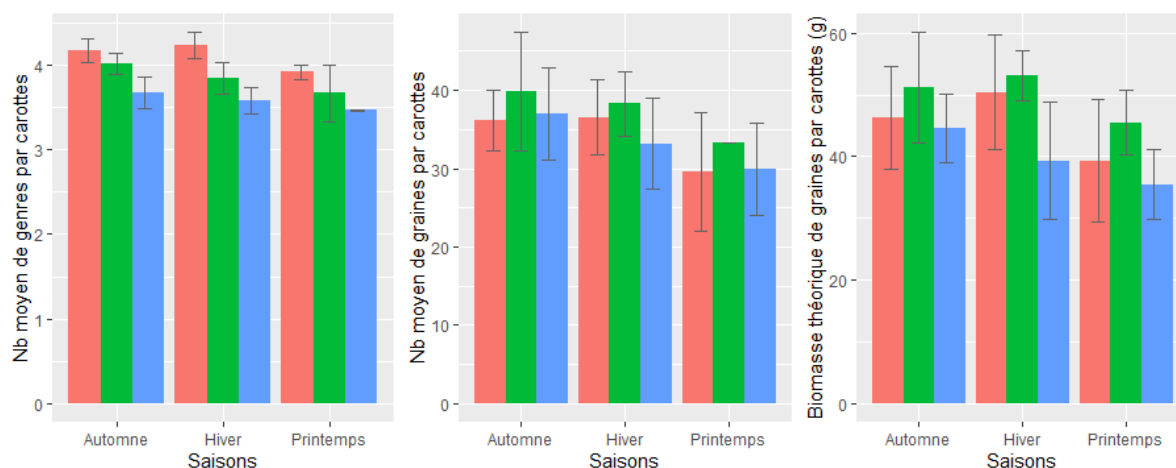


Figure 22 : Composition de la banque de graines du sol échantillonnée sur la RNR du Marais de la Vacherie lors des hivernages d'octobre 2016 à avril 2019 suivant le type de gestion des prairies humides (rose : parcelle fauchée, vert : parcelle fauchée pâturée en regain, bleu : parcelle pâturée)

3.3.7. Evolution temporelle des occurrences de genres

Les précédentes études ont indiqué une grande variabilité temporelle de la diversité, abondance et biomasse en graines, liée au changement de saison et à l'année de collecte des échantillons. Bien que l'effet habitat ne soit pas démontré, il est supposé que la banque de graines du sol n'est pas alimentée de la même manière en pré salé qu'en prairie humide. Le pré salé est un habitat en zone intertidale véhiculant les graines au gré des marées (forts coefficients fin août) et subissant sur certains secteurs une fauche des graminées (puccinellie) entre la mi-juin et la mi-septembre. De fait, les apports en graines sont hétérogènes au cours de l'été et la banque du sol influencée par ces flux estivaux. De plus, les espèces de pré salé telles que la soude ou la salicorne fleurissent en fin d'été et gardent leurs graines sur pied jusqu'en automne. A l'inverse, en prairie humide, la floraison a lieu dès le mois de mai, laissant supposer un afflux estival de graines dans la banque du sol plus précoce qu'en pré salé. Les occurrences dans les échantillons prélevés des trois genres les plus présents en pré salé (*Suaeda*, *Puccinellia*, *Salicornia*) et prairie humide (*Trifolium*, *Ranunculus*, *Eleocharis*) ont été décrits au cours des saisons (Fig. 23), mais aucune tendance saisonnière n'en découle du fait de la grande variabilité interannuelle.

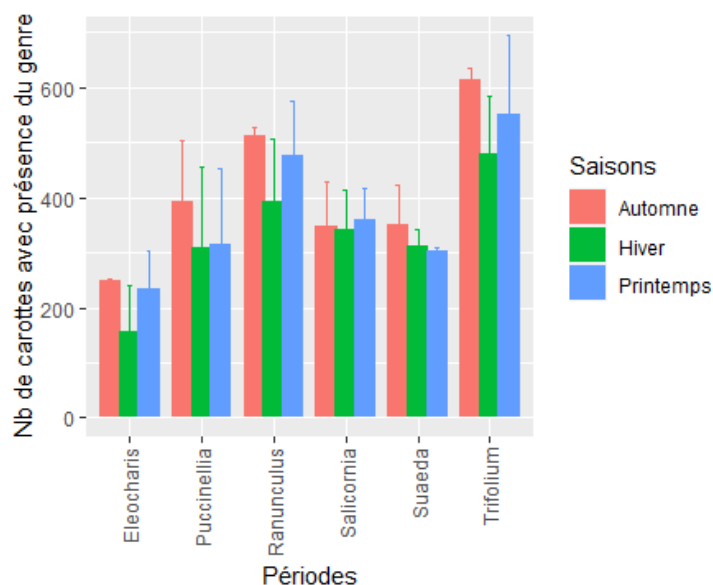


Figure 23 : Nombre de carottes présentant chacun des trois genres les plus présents dans les habitats de prairie humide et pré salé au cours des 9 campagnes aux automnes, hivers et printemps de 2016 à 2019.

3.4. Synthèse et perspectives

La banque de graines est à première vue plus diversifiée en prairie humide qu'en pré salé, mais cette variabilité est dépendante de l'année et de la saison et plus liée au site d'échantillonnage (échantillon plus élevé en milieu prairial qu'en pré salé) qu'à l'habitat. Le Communal de Lairoux paraît comme le site avec la banque de graines la moins attrayante en termes de ressources alimentaires (diversité, densité ou biomasse en graines) pour les anatidés alors que la RNR Marais de la Vacherie serait le plus attrayant des 5 sites échantillonnés. Les sites de pré salé et la Prée mizottière s'alternent qualitativement sur la densité et la biomasse de leur banque de graines.

Au total, ce sont 82 genres en prairie humide contre 54 en pré salé. La diversité en genres est moins élevée sur Charron (pré salé) et Lairoux (prairie humide) que sur la Prée mizottière (prairie humide) et la Vacherie (prairie humide). Cependant, les dix genres les plus fréquents représentaient 25 % des genres en prairie humide contre 5 % en pré salé, indiquant une dominance plus forte de certaines espèces en prairie humide qu'en pré salé. Les prés salés sont dominés par les genres *Salicornia*, *Puccinellia*, *Suaeda*, *Atriplex*, *Parapholis* et les prairies humides par *Trifolium*, *Ranunculus*, *Carex*, *Eleocharis* et *Polygonum*.

De même pour la densité en graines que pour la diversité en genres, la banque de graines est fluctuante suivant l'année et la saison, à savoir plus importante sur la Vacherie et Champagné-les-Marais que sur la Prée mizottière et Lairoux. Le marais communal de Lairoux, constituant le lit majeur du fleuve Le Lay, est une zone d'expansion des crues. Il n'est pas exclu que le passage des crues exporte une partie de la banque de graine. Par ailleurs, le site de Lairoux est le seul à être totalement pâturé tous les ans. La biomasse en graines est quant à elle plus élevée sur la Vacherie et la Prée mizottière que sur Champagné-les-Marais ou Lairoux. Cette densité fluctuante a entraîné par exemple une diminution par deux de la biomasse dans la banque de graines du sol après l'automne 2017. Cette variation peut s'expliquer par la diminution des flux de sortie de la banque de graines : moins de germination, de mortalité ou plus faible consommation des graines par les granivores, ou par une augmentation des flux d'entrée via une meilleure reproduction ou moins d'export. Rappelons que l'hiver 2017-2018 a été particulièrement déficitaire en pluviométrie. La thèse d'une diminution du stock de graines produit lors de la floraison des plantes à l'été 2016, du fait d'une année plus sèche que les suivantes, pourrait expliquer les diminutions de biomasse, diversité et abondance des années 2017-2019.

Sur les prés salés, les groupements phytosociologiques n'ont pas impacté significativement la densité en graines bien que la biomasse et le nombre de graines dans les carottes soient plus importants dans les groupements végétaux de haut schorre par rapport à ceux de la slikke ou du bas schorre. Cette biomasse plus élevée ne traduit pas forcément une productivité plus haute, mais une différence interspécifique des masses, car les graines de salicornes, espèces présentes jusqu'à la slikke, sont deux fois moins lourdes que les graines de puccinellie, espèce présente dans le haut schorre.

L'évolution de la biomasse disponible pour la ressource alimentaire des anatidés pourrait être poursuivie. Elle permettrait d'étudier la variance de la masse de chaque espèce de graines en fonction des contraintes environnementales (habitat, groupe phytosociologique associé au prélèvement...) et temporelles (saison, mois de prélèvement...) afin de pouvoir corréler la variation de la biomasse disponible à celle qui est ingérée et retrouvée dans les gésiers des anatidés. Cet axe permettrait d'évaluer également la valeur nutritive de chaque genre en fonction des sites de prélèvement et de l'avancée de l'hivernage.

Concernant les modalités de gestion en pré salé, les surfaces fauchées tendent à être plus pauvres dans leur diversité de genres composant les échantillons, mais cette tendance n'est pas significative, probablement parce que les conditions de marées et flux d'eau impactent encore plus fortement la banque

de graines que le type de gestion. Sur les prairies humides, l'étude n'apporte pas d'effet supplémentaire du type de gestion : fauche avec ou sans pâturage de regain ou pâturage sans fauche préalable.

Aussi, les drivers environnementaux tels que les surfaces inondées en lien à la gestion des niveaux d'eau pourraient être étudiés plus finement. En effet la notion de flux d'eau semble être prédominante, voire plus impactante que les pratiques de gestion de type fauche ou pâturage sur la composition de la banque de graines. La détermination de l'implication de chaque variable dans la richesse de la banque de graines permettrait ensuite d'orienter les mesures de gestion pour améliorer l'accueil des sites pour les anatidés hivernants.

4. ETUDE DE L'UTILISATION DE L'ESPACE PAR LES ANATIDES

4.1. Mise en contexte

Afin de compléter la précédente étude de 2005 (Fritz et al. 2005) portant sur l'utilisation du Marais poitevin par les anatidés, le LIFE Baie de l'Aiguillon – action A5 – vise à équiper de balises GPS le Canard colvert, *Anas platyrhynchos*, la Sarcelle d'hiver *Anas crecca* et secondairement, le Canard pilet *Anas acuta* qui est présent dans la baie sur des secteurs plus difficilement accessibles car dépendant de la marée. Ces espèces considérées comme granivores permettront de déterminer la localisation des zones de nourrissage, le déplacement et la stratégie d'alimentation des anatidés au cours de la nuit. Il a été choisi de favoriser l'équipement d'espèces plus faciles à capturer et dont le lien avec les prairies humides a déjà été décrit, mais en profitant des améliorations techniques via les GPS pour tenter d'estimer les distances parcourues et les domaines vitaux. Cette action s'est déroulée au cours des hivers 2016 à 2020 et a pour objectif de fournir des éléments d'information pour :

1. Caractériser la fréquentation nocturne et donc l'utilisation « fonctionnelle » (alimentation) des sites ayant faits l'objet d'une intervention (enlèvement des crassats d'huître, mise en place d'ouvrage de gestion hydraulique) que ce soit sur la vasière (utilisation potentielle par le Canard pilet) ou que ce soit sur le site de la Prée mizottière (effet de la gestion hydraulique).
2. Avoir des éléments de compréhension sur l'utilisation trophique du Marais poitevin par les Anatidés hivernants et ainsi cibler spatialement les besoins en termes de protection tant sur la partie remise que sur la partie gagnage.

Du fait des retards des travaux d'extraction des gisements d'huîtres sauvages débutés en septembre 2019 et terminés en novembre 2021 et de la faible durée de vie des balises (au maximum un an, la dernière étant posée le 27 février 2019), il n'a pas été possible de suivre la fréquentation des zones restaurées par le retrait des crassats par les anatidés équipés (axe 1). L'intégralité des résultats porteront donc sur l'axe 2.

4.2. Méthodologie

4.2.1. Techniques de captures et matériel pour le suivi individuel

Cette action intègre donc une dimension « capture et baguage », équipement avec des émetteurs et analyse spatiale des données. De par sa spécificité « canard », cette phase de programme intégrera le programme « Sarcelle » de l'OFB dont les autorisations et techniques ont été validées par le CRBPO.

Les captures de canards ont été réalisées sur le site de la Prée mizottière par le biais de nasse et de cage-piège (matole) avec un agrainage et pose de formes. Les cages ont été activées tous les jours de mi-novembre à mi-janvier et tous les canards capturés ont été bagués. Dans le cadre du programme « Sarcelle », les individus ont été équipés également de marques nasales (Fig. 24).

Afin de respecter les règles déontologiques, des balises de 10 g (émetteur + harnais en téflon) ont été retenues pour équiper des sarcelles de plus de 300 g et des balises de 40 g pour des colverts. Les balises Geolink GSM (colverts) et Ecotone UHF (sarcelles) ont dans un premier temps été sélectionnées pour répondre à cet objectif, puis les balises Ornitela (transmission directe GSM) ont été posées en toute fin de projet sur les sarcelles du fait des avancées technologiques rendant ces dispositifs disponibles. Trois émetteurs ont été acquis pour collecter les données Ecotone : deux stations fixes disposées sur la Prée

mizottière et le mirador du canal de Luçon (site principal de fréquentation pour les sarcelles) et une station mobile pour parcourir les principales remises de sarcelles du Marais poitevin (baie de l'Aiguillon, Pointe d'Arçay, RNN de Saint-Denis-du-Payré. Le système type Cattrack peu coûteux (50 € par enregistreur GPS) a été testé, mais il nécessite la recapture de l'oiseau pour décharger les données stockées dans l'appareil. En théorie, la programmation des émetteurs a été effectuée pour enregistrer une position géographique diurne (remise) et plusieurs positions nocturnes (dans l'idéal un point toutes les heures du coucher au lever du soleil).



