

# Analyse des données de baguage de Phragmite aquatique en Pays de la Loire 2008-2020



AGIR pour la  
**BIODIVERSITÉ**  
ANJOU



PRÉFECTURE  
DE LA RÉGION  
PAYS DE LA LOIRE

DIRECTION  
RÉGIONALE DE  
L'ENVIRONNEMENT,  
DE L'AMÉNAGEMENT  
ET DU LOGEMENT



AGIR pour la  
**BIODIVERSITÉ**  
LOIRE-ATLANTIQUE



Parc  
naturel  
régional  
de Brière



**ACROLA**

Association pour la Connaissance et la  
Recherche Ornithologique Loire et Atlantique

*Ce travail a pu être réalisé grâce au financement de la DREAL des Pays de la Loire et à l'engagement de différentes structures et personnes, salariés et bénévoles.*

### **Ce rapport doit être référencé comme suit :**

LAIGNEAU F., BONNET P., BULENS P., CHIL J.-L., COURANT S., DUGUE H., FOUCHER J., GAUTIER S., GENTRICA., GERGAUD A., GONIN J., HAVET S., LATRAUBE F., LE NEVE A., MARQUET M., MEROT J., MOURGAUD G., RAITIERE W., REEBER S., SALMON F., SECHET E. & BATARD R. (2022). *Analyse des données de baguage de Phragmite aquatique en Pays de la Loire 2008-2020*. LPO Loire-Atlantique, ACROLA, CD 44, LPO Anjou, OFB, PNR Brière, SEPNEB Bretagne Vivante, SNPN, DREAL Pays de la Loire. 101 p.

**Coordination :** Romain BATARD, animateur de la déclinaison régionale du PNA Phragmite aquatique en Pays de la Loire à la LPO Loire-Atlantique ([romain.batard@lpo.fr](mailto:romain.batard@lpo.fr))

**Analyses et rédactions :** Frédéric LAIGNEAU, chargé d'études à la LPO 44.

### **Remerciements :**

Merci à tou.te.s pour votre contribution au fonctionnement des stations de baguage en Pays de la Loire ainsi qu'à votre appui à la réalisation de ce rapport :

ABBOU Jeanne, AGATOR Océane, ALLAIN ANTOINE, ALLART Renaud, ALLIOT Bertrand, AMELIN Camille, AMY Maxime, ARCHER Eugène, ARTHUR Christian, AUBRY Mathurin, AUBRY Philippe, BABKA Luc, BACQUE Daniel, BASTIAN Emilian, BASTIANELLI Mélina, BATARD Romain, BEASSE Siméon, BEAUVAIS Dominique, BELLIER Laurent, BELLION Loïc, BELLION Marc, BERJAMIN Florian, BERNARD Jean-Yves, BESLIC Sonia, BESLOT Edouard, BICHON Jean-Luc, BILLAUD Stephane, BLAIN Antoine, BLAIZE Christine, BLET CHARAUDEAU Claire, BOGAERTS Jean-Pierre, BONIN Pascal, BONMORT Maggie, BONNEFOY Emmanuel, BONNET Patrick, BONNET Romain, BONNIN Pascal, BORDE Henry, BOUCHER Camille, BOUGET Guillaume, BOULET François, BOULISSET Florian, BRILLAND Yan, BRILLAND Yann, BUCAS Simon, BULENS Françoise, BULENS Pierre, CABELGUEN Jérôme, CALLARD Benjamin, CALVET Amalric, CASADEI Emilie, CATTIAU Michael, CAVALIE Claire, CHABANNE Rémy, CHABLE Marion, CHABLE Patrick, CHABRIET Etienne, CHABROUILLAUD Alexis, CHARBONNIER Yohan, CHASSAGNAUD Juliette, CHAUBY Xavier, CHENY Gildas, CHEVALIER Marie, CHEVRIER Guillaume, CHIL Jean-Luc, CLESSIN Augustin, COCHARD Guillaume, COIFFARD Gervais, COIFFARD Guillaume, COLLET Maxime, COMMENGE Laurie, COREAU Damien, COUILLENS Bertrand, COULOMB Yannig, COURANT Sylvain, COURCOUX-CARO Ueline, COUROUSSÉ Gabriel, D'ADAMO Pauline, DALLONGEVILLE Odeline, DAVAL Mathieu, DE BOUET DU PORTAL Pierre, DE LACOSTE Marine, DEBENEST Etienne, DELAMAERE Marie, DELAROCHE Florence, DELAUNAY Guillaume, DELHOMME Benoît, DELLA VALLE Philippe, DELZONS Olivier, DEMANGE Laurène, DEMARQUET Quentin, DENISE Cyrille, DESGRANGES Sylvie, DOUADY Margaux, DOUX Clément, DUGUE Hubert, DUMAY Axelle, DUVIGNAU Patrice, FAUVEL Grégoire, FIQUET Pierre, FLORENTIN Mathilde, FLORET Elaine, FLOTTERER Boris, FONTAINE Benoit, FONTENEAU

Frédéric, FONTENILLE Amélie, FOSSE Alain, FOUCHER Julien, FOULIARD Youenn, FOURNIER Jérôme, FRADET Julien, FRADIN Emmanuelle, FRANCEZIAZ Charlotte , FUCHS Jérôme, GANTHIER Steve, GANTIER Steve, GAUTIER Maxime, GAUTIER Sébastien, GELY Mathilde, GENIN Alexandre, GENTRIC Alain, GERGAUD Antoine, GERVOT Méryl, GESLIN Thomas, GIACOMO Clément, GIRAUDOT Etienne, GIRET Alain, GIZARDIN Camille, GOBIN Solène, GONIN Julien, GORE Olivier, GOUY EMMANUEL, GRANGER Olivier, GREGOIRE Elisa, GRENTZMANN Ilona, GRIMAUD Lorène, GUENESCHEAU Yvon, GUENEZAN Michel, GUET Mathilde, GUIHO Valentin, GUILBERT Nicolas, GUILLAUD Laurent, GUILLE Kevin, GUILLOTEAU Liv, HALLIGON François, HAULOT Eléonore, HAVET Samuel, HEMERY François, HERAULT Thomas, HEROGUEL Clément, HILLIER Nicolas, HINDERMEYER Xavier, HOLE Gilles, HUILLIER Nicolas, HUMBERT François, HUTEAU Morgane, ITTY Christian, JAMIN Antoine, JEANNEAU Benjamin, JOMAT Loïc, JOYEUX Emmanuel, JUHEL Cédric, LACOMBE Thibaud, LACORRE Benoit, LACOUR Nathalie, LAFON Jessica, LAGRANGE Paméla, LAIGNEAU Frédéric, LAMAISON Ilian, LAMBOTTIN David, LANDEAU Rémi, LANNUZEL Canelle, LARCHEY Enola, LARTIGAU Christophe, LATRAUBE Franck, LAURENT Elodie, LAVOGIEZ David, LAVOUÉ Patrice, LE BORNE Florian, LE GUEN Anthony, LE GUEN Eddy, LE HYARIC Rozenn, LE MARCHAND Sara, LE NEVE ARNAUD, LE REST Kévin, LEBEL Amandine, LECOMTE Muriel, LEDAN David, LEDUNOIS Romain, LEFRAN Rachel, LEMOINE Mathilde, LENRUME Paul, LERAY Carole, LERAY Gilles, LEUCHTMANN Maxime, LOUSSOUARN Albin, LOUVEL Richard, LUBET Ludovic, LUBRANO Saverio, LUCAS Christelle, LUCAS Florian, LYON Typhaine, MAÇONNERIE Delphine, MAGNE Jean-François, MAHEU Bérengère, MAILLARD Jean-François, MAINGUENEAU Jérémy, MALLET Agathe, MARC Richard, MARCHAND Alexandra, MARECHAL Benoit, MARGAS Damien, MARINE Marie, MARQUET Matthieu, MARTIN Alexandre, MARTIN Hélène, MARTINEAU Adrien, MARYE Pierric, MEINKEN Moritz, MELIN Marie, MERCIER Fabien, MERLET Florence, MEROT Julien, MILDANGE Cindy, MIMAUD Mickaël, MINERY Nicolas, MIRO Camille, MOAL Gael, MONCHATRE Robin, MONNIER Gildas, MONNIER Gwendoline, MONTHOUEL Melissa, MONTRELAY Anne, MORTREUX Stéphane, MOURGAUD Gilles, MOUSSEAU Aymeric, MOUZA Clémence, MULOT Patrick, MURGUE Marianne, NADAL Yann, NEAU Anaëlle, NIANG Moussa, NOEL Servane, NORMAND Fabrice, NOUVIAN Mathilde, OLIVIER Clarisse, OLLIVIER Philippe, OUVRARD Nolan, PAGNON Thomas, PAILLOCHER Elodie, PANVERT Robin, PARDONNET Sylvia, PASSERAULT Maxime, PAUCOT Christian, PELE Jean, PELLEGRINI Benjamin, PERRET Eric, PERROI Pierre-Yves, PERROTIN Jean-Baptiste, PICHARD Adeline, PINCZON-DU-SEL Nicolas, PITHON Joséphine, PLOQUIN Hugo, POEZEVARA Théo, POISBLAUD Sylvain, POISSON Eliaz, POISSON Olivier, POUPART Timothée, PRAMPART Abel, PRIOUL Mathis, PROVOST Romain, QUESTIAU Sophie, RACINE Julie, RACINE Antoine, RAITIERE Willy, RAYMOND Blaise, REBEYRAT Xavier, REEBER Sébastien, RENAUD Hervé, REVOL Morgane, REY Fanny, RIPAUX Guillaume, ROBIN Jean-Guy, ROCHAS Paul, ROCHETEAU Vincent, ROCHOTTE Pauline, ROGER Thierry, ROUSSEAU Manuel, ROZEC Xavier, RUMIANOWSKI Odin, SABRASES Marie, SALMON Franck, SARREY David , SCHNEIDER Fabian, SCHRADER Lucile, SECHET Emmanuel, SENECHAL Cyril, SENECHAL Emilie, SIMONNEAU Manon, SINOT Baptiste, SOUCHET Maxime, SOURDRILLE Kévin, SOURGET Louis-Marie, SPONGA Arnaud, SUARD Louison, TESSIER Charles, THEBAUD Noémie, THEILLOUT

Amandine, TOURNAILLON Olivier, TOUZE Hugo, TRAVICHON Ségolène, TROTTIN Florence, TURCAT Léa, VAGINET Mélanie, VAIDIE Frédéric, VAILHEN Jean-Michel, VAN INGEN Laura, VANSTEENBERGHE Cécile, VAUTRAIN Valentin, VERGER Johan, VIBERT Laëtitia, VIEL Manon, VIGOUR David, VILLA Olivier, VOCCIA Steve, VONG Alexandre, VULVIN Thomas, YERLES Claire, YVERNAULT Jérôme, ZEINE ELABIDINE Sibatt.

Toutes nos excuses à celles et ceux dont les noms ont pu être oubliés dans cette liste.

Merci spécialement à Simon CHOLLET et Jean-Marc FOURCADE ainsi qu'à Jean-Baptiste BAUDET et Léa UROY pour l'aide plus que précieuse à la réalisation des analyses statistiques.

Merci à Christine BLAIZE, Frédéric JIGUET, Raphaël MUSSEAU et Julien LAIGNEL pour les relectures attentives de cette étude.

Merci à la DREAL Pays de la Loire pour avoir permis la réalisation de cette étude et au CRBPO pour l'extraction des données.

---

## RESUME

---

En raison de la dégradation de ses habitats de nidification, de migration et d'hivernage, le Phragmite aquatique est le passereau le plus menacé d'Europe. D'après les suivis par baguage menés en Europe, la quasi-totalité de la population mondiale transite par la France. Le Phragmite aquatique profite des zones humides du littoral Manche-Atlantique pour constituer ses réserves de graisse afin de poursuivre sa migration jusqu'en Afrique de l'Ouest. Du fait de ses nombreuses zones humides, les Pays de la Loire possèdent des sites de halte essentiels à la migration du Phragmite aquatique. C'est pourquoi dans le cadre du Plan National d'Actions, plusieurs stations de baguage ont été mises en place sur la région afin de définir les principaux sites de halte et de savoir comment l'espèce les utilise. Les objectifs de cette étude sont i) d'établir un bilan des captures du Phragmite aquatique en Pays de la Loire, ii) d'évaluer les tendances d'évolution des captures du Phragmite aquatique à l'échelle des Pays de la Loire sur la période de 2008 à 2020, iii) de décrire la connectivité entre les stations de baguage des Pays de la Loire. Pour y répondre, les paramètres étudiés étaient les effectifs bruts, les conditions corporelles et la structure d'âge. Les résultats ont permis de montrer que les Pays de la Loire constituent un site d'engraissement important pour les Phragmites aquatiques en migration. Toutefois, une tendance générale à la diminution des effectifs de Phragmites aquatiques en migration postnuptiale sur l'ensemble des stations à l'exception d'une a été relevée. L'analyse des paramètres étudiés a permis de discriminer certaines stations dans la qualité des habitats et dans leur utilisation par l'espèce. Les données ont permis de montrer des évolutions d'effectifs similaires entre des groupes de stations et à l'inverse une évolution négativement corrélée entre l'une des stations, à l'intérieur des terres, et les autres sites, proches du littoral. Ces résultats ont permis de montrer une complémentarité de certaines stations en fonction de leur localisation mettant en évidence des stratégies migratoires différentes selon des conditions annuelles de migration de l'espèce. La phénologie montrait également des différences de passages selon les classes d'âge et les stations, indiquant une complémentarité des sites dans l'accueil du Phragmite aquatique à l'échelle spatiale de la région et à l'échelle temporelle. Ainsi, les efforts devraient porter davantage sur le soutien des stations historiques et des stations accueillant des effectifs importants de sorte à assurer leur pérennité et à maintenir leur rôle de sites d'escale pour le Phragmite aquatique.

---

## ABSTRACT

---

Due to the degradation of its nesting, migration and wintering habitats, the Aquatic Warbler is the most threatened passerine of Europe. According to the ringing monitoring carried out in Europe, almost all of the world population passes through France. The Aquatic Warbler takes advantage of the wetlands of the Manche-Atlantique coastline to fatten up and be able to continue its migration to West Africa. Thanks to their numerous wetlands, the Pays de la Loire have stopover sites that are essential for the migration of the Aquatic Warbler. That is why within the scope of the National Action Plan, many ringing stations have been settled in the region, to define the main stopover sites and to understand how the species uses them. The objectives of the present study are to i) establish an assessment of the Aquatic Warbler captures in Pays de la Loire, ii) assess trends in Aquatic Warbler catches across Pays de la Loire over the period from 2008 to 2020, iii) describe connectivity between the ringing stations of the Pays de la Loire. To answer these questions, the parameters studied were capture numbers, age structure, phenology and body conditions. The results showed that the Pays de la Loire constitute an important fattening site for migrating Aquatic Warblers. However, a general decreasing tendency of the postnuptial migrating Aquatic Warblers effectives on all station except one was revealed. The analysis of the parameters studied has discriminated some stations in the habitat quality and in their use by the species. These results have shown a complementarity of certain stations according to their location, highlighting different migratory strategies according to the annual conditions of migration of the species. Furthermore, the phenology also showed differences in passages according to age classes and stations, indicating a complementarity of the sites in the reception of the Aquatic Warbler at the spatial scale of the region and at the temporal scale. Thereby, efforts should incline toward the support of historical stations and stations hosting important effectives, to insure their durability and maintain their stopover site role for the Aquatic Warbler.

## SOMMAIRE

1	INTRODUCTION .....	1
2	MATERIEL ET METHODE .....	3
2.1	Le protocole ACROLA.....	3
2.2	Période d'étude .....	3
2.3	Stations de baguage étudiées .....	4
2.4	Les données de baguage .....	5
2.4.1	<i>Collecte</i> .....	5
2.4.2	<i>Mise en forme</i> .....	5
2.4.3	<i>Gestion des données manquantes</i> .....	5
2.5	Bilan des captures .....	6
2.6	Contrôles autochtones .....	6
2.7	Contrôles allochtones.....	6
2.8	Analyses statistiques descriptives .....	7
2.8.1	<i>Effectifs</i> .....	7
2.8.2	<i>Structure d'âge</i> .....	9
2.8.3	<i>Phénologie</i> .....	9
2.8.4	<i>Indice ACROLA et indice 93</i> .....	10
2.9	Analyses statistiques de halte migratoire .....	12
2.9.1	<i>Durée minimale de halte</i> .....	12
2.9.2	<i>Estimation de la durée de halte par Capture-Marquage-Recapture</i> .....	12
2.9.3	<i>Taux d'engraissement</i> .....	13
2.9.4	<i>Quantité de réserve énergétique</i> .....	14
2.9.5	<i>Capacité de vol ininterrompu</i> .....	15
3	RESULTATS.....	17
3.1	Les sites de baguage .....	17
3.2	Périodes de baguage .....	18
3.2.1	<i>Nombre d'années</i> .....	18
3.2.2	<i>Nombre de jours de baguage</i> .....	19
3.2.3	<i>Nombre de stations ACROLA</i> .....	21
3.2.4	<i>Période moyenne d'ouverture</i> .....	22
3.3	Bilan des captures .....	24
3.4	Contrôles autochtones .....	27
3.5	Contrôles allochtones.....	29
3.5.1	<i>Echanges globaux</i> .....	29

3.5.2	<i>Echanges intra pays de la Loire</i> .....	31
3.6	Effectifs moyens annuels.....	33
3.6.1	<i>Comparaison des effectifs</i> .....	33
3.6.2	<i>Comparaison des effectifs de P. aquatique et de P. des joncs</i> .....	37
3.6.1	<i>Evolution des effectifs</i> .....	38
3.7	Indice 93 .....	41
3.8	Indice ACROLA.....	45
3.9	Synthèse des effectifs, Indice ACROLA et Indice 93 par station.....	47
3.10	Structure d'âge .....	49
3.10.1	<i>Structure d'âge moyenne par station</i> .....	49
3.10.2	<i>Comparaison des structures d'âge</i> .....	50
3.10.3	<i>Evolution des structures d'âge</i> .....	51
3.11	Phénologie.....	53
3.11.1	<i>Phénologie moyenne par station</i> .....	53
3.11.2	<i>Comparaison de la phénologie</i> .....	55
3.11.3	<i>Evolution de la phénologie</i> .....	57
3.12	Halte migratoire .....	60
3.12.1	<i>Durée minimale de halte migratoire</i> .....	60
3.12.2	<i>Estimation de la durée de halte par Capture-Marquage-Recapture</i> .....	61
3.12.3	<i>Taux d'engraissement</i> .....	63
3.12.4	<i>Quantité de réserve énergétique et capacité de vol</i> .....	65
4	DISCUSSION .....	67
4.1	Le protocole ACROLA.....	67
4.2	Utilisation des données .....	68
4.3	Contrôles allochtones.....	69
4.4	Effectifs.....	70
4.5	Indice 93 et Indice ACROLA .....	71
4.6	Structure d'âge.....	72
4.7	Phénologie.....	73
4.8	Halte migratoire .....	74
4.9	Perspectives de suivi en Pays de la Loire.....	76
5	CONCLUSION .....	78
6	BIBLIOGRAPHIES.....	80
7	ANNEXES.....	85

## TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Pourcentage et pourcentage cumulé du nombre total de captures par jour sur l'ensemble des stations ACROLA des Pays de la Loire entre 2008 et 2020 (en bleu, 95% des individus capturés).....	4
Figure 2 : Localisation des stations de baguage en protocole ACROLA en Pays de la Loire entre 2008 et 2020.....	17
Figure 3 : Nombre et pourcentage cumulé d'années de baguage en protocole ACROLA par station..	18
Figure 4 : Durée moyenne de baguage par station et pourcentage cumulé (par intervalles de jours)	19
Figure 5 : Nombre cumulé de Phragmites aquatiques par année (histogramme) en protocole ACROLA et nombre cumulé de stations de baguage ACROLA par année (courbe).....	21
Figure 6 : Durée moyenne d'ouverture par station ( $\pm$ écart-type date minimale et maximale ; en bleu la période du mois d'août ; trait vertical = 15 août).....	23
Figure 7 : Nombre de captures de Phragmite aquatique en France (- - -), en Pays de la Loire (—) et pourcentage des captures en Pays de la Loire par rapport aux captures en France (histogramme) en protocole ACROLA .....	25
Figure 8 : Nombre de captures de Phragmite aquatique par station et pourcentage cumulé.....	25
Figure 9 : Carte globale des échanges extrarégionaux.....	30
Figure 10 : Carte des échanges entre stations des Pays de la Loire et les autres stations de France métropolitaine.....	30
Figure 11 : Carte des échanges entre les stations des Pays de la Loire .....	32
Figure 12 : Comparaison des effectifs moyens annuels (100m/jour) .....	33
Figure 13 : Effectifs standardisés par stations en fonction des années .....	34
Figure 14 : Effectifs standardisés significativement corrélés par stations en fonction des années.....	36
Figure 15 : Effectifs standardisés de Phragmites aquatiques et de Phragmites des joncs à l'échelle des Pays de la Loire .....	37
Figure 16 : Effectifs moyens annuels (100m/jour) de baguage de Phragmite aquatique en Pays de la Loire ( $\pm$ SE). Effectif total (courbe noire), effectif jeunes (histogramme gris), effectif adultes (histogramme blanc). .....	38
Figure 17 : Effectifs moyens annuels pour 100m de filet et 6h de baguage de Phragmite aquatique ( $\pm$ SE). Effectif total (courbe noire), effectif jeunes (histogramme gris), effectif adulte (histogramme blanc). .....	40
Figure 18 : Relation entre l'Indice 93 (histogramme) et l'effectif moyen annuel / 100m / jour (courbe) par année et par station.....	42
Figure 19 : Indice ACROLA par année et par station .....	46
Figure 20 : Indice 93, Indice ACROLA et effectifs moyens par station .....	48
Figure 21 : Pourcentage de jeunes et d'adultes par station entre 2008 et 2020 .....	50
Figure 22 : Pourcentage annuel moyen de jeunes (blanc) et d'adulte (gris) par station.....	52
Figure 23 : Comparaison de la phénologie pour les jeunes et les adultes .....	55
Figure 24 : Comparaison de la phénologie pour les jeunes .....	56
Figure 25 : Comparaison de la phénologie pour les adultes .....	56
Figure 26 : Évolution de la date médiane de passage par classe d'âge et par station.....	58
Figure 27 : Durée minimale de halte (MSL) par année et par station.....	60
Figure 28 : Estimation de la durée de halte par CMR.....	61

Figure 29 : $\Delta$ Masse en fonction de $\Delta$ Jour par classe d'âge (toutes années et toutes stations confondues)	63
Figure 30 : Relation entre FDR (Fuel Deposition Rate) et date de première capture (toutes années et toutes stations confondues)	63
Figure 31 : Relation entre FDR et IBMI (toutes années et toutes stations confondues)	63
Figure 32 : Taux d'engraissement moyen (FDR) par classe d'âge et par site	64
Figure 33 : Quantité de réserve énergétique relative f (Relative Fuel Load) en fonction de la date de capture	65
Figure 34 : Capacité de vol ininterrompu (Flight range) et quantité de réserve énergétique relative (RFL) avec U=36 km/h	66
Figure 35 : Capacité de vol ininterrompu (Flight range) et quantité de réserve énergétique relative (RFL) avec U=59 km/h	66

## TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Extrait des masses les plus faibles du jeu de données (MA = masse ; AD = adiposité (score de 1 à 4) ; LP = longueur d'aile)	15
Tableau 2 : Fréquence du nombre de stations ACROLA par année	18
Tableau 3 : Fréquence du nombre de jours de baguage ACROLA par année	19
Tableau 4 : Nombre de jours de baguage par année et par station et nombre total d'années baguées en protocole ACROLA	20
Tableau 5 : Date moyenne d'ouverture, date moyenne de fermeture et durée moyenne	22
Tableau 6 : Nombre et pourcentage de baguages, contrôles et captures totales par protocole	24
Tableau 7 : Pourcentage de capture en protocole ACROLA et hors protocole	24
Tableau 8 : Nombre et pourcentage de baguages, contrôles et captures totales par station en protocole ACROLA entre 2008 et 2020 (juillet, août, septembre)	26
Tableau 9 : Nombre de contrôles annuels de Phragmites aquatiques par station, pour l'ensemble des protocoles du 1 <sup>er</sup> au 31 août de 2008 à 2020	27
Tableau 10 : Nombre de contrôles annuels de Phragmites aquatiques dont $\Delta$ Jour $\geq$ 2 par station, pour l'ensemble des protocoles du 1 <sup>er</sup> au 31 août de 2008 à 2020	27
Tableau 11 : Nombre et pourcentage de données exploitables par CMR et pour le calcul du FDR entre 2008 et 2020	28
Tableau 12 : Nombre d'échanges (baguages et contrôles) par stations des Pays de la Loire	29
Tableau 13 : Nombre de baguages et de contrôles intra-stations	31
Tableau 14 : Corrélation des effectifs moyens annuels entre stations (coefficient de détermination R, nombre de données N et p-value significative indiquée en gras)	35
Tableau 15 : Coefficient de détermination R entre les effectifs (100m/jour) de Phragmites aquatiques et de Phragmites des joncs par station	37
Tableau 16 : Taux d'évolution annuelle des effectifs par classe d'âge et par station	39
Tableau 17 : Corrélation de Spearman entre l'Indice 93 et l'effectif moyen / 100m / jour	41
Tableau 18 : Exemple fictif n°1 d'Indice 93 identique pour une durée de baguage variable	43
Tableau 19 : Exemple fictif n°2 d'Indice 93 avec « NU » = nombre d'unités ACROLA	44
Tableau 20 : Évolution annuelle de l'Indice ACROLA par station	45

Tableau 21 : Indice 93, Indice ACROLA et effectifs moyens par station sur la période du 1 <sup>er</sup> au 31 août de 2008 à 2020 .....	47
Tableau 22 : Nombre et pourcentage de Phragmites aquatiques par classe d'âge et par station sur la période du 1 <sup>er</sup> au 31 août de 2008 à 2020 .....	49
Tableau 23 : Résultats du test posthoc du Chi-2 .....	50
Tableau 24 : Résultats des modèles GLS et taux d'évolution annuelle de la proportion de jeune (résultats opposés pour les adultes) sur la période du 1 <sup>er</sup> au 31 août de 2008 à 2020 .....	51
Tableau 25 : Date médiane de passage par classe d'âge et par station du 1 <sup>er</sup> au 31 août de 2008 à 2020 .....	53
Tableau 26 : Évolution annuelle de la date médiane de passage par classe d'âge et par station .....	57
Tableau 27 : Évolution annuelle des dates moyennes de passage par classe d'âge pour la station de Donges .....	59
Tableau 28 : Phénologie moyenne 2008-2020 par classe d'âge de la station de Donges sur la période totale et la période du 1 <sup>er</sup> au 31 août.....	59
Tableau 29 : Durée minimale de halte moyenne .....	60
Tableau 30 : Estimation de la durée de halte migratoire par CMR.....	61
Tableau 31 : Sélection des modèles CJS et PRADEL pour estimer les probabilités de survie locale et d'antériorité .....	62
Tableau 32 : Taux d'engraissement (FDR) moyen par classe d'âge et par site et % de la masse corporelle maigre (LBM) .....	64

## TABLE DES ANNEXES

Annexe 1 : Localisation des stations de baguage ACROLA en Pays de la Loire .....	85
Annexe 2 : Nombre de Phragmites aquatiques bagués en Pays de la Loire et lieux de contrôle .....	86
Annexe 3 : Nombre de Phragmites aquatiques contrôlés en Pays de la Loire et lieux de baguage .....	87
Annexe 4 : Comparaison des résultats du modèle sélectionné et du model averaging .....	88
Annexe 5 : Effectifs annuels (jeunes et adultes) et résultats du modèle GLS par station .....	90

## 1 INTRODUCTION

Le Phragmite aquatique (*Acrocephalus paludicola*) est le passereau le plus menacé d'Europe. Il est inscrit sur la liste rouge mondiale des espèces menacées de l'UICN en catégorie "Vulnérable" (BIRDLIFE INTERNATIONAL, 2017) et est considéré en déclin en raison de la dégradation de ses habitats de nidification, de migration et d'hivernage (LE NEVE ET AL., 2009). C'est une espèce caractéristique des zones de marais très humides, retrouvée par exemple dans les plaines alluviales d'Europe de l'Est où il se reproduit et dans les plaines humides de l'Afrique subsaharienne où il hiverne (TANNEBERGER & KUBACKA, 2018).

En France, le Phragmite aquatique est aujourd'hui uniquement un oiseau de passage pendant les migrations. Les suivis menés par baguage en Europe ont établi que la quasi-totalité de la population mondiale transite par la France (TANNEBERGER & KUBACKA, 2018). De plus, la majorité de ces oiseaux fait halte sur les zones humides du littoral Manche-Atlantique dont font partie les Pays de la Loire (LE NEVE ET AL., 2011, MARQUET ET AL., 2014). Ainsi, les zones humides françaises sont des zones primordiales pour que l'espèce puisse reconstituer ses réserves de graisse pour poursuivre le voyage jusqu'à ses quartiers d'hivernage en Afrique de l'Ouest. Les haltes migratoires en France sont aussi, à l'instar des sites de reproduction et d'hivernage, des zones de marais très humides. Protéger le Phragmite aquatique contribue donc à mettre en avant les modes de gestion de ces milieux et bénéficie à la conservation d'une large part de la biodiversité végétale et animale qui y est inféodée (SIMBERLOFF 1998 ; ROBERGE & ANGELSTAM, 2004).

Le territoire français endosse donc une forte responsabilité en termes de conservation de l'espèce puisqu'elle accueille la quasi-totalité de la population mondiale de l'espèce en halte migratoire, notamment de jeunes oiseaux (JIGUET ET AL. 2011). C'est pourquoi la France s'est dotée d'un Plan National d'Actions (PNA) entre 2010 et 2014 (LE NEVE ET AL., 2009) et qu'une nouvelle stratégie de conservation doit voir le jour sur la période 2023 -2032 (BLAIZE ET AL., 2022). De fait, le PNA a défini les objectifs de coordonner un suivi cohérent des populations migratrices sur le territoire, de mettre en œuvre des actions coordonnées favorables à l'état de conservation de l'espèce, d'informer les acteurs concernés et le public et enfin de faciliter l'intégration de la protection des espèces dans les activités humaines et dans les politiques publiques.

Le premier Phragmite aquatique capturé en Pays de la Loire date de 1961 à Champagné-les-Marais en Vendée (DEHORTER O. & CRBPO, 2022), et Blandin (1964), le donnait migrateur régulier en septembre en Loire-Atlantique. Depuis, la connaissance sur l'espèce s'est largement améliorée grâce à l'essor du baguage, notamment dans les roselières de l'estuaire de la Loire. L'espèce a par la suite été activement recherchée afin de définir les principaux sites de halte dans le but de mettre en place des suivis pérennes. En Pays de la Loire, plusieurs stations se sont créées par la suite : la Réserve de Grand-Lieu (REEBER, 2011-2021), Donges (Association ACROLA, 2007, 2009 ; DUGUE, 2008 ; FOUCHER, 2010, 2013-2020 ; FOUCHER & DUGUE, 2012 ; FOUCHER ET AL., 2011), Noyant (MOURGAUD & SIMONNEAU, 2022), les

Réserves de Brière Nord, Sud et Pierre Constant (MARQUET & SECHET, 2010, 2011, 2014, 2015, 2019), les Réserves du Massereau et du Migron (LATRAUBE, 2009-2011 ; CHIL & COCHARD, 2012-2013 ; CHIL & MAILLARD, 2014, 2015 ; CHIL, 2016 ; GAUTIER, 2017 ; GAUTIER & RAYMOND, 2018, 2020, 2021 ; GAUTIER, RAYMOND & LEFRAN, 2019).

L'espèce a fait l'objet d'une déclinaison régionale de son PNA entre 2010 et 2020 dont un des objectifs était de prospecter les sites dont on ne disposait pas d'information sur l'espèce. Plusieurs recherches se sont donc déroulées sur la région, principalement en Loire-Atlantique et en Vendée, ainsi qu'à la marge en Maine-et-Loire (BATARD & MOURGAUD, 2018 ; COURANT, 2014 ; LAIGNEAU & BATARD, 2020 ; LATRAUBE, 2012, 2013, 2014, 2015, 2017 ; GONIN & MERCIER, 2011, 2012, 2016 ; RAITIERE & DORTEL, 2009). Celles-ci ont permis notamment de faire intégrer l'espèce dans les enjeux des sites Natura 2000 quand elle n'était pas connue.

L'analyse des données présentées dans cette étude fait suite à l'objectif du PNA concernant la coordination d'un suivi de l'espèce. Les objectifs initiaux de cette étude sont **i)** d'établir un bilan des captures du Phragmite aquatique en Pays de la Loire, **ii)** d'évaluer les tendances d'évolution des captures du Phragmite aquatique à l'échelle des Pays de la Loire sur la période de 2008 à 2020, **iii)** de décrire la connectivité entre les stations de baguage des Pays de la Loire. Pour y répondre, plusieurs paramètres sont étudiés comme les effectifs de capture, la structure d'âge, la phénologie et les conditions corporelles.

## 2 MATERIEL ET METHODE

### 2.1 LE PROTOCOLE ACROLA

Pour répondre au déclin du Phragmite aquatique à l'échelle mondiale et aux lacunes en matière de connaissances sur l'écologie et la conservation de l'espèce en France, plusieurs bagueur.euse.s agréé.e.s ont impulsé la création d'un programme d'étude sur l'espèce en 2007 (PROVOST ET AL., 2010). L'enjeu était d'autant plus important à l'échelle du pays que le Phragmite aquatique utilise de nombreux sites sur l'axe de migration Atlantique-Est en période de halte migratoire. Un protocole spécifique pour le suivi du Phragmite aquatique en migration poste-nuptiale a donc été établi et est entré en vigueur à partir de 2008 afin de répondre à ces enjeux (JIGUET ET AL., 2012).

Le protocole préconise une durée minimale de baguage de 10 jours consécutifs, de préférence ciblés sur le pic de passage de l'espèce aux alentours du 15 août. Les filets sont regroupés par unité de capture. Chaque unité représente 3 filets de 12 mètres, soit un linéaire de 36 mètres. Le nombre d'unité de captures n'étant pas limité, le linéaire total de filets en protocole ACROLA de chaque station est par conséquent un multiple de 36. L'utilisation d'une repasse monospécifique diffusant le chant de l'espèce est obligatoire sur chaque unité de capture. Plus de détails sont disponibles sur le site du CRBPO ([https://crbpo.mnhn.fr/IMG/pdf/THEME\\_ACROLA-2.pdf](https://crbpo.mnhn.fr/IMG/pdf/THEME_ACROLA-2.pdf)).

### 2.2 PERIODE D'ETUDE

La plupart des analyses présentées ci-après dans ce rapport est directement liée au nombre de jours de baguage effectués chaque année et sur chaque station. Celui-ci est très variable entre stations et inclus un biais important pour les stations ouvertes plus longtemps que la période de migration de l'espèce. La sélection des données sur les périodes communes à toutes les stations pour chaque année mènerait à une perte majeure du nombre données et ne permettrait plus de réaliser les différents tests statistiques. Pour cette raison, ce biais ne peut être supprimé pour la comparaison des stations. Cependant, afin de le réduire, la période d'étude pour les effectifs a été restreinte du **1<sup>er</sup> au 31 août** (sauf analyses particulières, cf. 2.9.). Sur l'ensemble des stations, cette période représente 95% du total des individus capturés (96% pour les jeunes et 92 % pour les adultes). Ce pourcentage étant lui-même influencé par les stations ouvertes seulement au sein de cette période, le même calcul a été réalisé pour la station de Donges, ouverte en moyenne du 20 juillet au 12 septembre. Pour cette station, la période du mois d'août représente 87% du total des individus capturés (90% pour les jeunes et 82 % pour les adultes). Pour les autres stations, seules quelques journées de baguage ont été réalisées en marge du mois d'août sur l'ensemble de la période d'étude, ils ne représentent donc pas de changement majeur pour les analyses. Il s'agit de la station le Braud (1 jour en juillet), du Marais de Pompas (2 jours en septembre), de la Réserve de Grand-Lieu (6 jours en septembre), Mizottes de la Triaize (2 jours en juillet et 8 jours en septembre) et Noyant (10 jours en juillet et 3 jours en septembre).

Il est donc important de noter que les résultats présentés dans ce rapport concernent la période du **1<sup>er</sup> au 31 août** mais que **toutes les stations n'étaient pas ouvertes sur cette durée toutes les années**. Ainsi la comparaison des stations doit être toujours nuancée en rappelant ce biais. De plus, pour les stations citées ci-dessus, les résultats peuvent varier des analyses réalisées individuellement sur leur période totale d'ouverture, en particulier pour la station de Donges.

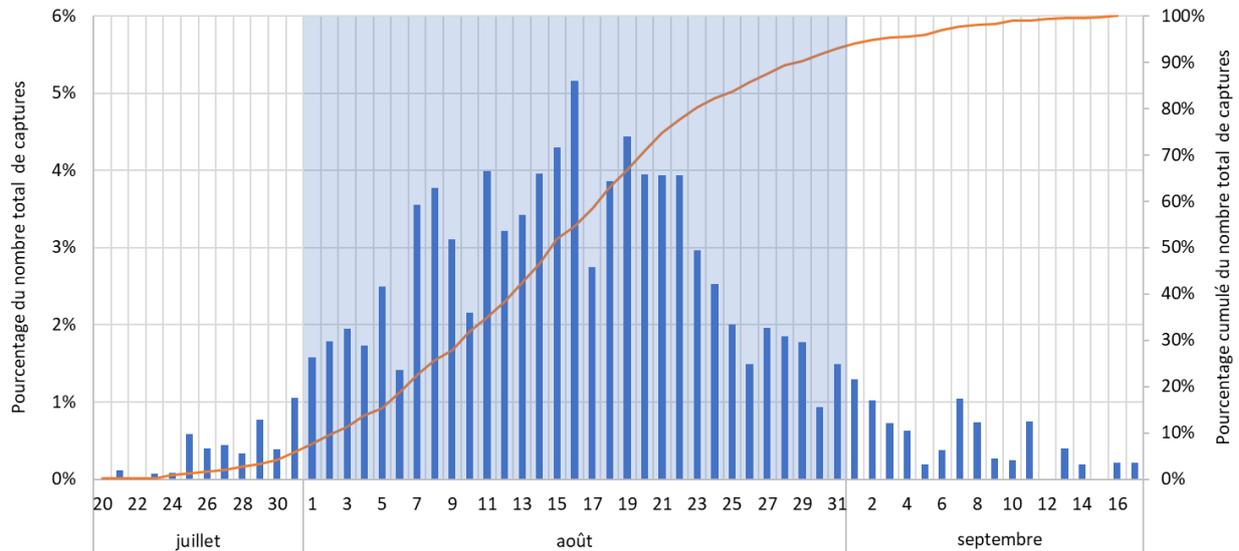


Figure 1 : Pourcentage et pourcentage cumulé du nombre total de captures par jour sur l'ensemble des stations ACROLA des Pays de la Loire entre 2008 et 2020 (en bleu, 95% des individus capturés)

### 2.3 STATIONS DE BAGUAGE ETUDIÉES

Les stations étudiées dans ce rapport correspondent à un lieu géographiquement défini sur lequel a été mis en place le protocole ACROLA de suivi du Phragmite aquatique par baguage. Chaque station correspond donc à un lieu unique dont le suivi a été réalisé à minima une année. Au total, 33 stations ont réalisé le suivi du Phragmite aquatique par le protocole ACROLA entre 2008 et 2020 en Pays de la Loire. L'évolution de plusieurs paramètres (effectifs, phénologie, structure d'âge, ...) a été étudiée pour les stations ayant au minimum 5 années de suivi. Les tendances à court terme sont difficiles à interpréter pour les populations d'oiseaux, dû à une forte variation interannuelle. Ce seuil a été déterminé afin de prendre en compte un maximum de stations dont le nombre d'années de suivi permet de montrer une tendance d'évolution sans que celle-ci ne soit trop influencée par cette variation interannuelle naturelle. Ce compromis a permis de retenir 7 stations : Donges, Marais de Pompas, Noyant, Réserve de Brière Sud, Réserve de Grand-Lieu, Réserve du Massereau et Réserve Pierre Constant.

Afin de représenter l'évolution de ces paramètres à l'échelle régionale, les données des 33 stations ayant appliquées le protocole ACROLA ont été utilisées comme sous-stations de la station des « Pays de la Loire ». Le calcul des effectifs de la station « Pays de la Loire » est expliqué dans la partie « 2.8.1 Effectifs ».

## 2.4 LES DONNEES DE BAGUAGE

### 2.4.1 COLLECTE

Afin de mener à bien cette étude, deux jeux de données sont constitués à partir de la base du Centre de Recherches sur la Biologie des Populations d'Oiseaux (CRBPO) : l'un concerne l'ensemble des données de l'espèce Phragmite aquatique (quel que soit le protocole) entre 2007 et 2020 et l'autre l'ensemble des données du protocole ACROLA (cf. 2.2) en y incluant l'ensemble des contrôles et reprises pour chaque oiseau (Dehorter & CRBPO, 2021). L'ensemble de ces données sont collectées par des salariés et bénévoles de différentes structures, toutes parties prenantes dans ce travail.

### 2.4.2 MISE EN FORME

Le jeu de données a été passé en revue pour détecter la présence éventuelle d'erreurs (erreur de saisie, de retranscription, de mesure, de lecture à la table de baguage, non enregistrement dans la base de données, etc...). Ce travail fastidieux mais nécessaire permet d'éliminer des valeurs aberrantes dans la biométrie des oiseaux, des paramètres d'effort de capture, sans quoi les résultats d'une partie des analyses se trouveraient nettement faussés. Il est à réaliser pour chaque station, chaque année de baguage, chaque paramètre biométrique, etc.

### 2.4.3 GESTION DES DONNEES MANQUANTES

Après la mise en forme du jeu données, il est apparu qu'une partie des informations nécessaires aux analyses n'était pas renseignée dans les exports reçus, comme le linéaire de filets ou la durée de session de certaines journées de baguage par exemple. Ces informations ont été envoyées aux bagueurs responsables des sessions de baguage en question afin de compléter le jeu de données. Compte tenu du nombre de bagueur ayant participé au protocole ACROLA, cette tâche a nécessité de nombreux échanges pour retrouver des données parfois anciennes. Lorsque cela était possible, les informations manquantes ont été retrouvées dans les bilans annuels de baguage des stations. Cependant, toutes les informations n'ont pas pu être retrouvées et certaines ont dû être estimées. Par exemple, des durées de session ont été estimées par la différence entre l'heure de première et de dernière capture. A noter que certaines données de Phragmite aquatique faisant partie de programmes personnels privés n'ont pas été incluses dans le jeu de données.

## 2.5 BILAN DES CAPTURES

Une analyse globale a été faite afin de présenter pour chaque station ACROLA le nombre de baguages, de contrôles et de captures totales de Phragmites aquatiques ainsi que les pourcentages associés au sein de chaque station et par rapport à l'ensemble des stations. Les pourcentages sont calculés sur l'ensemble des données, toutes années confondues.

## 2.6 CONTROLES AUTOCHTONES

Les oiseaux bagués sur un site donné et recapturés plus d'une fois la même année sur le même site sont appelés « contrôles annuels ». Ces individus stationnent sur la zone d'étude et leur comportement peut renseigner sur la qualité du milieu, la fidélité des oiseaux aux sites de halte. Ces données permettent, entre autres, d'estimer la durée de halte par Capture-marquage-Recapture (CMR) et de calculer le taux d'engraissement (Fuel Deposition Rate = FDR).

## 2.7 CONTROLES ALLOCHTONES

Le suivi des oiseaux par baguage permet la recapture d'individus sur d'autres sites de captures et ainsi d'identifier, entre autres, les voies de migrations, les principaux sites de halte migratoire des espèces baguées et bien d'autres paramètres. Un oiseau est dit « contrôlé » lorsqu'il est déjà porteur d'une bague lors de sa capture. Les contrôles étrangers permettent, par exemple, de mettre en évidence différentes populations d'une même espèce, pouvant transiter par des voies de migration différentes. Cette section vise à présenter les principales données de contrôles en France et à l'étranger d'oiseaux bagués en Pays de la Loire. Les données de contrôles ont été regroupées en tableaux synthétiques et présentées sous forme de cartes.

## 2.8 ANALYSES STATISTIQUES DESCRIPTIVES

Les analyses statistiques ont été réalisées grâce aux logiciels RStudio (RStudio Version 1.2.5033 © 2009-2019 RStudio, Inc.) et STATISTICA (StatSoft, Inc. (2004). Version 7). L'ensemble des tests par régression linéaire et des tests de comparaison de moyennes a été précédé des tests de validité des hypothèses de linéarité, normalité, homoscedasticité et indépendance des résidus. Pour les analyses statistiques descriptives décrites ci-dessous, seuls les nouveaux individus bagués et les contrôles interannuels ont été utilisés. Les contrôles intra-journaliers et les contrôles annuels ont été exclus des calculs. Sauf précisions, les données utilisées sont celles des Phragmites aquatiques capturés en protocole ACROLA.

### 2.8.1 EFFECTIFS

Les effectifs de Phragmite aquatique en halte migratoire en Pays de la Loire renseignent sur une part non négligeable des effectifs de la population mondiale transitant par le territoire français pour rejoindre les quartiers d'hivers. Le suivi de ce paramètre s'inscrit donc dans les objectifs du PNA de poursuivre les suivis et les études pour la connaissance de l'espèce, nécessaire à sa conservation. Afin de comparer les effectifs de Phragmite aquatique des stations entre elles et entre années, il convient de pondérer le nombre de captures par l'effort de capture. Celui-ci correspond au linéaire de filet mis en place (en mètres), à la durée de session de baguage (en heures) et au nombre total de jours de baguage dans le mois. Pour chaque station et chaque jour, les effectifs bruts ont été ramenés à 100m de filet et à 6 heures de baguage, soit une matinée complète de baguage (formule ci-dessous). La période d'étude pour le calcul des effectifs a été restreinte du 1<sup>er</sup> au 31 août. Les effectifs présentés par station dans le tableau de synthèse (Tableau 21) ont été calculés avec l'ensemble des données, toutes années confondues.

$$\text{Effectif}/100\text{m}/j = \frac{\left(\frac{\text{Effectif} \times 100\text{m}}{\text{linéaire total (m)}}\right) \times 6 \text{ heures}}{\text{durée session (h)}}$$

Les effectifs journaliers pour 100m de filet et 6 heures de baguage ont ensuite été pondérés par le nombre total de jours de baguage afin de comparer les années et les stations entre elles (formule ci-dessous).

$$\text{Effectif moyen}/100\text{m} /j = \frac{\sum \text{Effectif}/100\text{m}/j}{\text{nb total de jours de baguage}}$$

Une analyse par modèle Generalized Least Square (GLS) a été effectuée dans le but de tester l'effet de l'année, de la date de capture et des sites sur les effectifs journaliers pour 100m de filet en prenant en compte l'effet d'autocorrélation des effectifs par la variable année. L'autocorrélation d'une série temporelle, ici l'évolution des effectifs entre 2008 et 2020, se définit comme le fait que l'effectif d'une année  $n$  peut être corrélé à celui des années  $n-x$  et/ou  $n+x$ . Si tel est le cas, les effectifs corrélés à eux-mêmes peuvent induire un biais dans la description d'une tendance d'évolution temporelle et doit ainsi être contrôlé.

Le modèle GLS permet de mettre en évidence des différences d'effectifs entre années au sein d'une même station. Seules les stations ayant au moins 5 années de baguage ont été sélectionnées pour décrire leur tendance d'évolution. Pour chaque station, lorsque le modèle GLS indique un effet significatif de l'année, une analyse par régression linéaire est réalisée afin de préciser le taux d'évolution annuelle si celui-ci est significatif. Pour chaque station, le taux d'évolution annuelle est déterminé à partir d'une droite de régression, elle-même calculée à partir de l'ensemble des effectifs journaliers de la station, utilisés comme répliques annuels. Cette méthode a été privilégiée au calcul du taux d'évolution basé sur la première et dernière année, dont les résultats sont directement influencés par l'année de référence (première année de baguage) et les variations interannuelles des effectifs de l'espèce. Cette méthode de calcul permet ainsi de limiter le biais lié à ces variations et de comparer les stations entre elles dont certaines n'ont pas le même nombre d'année de baguage et ni la même année de référence.