Figure 24 : Matériel de suivi individuel posé sur les anatidés pour un suivi par GPS (émetteur à gauche ou Cattrack au centre) et par CMR via les relectures de marques nasales (droite).

4.2.2. Analyse des localisations par les balises GPS

Etant donné le nombre limité de données collectées malgré l'effort déployé à équiper les anatidés, une partie synthétique des données et des limites d'exploitation est présentée dans la section résultats. La durée et la fréquence d'enregistrement des localisations par marque de balises, mais aussi le décompte des localisations par jour/nuit et espèces d'anatidés, sont également présentés dans la section résultats, afin d'orienter au mieux l'analyse des données.

Des cartographies des localisations par krigeage sur un maillage de 500m par espèce, en distinguant les localisations de jour et de nuit, et de cartographies de leur cycle biologique ont été réalisées, avec un zoom sur les sarcelles en et hors période de chasse.

Les localisations des anatidés ayant été suivis de décembre à février pour les canards colverts et les sarcelles d'hiver, et uniquement quelques jours en février pour les canards pilet, ont été cartographiés pour caractériser les milieux fréquentés par espèce au cours de l'hivernage. Les points GPS ont été intersectés à la couche SIG caractérisant les habitats de la zone humide du Marais poitevin réalisée à partir d'une classification par télédétection précise à 83 % et dont les principales erreurs de classification concernent les terres arables et les prairies mésophiles de bordure (Raspinel *et al.* 2016). L'image classifiée fait état de l'habitat photographié au 16 mai 2014, date à laquelle les surfaces en eau peuvent également diverger des surfaces inondées durant l'hiver où les anatidés ont été géolocalisés. Les points GPS ont aussi été couplés à la distribution spatiale des parcelles à vocation environnementale. Ces parcelles sont des espaces à gestion conservatoire regroupant les réserves naturelles, des acquisitions foncières ou parcelles à convention de gestion (Fig. 25) (Source PNR du Marais poitevin).

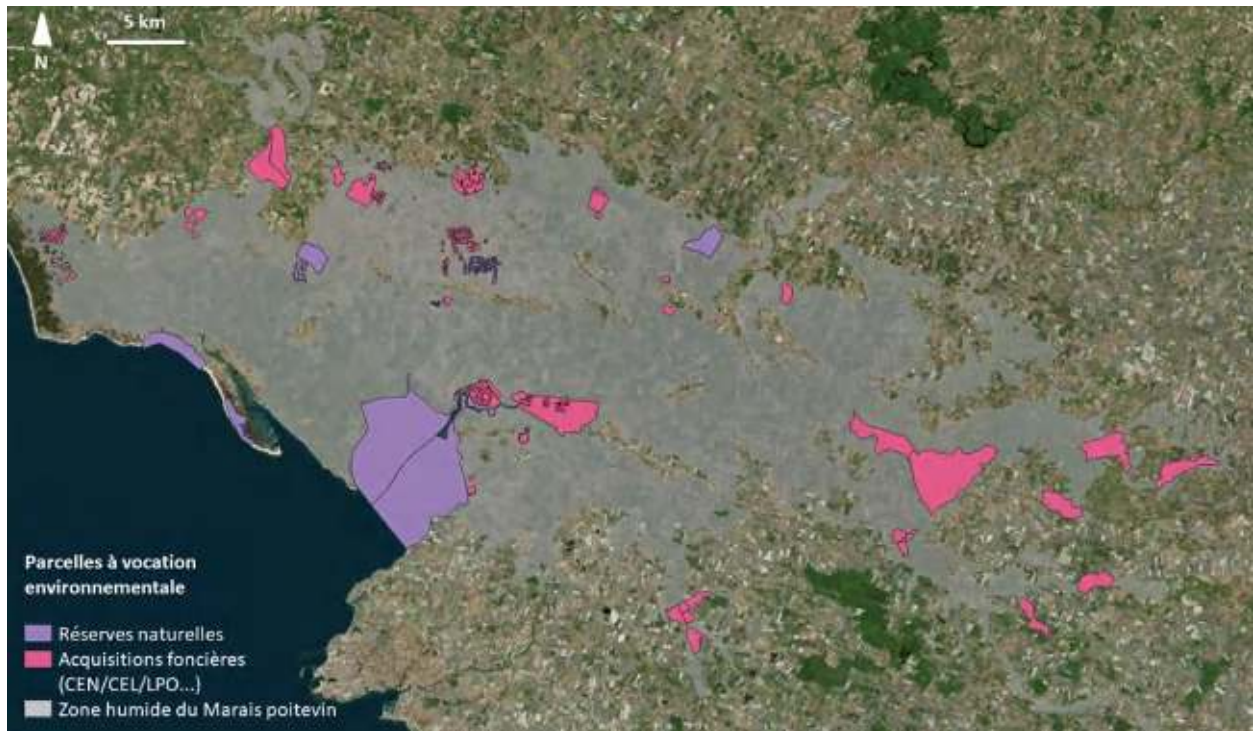


Figure 25 : Parcelles à vocation environnementale en 2021 sur le Marais poitevin.

4.2.3. Analyse des domaines vitaux

Les individus disposants de plus de 10 jours de suivis consécutifs sur la période d'hivernage ont été conservés (N=37 hivernages représentant 33 individus dont 3 colverts et 1 sarcelle suivis 2 hivers consécutifs). La période d'hivernage a été définie de novembre à février pour le Canard colvert et de décembre à février pour la Sarcelle d'hiver et le Canard pilet d'après la visualisation des localisations par GPS et la biologie des espèces décrite dans la littérature (Guillemain et al., 2010).

Plusieurs méthodes d'estimation de la surface du domaine vital ont été testées. L'approche historique du polygone convexe minimal (notée MCP), qui consiste à définir un polygone entourant le nuage de points tout en minimisant la surface de celui-ci (Mohr, 1947), est la plus archaïque et largement utilisée mais présente le biais majeur de surestimer la taille du domaine vital (Calenge, 2019; Worton, 1995), néanmoins, cette méthode était très bien adaptée aux suivis télémétriques passés. Désormais, cette approche permettrait de comparer les MCP actuels avec les études antérieures à 15 ans d'intervalle mais elle ne distingue pas une zone fréquentée ponctuellement du noyau central d'activité de l'individu, puisque tous les points – ou une proportion fixe (que nous avons fixée à 90 % des localisations) – ont un même poids dans la construction du polygone. Cette méthode est aujourd'hui contestée et montre de nombreux biais (Burgman & Fox, 2003).

La méthode par kernel corrige ce biais par l'inclusion dans l'estimation du domaine vital, d'une fonction de densité bivariable assurant ainsi une occupation de l'espace non plus ponctuelle, mais continue (Van Winkle, 1975) via des courbes d'isoprobabilité de présence de l'individu (notée kernelUD). Les points extrêmes influencent donc beaucoup moins la surface estimée du domaine vital. Une seconde approche par kernel dite de ponts browniens permet de corriger la distribution d'utilisation par une relocalisation des points en fonction de paramètres de lissage relatif à la vitesse de déplacement entre 2 points (distance

en fonction de l'intervalle de temps) et à l'imprécision de la relocalisation estimée (Horne et al. 2007, Calenge 2015). Les estimations de domaines vitaux selon les trois méthodes ont été illustrées pour comparaison.

La distribution spatiale des localisations a ensuite été sommée dans un maillage de 500m sur le Marais poitevin afin de cartographier les zones les plus fréquentées et la dispersion de chaque espèce d'anatidés.

4.2.4. Analyse par CMR des issues des relectures de marques nasales

Etant donné la petite taille d'échantillon par espèce, la modélisation a été réalisée succinctement pour estimer les probabilités de détection et de survie via des modèles CMR multi-événements (Pradel, 2005): 4 événements identifiés (non vu, vu une fois dans l'année, vue 2 fois ou plus dans l'année, repris à la chasse) – pour 2 états (vivant ou mort), sans sélection de modèle (via ESURGE (Choquet, Rouan, et al., 2009)). Un individu contrôlé vivant et mort une même année a été noté vu en t et repris en t+1 afin d'estimer la probabilité de détection indépendamment de la probabilité de survie. Un test d'ajustement (GOF multistate via UCARE (Choquet, Lebreton, et al., 2009) a montré un bon ajustement des modèles au jeu de données. Trois variables ont été considérées indépendamment les unes des autres : l'espèce (Canard pilet, Canard colvert ou Sarcelle d'hiver), l'âge en 3 classes (immatures, individus en âge de se reproduire et individus d'âge indéterminé), le sexe (femelle ou mâle).

4.3. Résultats et interprétations

4.3.1. Pose et fonctionnalité des GPS

De nombreuses balises achetées ont été non fonctionnelles et échangées auprès des fournisseurs, rendant le nombre de balises reçues inexploitable important (au moins 36 Geolink et de nombreux échanges de produits, 7 Ornitela, 11 Ecotone, 2 Cattrack). Ce sont **40 équipements qui ont permis au final de suivre 42 individus** (7 Ornitela, 7 Ecotone, 28 Geolink) et 17 appareils ont été posés sur des oiseaux sans fournir de données (13 GPS Geolink, 2 GPS Ornitela et 2 Cattracks). Le nombre de points enregistrés par type de balises a totalisé **74 967 localisations**, soit 51 % des points collectés pour 17 % des individus équipés par les balises Ornitela, 44 % des points collectés pour 66 % des individus équipés par les balises Geolink, et 5 % des points collectés pour 17 % des individus équipés par les balises Ecotone (Fig. 26).

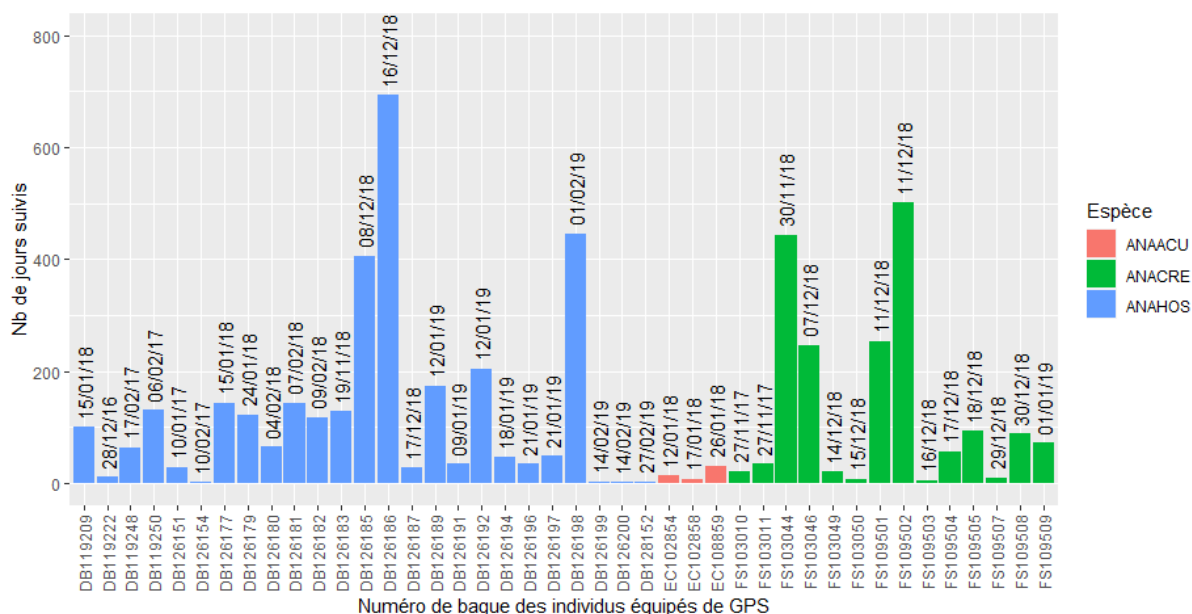


Figure 26 : Période d'enregistrement des localisations GPS par individu équipé.

Ce déséquilibre entre les balises Geolink et Ornitela reflète d'une part, des balises Geolink moins performantes (autonomie moins grande, problème de GPS), mais aussi des modifications dans les paramétrages dues à différents tests puisque les balises Geolink enregistrent 1 point toutes les 122 ± 30 min contre 1 point toutes les 164 ± 268 min pour les balises Ornitela (tableau 11) alors qu'elles étaient initialement paramétrées pour une prise de point toutes les heures. Néanmoins, **les balises opérationnelles n'ont pas présenté de baisse de performance avec le temps** (coefficient de la régression entre intervalle de temps entre 2 localisations en fonction du temps de pose sur l'oiseau égale à $1.8e^{-04}$).

Les années présentant le plus de données enregistrées sont 2019 (sur tous les mois, et plus particulièrement jusqu'en septembre) et 2018 (essentiellement en décembre puis de février à mai) (Fig. 27a). Si le Canard pilet a été très peu suivi, **la Sarcelle d'hiver l'a été essentiellement sur la période de reproduction** (avril, mai, juin, juillet) tout comme le Canard colvert qui a aussi été suivi en décembre (Fig. 27b).

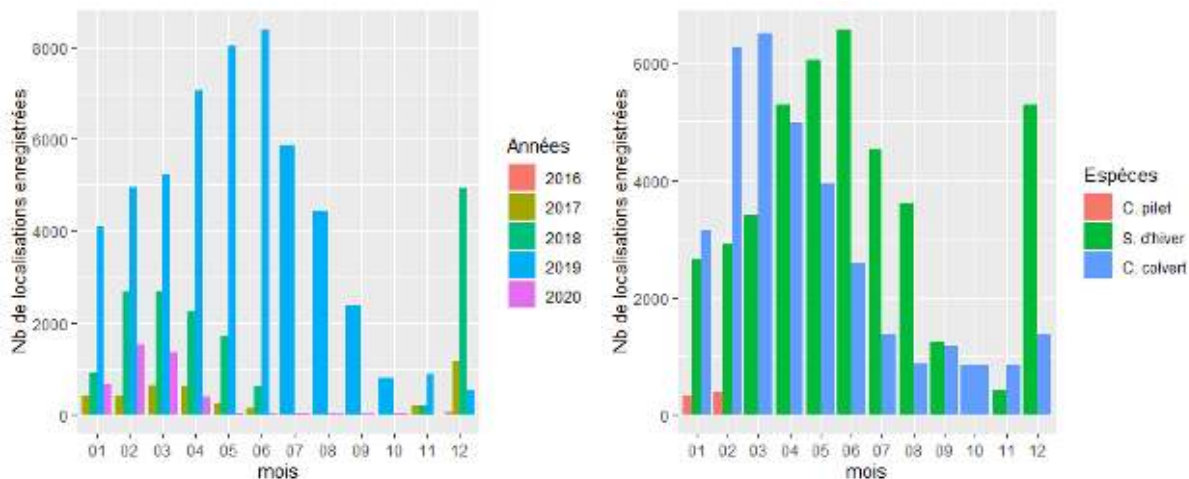


Figure 27 : Nombre de localisations GPS enregistrées mensuellement durant les 5 années de suivi (a) et dépendamment des espèces (b).

Sur l'ensemble des anatidés suivis, 39 ont enregistré plus de localisations la nuit (en moyenne par individu 751 ± 993 points) que le jour (283 ± 339 points) et les 3 individus ayant collecté le plus de points ont enregistré majoritairement le jour (en moyenne par individu $7\,626 \pm 511$ points le jour contre $4\,530 \pm 383$ points la nuit) (Fig. 28). Cette différence s'explique d'une part par le paramétrage des balises, favorisant l'enregistrement de points la nuit et par la période de suivi qui s'est échelonnée de la mi-décembre à août avec un nombre d'individus équipés plus élevé en fin d'hiver, quand la photopériode est croissante, induisant des individus suivis quand la durée du jour est supérieure à celle de la nuit.

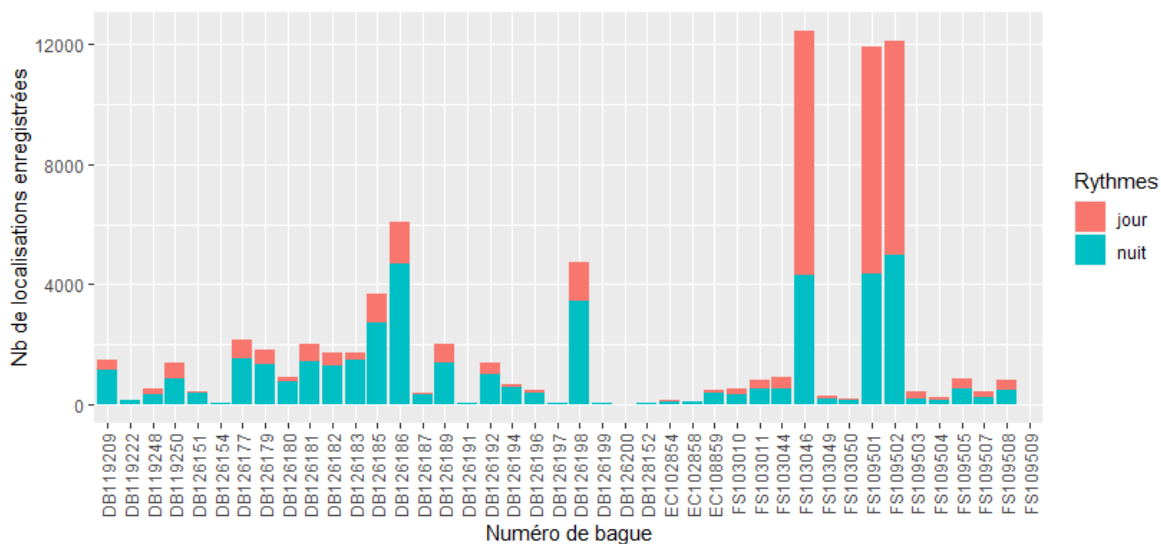


Figure 28 : Nombre de localisations GPS enregistrées suivant le jour et la nuit par canard.

Des plages de temps collectant les localisations sur des intervalles de 10 jours ont permis de décrire au cours de l'année, le nombre d'individus suivis avec un nombre de données suffisant pour estimer des tailles de domaine vital (Fig. 29). L'hivernage au sens strict (décembre à février) correspond aux dizaines 34, 35, 36, 1, 2, 3, 4, 5, 6. Sur cette période, 15 canards colverts ont été suivis au maximum (mi-février) sur un pas de temps de 10 jours et 8 sarcelles d'hivers au maximum (fin décembre). Ces trois mois d'hivernage ont été

suivis en intégralité par 3 canards (2 colverts et 1 sarcelle), ce qui indiquera des domaines vitaux sur 10 jours potentiellement impactés au cours de l'hiver par le comportement individuel plus que par la phénologie.

Au vu de ces éléments, il paraît donc **indispensable de poursuivre une campagne d'équipement de nouveaux individus, en priorisant des captures dès le début de l'hivernage**, voire dès l'automne pour les résidents comme le Canard colvert. **Etant donné la faible durée de vie des GPS, il est inutile de poursuivre des équipements** avec le même matériel **au-delà de la mi-décembre**, date à partir de laquelle l'hivernage serait déjà trop avancé pour collecter suffisamment de données représentatives de l'utilisation de l'espace et le matériel inopérant pour le suivi d'un deuxième hivernage, sauf en cas d'amélioration notable de la durée de vie des futures balises.

Tableau 11 : Biométrie des espèces d'anatidés équipés de GPS ayant fournis des données et informations relatives à l'activité des GPS par individu (période de suivi, nombre de localisations enregistrées et intervalle de temps moyen $\pm$ SE (minutes) entre les enregistrements).

Bague	Num_GPS	Date_pose	Date_fin	Nb_jours_suisvis	Nb_localisations	Intervalle_moyen	Intervalle_sd	Espèce	Commune_baguage	Age	Sexe	Plumage	Aile_G	Aile_D	Masse	Tarse_G	Tarse_D	Bec
DB119209	166	15/01/2018	25/04/2018	100	1490	97	69	ANAHOS	CHAMPAGNE-LES-MARAIS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
DB119222	111	28/12/2016	08/01/2017	11	135	112	110	ANAHOS	SAINTE-RADEGONDE-DES-NOYERS	+1A	M	Nuptial	274	272	1230	44.9	44.3	53.85
DB119248	142	17/02/2017	21/04/2017	63	541	168	297	ANAHOS	SAINTE-RADEGONDE-DES-NOYERS	2A	F	Femelle	265	263	1123	41.73	41.12	54.36
DB119250	140	06/02/2017	16/06/2017	130	1369	137	507	ANAHOS	SAINTE-RADEGONDE-DES-NOYERS	2A	M	Nuptial	280	278	1194	42.76	42.26	52.23
DB126151	112	10/01/2017	07/02/2017	28	434	96	96	ANAHOS	SAINTE-RADEGONDE-DES-NOYERS	+2A	M	Nuptial	280	279	1487	41.6	43.3	55
DB126154	112	10/02/2017	11/02/2017	1	28	98	87	ANAHOS	SAINTE-RADEGONDE-DES-NOYERS	+2A	M	Nuptial	286	282	1308	42.5	41.9	45.2
DB126177	165	15/01/2018	08/06/2018	144	2148	96	71	ANAHOS	SAINTE-RADEGONDE-DES-NOYERS	+2A	M	Nuptial	266	269	1100	45	45	53
DB126179	163	24/01/2018	26/05/2018	122	1830	96	70	ANAHOS	CHAMPAGNE-LES-MARAIS	+2A	M	Nuptial	287	290	1130	45.7	44.2	55.6
DB126180	140	04/02/2018	10/04/2018	65	917	102	124	ANAHOS	SAINTE-RADEGONDE-DES-NOYERS	+2A	M	Nuptial	289	288	1250	46.7	46.9	56.5
DB126181	126	07/02/2018	30/06/2018	143	2007	103	125	ANAHOS	SAINTE-RADEGONDE-DES-NOYERS	+2A	F	Femelle	251	252	1035	40	40.5	54.1
DB126182	181	09/02/2018	06/06/2018	117	1738	97	117	ANAHOS	SAINTE-RADEGONDE-DES-NOYERS	2A	M	Nuptial	275	274	1430	47.5	47.6	56.9
DB126183	18014	19/11/2018	27/03/2019	128	1710	108	113	ANAHOS	SAINTE-RADEGONDE-DES-NOYERS	1A	F	Femelle	258	253	1110	43.2	43.5	49.5
DB126185	18018	08/12/2018	18/01/2020	406	3690	159	1342	ANAHOS	CHAMPAGNE-LES-MARAIS	1A	F	Femelle	269	272	1190	48.2	58.8	53.2
DB126186	18025	16/12/2018	08/11/2020	693	6062	165	1324	ANAHOS	SAINTE-RADEGONDE-DES-NOYERS	+1A	M	Nuptial	287	286	1320	47.2	47	62.2
DB126187	18012	17/12/2018	13/01/2019	27	369	107	110	ANAHOS	SAINTE-RADEGONDE-DES-NOYERS	1A	F	Femelle	248	246	1110	39.1	39.2	50.8
DB126189	18020	12/01/2019	05/07/2019	174	2025	124	159	ANAHOS	LA-FAUTE-SUR-MER	2A	F	Femelle	267	268	1250	42	43	53
DB126191	18017	09/01/2019	12/02/2019	34	33	1543	6605	ANAHOS	PUYRAVAULT	+2A	M	Nuptial	282	279	1000	43.6	44.5	51.4
DB126192	18021	12/01/2019	05/08/2019	205	1365	217	1363	ANAHOS	PUYRAVAULT	+2A	F	Femelle	273	272	1200	44.6	44.2	54.1
DB126194	18035	18/01/2019	05/03/2019	46	667	101	94	ANAHOS	PUYRAVAULT	+2A	M	Nuptial	277	279	1190	48.4	48.1	51.9
DB126196	18046	21/01/2019	24/02/2019	34	461	108	142	ANAHOS	PUYRAVAULT	2A	M	Nuptial	276	276	1200	47.4	47.4	51.8
DB126197	18044	21/01/2019	10/03/2019	48	25	2880	3869	ANAHOS	PUYRAVAULT	+2A	F	Nuptial	261	263	1070	42	41.1	53.5
DB126198	18016	01/02/2019	22/04/2020	446	4756	135	1216	ANAHOS	PUYRAVAULT	+2A	F	Femelle	261	260	1100	43.2	43.1	54.6
DB126199	18012	14/02/2019	17/02/2019	3	39	98	98	ANAHOS	PUYRAVAULT	2A	M	Nuptial	283	285	1225	53.9	52	57
DB126200	18039	14/02/2019	15/02/2019	1	14	90	66	ANAHOS	PUYRAVAULT	+2A	M	Nuptial	276	276	1150	48.1	49	52.8
DB128152	18055	27/02/2019	01/03/2019	2	26	142	151	ANAHOS	PUYRAVAULT	2A	F	Femelle	262	260	1040	43.2	43.4	53
EC102854	160	12/01/2018	25/01/2018	13	130	143	106	ANAACU	CHAMPAGNE-LES-MARAIS	+2A	M	Nuptial	286	286	971	42.7	42.5	46.8
EC102858	167	17/01/2018	24/01/2018	7	103	94	69	ANAACU	CHAMPAGNE-LES-MARAIS	+1A	M	Nuptial	279	279	770	41.9	41.8	51.6
EC108859	164	26/01/2018	26/02/2018	31	465	97	72	ANAACU	CHAMPAGNE-LES-MARAIS	+2A	M	Nuptial	275	274	910	38.5	40	53.5
FS103010	AIG2	27/11/2017	19/12/2017	22	530	60	7	ANACRE	CHAMPAGNE-LES-MARAIS	1A	F	Femelle	176	179	290	28.2	27.9	35.9
FS103011	AIG3	27/11/2017	31/12/2017	34	806	61	29	ANACRE	CHAMPAGNE-LES-MARAIS	+1A	F	Femelle	178	176	262	30.5	30.4	33.6
FS103044	182235	30/11/2018	17/02/2020	444	904	708	13557	ANACRE	CHAMPAGNE-LES-MARAIS	1A	M	Nuptial	185	185	310	32.3	32.2	38.3
FS103046	182234	07/12/2018	10/08/2019	246	12448	28	62	ANACRE	CHAMPAGNE-LES-MARAIS	+1A	F	Femelle	177	176	370	31	30.6	37.8
FS103049	182230	14/12/2018	03/01/2019	20	299	96	230	ANACRE	PUYRAVAULT	1A	F	Femelle	182	183	360	31	31.6	34.1
FS103050	182231	15/12/2018	23/12/2018	8	190	62	11	ANACRE	PUYRAVAULT	+1A	M	Nuptial	186	185	340	39.5	31	30.5
FS109501	182233	11/12/2018	22/08/2019	254	11897	31	251	ANACRE	CHAMPAGNE-LES-MARAIS	+1A	F	Femelle	184	184	370	29	29.4	30.9
FS109502	182232	11/12/2018	25/04/2020	501	12123	60	506	ANACRE	PUYRAVAULT	+1A	F	Femelle	182	180	335	27.35	28.2	34.4
FS109503	AIG7	16/12/2018	21/12/2018	5	405	17	34	ANACRE	CHAMPAGNE-LES-MARAIS	+1A	M	Nuptial	182	184	330	29.2	29.4	34.4
FS109504	182236	17/12/2018	11/02/2019	56	240	336	2776	ANACRE	PUYRAVAULT	1A	M	Nuptial	190	191	330	29.7	29.6	39.2
FS109505	AIG8	18/12/2018	21/03/2019	93	862	155	2694	ANACRE	PUYRAVAULT	1A	F	Femelle	181	183	310	30.2	30.8	34.4
FS109507	AIG10	29/12/2018	07/01/2019	9	415	33	10	ANACRE	CHAMPAGNE-LES-MARAIS	+1A	F	Femelle	182	181	305	30.5	29.8	32.9
FS109508	AIG11	30/12/2018	28/03/2019	88	800	158	1397	ANACRE	SAINTE-RADEGONDE-DES-NOYERS	1A	F	Femelle	179	180	335	30.1	29.9	34.8
FS109509	AIG6	01/01/2019	14/03/2019	72	11	10438	24008	ANACRE	PUYRAVAULT	+1A	F	Femelle	176	174	340	29.4	29.4	35.7