Afin de comparer les stations entre elles, un modèle GLS a été créé en intégrant les stations représentant une part importante dans le total des captures de *Phragmites aquatiques* en Pays de la Loire, mais ayant un faible nombre d'années de baguage. Ce modèle permet de comparer un plus grand nombre de stations entre elles. De la même manière, ce modèle a été construit en intégrant l'effet de l'année, de la date de capture et du site de capture.

Enfin, dans le but de comparer sur un même graphique le pattern d'évolution du *Phragmite aquatique* des différentes stations ayant des effectifs/100m/h très différents, les effectifs ont également été standardisés pour représenter les variations temporelles au cours du temps sans tenir compte du nombre moyen d'individus capturés. Ils sont utilisés pour comparer les patterns d'évolution des effectifs sur plusieurs stations.

$$\text{Effectif standardisé} = \frac{\text{Effectif}/100\text{m}/j - \text{moyenne}(\text{Effectif}/100\text{m}/j)}{\text{Ecart-type}(\text{Effectif}/100\text{m}/j)}$$

La station Pays de la Loire a nécessité des étapes supplémentaires pour calculer les effectifs moyens journaliers. Pour garder le poids que chaque station apporte à celle des Pays de la Loire, les calculs suivants ont été réalisés. Premièrement, pour chaque station et chaque jour, le nombre de *Phragmites aquatiques* a été rapporté à 6 heures de baguage. Puis, pour chaque jour, le nombre de *Phragmites aquatiques* (rapporté à 6 heures) de toutes les stations a été additionné. Enfin, ces effectifs ont été rapportés au linéaire de filet additionné de ces stations pour ce même jour. La formule ci-dessous correspond à l'effectif des Pays de la Loire pour une journée.

$$\text{Effectif PdL (100m/6h)} = \frac{(\text{effectif station A} + \text{effectif station B} + \text{effectif station C}) * 100}{(\text{FS station A} + \text{FS station B} + \text{FS station C})}$$

L'effectif moyen annuel pour la station Pays de la Loire, correspond à la somme des effectifs journaliers ainsi calculés, divisé par le nombre de jours de baguage (nombre de jours où au moins une station en Pays de la Loire était ouverte). Cette méthode a été privilégiée à celle de la moyenne des résultats de chaque station car celles-ci n'ont pas toutes les mêmes conditions de baguage (milieu, effort de capture) et influencent donc de manière différente les valeurs de la station des Pays de la Loire. La station à l'échelle régionale est comparée aux stations pour l'évolution des effectifs, Indices ACROLA, Indices 93, de la structure d'âge et de la phénologie.

$$\text{Effectif PdL (100m) annuel} = \frac{(\text{Effectif PdL (100m) jour 1} + \dots + \text{Effectif PdL (100m) jour n})}{\text{Nombre de jours bagués}}$$

### 2.8.2 STRUCTURE D'ÂGE

La structure d'âge correspond au pourcentage d'individus de première année (jeunes) et d'individus adultes relatif au nombre total de captures. Chez de nombreuses espèces de passereaux paludicoles, comme le Phragmite aquatique, les stratégies de migration diffèrent entre les jeunes et les adultes entre autre par leur date médiane de migration, leur expérience et leur capacité à sélectionner un site de halte pour son intérêt en terme de ressource alimentaire (JAKUBAS, 2010 ; WOJCZULANIS-JAKUBAS ET AL., 2013 ; JAKUBAS ET AL., 2014 ; ARIZAGA ET AL., 2014). Ainsi, la structure d'âge est un paramètre important permettant de caractériser l'utilisation d'un site de halte. La période d'étude pour l'analyse de la structure d'âge a été restreinte du 1<sup>er</sup> au 31 août pour limiter le biais des comparaisons entre stations et entre années compte tenu de la différence de date médiane de passage entre les jeunes et les adultes. Les structures d'âge présentées par station dans le tableau de synthèse (Tableau 22) ont été calculées avec l'ensemble des données, toutes années confondues.

Les stations représentant la majorité des données de Phragmites aquatiques en Pays de la Loire ont été comparées par un test du Chi-2 afin de caractériser leurs structures d'âge. Puis, de la même façon que pour les effectifs, un modèle GLS a été créé pour chaque station afin de caractériser l'évolution de la structure d'âge entre les années. Pour chaque station, lorsque le modèle GLS indique un effet significatif de l'année, une analyse par régression linéaire est réalisée afin de préciser le taux d'évolution annuelle si celui-ci est significative.

### 2.8.3 PHENOLOGIE

La phénologie de migration d'une espèce renseigne l'étendue de la plage chronologique où elle transite sur un site et permet ainsi d'observer le déroulement de la migration. La période d'étude pour l'analyse de phénologie a été restreinte du 1<sup>er</sup> au 31 août. La station de Donges possède le nombre moyen annuel de jours de baguage le plus long et couvre une période supérieure à celle de la migration du Phragmite aquatique. Une description brève de la phénologie de l'espèce à l'échelle de cette station sur l'ensemble de sa période d'ouverture est également présentée. Les dates présentées par station dans le tableau de synthèse ont été calculées avec l'ensemble des données, toutes années confondues.

Plusieurs paramètres permettent de décrire la phénologie :

- La date médiane renseigne sur la date à laquelle 50% des captures sont réalisées et indique le pic de passage de l'espèce. Elle a été privilégiée à la date moyenne de capture car celle-ci est influencée directement par les dates extrêmes et peut donc montrer des différences avec la date médiane.
- Les dates où sont réalisées 5% et 95% des captures permettent d'estimer de façon robuste le début et la fin de migration en s'affranchissant des dates extrêmes.
- Les dates entre lesquelles 25% et 75% des individus ont été capturés représentent la plage principale de migration.
- Les dates minimales et maximales renseignent sur les premières et dernières captures des oiseaux.

De la même façon que pour les effectifs, un modèle GLS est créé pour comparer la phénologie des stations représentant la majorité des données de *Phragmites aquatiques* en Pays de la Loire. Un modèle GLS a été créé pour chaque station afin de caractériser l'évolution de la phénologie. Pour chaque station, lorsque le modèle GLS indique un effet significatif de l'année, une analyse par régression linéaire est réalisée afin de préciser le taux d'évolution annuelle si celui-ci est significatif.

#### 2.8.4 INDICE ACROLA ET INDICE 93

Le *Phragmite aquatique* (*Acrocephalus paludicola*) fait l'objet d'une attention particulière en France pour le rôle d'accueil important de cette espèce en halte migratoire postnuptiale (JIGUET *ET AL.* 2011). A ce titre, des indices ont été développés afin de comparer les évolutions du nombre de captures entre stations de baguage et obtenir des tendances nationales précises pour cette espèce. Ces indices ont été construits à partir de données récoltées avec le protocole ACROLA. L'ensemble des indices utilisés dans la bibliographie ont été synthétisés dans cette partie.

- Un premier indice ACROLA a été défini par JULLIARD *ET AL.*, (2006) comme le nombre total de *Phragmites aquatiques* capturés divisé par le nombre total de fauvettes aquatiques du genre *Acrocephalus* capturés (en pourcentage) :

$$\text{Indice ACROLA (Julliard et al., 2006)} = \frac{\text{Nb de Phragmites aquatiques}}{\text{Nb total d'Acrocephalus}} \times 100$$

- L'indice ACROLA de 2006 a par la suite été développé pour limiter le biais dû à la variabilité du nombre de jours de baguage entre les stations (rapports de station Massereau 2009-2021). Pour cela, l'indice ACROLA (JULLIARD *ET AL.*, 2006) est divisé par le nombre de jours d'ouverture de la station (formule ci-dessous). Ce nouvel Indice ACROLA est celui utilisé dans cette étude :

$$\text{Indice ACROLA} = \frac{\text{Nb de Phragmites aquatiques} / \text{Nb total d'Acrocephalus}}{\text{Nb de jours d'ouverture de la station}} \times 100$$

- Suite au premier indice ACROLA défini en 2006, un indice « brut » a été développé (LE NEVE ET AL., 2013). Il se définit comme le nombre de Phragmites aquatiques capturés en unité de capture ACROLA, divisé par le nombre d'unités jours (nombre cumulé d'unités ACROLA par jour sur la durée d'ouverture). Dans ce calcul, les auto-contrôles sont exclus.

$$\text{Indice "brut"} = \frac{\text{Nb de Phragmites aquatiques}}{\text{Nb unités jours}}$$

- L'indice brut ne prenant pas en compte la période d'ouverture, l'indice 93 a été développé pour tenir compte de ce biais. L'Indice permet de prendre en compte la période d'ouverture de chaque unité de capture mise en place sur la station par rapport à la durée totale de migration de l'espèce définie à 93 jours (LE NEVE ET AL., 2013). L'Indice 93 est calculé ainsi :

$$\text{Indice 93} = k \times i \times 100$$

$$\text{Indice 93} = \frac{t}{T} \times \frac{Na}{Nu} \times 100$$

$$\text{Indice 93} = \frac{\text{nb jours ouverts}}{\text{temps total d'ouverture}} \times \frac{\text{nb de Phragmites aquatiques}}{\text{nb unités jours (cumul nb quotidien)}} \times 100$$

- Coefficient d'ouverture « k » = t/T avec « t » = nb de jours ouverts et « T » = temps total d'ouverture = 93 jours (du 15 juillet au 15 octobre : période maximum de migration du Phragmite aquatique en France)
- Indice brut « i » = Na/Nu avec « Na » = nb de Phragmites aquatiques capturés en unité de capture (auto-contrôles inclus sauf auto-contrôles intrajournaliers) et « Nu » = nb cumulé d'unités ACROLA par jour sur la durée d'ouverture

## 2.9 ANALYSES STATISTIQUES DE HALTE MIGRATOIRE

Le nombre de données pour ces analyses étant limité, la période d'étude n'a pas été restreinte au mois d'août et les données de l'ensemble des protocoles ont été utilisées pour le calcul de la durée de halte minimale, de la durée de halte par Capture-Marquage-Recapture et du taux d'engraissement.

### 2.9.1 DUREE MINIMALE DE HALTE

Une première approche de la durée de halte en migration peut se faire en calculant la durée de halte minimale (Minimum Stopover Length = MSL). Cette durée se calcule par la différence de jours entre la première et la dernière capture + 1 jour puisque l'espèce est migratrice nocturne. La moyenne de ces estimations est ensuite calculée par année et par station. Cependant, cette estimation brute ne considère que les individus capturés au moins 2 fois et est biaisée car elle ne prend pas en compte la probabilité de capture. Elle sous-estime ainsi nettement le temps de séjour des oiseaux sur un site (ROQUE, 2021). La MSL peut cependant présenter un intérêt à l'échelle des individus.

### 2.9.2 ESTIMATION DE LA DUREE DE HALTE PAR CAPTURE-MARQUAGE-RECAPTURE

La durée de halte migratoire a été estimée par analyse de la survie locale avec des modèles de Capture Marquage Recapture (CMR) (LEBRETON ET AL. 1992 ; SCHAUB ET AL., 2001). Ces analyses nécessitent qu'une partie des oiseaux soit capturée au moins deux fois au cours d'une même saison de baguage. Ces données sont peu nombreuses pour le Phragmite aquatique et seules les stations de Donges et du Massereau ont permis de réaliser cette analyse sur quatre années en utilisant l'ensemble de la période d'ouverture des stations et l'ensemble des protocoles mis en place. Bien que l'âge puisse affecter la durée de halte (NEWTON, 2008), l'échantillon d'adultes était trop faible pour considérer cet effet. Tous les individus ont donc été regroupés (jeunes et adultes).

La durée de halte après la première capture ( $S_a$ ) a été calculée à partir de la survie locale grâce au modèle de CORMACK-JOLLY-SEBER (CJS ; SCHAUB ET AL., 2001). En période de migration, la probabilité de survie locale est utilisée pour décrire la durée de halte migratoire des oiseaux sur un site en presumant que la mortalité est insignifiante durant cette courte période. Le modèle CJS permet d'estimer la probabilité de survie locale  $\varphi$  (probabilité qu'un individu présent au temps  $t$  soit toujours présent au temps  $t + 1$ ) et la probabilité de recapture  $p_r$  (probabilité qu'un individu capturé au temps  $t$  et toujours vivant au temps  $t + 1$  soit recapturé à  $t + 1$ ).

La durée de halte avant la première capture ( $S_b$ ) a été calculée à partir du modèle de PRADEL (PRADEL ET AL., 1997). Celui-ci permet d'estimer la probabilité d'antériorité  $\gamma$  (probabilité qu'un individu présent au temps  $t$  était déjà présent au temps  $t - 1$ ) et la probabilité de capture  $p_c$  (probabilité qu'un individu capturé au temps  $t$  ait été capturé au temps  $t - 1$ ).

Les paramètres  $\varphi$ ,  $pr$ ,  $\gamma$  et  $pc$  ont été testés avec les effets suivants : constants dans le temps « . », variables dans le temps « t », effet station « g » et spécifiquement pour  $pr$  et  $pc$ , la différence de pression de capture a été testé en utilisant le linéaire de filet « FS ». Les modèles ont été créés avec le logiciel MARK 9.0 (WHITE & BURNHAM, 1999). Afin de classer l'ajustement des modèles, le Critère d'Information d'Akaike corrigé (AICc) a été utilisé. Une différence d'AICc < 2 indique qu'il est raisonnablement sûr de considérer les modèles comme ayant approximativement le même poids dans les données (BURNHAM & ANDERSON, 2002). Lorsque plusieurs modèles montrent une différence d'AICc < 2, la méthode par *model averaging* a été appliquée. Préalablement à l'exécution des modèles, l'ajustement des données au modèle CJS général  $\phi(t) p(t)$  a été testé grâce au logiciel U-CARE (CHOQUET ET AL., 2005). Les tests ont montré des résultats non significatifs (p-value > 0,05), tant pour l'ajustement général que pour les tests spécifiques de transience (3.SR) et de réponse comportementale à la capture (3.CT).

En faisant les hypothèses que la mortalité est nulle durant la courte halte des individus (SCHAUB ET AL., 2001 ; SCHAUB, 2006) et de l'absence de naissance pendant la durée de l'étude, les durées de halte ont été calculées par  $S_a = -1/\ln(\phi)$  et  $S_b = -1/\ln(\gamma)$  et la durée totale de halte ( $S_i$ ) par  $S_i = S_a + S_b$  (CHERNETSOV, 2012).

### 2.9.3 TAUX D'ENGRAISSEMENT

Lors de leur migration, les oiseaux reliant l'Europe et l'Afrique font face à des barrières écologiques importantes, comme la mer Méditerranée et le désert du Sahara, offrant peu de ressources alimentaires sur de longues distances. Ainsi, ces obstacles obligent les individus à réaliser des réserves énergétiques lors de halte migratoire avant de les franchir (SCHAUB & JENNI, 2000A). Le gain ou la perte de masse des oiseaux pendant leur halte migratoire, bien que dépendant de multiples facteurs, renseigne indirectement sur la qualité du site de halte. Le taux quotidien d'accumulation de réserves énergétiques ou *Fuel Deposition Rate* (FDR) correspond à la différence de masse corporelle entre la première et la dernière capture ( $\Delta$ Masse) divisée par le nombre de jours écoulés ( $\Delta$ Jour) (SCHAUB & JENNI, 2000B). La capture des oiseaux peut avoir un effet potentiellement fort sur la prise de poids des individus dans les heures suivant le relâché. Les individus recapturés 1 jour après leur capture ont donc été enlevés de l'analyse (*handling effect* ; SCHAUB & JENNI, 2000B).

La méthode utilisée pour le calcul du FDR est celle décrite par SCHAUB & JENNI (2000). Le FDR est estimé par un modèle de régression multiple prenant en compte l'effet de  $\Delta$ Jour sur  $\Delta$ Masse ainsi que des effets additionnels. La variable dépendante est la différence de masse corporelle entre la première et la dernière capture ( $\Delta$ Masse) et l'effet principal est la différence de jours entre la première et la dernière capture ( $\Delta$ Jour), correspondant à l'estimation du FDR. Afin de prendre en compte la taille des individus dans le taux d'engraissement, un indice de masse corporelle initiale (Initial Body Mass Index = IBMI) a été ajouté aux effets du modèle. Celui-ci correspond au ratio entre la masse initiale et la longueur d'aile (SAFRIEL & LAVÉE, 1988). Les données de longueur d'aile ont été utilisées car les données

de longueur de tarse, plus adaptées que les longueurs d'ailes, n'était pas assez nombreuses pour être utilisées. La masse initiale a été log-transformée pour obtenir une distribution normale de l'IBMI (Shapiro-Wilk normality test:  $W = 0,97756$ ,  $p\text{-value} = 0,1057$ ). L'hétéroscédasticité a également été contrôlée pour les deux classes d'âges (Bartlett's K-squared =  $0,021214$ ,  $df = 1$ ,  $p\text{-value} = 0,8842$ ).

Le meilleur modèle a été obtenu par sélection pas à pas descendante et en forçant l'effet principal  $\Delta$ Jour dans le modèle. L'intercept a été fixé à 0 puisqu'une différence de jour de zéro indiquera une différence de masse de zéro. Les effets additionnels sont testés en termes d'interaction : date de première capture (DPC) et âge (jeune/adulte). Le nombre de données par station et par année est trop limité pour tester ces effets. Seul un second modèle de régression multiple a pu être construit avec les données de Donges et du Massereau afin de tester un effet station. Pour réaliser ces analyses, les données utilisées proviennent de l'ensemble de la période d'ouverture des stations et de l'ensemble des protocoles mis en place.

#### 2.9.4 QUANTITE DE RESERVE ENERGETIQUE

Le taux d'engraissement des individus a également été traduit en pourcentage de la masse corporelle maigre ou masse structurelle des individus (*Lean body mass = LBM*). Cette masse correspond à la part structurelle non mobilisable par l'individu contrairement à la part variable composée par les réserves énergétiques. La quantité de réserve énergétique  $f$  (*Relative Fuel Load*) a été calculée par :

$$f = 100 \times (m - m_0)/m_0$$

avec  $m$  la masse corporelle mesurée et  $m_0$  la masse structurelle. L'estimation de la masse corporelle maigre se détermine à partir d'un échantillon d'individus présentant une large gamme de scores adipeux et musculaires (SALEWSKI ET AL. 2009). La période d'étude ne permet pas d'obtenir ces données et en particulier des scores musculaires de 0 (muscles de vol atrophiés). La masse corporelle maigre a donc été déterminée par la masse la plus faible du jeu de données (NETO ET AL. 2010 ; CORREIA AND NETO 2013 ; JAKUBAS ET AL. 2014). La plus faible valeur indique une masse de 7,1 g obtenue pour un seul individu. Bien que des valeurs de 7,0 g et de 8,0 g aient été observées respectivement chez la Rousserolle effarvate et le Phragmite des joncs (SALEWSKI ET AL. 2009), la bibliographie ne montre aucune mesure aussi faible pour le Phragmite aquatique. En effet, deux études ont montré des valeurs de 9,3 g (NETO ET AL., 2010) et de 9,5 g (JAKUBAS AL., 2014) utilisées comme masse corporelle maigre. De fait, la masse de 7,1 g pose question sur sa fiabilité et la pertinence de son utilisation. Les mesures suivantes montrent un intervalle important (1,4 g) avec cette valeur extrême et leur fréquence assure leur fiabilité (Tableau 1). Par prudence, la valeur de 8,5 g sera utilisée pour le calcul du pourcentage de masse corporelle maigre.

Tableau 1 : Extrait des masses les plus faibles du jeu de données (MA = masse ; AD = adiposité (score de 1 à 4) ; LP = longueur d'aile)

ANNEE	MA (G)	AD	LP (MM)	ANNEE	MA (G)	AD	LP (MM)	ANNEE	MA (G)	AD	LP (MM)
2019	<b>7,1</b>	1	62	2018	<b>9</b>	1	62	2019	<b>9,1</b>	1	63
2011	<b>8,5</b>	1	62	2018	<b>9</b>	1	64	2010	<b>9,2</b>	1	61,5
2011	<b>8,7</b>	1	63,5	2019	<b>9</b>	1	64	2012	<b>9,2</b>	1	63
2009	<b>8,8</b>	1	61,5	2020	<b>9</b>	1	64	2012	<b>9,2</b>	1	63
2011	<b>8,8</b>	1	61	2018	<b>9</b>	2	61,5	2013	<b>9,2</b>	1	63
2015	<b>9</b>	1	63	2011	<b>9,1</b>	1	64	2009	<b>9,3</b>	1	60
2016	<b>9</b>	1	61,5	2015	<b>9,1</b>	1	63	2010	<b>9,3</b>	1	62,5
2017	<b>9</b>	1	62,5	2016	<b>9,1</b>	1	62,5	2011	<b>9,3</b>	1	63,5

L'effet de l'âge des individus a été testé sur la quantité de réserve énergétique  $f$  par ANCOVA (Analyse de covariance) en ajoutant en covariable une mesure biométrique permettant d'expliquer la différence de tailles entre les individus et les dates de capture. L'effet de l'année a également été ajouté afin d'expliquer une potentielle variation interannuelle. La mesure du tarse (LT) a été privilégiée à la mesure de l'aile (LP) pour sa meilleure corrélation avec la masse corporelle des individus (AD = 1 ; N = 932 ; Spearman's correlation LT : R = 0,28 ; p-value < 0,0001 | AD = 1 ; N = 1652 ; Spearman's correlation LP : R = 0,08 ; p-value = 0,0002). La non normalité de  $f$  a nécessité l'ajustement des données selon les méthodes de GRAFEN & HAILS (2002), permettant de vérifier les hypothèses de linéarité, normalité et homoscedasticité. L'homogénéité des pentes de régression a été testée en vérifiant la significativité de l'interaction entre la covariable et les facteurs indépendants (LT\*AGE : p-value = 0,0820 ; LT\*ANNEE : p-value = 0,5010). L'effet de la date de capture sur la quantité de réserve énergétique a été testé séparément par un test de corrélation de Spearman car le modèle de l'ANCOVA indiquait une p-value à la limite du seuil de significativité pour cette covariable (p-value = 0,0550).

#### 2.9.5 CAPACITE DE VOL ININTERROMPU

Afin de connaître la capacité de vol des individus ayant réalisés une halte sur les sites des Pays de la Loire, l'autonomie de vol ininterrompu  $Y$  (en km) a été estimée séparément pour les jeunes et pour les adultes d'après la formule suivante (DELINGAT ET AL., 2008) :

$$Y = 100 \times U \times \ln(1 + f)$$

avec  $U$  la vitesse de vol et  $f$  la quantité de réserve énergétique. La vitesse de vol peut être exprimée par la vitesse au sol (groundspeed) mais aussi par la vitesse par rapport à l'air (airspeed). Bien que la vitesse par rapport à l'air soit largement utilisée dans la bibliographie, SALEWSKI ET AL. (2010) précisent que les passereaux sélectionnent l'altitude de vol en fonction des vents les plus favorables (LIECHTI, 2006 ; LIECHTI AND SCHMALJOHANN, 2007 ; SCHMALJOHANN ET AL., 2008) et que la distance parcourue par rapport au sol est exprimée par la vitesse au sol, dépendant de la vitesse de l'air et du vent arrière. Deux valeurs de vitesse sont utilisées dans la bibliographie pour le calcul des capacités de vol. ALERSTAM ET AL., (2007) ont premièrement établi une valeur de référence de 36 km/h, puis SALEWSKI ET AL. (2010) ont montré une valeur

de 59 km/h à partir de données provenant d'un suivi par radar (SCHMALJOHANN, 2007). Le calcul de la capacité de vol ininterrompu a été réalisé avec les deux valeurs pour être comparé avec un plus grand nombre d'études sur le sujet. La quantité de réserve énergétique lors du départ des individus d'un site est inconnue car ces derniers peuvent prolonger leurs haltes après leur dernière capture. Cependant, une méthode utilisée dans plusieurs études considère que 25% des individus les plus lourds possèdent la probabilité la plus forte de partir du site de halte (ALERSTAM & LINDSTRÖM, 1990 ; ELLEGREN & FRANSSON, 1991 ; ARIZAGA ET AL., 2014). Il est donc possible de calculer la capacité de vol ininterrompu à partir de ces individus les plus proches du départ.