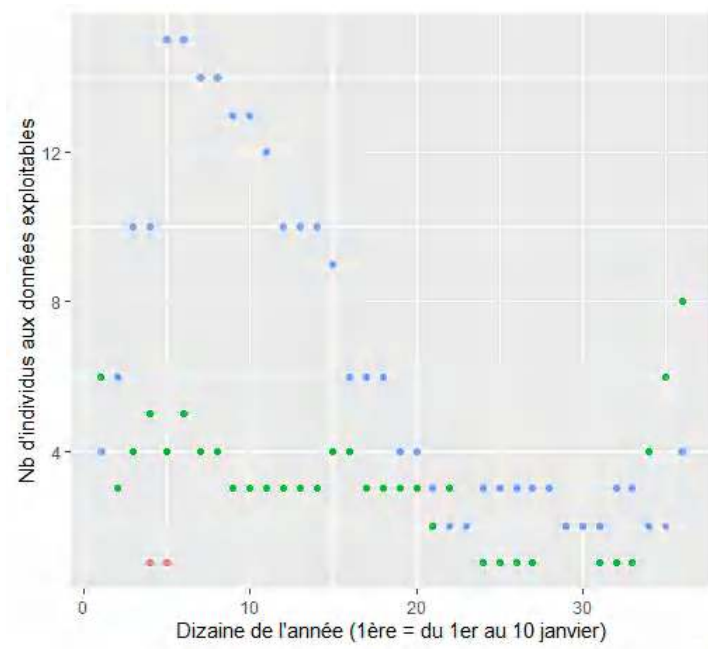


Figure 29 : Nombre d'individus suivis par pas de temps de 10 jours au cours de l'année par espèce (e.g. pour $x = 34$, la période correspond au calendrier du 1^{er} au 10 décembre). En bleu : Canard colvert, en vert : Sarcelle d'hiver et en rose : Canard pilet.

4.3.2. Cartographies des localisations enregistrées

4.3.2.1. Echelle internationale sur l'ensemble du cycle biologique

Sur les 5 années de suivi et les 74 967 points GPS enregistrés, il a été possible de suivre 42 individus (toutes espèces confondues) dont la distribution des localisations s'étend du Marais poitevin à la Russie (Fig. 30). La zone humide du Marais poitevin (appelé par la suite « Marais poitevin ») enregistre à elle seule 47 % des localisations, incluant période de reproduction et hivernage. En ciblant uniquement l'hivernage sur la zone d'intérêt, l'échantillon des points GPS enregistrés sont au nombre de 22 242 pour 42 individus suivis (Fig. 31).

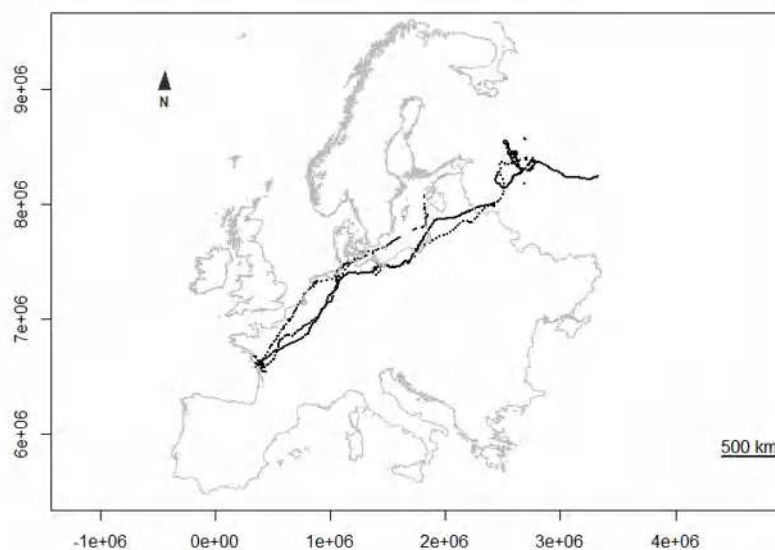


Figure 30 : Localisations enregistrées par les balises des 42 anatidés suivis à l'échelle de l'Europe pendant 5 années.

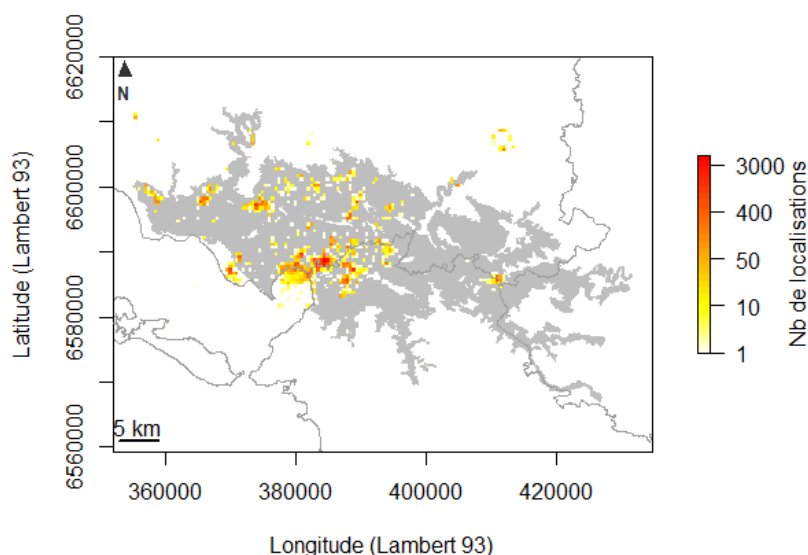


Figure 31 : Densités des localisations d'anatidés suivis sur un maillage de 500 m de 2016 à 2020 (méthode : krigeage, échelle logarithmique).

4.3.2.2. Echelle du Marais poitevin en hivernage

Les anatidés suivis semblent occuper globalement les mêmes secteurs la nuit que le jour, quelle que soit l'espèce, mais **semblent plus dispersés la nuit** (Fig. 32). En revanche, le nombre de points enregistrés la nuit par rapport au jour est respectivement de 59 %, 87 % et 81 % pour la Sarcelle d'hiver, le Canard colvert et le Canard pilet du fait du paramétrage des balises. Le nombre de mailles fréquentées la nuit est de 84 %, 93 % et 68 % contre 37 %, 52 % et 73 % le jour. Le **Canard colvert et la Sarcelle d'hiver sont donc plus dispersés la nuit que le jour**, alors que les deux individus de **Canard pilet suivis sur quelques jours sur la vasière et les mizottes de la baie de l'Aiguillon se dispersent plus le jour que la nuit**. Le nombre de mailles fréquentées par ces espèces, sont de 241 pour la Sarcelle d'hiver, de 250 pour le Canard colvert et 68 pour le Canard pilet dans le Marais poitevin alors que le nombre de points géolocalisés enregistrés est identique entre la Sarcelle d'hiver et le Canard colvert (respectivement de 10 782 et 10 762 points). **La surface utilisée pour s'alimenter dans le Marais poitevin semble donc équivalente entre ces deux espèces**. Le nombre de points enregistrés étant limité pour le Canard pilet, il est donc difficile de le comparer aux deux autres espèces (nombre de localisation : 698 points).

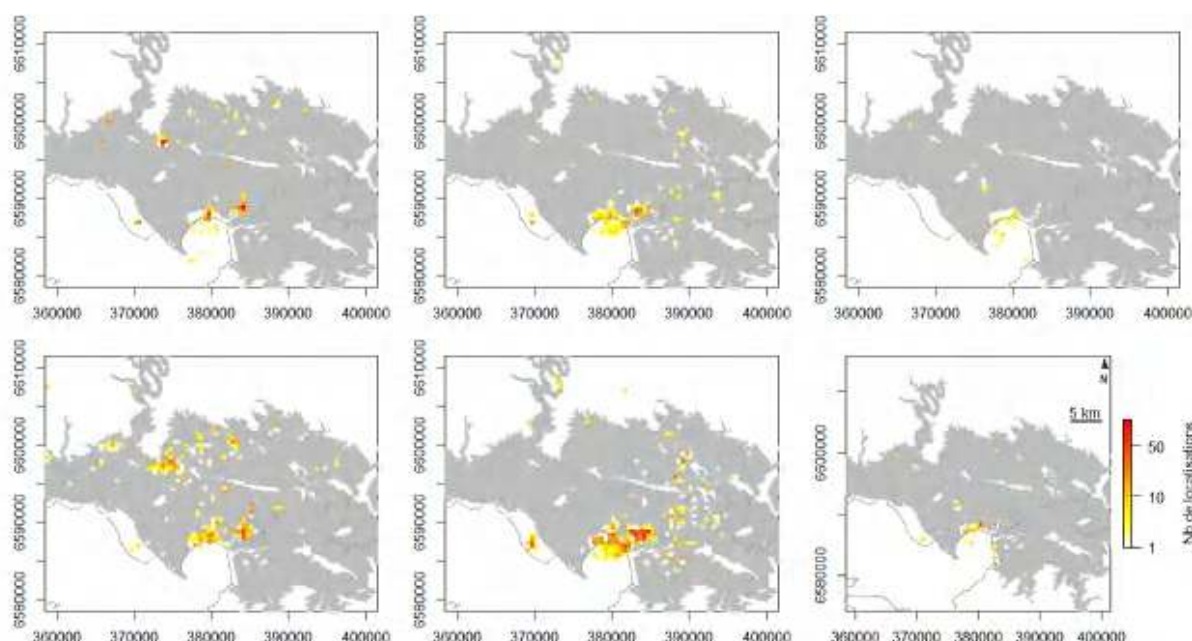


Figure 32 : Distribution spatiale des anatidés suivis en hivernage sur les zones de remises de jour (haut) et de gagnage de nuit (bas) pour la Sarcelle d'hiver (colonne 1), le Canard colvert (colonne 2) et le Canard pilet (Colonne 3).

4.3.2.3. Sarcelle d'hiver en hivernage et période de reproduction

Pour les **sarcelles**, on observe une distribution spatiale des **mailles occupées par l'espèce variable entre janvier et février**, ce dernier étant un mois hors période de chasse. L'espèce est particulièrement **cantonnée en janvier sur les sites de remise mais aussi plus dispersée la nuit**, peu importe la période de l'année. On retrouve les individus **cantonnés sur les sites de la Prée mizottière, la RNN de Saint-Denis-du-Payré et la RNN de la baie de l'Aiguillon de jour en janvier**. **En février, on les retrouve de manière un peu plus éparse jusque sur les communaux des Magnils-Reigniers et de Saint-Benoist-sur-Mer**. La nuit, pendant le mois de janvier, les sarcelles fréquentent les mêmes zones qu'en journée en février. **Globalement, les communaux semblent donc très prisés comme zone de gagnage** (Fig. 33).

Outre la pression de chasse distincte entre janvier et février, une plus grande différence spatiale était attendue du fait des besoins énergétiques plus élevés avec l'approche de la reproduction et du départ en migration.

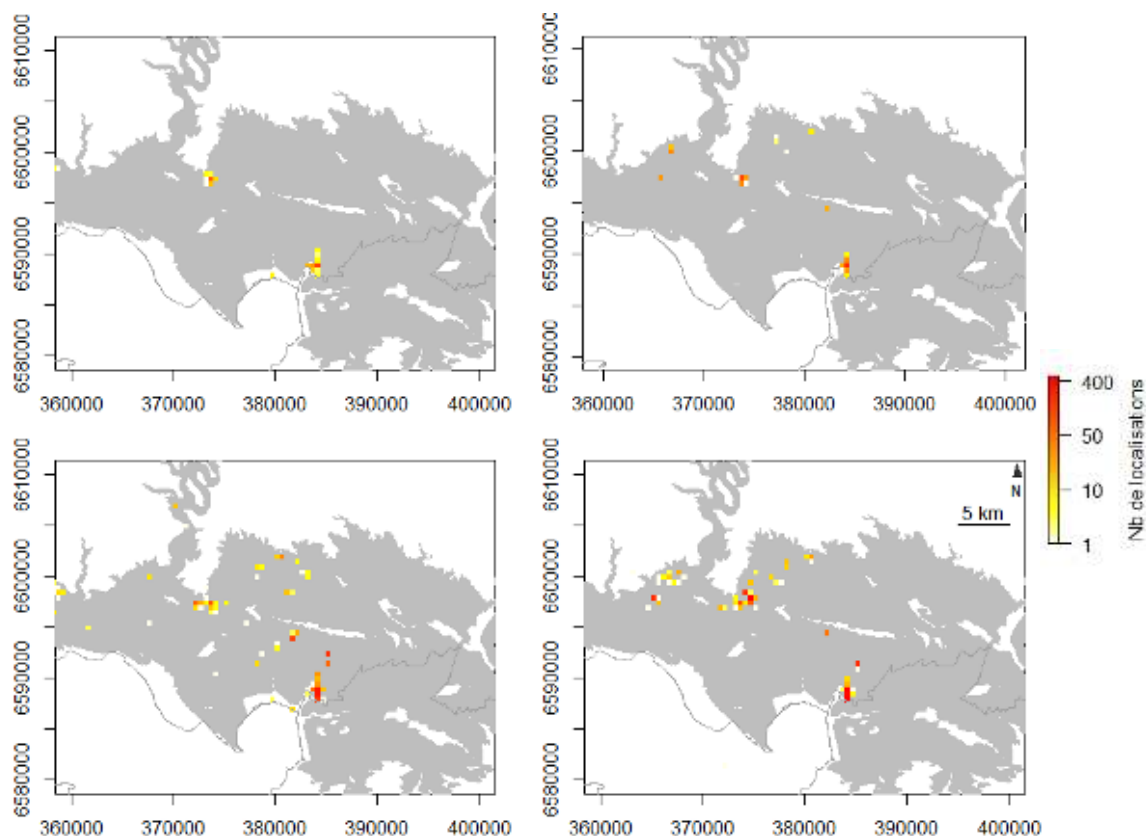


Figure 33 : Distribution spatiale de la Sarcelle d'hiver en janvier (période chassée, colonne 1) et février (période non chassée, colonne 2) de jour sur les zones de remise (haut) et de nuit sur les zones de gagnage (bas).

Les dernières sarcelles d'hiver équipées avec le modèle de balise Ornitela ont suffisamment fonctionné pour travailler sur des estimations de domaines vitaux. Néanmoins, ces balises n'ont été posées que sur 7 sarcelles en fin d'hivernage. **Trois sarcelles ont été suivies lors des migrations prénuptiales et sur leurs sites de reproduction** à l'étranger avec une perte de signal sur site de reproduction: en **Estonie** (Comté de Saare, signal perdu fin août après 10 semaines passées sur ce site), en **Russie** (réservoir de Rybinsk, signal perdu fin septembre après presque 4 mois sur ce site) et **une seconde en Russie** (sud-est du réservoir de Rybinsk, signal perdu après 6 semaines sur ce site). Sur ces trois individus reproducteurs, deux sont ensuite revenues en France et ont partiellement retransmis leurs données (en particulier FS103044 avec des inégalités importantes dans les pas de temps d'enregistrement des localisations).

Celle ayant été en reproduction en Russie et retransmettant le plus de données indique une date de **retour de migration dans le Marais poitevin au 18 novembre à la Prée mizottière**. Le 14 novembre l'individu était encore en Mer des Wadden.

4.3.2.4. Canard colvert en hivernage hors Marais poitevin

Durant l'hivernage des 25 colverts suivis, trois sont sortis du Marais poitevin. L'un d'eux est allé sur la RNN du lac de Grand Lieu (3 jours) et le Marais breton (Les Moutiers-en-Retz, 15 jours) en fin d'hiver, un autre sur l'étang de l'ancienne carrière de la forêt de Mervent et sa rivière, La Mère (pendant un mois du 24 janvier au 28 février), un autre sur les plans d'eau et rivière au nord de Bournezeau (8 jours début novembre).

Globalement, les colverts n'ont pas été suivis sur de très longues périodes et de nombreux déplacements sont enregistrés entre les terrains du Conservatoire du Littoral de la Prée mizottière et la RNN baie de l'Aiguillon, sites qui cantonnent les individus sur plusieurs jours ou semaines de l'hivernage. Ces sites peuvent donc être regroupés dans une unité fonctionnelle, non définie par le rythme nycthéméral mais probablement plus dépendant du rythme des marées. Trois colverts quittent régulièrement ce complexe de sites pour fréquenter les canaux et fossés du marais mouillé et six sortent brièvement de cette unité fonctionnelle (sur un pas de temps de quelques heures) sans motif apparent.

4.3.2.5. Canard pilet hivernant

Sur les 3 piletts hivernants, l'un a fréquenté les mizottes de Charron et la vasière de la baie de l'Aiguillon côté Charente-Maritime avant de partir fin janvier dans les terres sur la Charente qu'il semble avoir descendu pendant 3 jours avant de perdre son signal (individu mort flottant ?).

Le second a utilisé les mizottes, le Chenal vieux et la vasière de la baie de l'Aiguillon dans son secteur vendéen.

Le dernier, plus mobile, a utilisé les mizottes (17 et 85), les vasières vendéennes de la baie de l'Aiguillon, le marais mouillé au sud de Luçon et de Saint-Benoist-sur-Mer et Arçay.

4.3.3. Etude des domaines vitaux

4.3.3.1. Comparaison des trois méthodes d'estimation des domaines vitaux

La méthode d'estimation des domaines vitaux par ponts browniens estime très largement leur taille comparativement à la méthode MCP ou **kernelUD**, ces deux dernières étant relativement similaires dans leurs estimations (Fig. 34). Cette différence est due à un paramétrage hétérogène des balises : l'intervalle de temps entre la prise de **deux localisations varie entre 33 minutes et 48 heures** (Fig. 35). Etant donné les variations dans le paramétrage des balises et leur défektivité qui rendent l'intervalle de temps très variable d'un individu à l'autre mais aussi pour un même individu suivi, les surfaces fréquentées ont été estimées via la méthode MCP. Ainsi, l'enveloppe maximale fréquentée par les anatidés ne rapporte pas la taille du domaine vital comme la méthode des kernels, mais renseigne les zones ayant fait l'objet d'un passage, bref ou long, d'un individu.

D'après ces éléments, l'estimation des domaines vitaux non pas comme des surfaces utilisées mais comme des **surfaces incluant zone de transit et zone utilisée a donc été définie par la méthode MCP**, en considérant 100 % des localisations disponibles pour conserver le maximum de localisations étant donné le nombre restreint de localisations enregistrées pour certains individus.

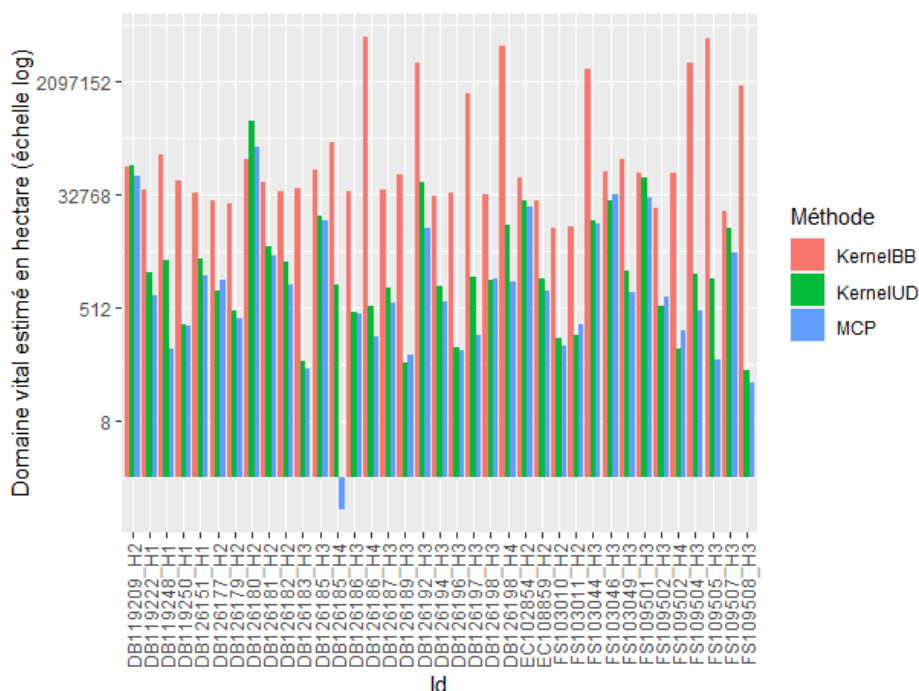


Figure 34 : Tailles des domaines vitaux estimées suivant trois méthodes (MCP, Kernel Utilization Distribution et Brownian bridge) pour chaque anatidé suivi plus de 10 jours pendant l'hivernage.

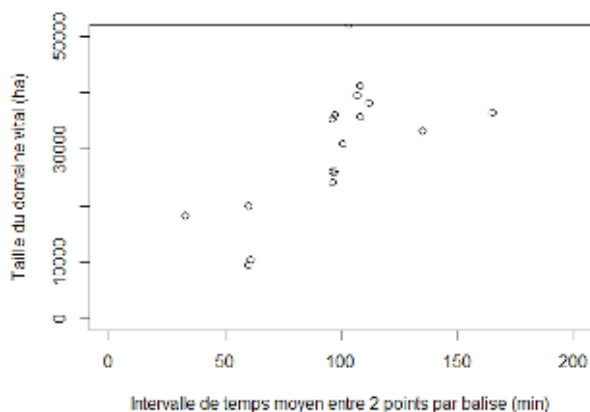


Figure 35 : Estimation de la taille du domaine vital (en hectare) par anatidé suivi par GPS lors de chaque hivernage en fonction de l'intervalle de temps (en minute) entre la prise de deux localisations par le GPS (graphe centré sur l'intervalle 0-200 min).

4.3.3.2. Domaines vitaux en hivernage

En utilisant la méthode MCP englobant 90 % des points GPS par individu, la taille des domaines vitaux estimée est de 9 793 hectares pour le Canard colvert, avec un écart-type de 22 127 ha sur les 20 anatidés suivis sur 22 hivernages (hivernage suivi au moins 10 jours consécutivement par individu). Le domaine vital de la Sarcelle d'hiver est estimé sur les 11 individus pendant 12 hivers à 9 771 ha en moyenne ($\pm 18\,287$ ha) et celui du Canard pilet suivi moins de 4 jours à pour 2 individus à 14 160 ha ($\pm 17\,921$ ha). **Ces chiffres mettent en avant la variabilité des tailles estimées et surestiment la taille des domaines vitaux comparativement aux précédentes études** mentionnant des tailles de domaine pour la Sarcelle d'hiver entre 212 et 1 632 ha , entre 184 et 1 257 ha voire jusqu'à 5 000 ha pour le Canard colvert et de 556 ha pour le Canard pilet (Legagneux et al., 2009; Sauter et al., 2012). **Ces résultats renforcent la nécessité de suivre des individus plus longuement, avec un paramétrage plus fin des GPS (un point par heure) afin de préciser les estimations de taille de domaines vitaux sur des méthodes plus avancées tels que les kernels.**

4.3.4. Utilisation des parcelles à vocation environnementale

Les anatidés ont tous été capturés sur un site à vocation environnemental (RNN Baie de l'Aiguillon, terrain du Conservatoire du Littoral de la Prée mizottière, Arçay) (Fig. 36). Trois individus de Canard pilet n'ont fréquenté que la zone de la réserve sur la courte période suivie. La **Sarcelle d'hiver a utilisé pour ses zones de remise en janvier comme en février (en et hors période de chasse) préférentiellement les espaces naturels protégés ou à vocation environnementale** (54 % en janvier, 71 % en février) contrairement aux zones de gagnage qui sont hors parcelles à vocation environnementale (PVE) ou espaces naturels protégés (36 % et 37 % de nuit sur ces sites). **A l'inverse, le Canard colvert a fréquenté essentiellement des sites hors espaces protégés ou zones à vocation environnementale** (proportion de points hors ENP ou PVE > 66 % en janvier comme en février) **avec une fréquentation plus élevée en gagnage qu'en remise sur ces sites.**

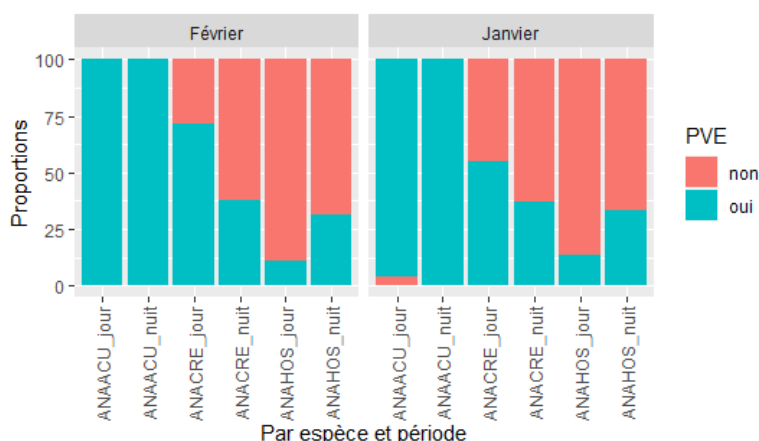


Figure 36 : Proportion de localisations enregistrées par espèce le jour et la nuit dans les parcelles à vocation environnementale (Réserve naturelle, MAE baisse, parcelles du conservatoire).