La capacité de vol ininterrompu en fonction de la réserve énergétique des individus a été calculée par quartiles (0-25%, 26-50%, 51-75% et 76-100%) des séries de données des jeunes et des adultes séparément. Pour chaque quartile, est indiqué le nombre d'individus, la capacité de vol ininterrompu (Flight range = FR) moyenne (km) pour les deux valeurs de vitesse de référence U (36 km/h et 59 km/h) et la réserve énergétique (Relative fuel load = RFL) moyenne (%) associée. Les différentes capacités de vol calculées ont ensuite été rapportées au trajet de migration moyen de l'estuaire de la Loire jusqu'à la région du Djouj au Sénégal, soit 3660 km.

### 3 RESULTATS

#### 3.1 LES SITES DE BAGUAGE

Les données de baguage du Phragmite aquatique en protocole ACROLA concernent 33 stations en Pays de la Loire (Figure 2). A l'échelle départementale, 21 stations se trouvent en Loire-Atlantique (44), 10 stations se trouvent en Vendée (85) et 2 stations se trouvent en Maine-et-Loire (49). La grande majorité des stations se retrouve sur le littoral atlantique. Sept stations se trouvent à plus de 60 km de la côte à l'intérieur des terres.

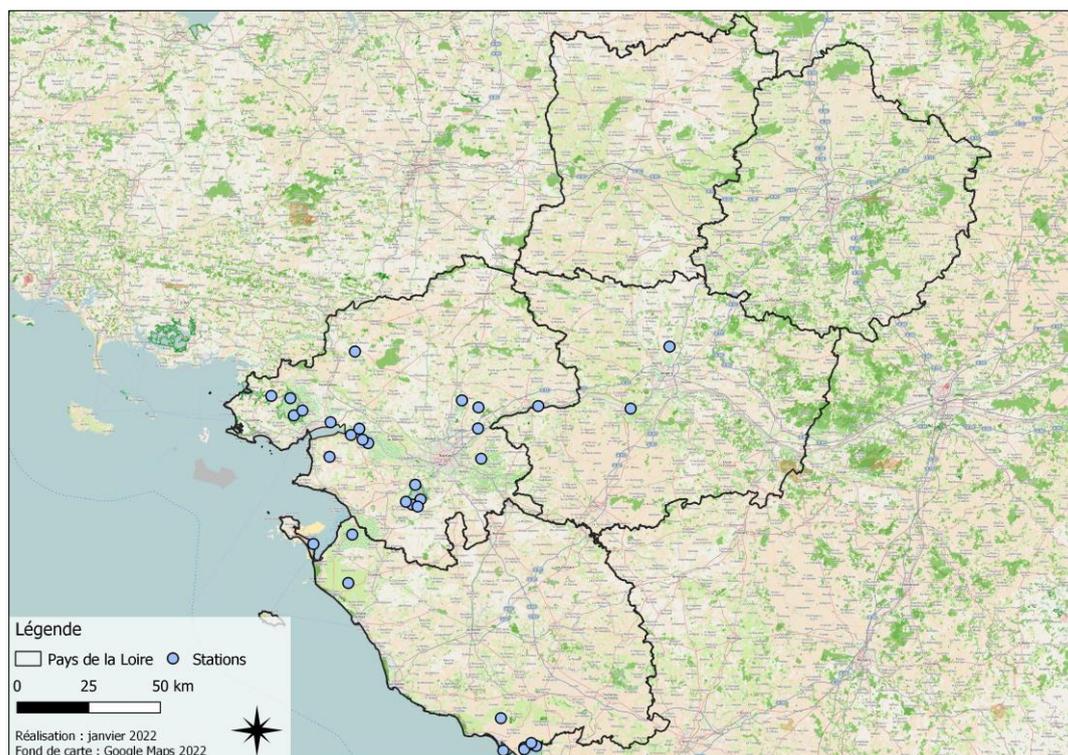


Figure 2 : Localisation des stations de baguage en protocole ACROLA en Pays de la Loire entre 2008 et 2020

## 3.2 PERIODES DE BAGUAGE

### 3.2.1 NOMBRE D'ANNEES

Le protocole ACROLA, spécifique au Phragmite aquatique, a débuté à partir de 2008. Les données de baguage en protocole ACROLA ont été sélectionnées sur la période de 2008 à 2020. Sur cette période, le nombre d'années de suivi est variable entre les 33 stations de baguage. En effet, 19 stations (58%) ont réalisé un suivi 1 année, 6 stations (18%) ont réalisé un suivi entre 2 et 4 ans, 5 stations (15%) ont réalisé un suivi entre 5 et 10 ans et 3 stations (9%) ont réalisé un suivi entre 10 et 14 ans (Tableau 2 ; Figure 3).

Tableau 2 : Fréquence du nombre de stations ACROLA par année

NB D'ANNEES BAGUEES	NB DE STATIONS	% DES STATIONS	NB D'ANNEES BAGUEES	NB DE STATIONS	% DES STATIONS
1	19	58%	8	1	3%
2	2	6%	9	1	3%
3	2	6%	10	0	0%
4	2	6%	11	1	3%
5	3	9%	12	1	3%
6	0	0%	13	1	3%
7	0	0%			

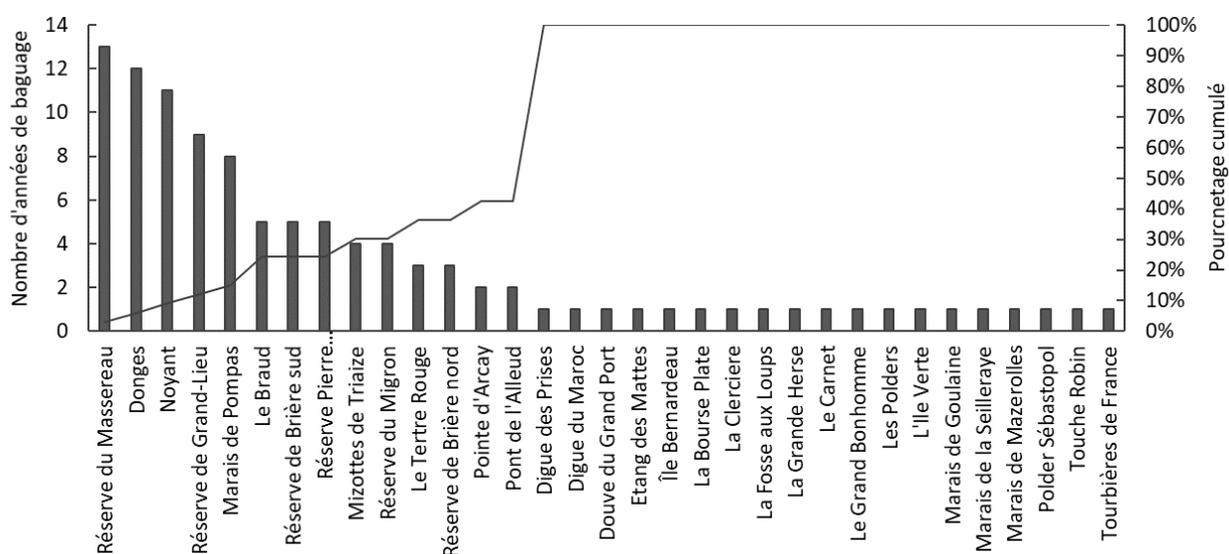


Figure 3 : Nombre et pourcentage cumulé d'années de baguage en protocole ACROLA par station

### 3.2.2 NOMBRE DE JOURS DE BAGUAGE

Le nombre de jours de baguage est très variable entre les stations avec un minimum de 2 jours et un maximum de 59 jours entre 2008 et 2020. Sur les 33 stations de baguage, 9 stations (27%) ont ouvert en moyenne 5 jours ou moins, 6 stations (18%) ont ouvert en moyenne entre 5 et 10 jours, 10 (30%) ont ouvert en moyenne entre 10 et 15 jours et 8 stations (24%) ont ouvert plus de 15 jours (Tableau 3 ; Figure 4). La variabilité du nombre de jours de baguage intra-station est plus réduite, permettant de garder un effet de capture relativement constant entre chaque année de baguage. Seules deux stations, le Tertre Rouge et Mizottes de Triaize, montrent une variabilité plus importante (SE élevée ; Tableau 4).

Tableau 3 : Fréquence du nombre de jours de baguage ACROLA par année

NB MOYEN DE JOURS DE BAGUAGE	NB DE STATIONS	% DES STATIONS	NB MOYEN DE JOURS DE BAGUAGE	NB DE STATIONS	% DES STATIONS
0-5]	9	27%	]30-35]	2	6%
]5-10]	6	18%	]35-40]		
]10-15]	10	30%	]40-45]		
]15-20]	1	3%	]45-50]		
]20-25]	3	9%	]50-55]	1	3%
]25-30]	1	3%	]55-60]		

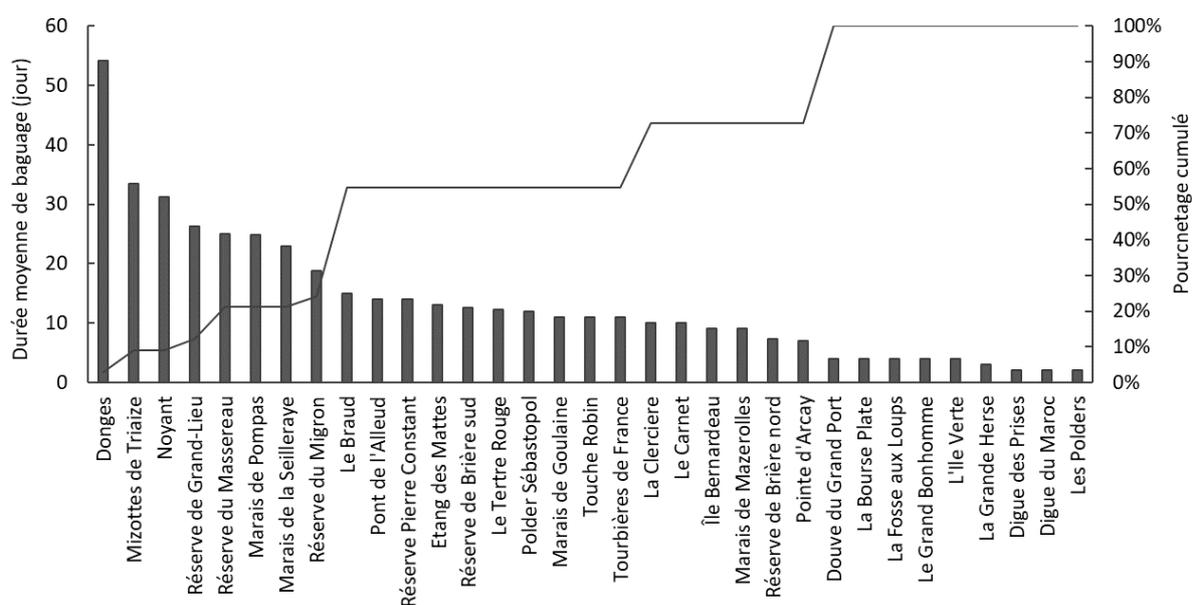


Figure 4 : Durée moyenne de baguage par station et pourcentage cumulé (par intervalles de jours)

Tableau 4 : Nombre de jours de baguage par année et par station et nombre total d'années baguées en protocole ACROLA

STATIONS	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	MOYENNE	SE	SD
Digue des Prises						3								3		
Digue du Maroc						2								2		
Donges		51	46	55	55	41	49	46	44	47	51	46	59	49	1,5	5,2
Douve du Grand Port					4									4		
Étang des Mattes							11							11		
Île Bernardeau													4	4		
La Bourse Plate						3								3		
La Clerciere											10			10		
La Fosse aux Loups					4									4		
La Grande Herse				3										3		
Le Braud	9	17		11	11	9								11	1,5	3,3
Le Carnet								10						10		
Le Grand Bonhomme					4									4		
Le Tertre Rouge					3	17					3			8	4,7	8,1
Les Polders						2								2		
L'île Verte					4									4		
Marais de Goulaine						10								10		
Marais de la Seilleraye								12						12		
Marais de Mazerolles						10								10		
Marais de Pompas			23	20	20	21	17	21	25		14			20	1,2	3,4
Mizottes de Triaize				6	13	36	30							21	7,0	14,1
Noyant			23	24	34	36	28	26	32	28	30	28	31	29	1,2	4,0
Pointe d'Arcay												6	8	7	1,0	1,4
Polder Sébastopol										10				10		
Pont de l'Alleud							12	13						13	0,5	0,7
Réserve de Brière Nord		6	6	9										7	1,0	1,7
Réserve de Brière Sud		11	11	12		12				11				11	0,2	0,5
Réserve de Grand-Lieu		9	16	28	18	12		18		21	23	13		18	2,0	5,9
Réserve du Massereau	24	26	21	20	24	28	24	25	21	15	19	25	21	23	1,0	3,5
Réserve du Migron				8	25							11	17	15	3,8	7,5
Réserve Pierre Constant		6	6	12		26				15				13	3,7	8,2
Touche Robin													10	10		
Tourbières de France		11												11		

### 3.2.3 NOMBRE DE STATIONS ACROLA

Le nombre de stations ACROLA ouvertes par année est très variable entre 2008 et 2020. Celui-ci oscille entre 1 station en 2008 et 16 stations en 2013 (Figure 5). En moyenne, 8 stations étaient ouvertes sur la période d'étude chaque année. Il en est de même pour le nombre cumulé de *Phragmites aquatiques* capturés en Pays de la Loire. Entre 2008 et 2020, un minimum de 30 individus ont été capturés en 2008 et un maximum de 563 individus ont été capturés en 2012. En moyenne, 222 individus ont été capturés par année sur la période d'étude. Le nombre de captures étant directement lié au nombre de stations ouvertes chaque année, il ne peut en aucun cas être utilisé seul pour caractériser l'évolution du nombre de *Phragmites aquatiques* en Pays de la Loire.

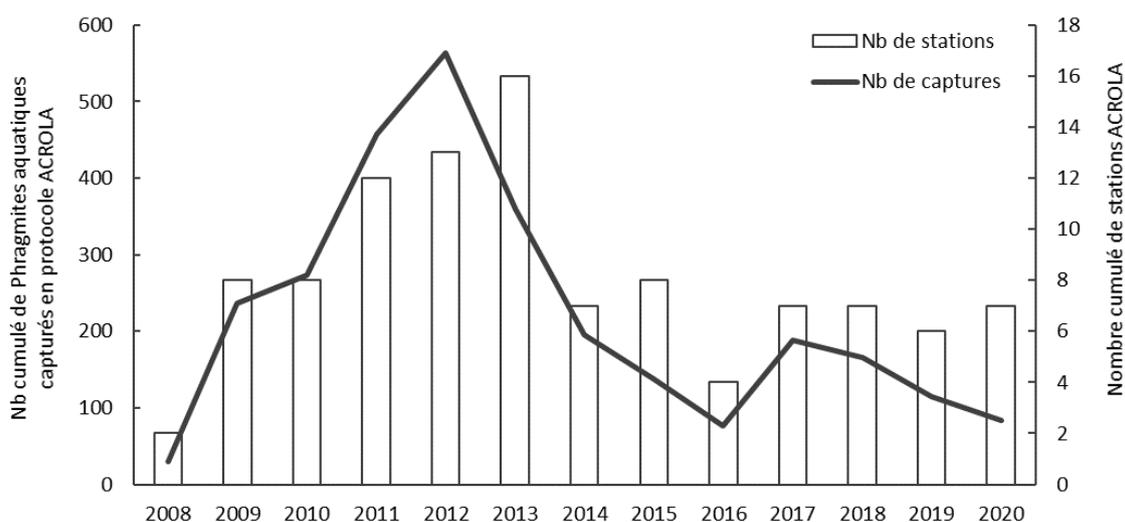


Figure 5 : Nombre cumulé de *Phragmites aquatiques* par année (histogramme) en protocole ACROLA et nombre cumulé de stations de baguage ACROLA par année (courbe)

### 3.2.4 PERIODE MOYENNE D'OUVERTURE

La répartition des périodes de baguage des stations est très variable sur la saison de migration du Phragmite aquatique (Tableau 5 ; Figure 6). En moyenne, la date d'ouverture minimale se situe 07/08 ( $\pm 1,2$  SE), la date de fermeture se situe le 20/08 ( $\pm 1,5$  SE) et la durée d'ouverture est de 13,5 jours ( $\pm 2,0$  SE). En moyenne, huit stations ont ouvert avant le 15/08, 3 stations ont ouvert après le 15/08 et 20 stations ont inclus la date du 15/08 dans leur période d'ouverture moyenne. Seules 6 stations ont ouvert en moyenne plus de 25 jours sur la période de migration du Phragmite aquatique entre 2008 et 2020.

Tableau 5 : Date moyenne d'ouverture, date moyenne de fermeture et durée moyenne

STATIONS	DATE MOYENNE D'OUVERTURE	SE	SD	DATE MOYENNE DE FERMETURE	SE	SD	DUREE MOYENNE	SE	SD
Digue des Prises	13/8			30/8			17		
Digue du Maroc	6/8			7/8			1		
Donges	20/7	1,3	4,5	12/9	1,3	4,6	54	1,5	5,2
Douve du Grand Port	1/8			4/8			3		
Etang des Mattes	3/8			15/8			12		
Île Bernardeau	10/8			18/8			8		
La Bourse Plate	27/8			30/8			3		
La Clerciere	15/8			24/8			9		
La Fosse aux Loups	6/8			9/8			3		
La Grande Herse	3/8			5/8			2		
Le Braud	7/8	3,1	6,9	21/8	3,7	8,2	14	2,4	5,3
Le Carnet	3/8			12/8			9		
Le Grand Bonhomme	10/8			13/8			3		
Le Tertre Rouge	8/8	0,6	1,0	19/8	5,8	10,1	11	6,2	10,7
Les Polders	19/8			20/8			1		
L'île Verte	16/8			19/8			3		
Marais de Goulaine	14/8			24/8			10		
Marais de la Seilleraye	4/8			26/8			22		
Marais de Mazerolles	5/8			10/9			36		
Marais de Pompas	2/8	1,2	3,5	26/8	1,6	4,5	24	1,5	4,2
Mizottes de Triaize	1/8	1,1	2,2	3/9	2,7	5,4	33	3,1	6,1
Noyant	31/7	0,5	1,6	30/8	0,4	1,4	30	0,9	2,8
Pointe d'Arcay	12/8			18/8			6		
Polder Sébastopol	11/8			22/8			11		
Pont de l'Alleud	10/8			23/8			13		
Réserve de Brière Nord	9/8	0,6	1,0	15/8	0,9	1,5	6,3	1,3	2,3
Réserve de Brière Sud	8/8	0,5	1,1	20/8	0,0	0,0	12	0,5	1,1
Réserve de Grand-Lieu	2/8	0,7	2,0	27/8	2,4	7,3	25	2,6	7,8
Réserve du Massereau	3/8	0,8	2,9	27/8	0,8	2,8	24	1,2	4,2
Réserve du Migron	4/8	2,1	4,1	22/8	3,1	6,2	18	2,8	5,6
Réserve Pierre Constant	9/8	2,9	6,5	22/8	1,5	3,3	13	4,1	9,1
Touche Robin	10/8			20/8			10		
Tourbières de France	10/8			20/8			10		
<b>Moyenne</b>	<b>7/8</b>	<b>1,2</b>	<b>6,6</b>	<b>20/08</b>	<b>1,5</b>	<b>8,4</b>	<b>13,5</b>	<b>2,0</b>	<b>11,2</b>

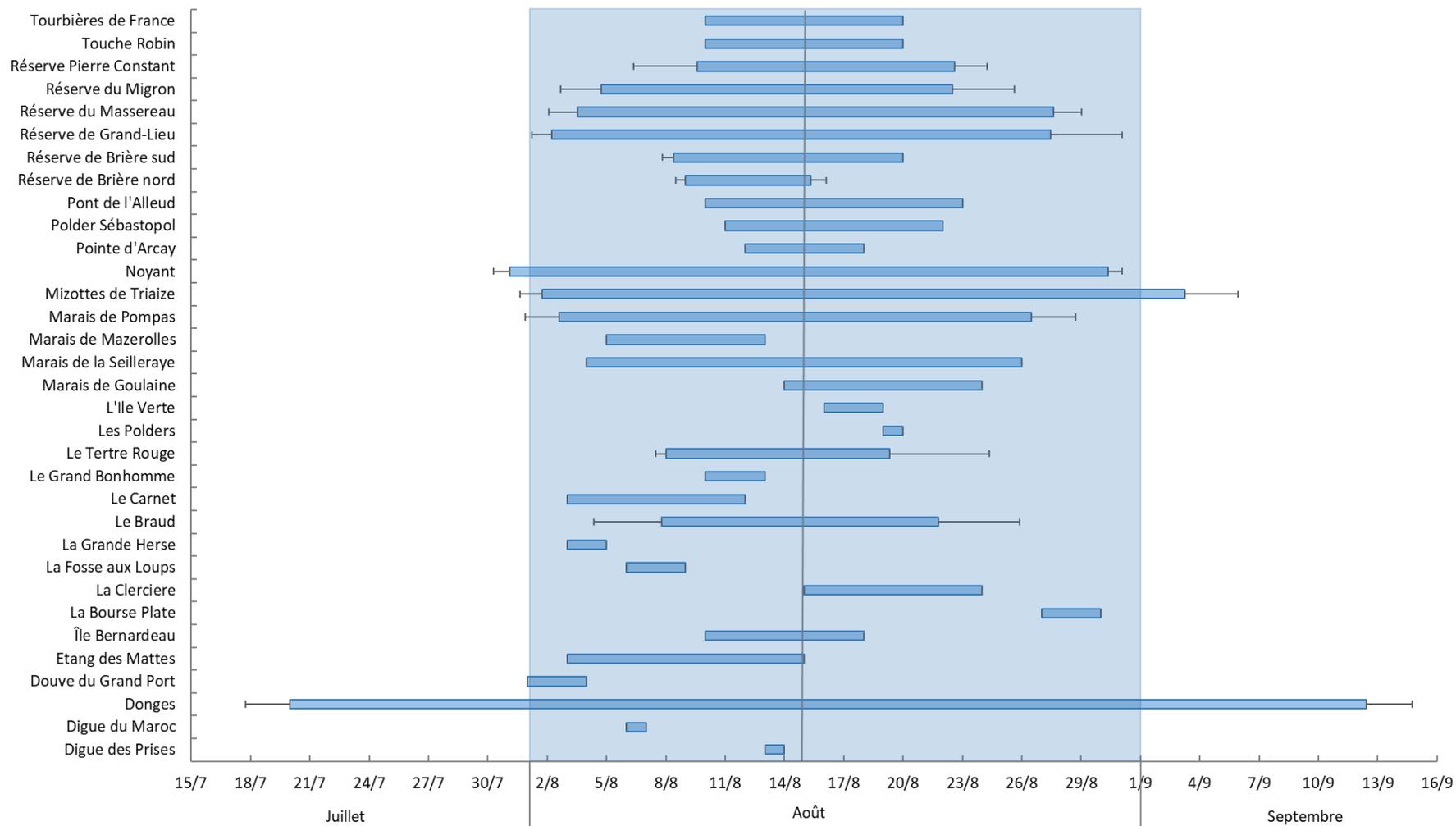


Figure 6 : Durée moyenne d'ouverture par station ( $\pm$  écart-type date minimale et maximale ; en bleu la période du mois d'août ; trait vertical = 15 août)

### 3.3 BILAN DES CAPTURES

Entre 2008 et 2020, de juillet à septembre, sur l'ensemble des protocoles inscrits au Programme National de Recherches sur les Oiseaux par le baguage (PNRO), 4 006 Phragmites aquatiques ont été capturés en Pays de la Loire (hors données privées de programmes personnels). Ces captures représentent 3 481 baguages (87%) et 525 contrôles (13%). Le protocole ACROLA spécifique au suivi du Phragmite aquatique a permis de réaliser 2 882 captures, représentant 72% des données de l'espèce cible sur l'ensemble des protocoles (Tableau 6). Cependant, plusieurs stations n'ont mis en place que le protocole ACROLA et lorsque ce pourcentage est calculé uniquement sur les stations ayant au moins un protocole supplémentaire, le pourcentage des captures dans le protocole spécifique est en moyenne de 61% (Tableau 7).

*Tableau 6 : Nombre et pourcentage de baguages, contrôles et captures totales par protocole*

PROTOCOLE	BAGUAGES		CONTROLES		TOTAL CAPTURES	
	NB	%	NB	%	NB	%
ACROLA	2 525	63%	357	9%	2 882	72%
AXE 2	221	6%	30	1%	251	6%
HALTE	118	3%	17	<1%	135	3%
HORS THEME	6	<1%	1	<1%	7	<1%
PHENO	57	1%	5	<1%	62	2%
SEJOUR	538	13%	110	3%	648	16%
STAGE	15	<1%	5	<1%	20	<1%
VOIE	1	<1%	0	0%	1	<1%
<b>Total</b>	<b>3 481</b>	<b>87%</b>	<b>525</b>	<b>13%</b>	<b>4 006</b>	<b>100%</b>

*Tableau 7 : Pourcentage de capture en protocole ACROLA et hors protocole*

STATIONS	% DE CAPTURE EN PROTOCOLE ACROLA	HORS PROTOCOLE
Donges	63%	37%
Marais de Pompas	59%	41%
Noyant	56%	44%
Réserve de Grand-Lieu	62%	38%
Réserve du Massereau	68%	32%
Moyenne	61%	39%

Le nombre de captures de Phragmite aquatique par année réalisées en protocole ACROLA est présenté à titre indicatif dans le graphique ci-après (Figure 7). En effet, celui-ci dépend directement de l'effort de capture (linéaire de filets) et ne peut être interprété tel quel. Cependant, il est intéressant de comparer le nombre de captures en France et en Pays de la Loire. La proportion des captures en Pays de la Loire par rapport à celles à l'échelle nationale n'a pu être calculée qu'à partir des données brutes du nombre de captures et non à partir d'effectifs standardisés, limitant ainsi l'interprétation de ces résultats. Cependant, la proportion des captures en Pays de la Loire varie fortement avec un minimum de 16% en 2008 et un maximum de 78% en 2010. Entre 2009 et 2014, la proportion des captures en Pays de la Loire est plus élevée que sur le reste de la période d'étude. En moyenne, entre 2008 et 2020,

les Pays de la Loire représentent **50% des données de Phragmite aquatique** réalisées en France en protocole ACROLA (Figure 7).

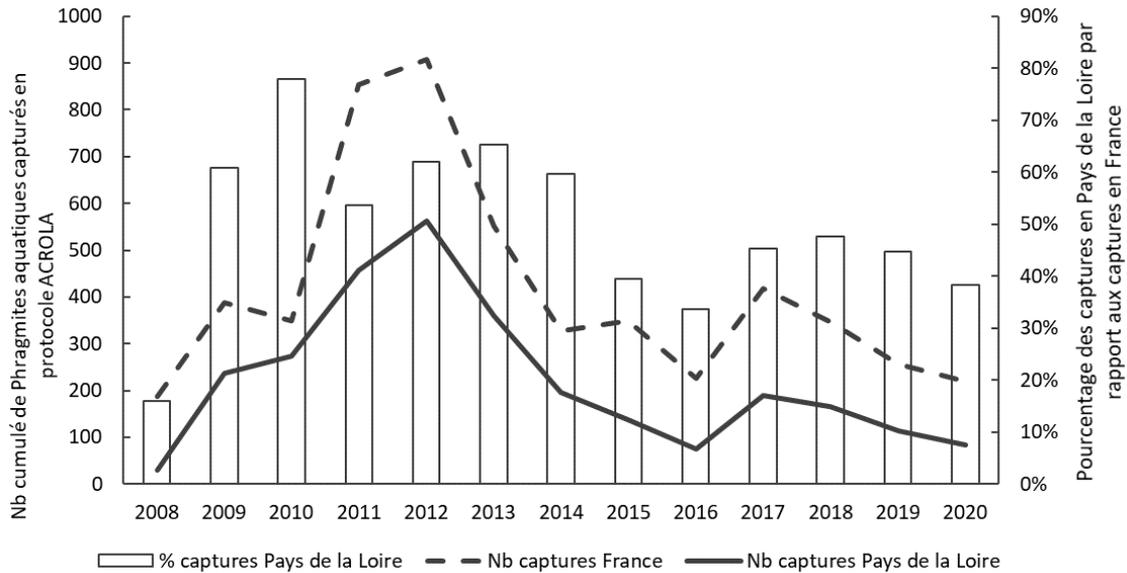


Figure 7 : Nombre de captures de Phragmite aquatique en France (---), en Pays de la Loire (—) et pourcentage des captures en Pays de la Loire par rapport aux captures en France (histogramme) en protocole ACROLA

Le Tableau 8 ci-après présente le nombre de baguages, de contrôles et de captures totales ainsi que le pourcentage associé pour chaque station et par rapport à l'ensemble des stations. Entre 2008 et 2020, sur les 33 stations, 11 représentent 97% des données des Pays de la Loire : Donges (38%), Mizottes de Triaize (14%), Réserve du Massereau (11%), Réserve de Brière Sud (8%), Réserve de Grand-Lieu (5%), Réserve Pierre Constant (5%), Noyant (4%), le Tertre Rouge (4%), le Braud (3%), Marais de Pompas (3%), Réserve du Migron (3%). Les stations de Donges, de Mizottes de Triaize, de la Réserve du Massereau et de la Réserve de Brière Sud représentent 72 % du total des données de captures du Phragmite aquatique en Pays de la Loire (Figure 8 ; Tableau 8).

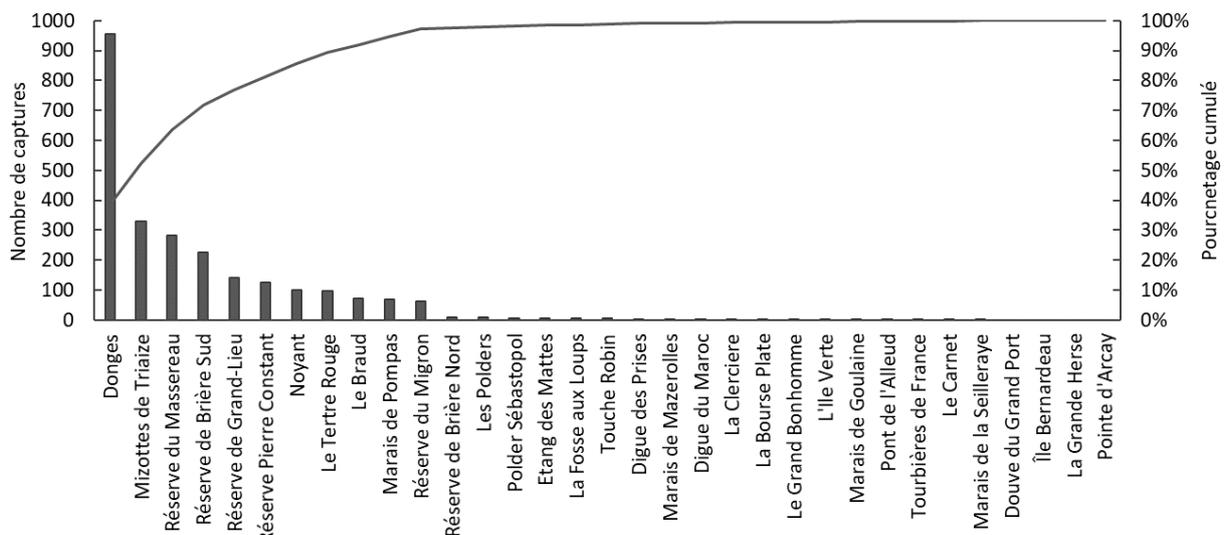


Figure 8 : Nombre de captures de Phragmite aquatique par station et pourcentage cumulé

Tableau 8 : Nombre et pourcentage de baguages, contrôles et captures totales par station en protocole ACROLA entre 2008 et 2020 (juillet, août, septembre)

STATION	NOMBRE			% STATION			% TOTAL		
	B	C	Total	B	C	Total	B	C	Total
Digue des Prises	4		4	100%		100%	<1%		<1%
Digue du Maroc	3		3	100%		100%	<1%		<1%
Donges	954	150	1104	86%	14%	100%	38%	42%	38%
Douve du Grand Port									
Etang des Mattes	5	1	6	83%	17%	100%	<1%	<1%	<1%
Île Bernardeau									
La Bourse Plate	2		2	100%		100%	<1%		<1%
La Clerciere	3		3	100%		100%	<1%		<1%
La Fosse aux Loups	5	1	6	83%	17%	100%	<1%	<1%	<1%
La Grande Herse									
Le Braud	71	6	77	92%	8%	100%	3%	2%	3%
Le Carnet	1	1	2	50%	50%	100%	<1%	<1%	<1%
Le Grand Bonhomme	2		2	100%		100%	<1%		<1%
Le Tertre Rouge	97	9	106	92%	8%	100%	4%	3%	4%
Les Polders	8	1	9	89%	11%	100%	<1%	<1%	<1%
L'île Verte	2		2	100%		100%	<1%		<1%
Marais de Goulaine	2		2	100%		100%	<1%		<1%
Marais de la Seilleraye	1	2	3	33%	67%	100%	<1%	<1%	<1%
Marais de Mazerolles	4		4	100%		100%	<1%		<1%
Marais de Pompas	69	11	80	86%	14%	100%	3%	3%	3%
Mizottes de Triaize	331	70	401	83%	17%	100%	13%	20%	14%
Noyant	99	23	122	81%	19%	100%	4%	6%	4%
Pointe d'Arcay									
Polder Sébastopol	7	1	8	88%	13%	100%	<1%	<1%	<1%
Pont de l'Alleud	2		2	100%		100%	<1%		<1%
Réserve de Brière Nord	9		9	100%		100%	<1%		<1%
Réserve de Brière Sud	226	12	238	95%	5%	100%	9%	3%	8%
Réserve de Grand-Lieu	142	1	143	99%	<1%	100%	6%	<1%	5%
Réserve du Massereau	281	46	327	86%	14%	100%	11%	13%	11%
Réserve du Migron	63	13	76	83%	17%	100%	2%	4%	3%
Réserve Pierre Constant	125	7	132	95%	5%	100%	5%	2%	5%
Touche Robin	5	1	6	83%	17%	100%	<1%	<1%	<1%
Tourbières de France	2	1	3	67%	33%	100%	<1%	<1%	<1%
<b>Pays de la Loire</b>	<b>2 525</b>	<b>357</b>	<b>2 882</b>	<b>88%</b>	<b>12%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

### 3.4 CONTROLES AUTOCHTONES

Les contrôles autochtones annuels représentent les individus capturés au moins deux fois la même année sur un même site. Si ces données sont suffisamment nombreuses, celles-ci permettent de calculer une estimation de la durée de halte migratoire par Capture-Marquage-Recapture (CMR) mais également de calculer le taux d'engraissement (FDR) des individus sur site. Néanmoins, le calcul du FDR nécessite de restreindre les données aux individus dont la différence de jours entre la première et la dernière capture est supérieure ou égale à 2 jours (SCHAUB & JENNI, 2000B). Bien qu'elles proviennent de l'ensemble des protocoles de suivis de migration (ACROLA, SEJOUR, HALTE, AXE 2, PHENO), ces données sont peu nombreuses pour la majorité des stations, limitant ainsi les possibilités d'analyses multifactorielles (effet âge, site, année, ...) (Tableau 9 ; Tableau 10).

*Tableau 9 : Nombre de contrôles annuels de Phragmites aquatiques par station, pour l'ensemble des protocoles du 1<sup>er</sup> au 31 août de 2008 à 2020*

STATION	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	TOTAL
Donges		5	4	9	13	3	6	16	1	5	4		3	69
La Fosse aux Loups					1									1
Le Braud					2									2
Le Tertre Rouge						2					1			3
Marais de Pompas			2		2	1							1	6
Mizottes de Triaize				4	6	8	2							20
Noyant				1		1	3		1		2	2	1	11
Polder Sébastopol										1				1
R. de Brière Sud				1										1
R. du Massereau	2	1		3			2	4	1	1	1			15
R. du Migron					4									4
R. Pierre Constant						1								1
<b>Pays de la Loire</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>18</b>	<b>28</b>	<b>16</b>	<b>13</b>	<b>20</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>134</b>

*Tableau 10 : Nombre de contrôles annuels de Phragmites aquatiques dont  $\Delta\text{Jour} \geq 2$  par station, pour l'ensemble des protocoles du 1<sup>er</sup> au 31 août de 2008 à 2020*

STATION	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	TOTAL
Donges		4	2	4	8	2	6	10		3	3			42
Le Braud					1									1
Le Tertre Rouge						2					1			3
Marais de Pompas			1		2								1	4
Mizottes de Triaize				4	4	6	1							15
Noyant							1				1	1		3
Polder Sébastopol										1				1
R. de Brière Sud				1										1
R. du Massereau		1		3			2	2	1	1				10
R. du Migron					3									3
R. Pierre Constant						1								1
<b>Pays de la Loire</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>12</b>	<b>18</b>	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>84</b>

Afin d'illustrer la proportion des données utilisables pour les analyses par CMR et pour le calcul du FDR, une estimation est réalisée pour la station de Donges, basée sur un seuil arbitraire déterminé, d'après sur le nombre de données utilisées dans cette étude. En moyenne entre 2008 et 2020, sur la station de Donges, il faut capturer 138 individus pour obtenir 10 données exploitables par CMR pour une année ( $10 \times 954 / 69 = 138$ ). De la même manière, il faut capturer 227 individus pour obtenir 10 données pour le calcul du FDR pour une année ( $10 \times 954 / 42 = 227$ ) (Tableau 11). Ces estimations sont réalisées sur la moyenne annuelle des captures. Du fait des variations interannuelles du nombre de baguages et de contrôles, elles ne permettront pas chaque année d'obtenir les données suffisantes pour réaliser ces analyses.

*Tableau 11 : Nombre et pourcentage de données exploitables par CMR et pour le calcul du FDR entre 2008 et 2020*

STATION	B	C	TOTAL	DONNEES EXPLOITABLES PAR CMR		DONNEES EXPLOITABLES POUR FDR	
				Nb	%	Nb	%
Donges	954	150	1104	69	7%	42	4%
La Fosse aux Loups	5	1	6	1	20%		
Le Braud	71	6	77	2	3%	1	1%
Le Tertre Rouge	97	9	106	3	3%	3	3%
Marais de Pompas	69	11	80	6	9%	4	6%
Mizottes de Triaize	331	70	401	20	6%	15	5%
Noyant	99	23	122	11	11%	3	3%
Polder Sébastopol	7	1	8	1	14%	1	14%
R. de Brière Sud	226	12	238	1	0%	1	0%
R. du Massereau	311	47	358	15	5%	10	3%
R. du Migron	63	13	76	4	6%	3	5%
R. Pierre Constant	125	7	132	1	1%	1	1%
<b>Pays de la Loire</b>	<b>2555</b>	<b>358</b>	<b>2913</b>	<b>134</b>	<b>5%</b>	<b>84</b>	<b>3%</b>

## 3.5 CONTROLES ALLOCHTONES

### 3.5.1 ECHANGES GLOBAUX

Entre 2008 et 2020, 179 échanges ont eu lieu entre les stations des Pays de la Loire et d'autres stations Pays de la Loire, hors Pays de la Loire (France) et d'autres pays. Ces échanges représentent les individus bagués en Pays de la Loire et contrôlés hors site et bagués hors site et contrôlé en Pays de la Loire. Les 60 échanges intra Pays de la Loire concernent donc 30 individus différents. Au total, 149 (179-30) individus ont été bagués ou contrôlés sur une station des Pays de la Loire et recapturés sur une autre station. Le détail des baguages et contrôles par stations est présenté en Annexe 2 et Annexe 3.

Parmi les 179 échanges, 60 sont intra-Pays de la Loire, 47 concernent un baguage ou un contrôle avec une station hors Pays de la Loire en France et 72 concernent un baguage ou un contrôle avec un pays étranger (Figure 9 ; Figure 10). Les échanges en dehors de la France concernent 12 pays, dont 3 représentent 70% des échanges : la Pologne (19 échanges ; 27%), la Belgique (19 échanges ; 27%) et la Lituanie (12 échanges ; 17%). Deux données ont permis de relier la zone d'hivernage de l'espèce avec les Pays de la Loire, zone de halte migratoire. Il s'agit d'un individu qui a été bagué au Sénégal et contrôlé à Donges 6 mois et 5 jours plus tard, pour une distance de 3870 km. Le second individu a été bagué à Mizottes de Triaize et contrôlé au Sénégal 5 mois et 2 jours plus tard, pour une distance de 3607 km.

Tableau 12 : Nombre d'échanges (baguages et contrôles) par stations des Pays de la Loire

STATIONS	FR (HORS PDL)	FR (PDL)	FR (TOTAL)	AUTRICHE	BELGIQUE	BIELORUSSIE	ESPAGNE	GRANDE-BRETAGNE	LITUANIE	PAYS-BAS	POLOGNE	PORTUGAL	REPUBLIQUE TCHEQUE	SENEGAL	UKRAINE	TOTAL
Donges	16	17	33		6		3		5	4	10	1		1		62
Etang des Mattes	1		1													1
Le Braud	2	2	4		1											5
Le Tertre Rouge	1	6	7						1							8
Les Polders		1	1													1
Marais de la Seilleraye	1		1													1
Marais de Pompas	1	3	4													4
Mizottes de Triaize	11	1	12		5	1	2				2			1		23
Noyant	3	5	8		1						1					10
Réserve de Brière Nord							1									1
Réserve de Brière Sud	3	7	10					1	2		1					14
Réserve de Grand-Lieu		2	2		1						2					5
Réserve du Massereau	3	9	12	1	3		2		3		3	1	1		1	27
Réserve du Migron	2	2	4		1											5
Réserve Pierre Constant	2	5	7		1		1		1							10
Tourbières de France	1		1													1
<b>Pays de la Loire</b>	<b>47</b>	<b>60</b>	<b>107</b>	<b>1</b>	<b>19</b>	<b>1</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>19</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>179</b>

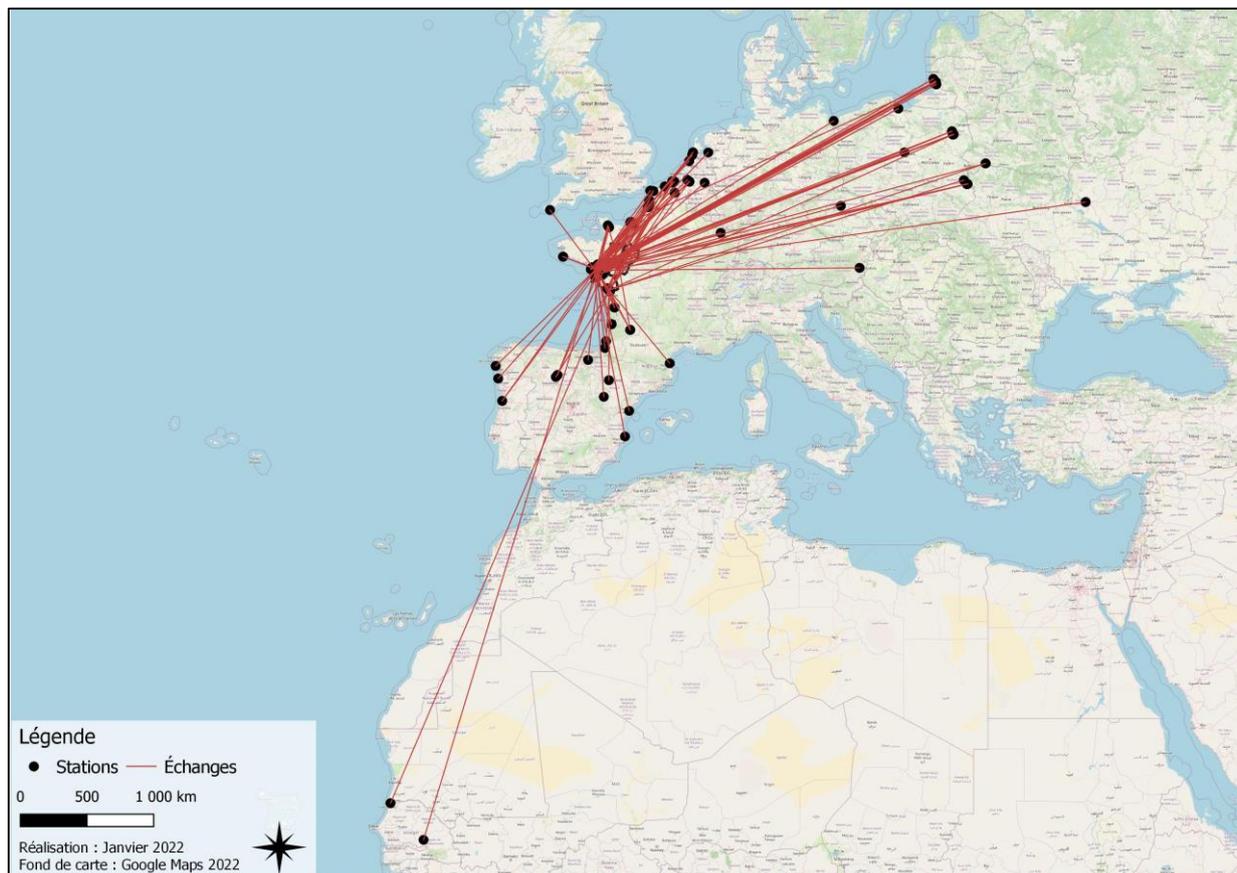


Figure 9 : Carte globale des échanges extrarégionaux

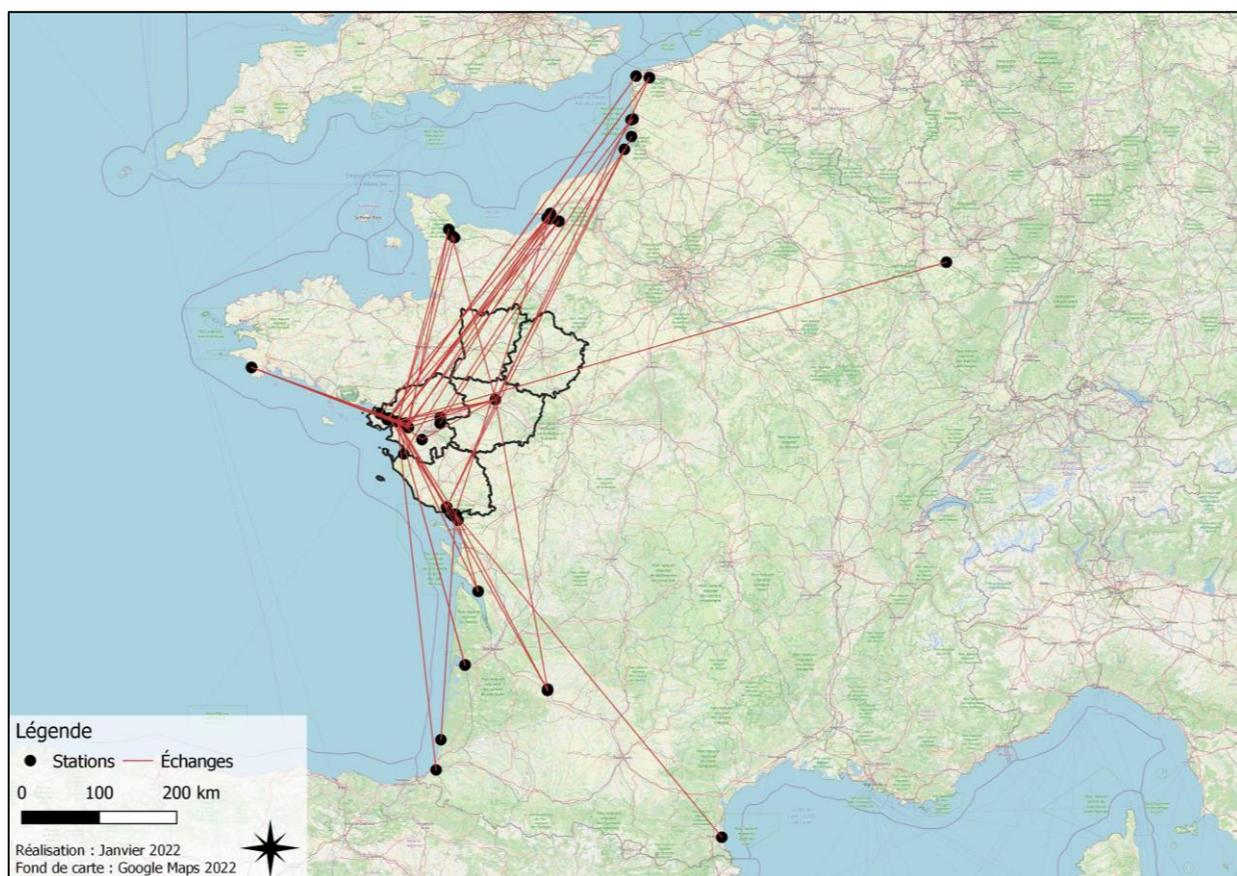


Figure 10 : Carte des échanges entre stations des Pays de la Loire et les autres stations de France métropolitaine

### 3.5.2 ECHANGES INTRA PAYS DE LA LOIRE

A l'échelle des Pays de la Loire, 30 individus ont montré des échanges entre 12 stations (Tableau 13 ; Figure 11). La station de Donges comptabilise le plus d'échanges avec 9 individus bagués sur la station et contrôlés hors site et 8 individus bagués hors sites et contrôlés à Donges. Parmi les 30 individus ayant transités entre deux stations des Pays de la Loire, 23 sont des contrôles annuels et 7 sont des contrôles interannuels. Le nombre de données n'est pas suffisant pour interpréter une différence entre le nombre de baguage et le nombre de contrôles de chaque station afin de caractériser le sens principal des échanges et un potentiel attrait des individus vers une ou plusieurs stations en particulier.