4.3.5. Utilisation de l'habitat

Entre décembre et janvier, les milieux localisant les points GPS sont assez identiques pour la Sarcelle d'hiver, de jour comme de nuit, avec une nette majorité de localisation sur les prés salés (> 50 % des localisations), prairies subsaumâtres mésophiles et hygrophiles, mais aussi sur la frange arrière littorale (via quelques localisations sur sable et dune), les terres arables et les secteurs en eau douce (Fig. 37). A partir de février, les prés salés ne sont plus sélectionnés et les points sont équitablement distribués entre milieu d'eau douce, prairies subsaumâtres mésophiles et hygrophiles. Il n'y a a priori pas de différence entre les milieux fréquentés le jour et la nuit entre décembre et février, si ce n'est une diminution d'environ 25 % du nombre de points en eau douce, puis une diminution moindre sur terres arables au profit des prairies subsaumâtres hygrophiles sur les zones de gagnage en février.

Pour le Canard colvert, une grande majorité des milieux collectant les points GPS sont les terres arables, puis minoritairement les prés salés, autres milieux marins et eau douce en décembre. En janvier et février, les terres arables localisent beaucoup moins de points, contrairement aux milieux intertidaux (prés salés et vasières) et prairies subsaumâtres hygrophiles. L'intérieur des terres est aussi utilisé avec quelques localisations en bois humides et fonds de vallée. Tout comme pour la sarcelle, il n'y a pas de différence flagrante dans la localisation des points entre zones de gagnage et de remise sur l'hivernage.

Les canards pilets ont été suivis que quelques jours à la mi février et ont alterné sur la zone intertidale entre pré salé et vasière, puis minoritairement en prairies subsaumâtres hygrophiles. Le pré salé a été plus utilisé de nuit que de jour, mais ces localisations sont à corriger aux cycles de marées parallèlement au rythme nyctéméral.

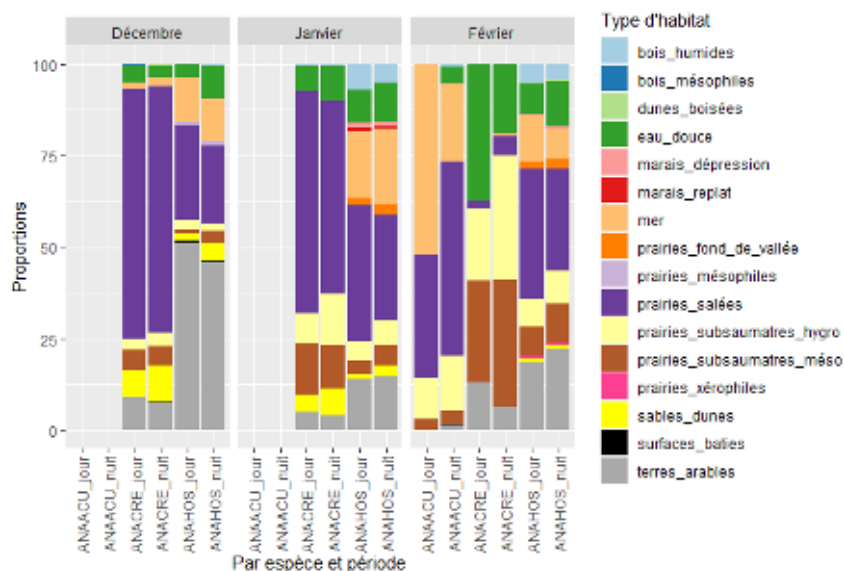


Figure 37 : Proportions de localisations GPS enregistrées par type de milieux sur le Marais poitevin chez la Sarcelle d'hiver, le Canard pilet et le Canard colvert suivant le jour et la nuit.

4.3.6. Survie et détection estimées (CMR)

Depuis l'automne 2016, **188 individus** ont été capturés : **7 canards pilets**, **73 sarcelles d'hiver**, **104 canards colverts** et **4 canards siffleurs**.

Les relectures de bagues jusqu'au 10 décembre 2020 ont totalisé **53 contrôles** (un individu pouvant être contrôlé plusieurs fois), et **29 reprises** à la chasse toutes espèces confondues. Globalement, les relectures ont eu lieu sur le périmètre de la zone d'étude utilisée pour les captures, mais **5 contrôles** – soit 9 % des contrôles totaux – ont été réalisés **en dehors du Marais poitevin** et concernent des sarcelles adultes pendant l'hivernage (2 individus en Vendée, 1 en Gironde, 1 dans le Maine-et-Loire) et pendant la période de reproduction (1 individu en Pologne), **ainsi que 8 reprises** – soit 28 % des reprises totales – concernant 2 canards colverts adultes (1 en hivernage en Vendée, 1 en reproduction en Russie), 2 canards pilets adultes en hivernage (1 en Charente-Maritime et 1 en Loire-Atlantique) et 4 sarcelles d'hiver en hivernage dont 3 adultes (2 dans le Calvados, 1 en Vendée, et 1 en Loire-Atlantique).

L'analyse de capture-marquage-recapture a permis d'estimer les **probabilités de relecture** des canards bagués. Cette probabilité sur un canard **vivant est de 0.28 ± 0.13** (moyenne $\pm$ écart-type) et de **0.07 ± 0.01 sur un canard mort** (reprise à la chasse). La probabilité de **survivre** d'un hivernage à l'autre est de **0.10 ± 0.05** . Cette survie estimée est supérieure à celle calculée pour des anatidés en Camargue sur des individus relâchés (survie annuelle de 0.04 (Champagnon et al., 2012) mais plus faible que pour les survies estimées chez les autres populations sauvages qui sont de 0.8 pour le Canard colvert en Camargue (Tavecchia et al., 2001) et autour de 0.5. pour la Sarcelle d'hiver (0.49 ± 0.10 en Europe et 0.55 ± 0.01 en Amérique du Nord, Devineau et al., 2010). Ces résultats ne peuvent donc pas renseigner sur une pression de chasse plus faible ou une dispersion plus élevée s'exerçant sur les anatidés poitevins. L'âge, l'espèce ou le sexe des individus bagués n'impactent pas cette probabilité dans le jeu de données utilisé. La dispersion n'a pas pu être estimée sur cette taille d'échantillon.

4.4. Synthèse et perspectives

La pose de GPS sur 42 anatidés a permis de suivre essentiellement la Sarcelle d'hiver, le Canard colvert et marginalement le Canard pilet pendant leurs hivernages. Les sarcelles ont également apporté quelques éléments sur leur zone de reproduction nordiques qui n'ont pas fait l'objet d'études approfondies dans ce rapport. A l'échelle du Marais poitevin, l'un des principaux résultats montre la dispersion des individus la nuit vers les zones de gagnage notamment sur les communaux pour les sarcelles (Magnils-Reigniers) ou des cours d'eau intérieurs pour les colverts (dont 12 % en dehors du Marais poitevin), alors que les individus se regroupent en journée sur les zones de remise de la Prée mizottière, la RNN de Saint-Denis-du-Payré ou de la baie de l'Aiguillon. A noter que ces zones de remises sont aussi utilisées pour l'alimentation, de jour comme de nuit et qu'elles font parties du réseau d'espaces protégés.

La Sarcelle d'hiver a utilisé en zones de remise en janvier comme en février (en et hors période de chasse) préférentiellement les espaces naturels protégés ou à vocation environnementale, ce qui n'est pas le cas sur les sites de gagnage. A l'inverse, le Canard colvert a fréquenté essentiellement des sites hors espaces protégés ou zones à vocation environnementale avec une fréquentation plus élevée en gagnage qu'en remise sur ces sites. Cette espèce plus opportuniste peut s'avérer meilleur indicateur des variations environnementales à l'échelle de l'ensemble des habitats du Marais poitevin, alors que la Sarcelle d'hiver pourrait être plus sensible aux mesures de gestion (essentiellement hydraulique) du fait de l'utilisation principalement des espaces protégés ou à vocation environnementale.

Les prés salés de la RNN baie de l'Aiguillon sont des habitats attractifs pour les trois espèces d'anatidés suivis. En début d'hivernage, ils sont utilisés de jour comme de nuit par la Sarcelle d'hiver qui à partir de février a utilisé les habitats d'eau douce et les prairies subsaumâtres mésophiles et hygrophiles. Entre les localisations de jour et de nuit, les sarcelles utilisent les mêmes habitats jusqu'en février, période à laquelle elles se reportent sur les prairies subsaumâtres au détriment des zones d'eau douce. Plusieurs sarcelles semblent fréquenter le même site de gagnage plusieurs nuits de suite. Le Canard colvert, par son comportement opportuniste, est plus fréquent sur les terres arables et particulièrement en décembre alors qu'il fréquente également le milieu intertidal et les prairies subsaumâtres hygrophiles au cœur de l'hiver. Ces résultats pour la Sarcelle d'hiver et le Canard colvert renforcent les résultats de la précédente étude des années 2000 sur le rôle fonctionnel du Marais poitevin, mentionnant une forte connectivité entre la baie de l'Aiguillon et les prairies humides du marais.

Malgré un grand nombre d'anatidés équipés de GPS, les problèmes techniques et contraintes de terrain ont limité l'approfondissement des analyses, notamment sur la sélection de l'habitat et l'estimation des domaines vitaux. Il serait intéressant via les avancées technologiques de rééquiper des individus dès le début de l'hivernage (autour de la mi-novembre) en plus grand nombre avec un paramétrage plus fin sur l'enregistrement des localisations GPS (1 point par heure) afin de répondre à ces questions, et plus précisément sur :

- L'estimation de la taille et de la localisation des domaines vitaux individuels via la méthode des kernel dite de ponts browniens, en distinguant les domaines vitaux sur zone de remise et de gagnage, sur l'ensemble de l'hivernage ou par période afin de définir précisément des noyaux cœur d'activité et des zones périphériques ;
- L'évolution des surfaces utilisées au cours de l'hivernage via des régressions linéaires incluant la taille du domaine vital en fonction de l'individu équipé, de la période (par tranche de 15 jours, sur le rythme nyctéméral), en ciblant sur une ou deux espèces facilement capturables pour augmenter la taille d'échantillon et en tenant compte du sexe, de l'âge, la période de chasse (ouverte ou fermée) ;
- La sélection de l'habitat via la composition environnementale (habitat par télédétection, groupes phytosociologiques sur le pré salé et la non-fréquentation des chiendents sur RNN BA, le rôle

attractif ou non de la fauche sur la réserve de la baie de l'Aiguillon et l'approfondissement de la fréquentation des espaces protégés ou à vocation environnementale) ;

- Le pourcentage de recouvrement entre les domaines vitaux de jour et de nuit ;
- Les distances parcourues le jour et la nuit et entre les sites de remise et de gagnage comparativement aux études de Cox & Afton, 1996; Jorde et al., 1983; Legagneux et al., 2009; Tamisier & Tamisier, 1981 ; Jonhson et al. 2014 ;
- L'étude des heures d'entrée et de sortie de la RNN baie de l'Aiguillon vers les prairies humides et son évolution au sein de l'hivernage.

Enfin, il serait pertinent de recroiser cette analyse spatiale avec les surfaces en eau disponibles dans le marais au cours de l'hiver. Les surfaces inondées pourront probablement prochainement être identifiées par télédétection à partir des images satellite Sentinel disponibles via une nouvelle méthode plus précise que les méthodes actuelles telle que le Water In Wetlands (Lefebvre, 2009) afin d'établir une cartographie des zones inondées au cours de l'année, et d'établir un raster des hydropériodes, permettant de cartographier les surfaces accessibles aux canards de surface.