Tableau 13 : Nombre de baguages et de contrôles intra-stations

		Nombre d'individus contrôlés												
		Donges	Le Braud	Le Tertre Rouge	Les Polders	Marais de Pompas	Mizottes de Triaize	Noyant	R. de Brière Sud	R. de Grand-Lieu	R. du Massereau	R. du Migron	R. Pierre Constant	Total général
Nombre d'individus bagués	Donges			2			1		1		3	1	1	9
	Le Braud	1												1
	Le Tertre Rouge								1		1			2
	Les Polders													
	Marais de Pompas	2												2
	Mizottes de Triaize													
	Noyant	2		1						1				4
	Réserve de Brière Sud	1		1		1					1		1	5
	Réserve de Grand-Lieu	1												1
	Réserve du Massereau	1						1						2
	Réserve du Migron										1			1
	Réserve Pierre Constant		1		1						1			3
<b>Total général</b>		<b>8</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>30</b>

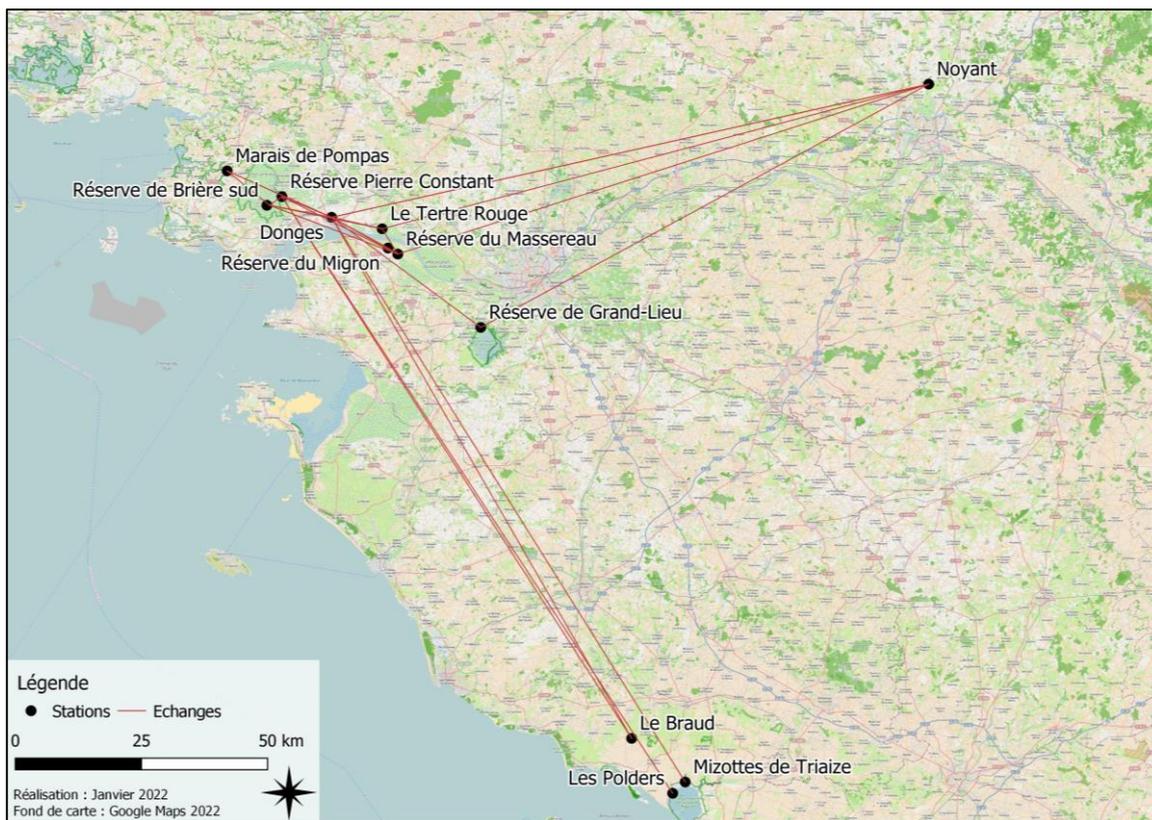


Figure 11 : Carte des échanges entre les stations des Pays de la Loire

### 3.6 EFFECTIFS MOYENS ANNUELS

#### 3.6.1 COMPARAISON DES EFFECTIFS

##### 3.6.1.1 Effectifs moyens annuels

Une première analyse par GLS a été réalisée avec les stations représentant la majorité des données du Phragmite aquatique. Le but de cette analyse est de comparer les stations en utilisant l'ensemble de leurs données entre 2008 et 2020 comme réplicats sans prendre en compte l'évolution temporelle. Cela permet de comparer des stations ayant peu d'années de baguage mais dont le pourcentage des captures participe fortement au total des captures en Pays de la Loire. Le modèle GLS montre un résultat significatif pour l'effet station ( $df= 11$  ;  $F\text{-value} = 18,21$  ;  $p\text{-value} < 0,0001$ ). Ainsi, plusieurs groupes apparaissent de cette analyse. Un premier groupe est constitué des stations de **Noyant, Réserve du Massereau, Marais de Pompas, Réserve de Brière Nord, le Braud et Réserve du Migron** dont les effectifs moyens sont similaires. Un deuxième groupe est constitué des stations de **Donges, Réserve de Grand-Lieu et Réserve Pierre Constant** dont les effectifs sont similaires. Un troisième groupe est constitué des stations de la **Réserve de Brière Sud et de Mizottes de Triaize**. Enfin, le **Tertre Rouge** apparaît comme significativement différent des autres stations avec un effectif annuel moyen (100m/jour) plus élevé. Au sein de chacun groupe, plusieurs stations sont similaires avec le groupe suivant comme l'indique le codage de significativité (lettre  $\neq$  :  $p\text{-value} < 0,05$ ). Ainsi, un groupe intermédiaire est constitué des stations **le Braud, Réserve du Migron, Donges et Réserve de Grand-Lieu**. La **Réserve de Pierre Constant** est également similaire aux stations de la **Réserve de Brière Sud et de Mizottes de Triaize** (Figure 12).

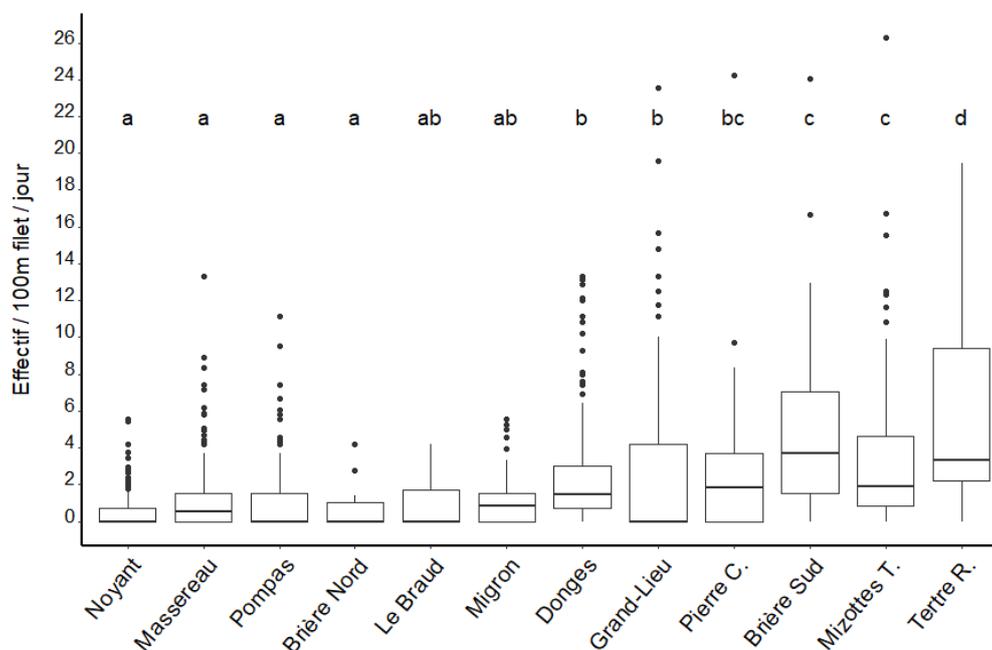


Figure 12 : Comparaison des effectifs moyens annuels (100m/jour)

### 3.6.1.2 Effectifs standardisés

Pour comparer l'évolution des effectifs des stations les unes par rapport aux autres, les effectifs standardisés ont été calculés par station et par année (Figure 13). Ils permettent de s'affranchir des écarts d'échelle entre les stations et de mettre en évidence des patterns d'évolution. De façon générale, les effectifs montrent une évolution positive de 2008 à 2012 puis une évolution négative de 2013 à 2020. Les stations semblent suivre une évolution commune excepté la station de Noyant dont les effectifs standardisés évoluent à l'inverse des autres stations. En effet, sur les 11 années de suivi de cette station, 5 années montrent une tendance nettement à l'opposé de l'ensemble des autres stations. Autrement dit, lorsque les effectifs standardisés sont positifs, donc supérieurs à la moyenne, ceux de Noyant sont négatifs, et inversement.

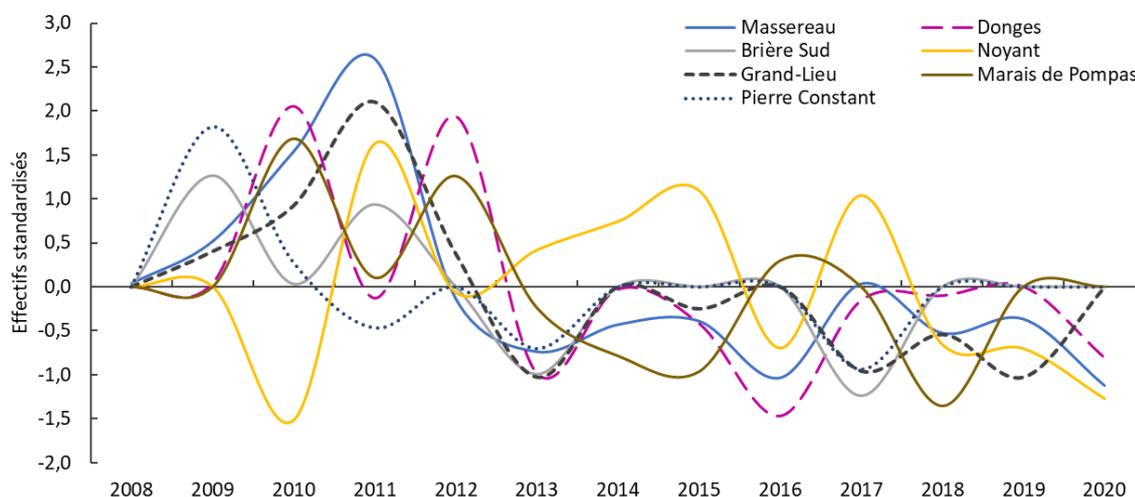


Figure 13 : Effectifs standardisés par stations en fonction des années

Afin de préciser les tendances visibles graphiquement, une matrice de corrélation a été établie (Tableau 14). Celle-ci a été réalisée sur les effectifs journaliers (100m/jour). Le coefficient de détermination R, compris entre -1 et 1, quantifie la force de la relation linéaire entre les effectifs des stations. La p-value indique si le coefficient est significativement différent de zéro, autrement dit, s'il y a une corrélation significative entre les effectifs de deux stations. Les effectifs du **Marais de Pompas** sont significativement corrélés avec ceux de la Réserve de Grand-Lieu, de la Réserve Pierre Constant et de Donges. Les effectifs de la **Réserve de Grand-Lieu** sont significativement corrélés avec ceux du Marais de Pompas, de Donges et de la Réserve du Massereau. Les effectifs de **Noyant** ne sont pas corrélés avec ceux des autres stations. Bien que les p-values ne soient pas significatives, plusieurs coefficients sont négatifs, notamment ceux avec la Réserve de Brière Sud, la Réserve de Pierre Constant et Donges. Ces résultats viennent confirmer les tendances visibles dans le graphique précédent. Les effectifs de la **Réserve de Brière Sud** sont significativement corrélés avec ceux de la Réserve Pierre Constant et sont au seuil de significativité avec ceux de la Réserve de Grand-Lieu. Les effectifs de la **Réserve du Massereau** sont significativement corrélés avec ceux de la Réserve de Grand-Lieu et de Donges. Les effectifs de la **Réserve Pierre Constant** sont significativement corrélés avec ceux du Marais de Pompas, de la Réserve de Brière Sud et de Donges. Les effectifs de **Donges** sont significativement corrélés avec ceux du marais de Pompas, de la Réserve de Grand-Lieu, de la Réserve du Massereau et de la Réserve Pierre Constant. Les graphiques suivants illustrent pour chaque station, l'évolution des effectifs des autres stations avec laquelle ils sont significativement corrélés (Figure 14).

Tableau 14 : Corrélation des effectifs moyens annuels entre stations (coefficient de détermination R, nombre de données N et p-value significative indiquée en gras)

		Marais de Pompas	Grand-Lieu	Noyant	Brière Sud	Massereau	Pierre Constant	Donges
Marais de Pompas	R							
	N							
	p-value							
Grand-Lieu	R	<b>0,35</b>						
	N	<b>87</b>						
	p-value	<b>0,0009</b>						
Noyant	R	0,08	0,01					
	N	152	137					
	p-value	0,3374	0,9271					
Brière Sud	R	0,29	0,31	-0,18				
	N	32	40	45				
	p-value	0,1127	0,0501	0,2270				
Massereau	R	0,12	<b>0,31</b>	0,07	0,16			
	N	135	<b>122</b>	234	48			
	p-value	0,1691	<b>&lt;0,0001</b>	0,3015	0,2784			
Pierre Constant	R	<b>0,41</b>	0,22	-0,11	<b>0,33</b>	0,13		
	N	<b>37</b>	40	58	<b>45</b>	55		
	p-value	<b>0,0107</b>	0,1784	0,4216	<b>0,0247</b>	0,3403		
Donges	R	<b>0,32</b>	<b>0,27</b>	-0,04	0,11	<b>0,30</b>	<b>0,26</b>	
	N	<b>158</b>	<b>151</b>	294	57	<b>261</b>	<b>65</b>	
	p-value	<b>&lt;0,0001</b>	<b>0,0009</b>	0,5228	0,4297	<b>&lt;0,0001</b>	<b>0,0391</b>	

Niveau de significativité p-value (n.s. : non significatif, p > 0.05 ; \* : p < 0.05 ; \*\* : p < 0.01 ; \*\*\* : p < 0.001)

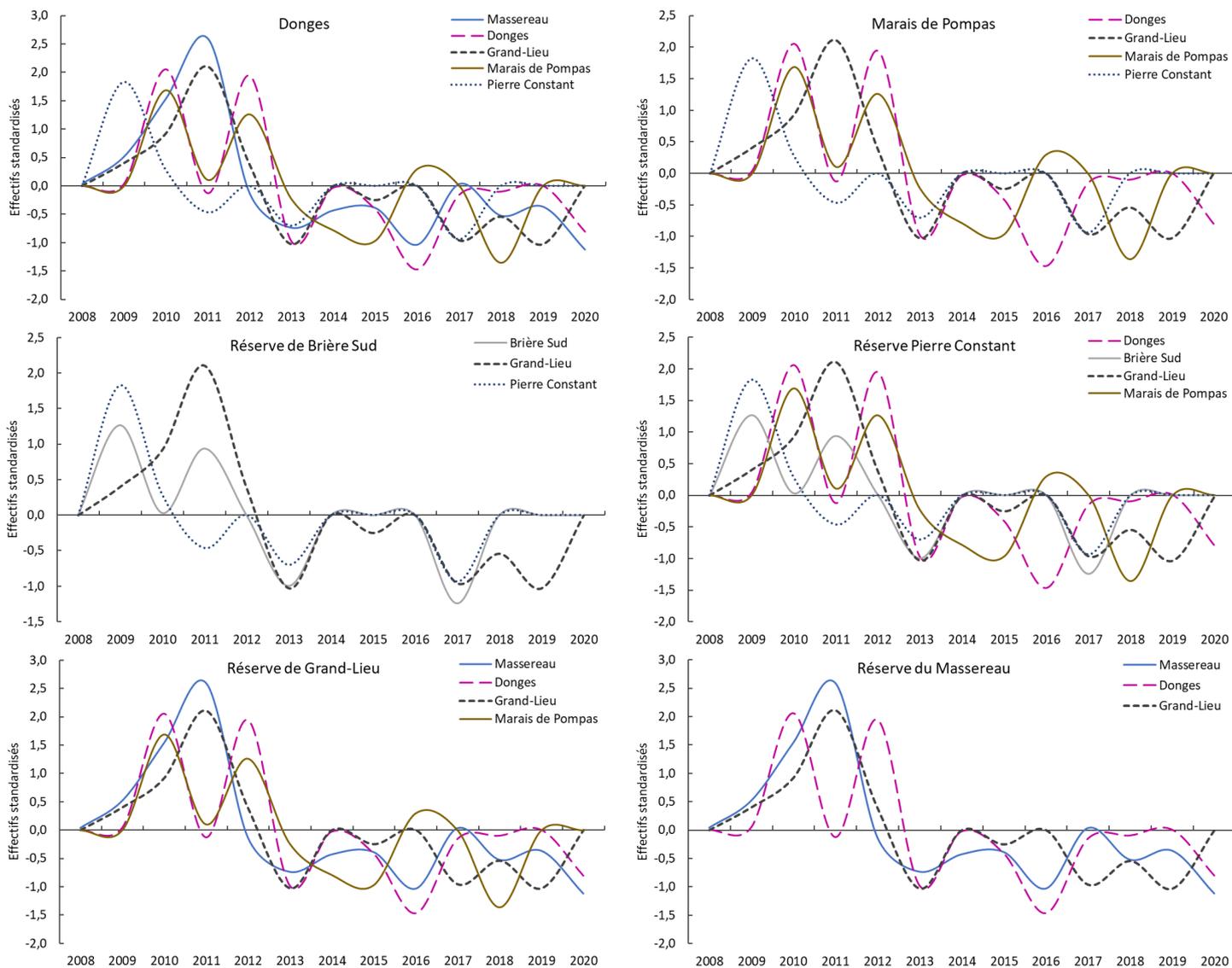


Figure 14 : Effectifs standardisés significativement corrélés par stations en fonction des années

### 3.6.2 COMPARAISON DES EFFECTIFS DE P. AQUATIQUE ET DE P. DES JONCS

Le Phragmite des joncs est l'espèce la plus capturée en période de migration postnuptiale sur les stations étudiées dans cette étude et dont la stratégie de migration se rapproche le plus du Phragmite aquatique (BIBBY & GREEN, 1981.) La comparaison des effectifs de Phragmites aquatiques et de Phragmites des joncs permet de mettre en évidence si des facteurs, comme la météo, pourraient influencer ces espèces de manière différente ou non. Les effectifs journaliers (100m/jour) du Phragmite aquatique et du Phragmite des joncs ont été corrélés pour les principales stations afin de caractériser le lien d'évolution des captures de ces deux espèces. A l'échelle des Pays de la Loire, la capture des deux espèces est significativement et positivement corrélée ( $R = 0,36$  ;  $p$ -value  $< 0,0001$  ; Figure 14). Il en est de même pour la majorité des stations exceptée celle de « le Braud », Noyant, Réserve Brière Nord et la Réserve du Migron dont le lien entre la capture des deux espèces n'est pas significatif ( $p$ -value  $> 0,05$ ). Certaines stations montrent un lien élevé entre la capture des deux espèces comme les stations du Tertre Rouge ( $R = 0,60$  ;  $p$ -value =  $0,0025$ ), de Donges ( $R = 0,49$  ;  $p$ -value  $< 0,0001$ ) et de Mizottes de Triaize ( $R = 0,47$  ;  $p$ -value =  $0,0010$ ).

Tableau 15 : Coefficient de détermination R entre les effectifs (100m/jour) de Phragmites aquatiques et de Phragmites des joncs par station

STATION	N	R	P-VALUE	
Pays de la Loire	387	<b>0,36</b>	$<0,0001$	***
Donges	348	<b>0,49</b>	$<0,0001$	***
Le Braud	26	0,24	0,2391	n.s.
Le Tertre Rouge	23	<b>0,60</b>	0,0025	**
Marais de Pompas	159	<b>0,26</b>	0,0011	**
Mizottes de Triaize	45	<b>0,47</b>	0,0010	**
Noyant	307	0,11	0,0572	n.s.
Réserve de Brière Nord	21	0,11	0,6355	n.s.
Réserve de Brière Sud	57	<b>0,30</b>	0,0257	*
Réserve de Grand-Lieu	152	<b>0,43</b>	$<0,0001$	***
Réserve du Massereau	293	<b>0,14</b>	0,0158	**
Réserve du Migron	61	0,16	0,2194	n.s.
Réserve Pierre Constant	65	<b>0,41</b>	0,0007	***

Niveau de significativité p-value (n.s. : non significatif,  $p > 0.05$  ; \* :  $p < 0.05$  ; \*\* :  $p < 0.01$  ; \*\*\* :  $p < 0.001$ )

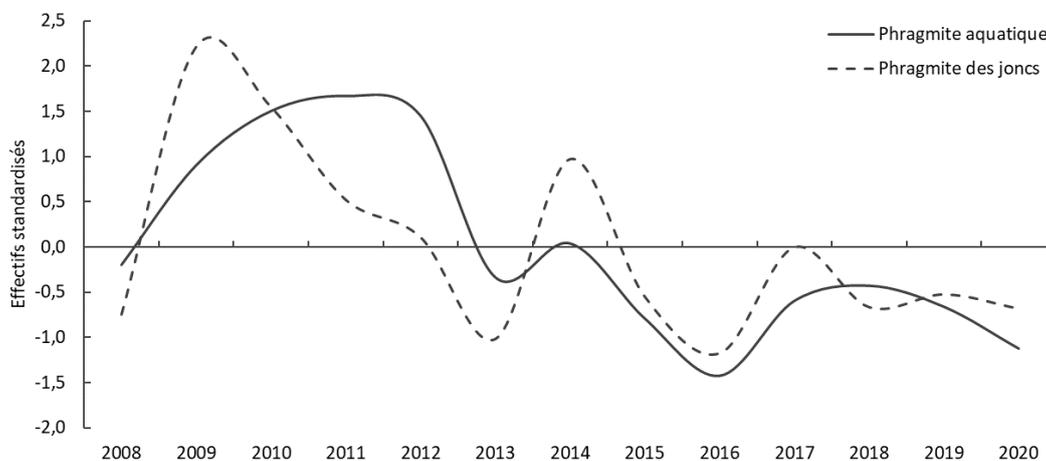


Figure 15 : Effectifs standardisés de Phragmites aquatiques et de Phragmites des joncs à l'échelle des Pays de la Loire

### 3.6.1 EVOLUTION DES EFFECTIFS

L'analyse des tendances par modèle General Least Square (GLS) a permis de mettre en évidence un effet significatif de l'année sur les effectifs entre 2008 et 2020 de l'ensemble des stations, exceptée celle de Noyant (Tableau 16 ; Figure 17). Sur ces stations, les effectifs moyens annuels montrent une baisse significative du nombre de *Phragmites aquatiques* capturés pour au moins l'une des catégories suivantes : effectif total, jeune ou adulte. **A l'échelle des Pays de la Loire, les résultats montrent une baisse significative du nombre de *Phragmites aquatiques* de -70% entre 2008 et 2020 pour l'effectif total, avec un taux annuel de -5,8 % (Figure 16). Cette tendance est également significative pour les jeunes avec une diminution de -60,7% (taux annuel de -5,1%) et pour les adultes avec une diminution de -86,2% (taux annuel de -7,2%) entre 2008 et 2020.**

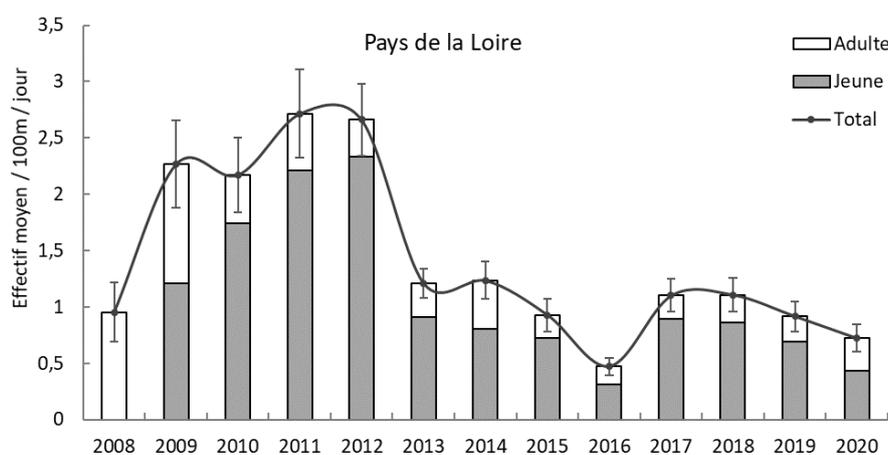


Figure 16 : Effectifs moyens annuels (100m/jour) de baguage de *Phragmite aquatique* en Pays de la Loire ( $\pm$  SE). Effectif total (courbe noire), effectif jeunes (histogramme gris), effectif adultes (histogramme blanc).

La comparaison des graphiques à une échelle commune permet de mettre en évidence des effectifs élevés entre 2009 et 2012 sur les stations de la Réserve de Grande-Lieu, la Réserve de Brière Sud, la Réserve Pierre Constant et de Donges (Figure 17). Les effectifs évoluent globalement de la même manière sur l'ensemble des stations étudiées. En effet, les effectifs les plus élevés sont observés entre 2009 et 2012 puis une baisse est marquée à partir de 2013 suivie d'une stabilisation ou d'une légère baisse des effectifs selon les stations jusqu'à 2020.

Tableau 16 : Taux d'évolution annuelle des effectifs par classe d'âge et par station

STATIONS	AGE	GLS				REGRESSION LINEAIRE							
		DF	F-value	p-value		N	Evolution annuelle (%)	± SE	IC -95%	IC +95%	R <sup>2</sup>	p-value	
Pays de la Loire	Total	12	5,52	<0,0001	***	1984	-5,8%	0,84	-7,5	-4,1	0,06	<0,0001	***
	Jeune	12	4,30	<0,0001	***	1984	-5,1%	1,13	-7,3	-2,8	0,04	<0,0001	***
	Adulte	12	5,87	<0,0001	***	1984	-7,2%	1,19	-9,5	-4,8	0,03	<0,0001	***
Donges	Total	11	4,19	<0,0001	***	637	-4,8%	1,17	-7,1	-2,5	0,03	<0,0001	***
	Jeune	11	4,45	<0,0001	***	637	-4,8%	1,42	-7,6	-2	0,02	0,0012	**
	Adulte	11	1,84	0,0474	*	637	-4,9%	1,91	-8,6	-1,1	0,01	0,0030	**
Marais de Pompas	Total	7	2,32	0,0282	*	348	-9,8%	2,75	-15,3	-4,4	0,07	0,0006	***
	Jeune	7	2,22	0,0359	*	348	-9,8%	2,87	-15,4	-4,1	0,06	0,0012	**
	Adulte	7	1,04	0,4062	n.s.	348	-10,4%	7,55	-25,3	4,5	0,01	0,1608	n.s.
Noyant	Total	10	1,04	0,4084	n.s.	159	-3,3%	2,66	-8,6	1,9	0	0,2551	n.s.
	Jeune	10	1,13	0,3358	n.s.	159	-2,7%	3,8	-10,2	4,8	0	<0,0001	***
	Adulte	10	0,48	0,9045	n.s.	159	-4,1%	3,57	-11,1	2,9	0	0,2311	n.s.
Réserve de Brière Sud	Total	4	3,77	0,0097	**	45	-8,7%	2,74	-14,2	-3,2	0,16	0,0024	**
	Jeune	4	1,30	0,2854	n.s.	45	-6,7%	4,13	-15	1,6	0,05	0,1098	n.s.
	Adulte	4	10,20	<0,0001	***	45	-13,2%	4,15	-21,5	-4,9	0,16	0,0024	**
Réserve de Grand-Lieu	Total	8	14,49	<0,0001	***	307	-9,5%	1,5	-12,5	-6,5	0,21	<0,0001	***
	Jeune	8	12,44	<0,0001	***	307	-9,0%	1,86	-12,7	-5,3	0,13	<0,0001	***
	Adulte	8	8,59	<0,0001	***	307	-11,5%	2,89	-17,2	-5,8	0,09	0,0001	***
Réserve du Massereau	Total	12	3,86	<0,0001	***	152	-6,0%	1,56	-9	-2,9	0,05	0,0002	***
	Jeune	12	4,46	<0,0001	***	152	-4,0%	2,23	-8,4	0,4	0,01	0,0775	n.s.
	Adulte	12	4,25	<0,0001	***	152	-9,5%	1,74	-12,9	-6	0,09	<0,0001	***
Réserve Pierre Constant	Total	4	3,77	0,0089	**	57	-8,7%	3,42	-15,6	-1,9	0,09	0,0132	*
	Jeune	4	3,96	0,0068	**	57	-8,8%	3,67	-16,2	-1,5	0,08	0,0190	*
	Adulte	4	0,98449	0,4237	n.s.	57	-8,2%	5,02	-18,2	1,8	0,04	0,1076	n.s.

Niveau de significativité p-value (n.s. : non significatif, p > 0.05 ; \* : p < 0.05 ; \*\* : p < 0.01 ; \*\*\* : p < 0.001)

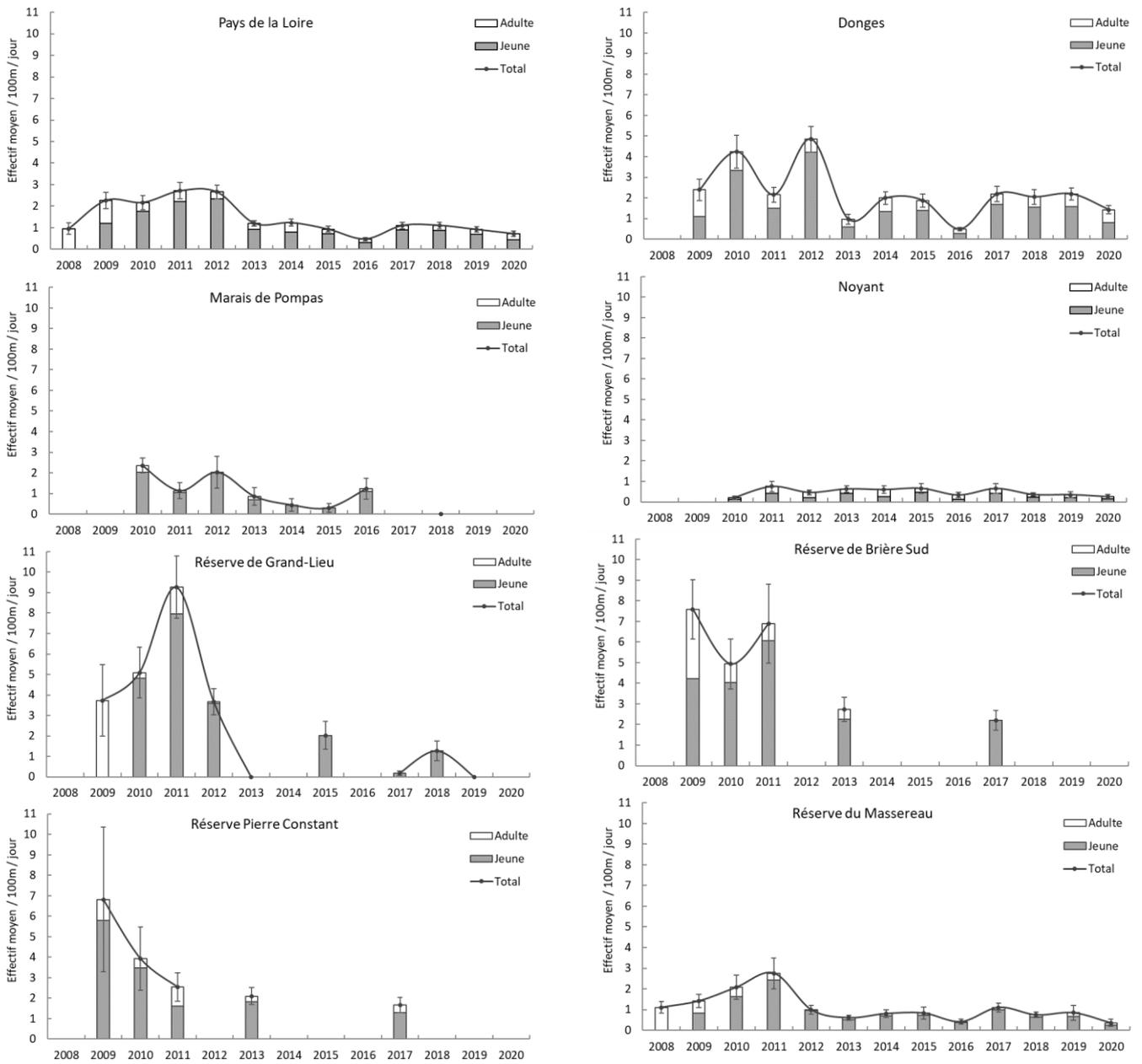


Figure 17 : Effectifs moyens annuels pour 100m de filet et 6h de baguage de *Phragmites aquatique* ( $\pm$  SE). Effectif total (courbe noire), effectif jeunes (histogramme gris), effectif adulte (histogramme blanc).

### 3.7 INDICE 93

Les graphiques ci-dessous présentent les Indices 93 et les effectifs moyens (100m/jour) par année et par station (Figure 18). L'objectif de cette partie est de comparer les patterns d'évolution de l'Indice 93 et des effectifs moyens. Compte tenu de la grande amplitude des valeurs de l'Indice 93, l'échelle a été adaptée à chaque station pour y superposer la courbe des effectifs et rendre la lecture plus lisible. Pour l'ensemble graphique, les effectifs moyens semblent suivre de près le pattern d'évolution de l'Indice 93, exceptées certaines années. Afin de quantifier cette relation entre les deux variables, des tests de corrélation (méthode de Pearson) ont été réalisés (Tableau 17). Mise à part la station de la Réserve de Brière Sud, dont la corrélation n'est pas significative (p-value < 0,05), les autres stations étudiées ont en moyenne un coefficient corrélation de 0,94 ( $\pm$  0,02 SE). Les deux méthodes de représentation des données de captures montrent donc une évolution similaire des effectifs moyens et des Indices 93 pour les stations étudiées.

Tableau 17 : Corrélation de Spearman entre l'Indice 93 et l'effectif moyen / 100m / jour

STATION	TEST DE CORRELATION DE PEARSON				
	DF	T	R	p-value	
Pays de la Loire	11	6,73	<b>0,90</b>	<0,0001	***
Donges	10	10,64	<b>0,96</b>	<0,0001	***
Marais de Pompas	6	16,89	<b>0,99</b>	<0,0001	***
Noyant	9	5,78	<b>0,89</b>	0,0003	**
Réserve de Brière Sud	3	7,89	<b>0,98</b>	0,0042	**
Réserve de Grand-Lieu	7	8,97	<b>0,96</b>	0,0003	***
Réserve du Massereau	11	6,53	<b>0,89</b>	<0,0001	***
Réserve Pierre Constant	3	-0,02	-0,01	0,9855	n.s.

Niveau de significativité p-value (n.s. : non significatif,  $p > 0.05$  ; \* :  $p < 0.05$  ; \*\* :  $p < 0.01$  ; \*\*\* :  $p < 0.001$ )

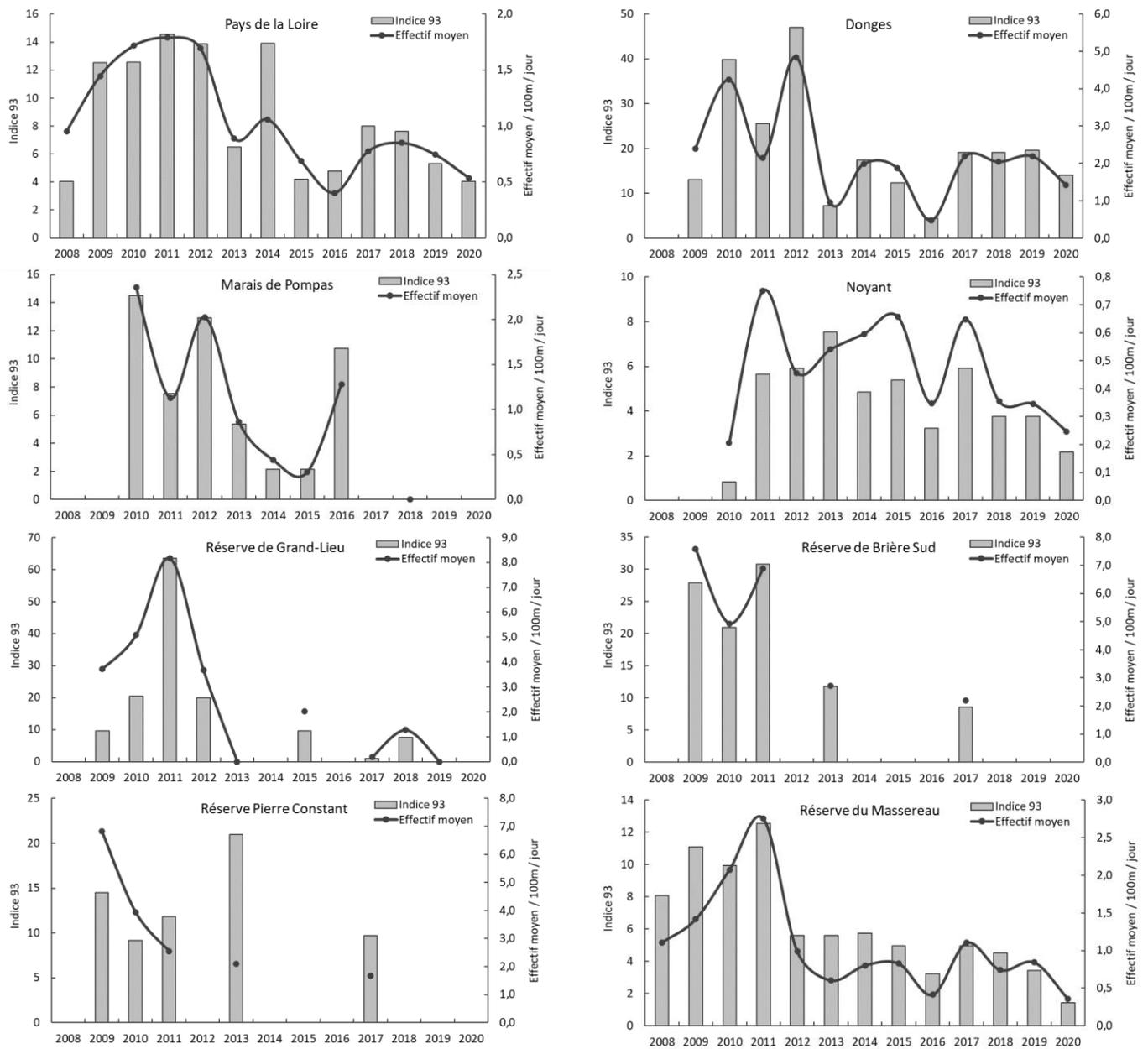


Figure 18 : Relation entre l'Index 93 (histogramme) et l'effectif moyen annuel / 100m / jour (courbe) par année et par station.

Lors des calculs de l'Indice 93 et de sa comparaison avec les effectifs moyens annuels, plusieurs différences importantes ont nécessité de rechercher les paramètres en cause. Après avoir détaillé les paramètres de la formule de l'indice (rappelée ci-dessous), il s'avère que le paramètre « t » (nombre de jours ouverts) inscrit en dividende, se retrouve également en diviseur dans le paramètre « Nu » (nombre d'unités jours (cumul du nombre quotidien)). En effet, « Nu » correspond au nombre d'unités ACROLA par jour sur la durée totale de baguage, autrement dit « Nu » = nb unités ACROLA x « t ». Le paramètre « t » est donc neutralisé lors du calcul de l'indice.

$$\text{Indice 93} = k \times i \times 100$$

$$\text{Indice 93} = \frac{t}{T} \times \frac{Na}{Nu} \times 100$$

$$\text{Indice 93} = \frac{\text{nb jours ouverts}}{\text{temps total d'ouverture}} \times \frac{\text{nb de Phragmites aquatiques}}{\text{nb unités jours (cumul nb quotidien)}} \times 100$$

- Coefficient d'ouverture « k » = t/T avec « t » = nb de jours ouverts et « T » = temps total d'ouverture = 93 jours (du 15 juillet au 15 octobre : période maximum de migration du Phragmite aquatique en France)
- Indice brut « i » = Na/Nu avec « Na » = nb d'Acrola capturés en unité de capture (auto-contrôles inclus sauf auto-contrôles intrajournaliers) et « Nu » = nb d'unités jours (cumul du nb quotidien)

Par conséquent, pour des stations ayant capturé le même nombre de Phragmites aquatiques avec le même nombre d'unités ACROLA mais sur une durée différente, l'Indice 93 sera le même. Le Tableau 18 présente l'exemple fictif n°1 pour quatre stations dont seule la durée d'ouverture diffère et pourtant dont l'Indice 93 est identique. Cet exemple permet d'expliquer la différence sur la Réserve Pierre Constant en 2013. Cette année-là, 39 Phragmites aquatiques ont été capturés en 26 jours. Cela représente 16 individus de plus que la moyenne des autres années mais également 16 jours de baguage de plus que la moyenne. La formule ne prenant pas en compte la durée de baguage, il est cohérent de trouver un Indice 93 nettement supérieure aux autres années car 16 individus de plus ont été capturés.

*Tableau 18 : Exemple fictif n°1 d'Indice 93 identique pour une durée de baguage variable*

SITE	NB UNITES ACROLA	t	T	K	NA	NU	I	INDICE 93 (k*i*100)
Station 1	3	20	93	0,215	7	60	0,117	2,51
Station 2	3	16	93	0,172	7	48	0,146	2,51
Station 3	3	48	93	0,516	7	144	0,049	2,51
Station 4	3	5	93	0,054	7	15	0,467	2,51

Afin de garder le paramètre « K », permettant de pondérer la durée d'ouverture par la durée maximale d'ouverture (=93), la formule de l'Indice 93 a été appliquée en simplifiant le paramètre « Nu » au nombre d'unités ACROLA. Les résultats présentés avec l'exemple fictif n°2 dans le Tableau 19 montrent une très nette survalorisation de la station 3 ayant capturé 7 individus en 48 jours face à la station 4 ayant capturé le même nombre d'individus mais sur 5 jours. Ces résultats montrent que le paramètre « k » n'est pas adapté pour valoriser les stations ouvertes sur de longues périodes face aux stations ouvertes sur de courtes durées et sur la période la plus favorable au passage de l'espèce. Cet exemple permet d'expliquer la grande différence entre l'Indice 93 et l'effectif moyen annuel pour la station de Donges comparé aux autres stations (Figure 20, Tableau 21).

*Tableau 19 : Exemple fictif n°2 d'Indice 93 avec « NU » = nombre d'unités ACROLA*

SITE	NB UNITES ACROLA	t	T	K	NA	NU	I	INDICE 93 ( $k \cdot i \cdot 100$ )
Station 1	3	20	93	0,215	7	3	2,333	50,18
Station 2	3	16	93	0,172	7	3	2,333	40,14
Station 3	3	48	93	0,516	7	3	2,333	120,43
Station 4	3	5	93	0,054	7	3	2,333	12,54

Ainsi, compte tenu de la forte corrélation de l'Indice 93 et des effectifs moyens annuels lorsqu'il n'y a pas de fortes variations interannuelles du nombre de jours d'ouverture et de la survalorisation des stations ouvertes sur de longues périodes, l'Indice 93 ne semble pas adapté pour comparer les stations entre elles.

### 3.8 INDICE ACROLA

Les graphiques ci-dessous présentent les Indices ACROLA par année et par station (Figure 19), avec une échelle commune à toutes les stations. A l'échelle des Pays de la Loire, l'Indice ACROLA évolue entre 0,06 et 0,21 (moyenne = 0,12 ;  $\pm$  0,01 SE) entre 2008 et 2020. Les stations du Marais de Pompas, de la Réserve de Brière Sud et de la Réserve Pierre Constant montrent un Indice ACROLA plus élevé que les autres stations bien que très variable entre années. En effet, en moyenne, l'Indice ACROLA est de 0,94 ( $\pm$  0,40 SE) pour la Réserve Pierre Constant, de 0,43 ( $\pm$  0,04 SE) pour la Réserve de Brière Sud et de 0,39 ( $\pm$  0,13 SE) pour le Marais de Pompas. Les autres stations montrent un Indice ACROLA relativement faible et constant entre 2008 et 2020.

A l'échelle des Pays de la Loire, l'évolution des Indices ACROLA montre une baisse significative de -0,07 entre 2008 et 2020 avec un taux d'évolution annuelle de -0,01 ( $\pm$  0,002 SE). La Réserve de Grand-Lieu et la Réserve du Massereau montrent également une baisse significative, respectivement de -0,22 (taux d'évolution annuelle = -0,03 ;  $\pm$  0,009 SE) et de -0,08 (taux d'évolution annuelle = -0,01 ;  $\pm$  0,003 SE) entre 2008 et 2020 (Tableau 20).