5. BIBLIOGRAPHIE

- Blandin, P. (2013). De l'écosystème à l'écocomplexe. In M. Jollivet (Ed.), *Sciences de la nature, sciences de la société: Les passeurs de frontières* (pp. 267–279). CNRS Éditions. <http://books.openedition.org/editions-cnrs/4190>
- Burgman, M. A., & Fox, J. C. (2003). Bias in species range estimates from minimum convex polygons: Implications for conservation and options for improved planning. *Animal Conservation*, 6(1), 19–28.
- Calenge, C. (2015). Analysis of animal movements in R: The adehabitatLT package. *R Foundation for Statistical Computing, Vienna*.
- Calenge, C. (2019). *Home Range Estimation in R: the adehabitatHR Package*. 61.
- Champagnon, J., Guillemain, M., Elmberg, J., Massez, G., Cavallo, F., & Gauthier-Clerc, M. (2012). Low survival after release into the wild: Assessing “the burden of captivity” on Mallard physiology and behaviour. *European Journal of Wildlife Research*, 58(1), 255–267. <https://doi.org/10.1007/s10344-011-0573-3>
- Choquet, R., Lebreton, J.-D., Gimenez, O., Reboulet, A.-M., & Pradel, R. (2009). U-CARE: Utilities for performing goodness of fit tests and manipulating CAPTURE–REcapture data. *Ecography*, 32(6), 1071–1074. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2009.05968.x>
- Choquet, R., Rouan, L., & Pradel, R. (2009). Program E-Surge: A Software Application for Fitting Multievent Models. In D. L. Thomson, E. G. Cooch, & M. J. Conroy (Eds.), *Modeling Demographic Processes In Marked Populations* (pp. 845–865). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-0-387-78151-8_39
- Cox Jr, R. R., & Afton, A. D. (1996). Evening flights of female northern pintails from a major roost site. *The Condor*, 98(4), 810–819.
- Collins, D., Conway, W., Mason, C., & Gunnels, J. (2017). Wildfowl Winter diet of Blue-winged Teal, Green-winged Teal and Northern Shoveler in east-central Texas. *Wildfowl & Wetlands Trust*, 67, 87–99.
- Dessborn, L., Brochet, A.L., Elmberg, J., Legagneux, P., Gauthier-Clerc, M. & Guillemain, M. (2011). Geographical and temporal patterns in the diet of pintail *Anas acuta*, wigeon *Anas penelope*, mallard *Anas platyrhynchos* and teal *Anas crecca* in the Western Palearctic. *European Journal of Wildlife Research*, 57(6), 1119–1129.
- Devineau, O., Guillemain, M., Johnson, A.R. & Lebreton, J.D. (2010). A comparison of green-winged teal *Anas crecca* survival and harvest between Europe and North America. *Wildlife Biology*, 16, 12–24.
- Duncan, P., Hewison, A. J. M., Houte, S., Rosoux, R., Tournebize, T., Dubs, F., Burel, F., & Bretagnolle, V. (1999). Long-term changes in agricultural practices and wildfowling in an internationally important wetland, and their effects on the guild of wintering ducks. *Journal of Applied Ecology*, 36(1), 11–23. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.1999.00363.x>
- Forum des Marais Atlantiques, & Conservatoire du Littoral. (1999). Délimitation et caractérisation de la zone humide du Marais poitevin. Rapport de Mission Convention n°98P134; p. 62.
- Guillemain, M., Duncan, P., Bretagnolle, V., Deceuninck, B., Trollet, B., Rosoux, R., Tournebize, T., Burel, F., & Dubs, F. (1997). *Variation in number of dabbling ducks in the Baie de l'Aiguillon (Western France) over the last 30 years*. 65.
- Guillemain, M., Fritz, H., & Duncan, P. (2000). The importance of protected areas as nocturnal feeding grounds for dabbling ducks wintering in western France. *Biological Conservation*, 103, 183–198.
- Guillemain, M., Fritz, H., Duncan, P. (2002). The importance of protected areas as nocturnal feeding grounds for dabbling ducks wintering in western France. *Biological conservation*, 103, 183–198.
- Guillemain, M., Arzel, C., Legagneux, P., Elmberg, J., Fritz, H., Lepley, M., Pine, C., Arnaud, A., & Massez, G. (2007). Predation risk constrains the plasticity of foraging behaviour in teals, *Anas crecca*: a flyway-level circumannual approach. *Animal behaviour*, 73, 845–854.
- Guillemain, M., Elmberg, J., Gauthier-Clerc, M., Massez, G., Hearn, R., Champagnon, J., & Simon, G. (2010). Wintering French Mallard and Teal Are Heavier and in Better Body Condition than 30 Years Ago: Effects of a Changing Environment? *Ambio*, 39(2), 170–180. <https://doi.org/10.1007/s13280-010-0020-9>
- Horne, J. S., Garton, E. O., Krone, S. M., & Lewis, J. S. (2007). Analyzing animal movements using Brownian bridges. *Ecology*, 88(9), 2354–2363.

- Jacobsen, O.W. (1991). Feeding behaviour of breeding wigeon *Anas penelope* in relation to seasonal emergence and swarming behaviour of chironomids. *Ardea*, 79, 409–418.
- Johnson, W.P., Schmidt, P.M. & Taylor, D.P. (2014). Foraging flight distances of wintering ducks and geese: a review. *Avian Conservation and Ecology*, 9(2) <http://dx.doi.org/10.5751/ACE-00683-090202>.
- Jorde, D. G., Krapu, G. L., & Crawford, R. D. (1983). Feeding ecology of mallards wintering in Nebraska. *The Journal of Wildlife Management*, 1044–1053.
- Lefebvre, C. (2009). Une loi mer pour la France.... Pourquoi et surtout pour qui? *Vertigo-La Revue Électronique En Sciences de l'environnement, Hors-série 5*. <http://vertigo.revues.org/8485>
- Legagneux, P., Blaize, C., Latraube, F., Gautier, J., & Bretagnolle, V. (2009). Variation in home-range size and movements of wintering dabbling ducks. *Journal of Ornithology*, 150(1), 183–193. <https://doi.org/10.1007/s10336-008-0333-7>
- LPO. (2020). *Synthèse Wetlands International*. <https://www.lpo.fr/connaissance-de-la-biodiversite/un-comptage-des-oiseaux-d-eau-a-la-mi-janvier>
- Mohr, C. O. (1947). Table of equivalent populations of North American small mammals. *The American Midland Naturalist*, 37(1), 223–249.
- Pernollet, C., Cavallo, F., Simpson, D., Gauthier-Clerc, M. & Guillemain, M. (2017). Seed density and waterfowl use of rice fields in Camargue, France. *Journal of Wildlife Management*, 81(1), 96–111.
- Pradel, R. (2005). *Multievent: An Extension of Multistate Capture–Recapture Models to Uncertain States—Pradel—2005—Biometrics—Wiley Online Library*. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1541-0420.2005.00318.x>
- Sauter, A., Korner, P., Fiedler, W., & Jenni, L. (2012). Individual behavioural variability of an ecological generalist: Activity patterns and local movements of Mallards *Anas platyrhynchos* in winter. *Journal of Ornithology*, 153(3), 713–726.
- Tavecchia, G., Pradel, R., Lebreton, J.D., Johnson, A.R. & Mondain-Monval, J.Y. (2001). The effect of lead exposure on survival of adult mallards in the Camargue, southern France. *Journal of Applied Ecology*, 38, 1197–1207.
- Tamisier & Tamisier, M.-C. (1981). L'existence d'unités fonctionnelles démontrée chez les sarcelles d'hiver en Camargue par la biotélémétrie. *Revue d'écologie*.
- Van Winkle, W. (1975). Comparison of Several Probabilistic Home-Range Models. *The Journal of Wildlife Management*, 39(1), 118–123. <https://doi.org/10.2307/3800474>
- Worton, B. J. (1995). A convex hull-based estimator of home-range size. *Biometrics*, 1206–1215.

6. LISTE DES PIÈCES ANNEXES

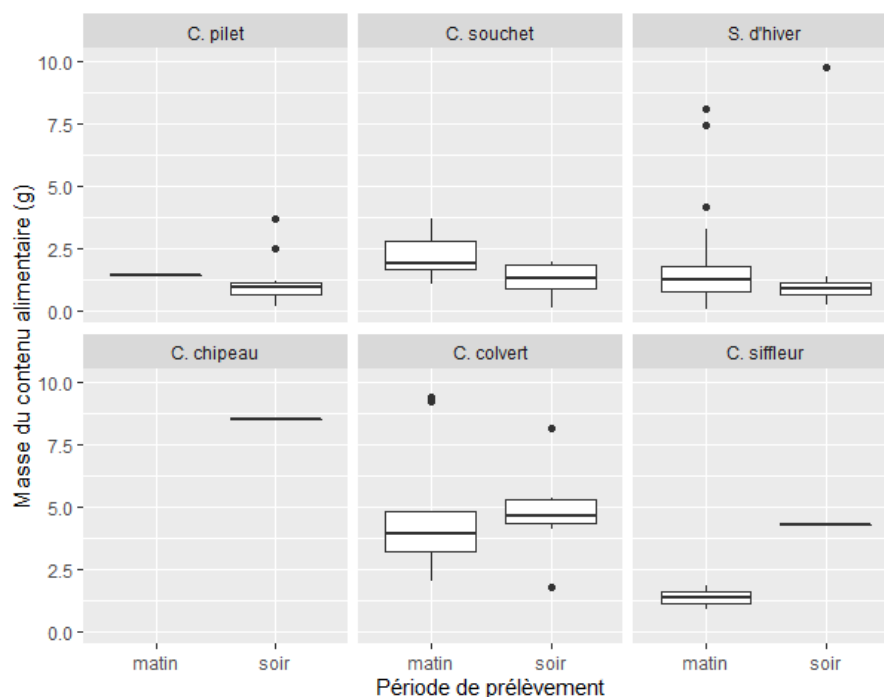


Figure 1 : Variabilité de la masse du contenu alimentaire échantillonné dans les gésiers et jabots par espèces de canards suivant la période de prélèvement à la chasse (boxplots issus des données brutes).

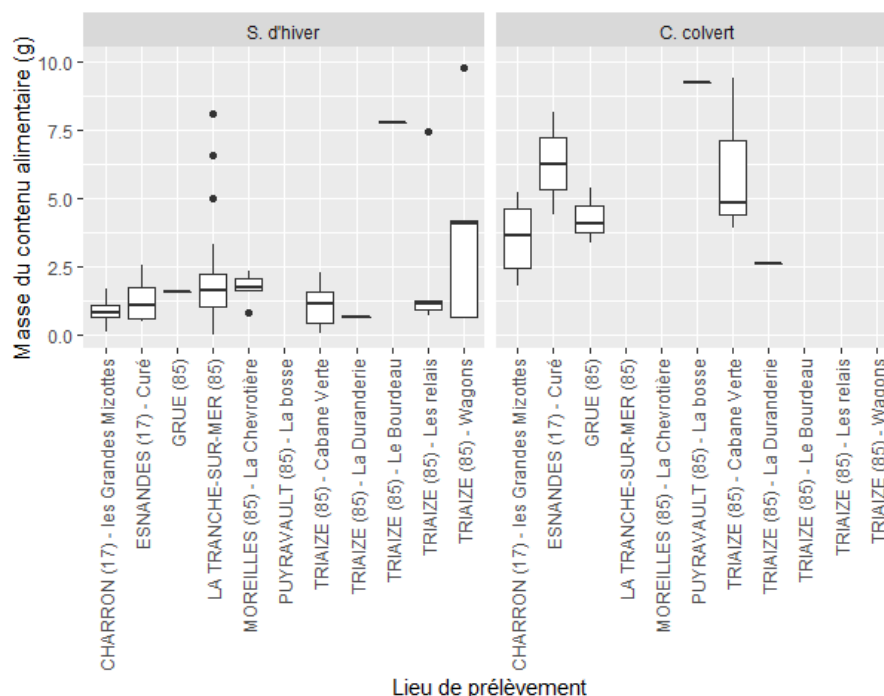


Figure 2 : Variabilité de la masse du contenu alimentaire échantillonné dans les gésiers et jabots par espèces de canards suivant le site de prélèvement à la chasse (boxplots issus des données brutes).

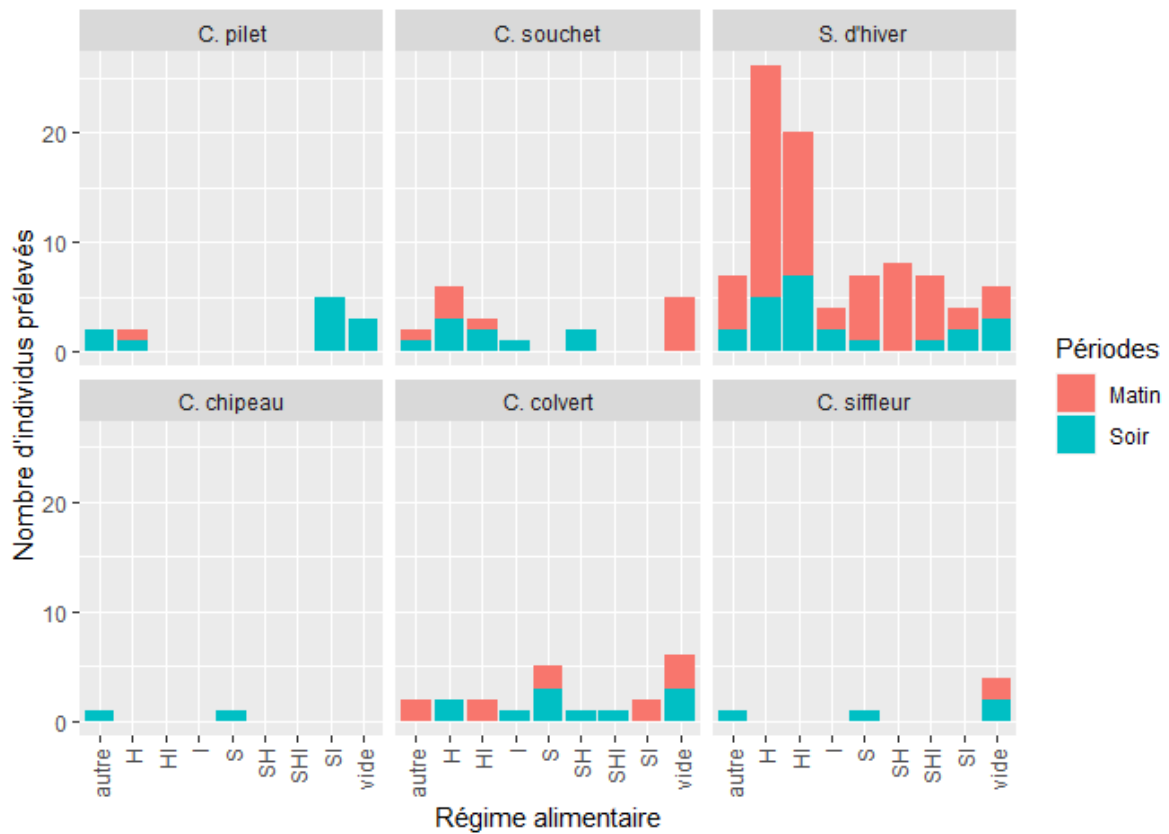


Figure 3 : Régime alimentaire (S : graine de pré salé, H : graines de prairie humide, I : invertébrés, autre : graines d'un autre milieu que pré salé ou prairie humide, vide : gésier vide de tout contenu) pour chaque espèce de canard proportionnellement au nombre d'individus prélevés à la chasse en fonction de la période de prélèvement (matin ou soir).

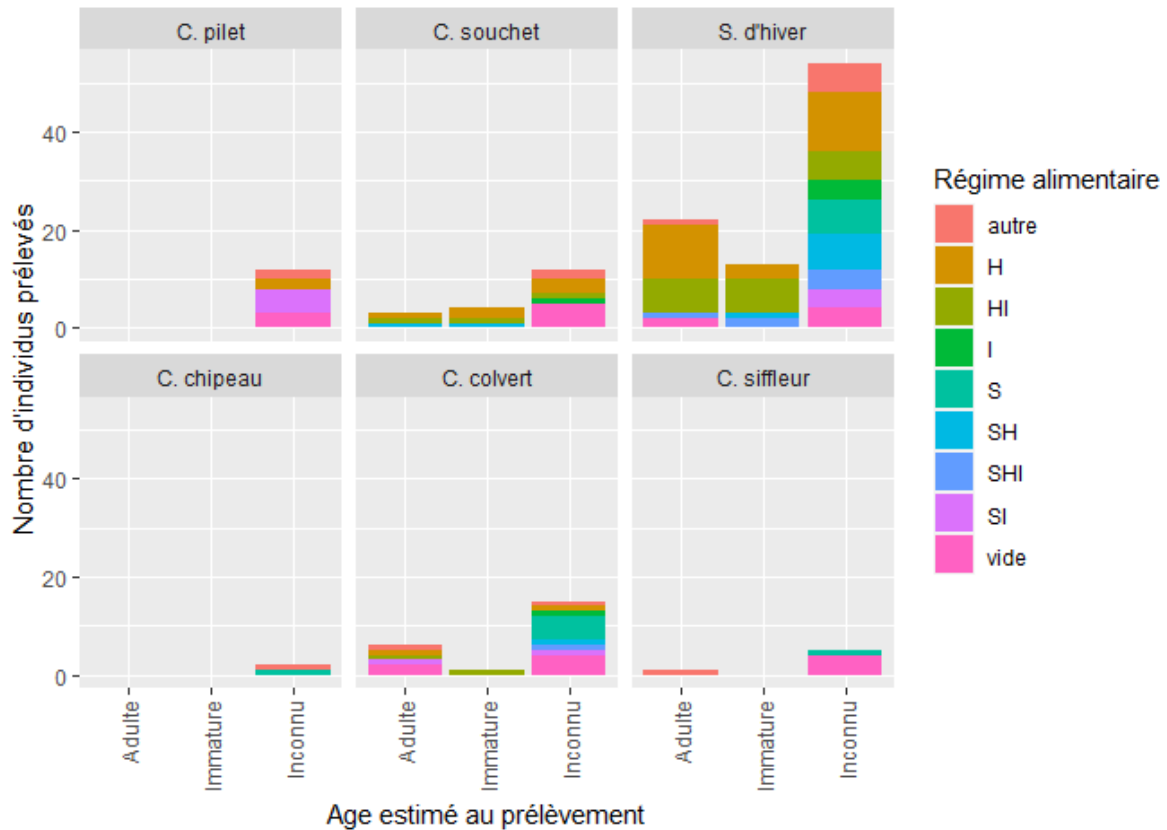


Figure 4 : Régime alimentaire (S : graine de pré salé, H : graines de prairie humide, I : invertébrés, autre : graines d'un autre milieu que pré salé ou prairie humide, vide : gésier vide de tout contenu) pour chaque espèce de canard proportionnellement au nombre d'individus prélevés à la chasse en fonction de l'âge estimé par les chasseurs.

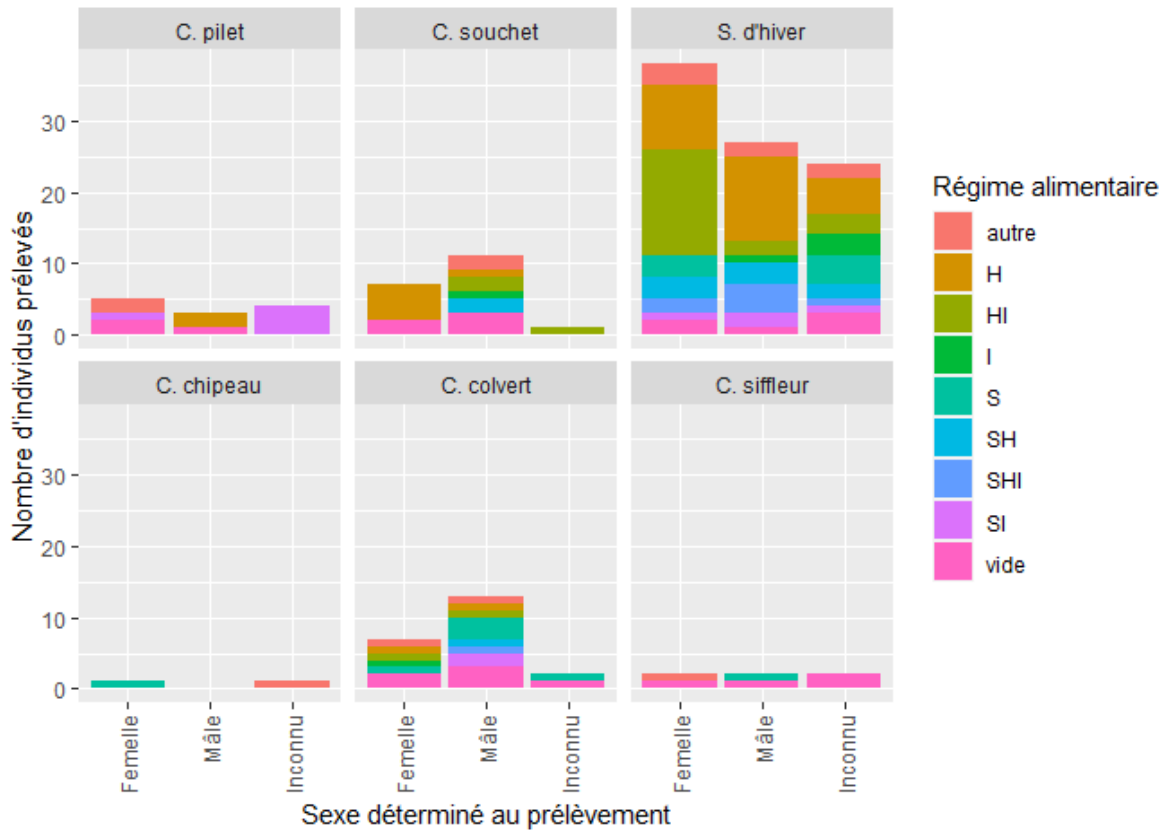


Figure 5 : Régime alimentaire (S : graine de pré salé, H : graines de prairie humide, I : invertébrés, autre : graines d'un autre milieu que pré salé ou prairie humide, vide : gésier vide de tout contenu) pour chaque espèce de canard prélevée proportionnellement au nombre d'individus prélevés à la chasse en fonction du sexe déterminé par les chasseurs.

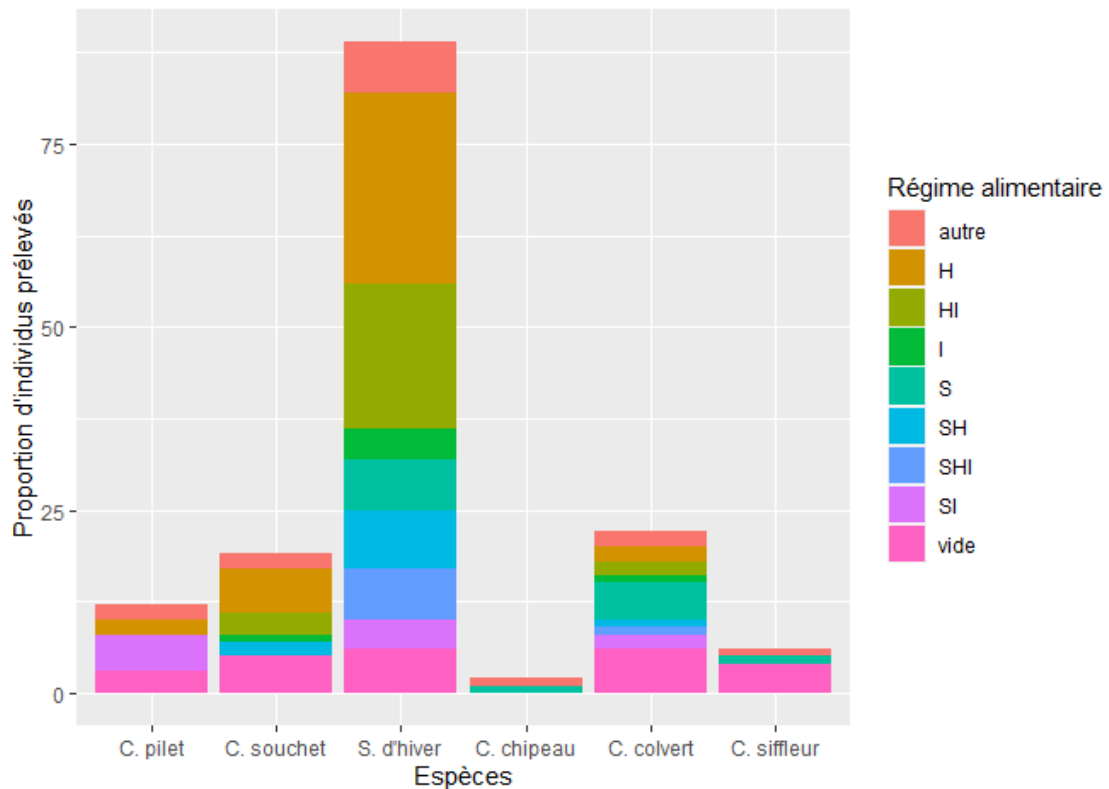


Figure 6 : Régime alimentaire (S : graine de pré salé, H : graines de prairie humide, I : invertébrés, autre : graines d'un autre milieu que pré salé ou prairie humide, vide : gésier vide de tout contenu) pour chaque espèce de canard prélevée proportionnellement au nombre d'individus prélevés à la chasse.

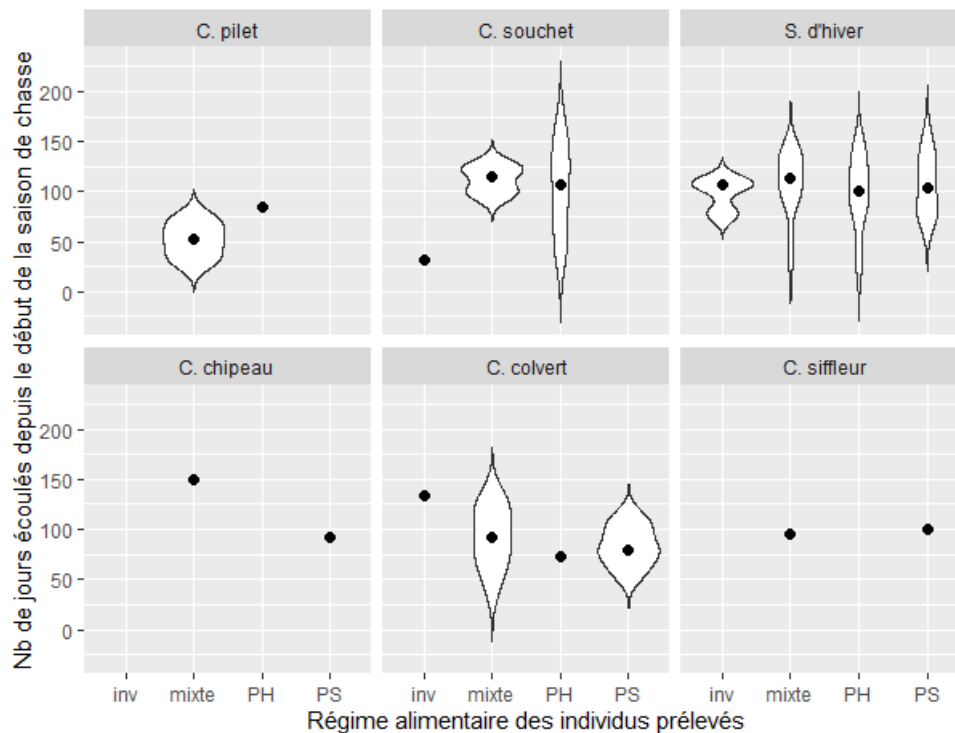


Figure 7 : Régime alimentaire (PS : graine de pré salé, PH : graines de prairie humide, inv : invertébrés, mixte : graines d'un autre milieu que pré salé ou prairie humide ou mélangeant une ressource alimentaire de différents milieux) proportionnellement au nombre d'individus prélevés au cours de la saison de chasse et suivant l'espèce.