Tableau 20 : Évolution annuelle de l'Indice ACROLA par station

STATION	N	EVOLUTION ANNUELLE	$\pm$ SE	IC -95%	IC +95%	ADJ. R <sup>2</sup>	P-VALUE
Pays de la Loire	13	<b>-0,01</b>	0,002	-0,009	-0,002	0,46	<b>0,0066 **</b>
Donges	12	0,00	0,002	-0,005	0,002	0,00	0,3341 n.s.
Marais de Pompas	8	-0,04	0,052	-0,168	0,086	-0,06	0,4591 n.s.
Noyant	10	0,00	0,004	-0,013	0,007	-0,05	0,4839 n.s.
Réserve de Brière Sud	5	0,01	0,018	-0,050	0,064	-0,26	0,7132 n.s.
Réserve de Grand-Lieu	9	<b>-0,03</b>	0,009	-0,049	-0,006	0,51	<b>0,0181 *</b>
Réserve Pierre Constant	5	-0,21	0,108	-0,556	0,131	0,42	0,1438 n.s.
Réserve du Massereau	13	<b>-0,21</b>	0,108	-0,556	0,131	0,31	<b>0,1438 *</b>

Niveau de significativité p-value (n.s. : non significatif,  $p > 0.05$  ; \* :  $p < 0.05$  ; \*\* :  $p < 0.01$  ; \*\*\* :  $p < 0.001$ )

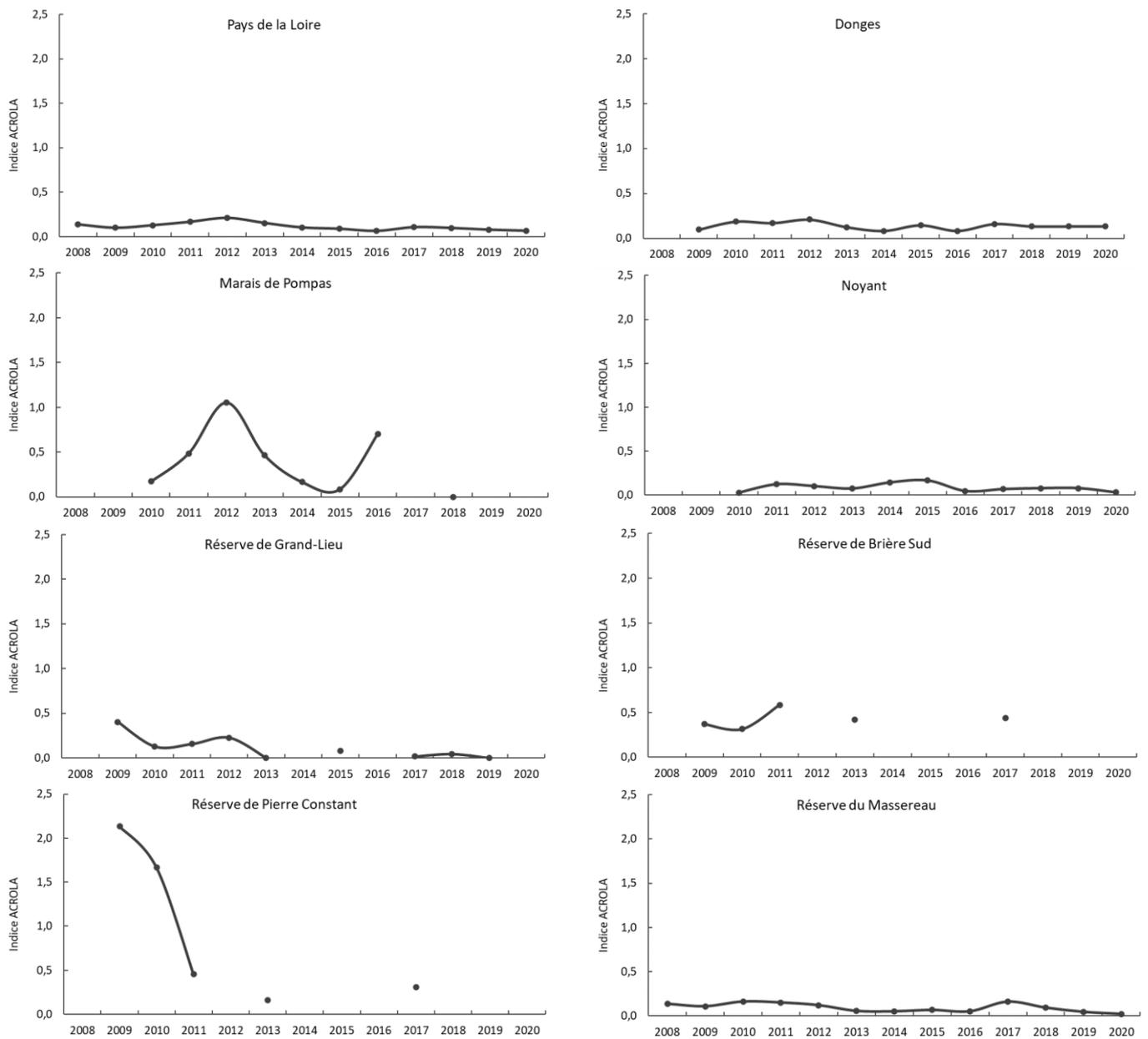


Figure 19 : Indice ACROLA par année et par station

### 3.9 SYNTHÈSE DES EFFECTIFS, INDICE ACROLA ET INDICE 93 PAR STATION

Le Tableau 21 et la Figure 20 ci-dessous présentent la synthèse des effectifs moyens journaliers pour 100m de filet, l'indice ACROLA moyen et l'indice 93 moyen du 1<sup>er</sup> au 31 août de 2008 à 2020 pour les 33 stations ayant participé au protocole ACROLA. Les données présentées dans ce tableau et cette figure synthétisent celles détaillées dans les parties précédentes 3.6 Effectifs moyens annuels, 3.7 Indice 93 et 3.8 Indice ACROLA.

*Tableau 21 : Indice 93, Indice ACROLA et effectifs moyens par station sur la période du 1<sup>er</sup> au 31 août de 2008 à 2020*

SITE	EFFECTIF MOYEN (100 M/JOUR)	± SE	INDICE 93 MOYEN	± SE	INDICE ACROLA MOYEN	± SE
Digue des Prises	1,35		1,4		13,33	
Digue du Maroc	1,52		1,1		21,43	
Donges	2,23	0,35	19,9	3,60	0,14	0,01
Douve du Grand Port	0,00		0,0		0,00	
Etang des Mattes						
Île Bernardeau	0,00		0,0		0,00	
La Bourse Plate	0,67		0,7		16,67	
La Clerciere	0,32		1,1		0,32	
La Fosse aux Loups	1,14		1,6		3,75	
La Grande Herse	0,00		0,0		0,00	
Le Braud	0,76	0,67	2,9	2,59	0,30	0,15
Le Carnet	0,06		0,1		0,03	
Le Grand Bonhomme	0,46		0,5		0,26	
Le Tertre Rouge	8,98	2,53	15,2	3,69	2,51	1,22
Les Polders	4,55		3,2		7,50	
L'île Verte	1,91		2,2		0,74	
Marais de Goulaine	0,26		0,5		0,29	
Marais de la Seilleraye	0,17		0,3		0,14	
Marais de Mazerolles	0,49		0,9		0,30	
Marais de Pompas	1,04	0,29	6,8	1,88	0,39	0,13
Mizottes de Triaize	7,32	3,19	18,3	2,05	5,27	2,65
Noyant	0,47	0,06	4,3	0,58	0,09	0,01
Pointe d'Arcay	0,00		0,0		0,00	
Polder Sébastopol	0,84		2,9		0,62	
Pont de l'Alleud	0,21		1,1		0,20	
Réserve de Brière Nord	0,49	0,29	1,6	1,11	0,11	0,03
Réserve de Brière Sud	4,86	1,08	20,0	4,35	0,43	0,04
Réserve de Grand-Lieu	2,80	1,01	14,1	6,19	0,12	0,04
Réserve du Massereau	1,08	0,19	6,2	0,91	0,10	0,01
Réserve du Migron	1,10	0,37	5,8	3,15	0,23	0,13
Réserve Pierre Constant	3,41	0,93	13,2	2,15	0,94	0,40
Touche Robin	0,60		1,8		0,86	
Tourbières de France	0,41		1,6		0,08	
<b>Pays de la Loire</b>	<b>1,42</b>	<b>0,21</b>	<b>8,1</b>	<b>1,14</b>	<b>0,12</b>	<b>0,01</b>

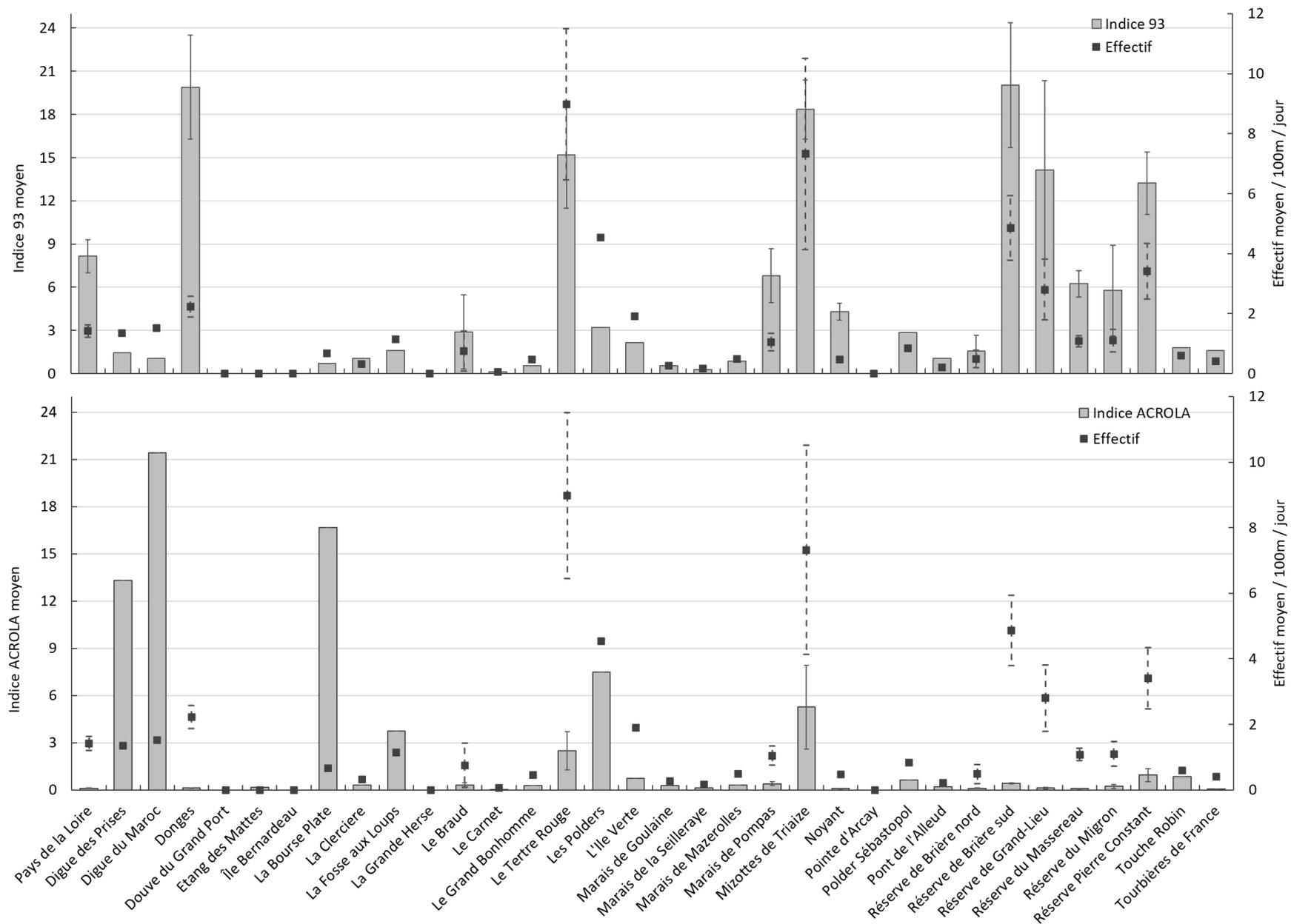


Figure 20 : Indice 93, Indice ACROLA et effectifs moyens par station

### 3.10 STRUCTURE D'ÂGE

#### 3.10.1 STRUCTURE D'ÂGE MOYENNE PAR STATION

La structure d'âge à l'échelle des Pays de la Loire représente 75% de jeunes (1A) et 25% d'adultes % (+1A) entre 2008 et 2020 sur la période du 1<sup>er</sup> au 31 août (Tableau 22). Le tableau ci-dessous synthétise les structures d'âge de l'ensemble des stations ayant participé au protocole ACROLA.

*Tableau 22 : Nombre et pourcentage de Phragmites aquatiques par classe d'âge et par station sur la période du 1<sup>er</sup> au 31 août de 2008 à 2020*

STATIONS	NB JEUNES	NB ADULTES	NB TOTAL	% JEUNE	% ADULTE	% TOTAL
Digue des Prises	4		4	100%	0%	100%
Digue du Maroc		3	3	0%	100%	100%
Donges	762	342	1104	69%	31%	100%
Douve du Grand Port						
Etang des Mattes	5	1	6	83%	17%	100%
Île Bernardeau						
La Bourse Plate	2		2	100%	0%	100%
La Clerciere	2	1	3	67%	33%	100%
La Fosse aux Loups	6		6	100%	0%	100%
La Grande Herse						
Le Braud	52	25	77	68%	32%	100%
Le Carnet		2	2	0%	100%	100%
Le Grand Bonhomme	1	1	2	50%	50%	100%
Le Tertre Rouge	90	16	106	85%	15%	100%
Les Polders	8	1	9	89%	11%	100%
L'île Verte	2		2	100%	0%	100%
Marais de Goulaine		2	2	0%	100%	100%
Marais de la Seilleraye	3		3	100%	0%	100%
Marais de Mazerolles	2	2	4	50%	50%	100%
Marais de Pompas	72	8	80	90%	10%	100%
Mizottes de Triaize	321	80	401	80%	20%	100%
Noyant	70	52	122	57%	43%	100%
Pointe d'Arcay						
Polder Sébastopol	8		8	100%	0%	100%
Pont de l'Alleud	2		2	100%	0%	100%
Réserve de Brière Nord	5	4	9	56%	44%	100%
Réserve de Brière Sud	192	46	238	81%	19%	100%
Réserve de Grand-Lieu	123	20	143	86%	14%	100%
Réserve du Massereau	240	87	327	73%	27%	100%
Réserve du Migron	62	14	76	82%	18%	100%
Réserve Pierre Constant	107	25	132	81%	19%	100%
Touche Robin	5	1	6	83%	17%	100%
Tourbières de France	1	2	3	33%	67%	100%
<b>Pays de la Loire</b>	<b>2147</b>	<b>735</b>	<b>2882</b>	<b>74%</b>	<b>26%</b>	<b>100%</b>

### 3.10.2 COMPARAISON DES STRUCTURES D'AGE

La structure d'âge des stations ayant un nombre suffisant d'individus (N >76, toutes années confondues) a été comparée par un test de Chi-2. Le résultat indique une différence significative entre les stations (Pearson's Chi-squared test : X-squared = 90.055 ; df = 10 ; p-value = <0,001). Le Tableau 23 présente les résultats du test posthoc afin de préciser les stations significativement différentes de la structure d'âge théorique, également illustrées en Figure 21. Les stations ayant significativement plus d'adultes que la proportion théorique sont Noyant (43%), la Réserve du Massereau (33%) et Donges (31%). Les stations ayant significativement moins d'adultes sont le Marais de Pompas (10%) et la Réserve de Grand-Lieu (14%). Les autres stations ne montrent pas de différences significatives avec les proportions théoriques attendues.

Tableau 23 : Résultats du test posthoc du Chi-2

STATION	N	RESIDUALS	P-VALUES	% JEUNE REEL	% JEUNE THEORIQUE	% ADULTE REEL	% ADULTE THEORIQUE	EFFET
Donges	1102	4,61	0,0001 ***	<b>69%</b>	74%	<b>31%</b>	26%	+ adulte
Le Braud	77	1,24	1,0000 n.s.	68%	74%	32%	26%	n.s.
Le Tertre Rouge	106	-2,68	0,1622 n.s.	85%	74%	15%	26%	n.s.
Marais de Pompas	80	-3,37	0,0168 *	<b>90%</b>	74%	<b>10%</b>	26%	- adulte
Mizottes de Triaize	401	-3,14	0,0376 *	<b>80%</b>	74%	<b>20%</b>	26%	- adulte
Noyant	122	4,17	0,0007 ***	<b>57%</b>	74%	<b>43%</b>	26%	+ adulte
Réserve Brière Sud	237	-2,69	0,1595 n.s.	81%	74%	19%	26%	n.s.
Réserve de Grand-Lieu	143	-3,44	0,0127 *	<b>86%</b>	74%	<b>14%</b>	26%	- adulte
Réserve du Massereau	356	3,12	0,0402 *	<b>67%</b>	74%	<b>33%</b>	26%	+ adulte
Réserve du Migron	76	-1,59	1,0000 n.s.	82%	74%	18%	26%	n.s.
Réserve Pierre Constant	132	-1,98	1,0000 n.s.	81%	74%	19%	26%	n.s.

Niveau de significativité p-value (n.s. : non significatif, p > 0.05 ; \* : p < 0.05 ; \*\* : p < 0.01 ; \*\*\* : p < 0.001)

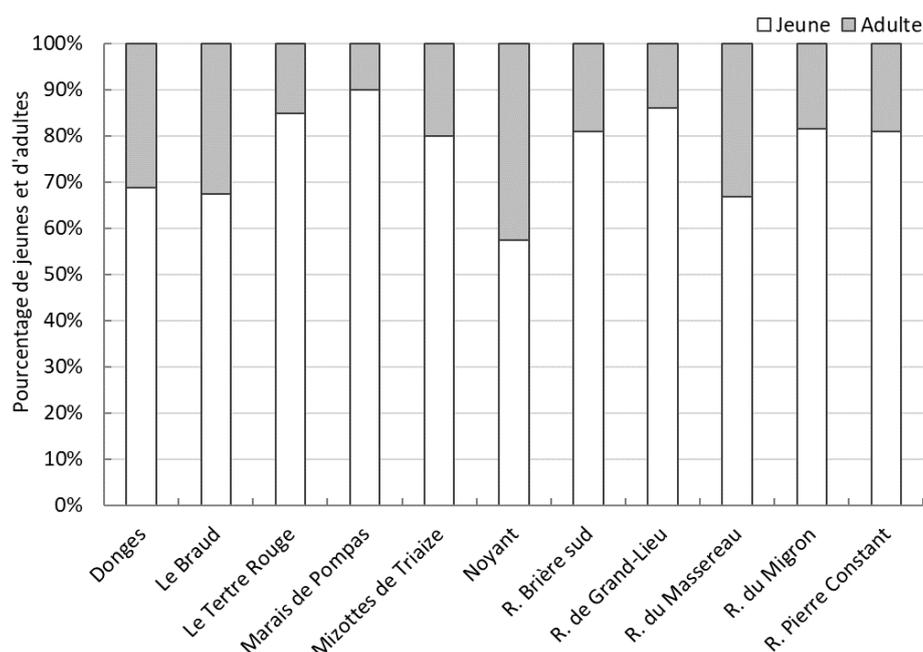


Figure 21 : Pourcentage de jeunes et d'adultes par station entre 2008 et 2020

### 3.10.3 EVOLUTION DES STRUCTURES D'AGE

L'évolution des structures d'âge a été analysée afin de qualifier leur tendance sur la période 2008 à 2020. Les modèles GLS indiquent un effet significatif de l'année sur la proportion de jeunes et d'adultes pour les Pays de la Loire, Donges, la Réserve de Brière Sud, la Réserve de Grand-Lieu et la Réserve du Massereau indiquant qu'au moins une année est significativement différente des autres pour ces stations. Les stations du Marais de Pompas, de Noyant et de la Réserve Pierre Constant ne montrent pas de différence de structure d'âge entre les années (Tableau 24).

Entre 2008 et 2020, le pourcentage de jeunes augmente de façon significative à l'échelle des Pays de la Loire (taux d'évolution annuelle +1,2% ;  $\pm 0,39$  SE), pour les stations de la Réserve de Brière Sud (+5,5% ;  $\pm 1,62$  SE), la Réserve de Grand-Lieu (+4,9% ;  $\pm 1,64$  SE) et la Réserve du Massereau (+3,9% ;  $\pm 0,87$  SE). Le pourcentage des adultes diminue donc significativement pour ces mêmes stations avec un taux d'évolution annuelle identique mais négatif. L'évolution de la structure d'âge en fonction des années par station est présentée en Figure 22.

*Tableau 24 : Résultats des modèles GLS et taux d'évolution annuelle de la proportion de jeune (résultats opposés pour les adultes) sur la période du 1<sup>er</sup> au 31 août de 2008 à 2020*

STATIONS	GLS			REGRESSION LINEAIRE								
	DF	F-value	p-value	N	Evolution annuelle (%)	$\pm$ SE	IC -95%	IC +95%	R <sup>2</sup>	p-value		
Pays de la Loire	12	8,01	<b>&lt;0,0001</b> ***	942	<b>+1,2%</b>	0,39	0,4	2,0	0,01	<b>0,0028</b>	*	
Donges	11	3,49	<b>0,0001</b> ***	276	+0,5%	0,65	-0,8	1,8	0,00	0,4349	n.s.	
Marais de Pompas	6	0,72	0,6370 n.s.	47	+0,7%	1,63	-2,6	3,9	0,00	0,6870	n.s.	
Noyant	10	0,60	0,8076 n.s.	89	+2,5%	1,68	-0,8	5,9	0,03	0,1359	n.s.	
R. de Brière Sud	4	9,03	<b>&lt;0,0001</b> ***	50	<b>+5,5%</b>	1,62	2,2	8,7	0,19	<b>0,0015</b>	**	
R. de Grand-Lieu	6	8,45	<b>&lt;0,0001</b> ***	65	<b>+4,9%</b>	1,64	1,6	8,2	0,12	<b>0,0041</b>	**	
R. du Massereau	12	9,76	<b>&lt;0,0001</b> ***	162	<b>+3,9%</b>	0,87	2,1	5,6	0,11	<b>&lt;0,0001</b>	***	
R. Pierre Constant	4	0,80	0,5350 n.s.	47	-0,5%	1,65	-3,8	2,9	0,00	0,7793	n.s.	

Niveau de significativité p-value (n.s. : non significatif,  $p > 0.05$  ; \* :  $p < 0.05$  ; \*\* :  $p < 0.01$  ; \*\*\* :  $p < 0.001$ )

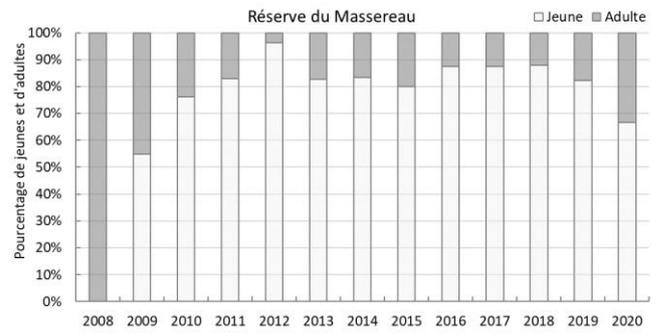
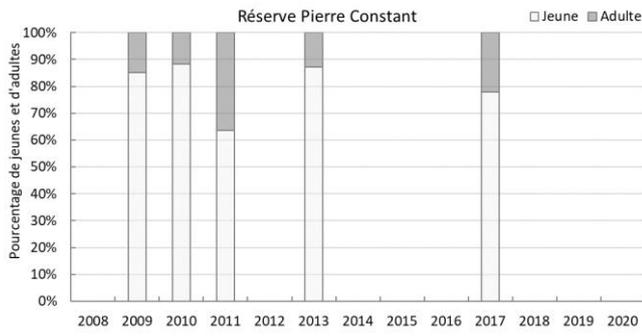
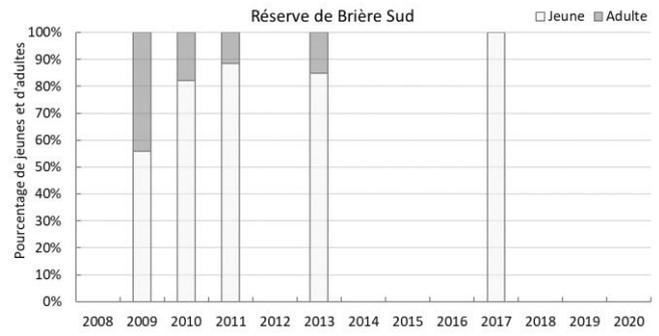
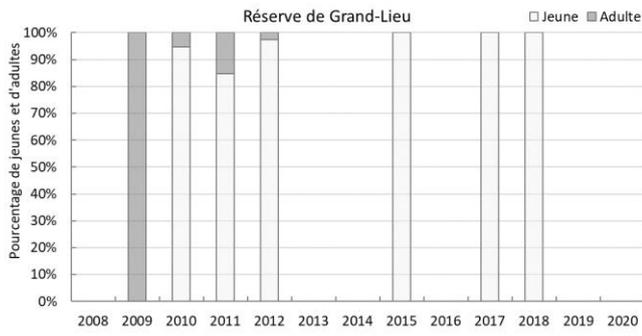
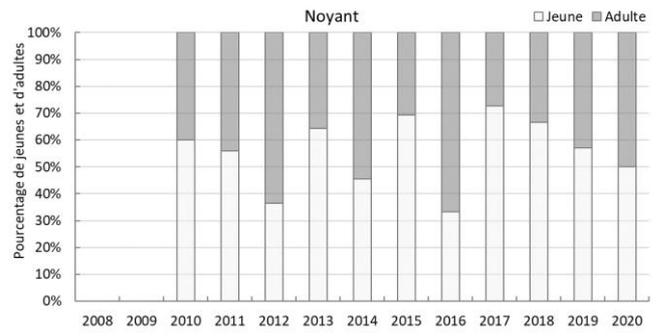
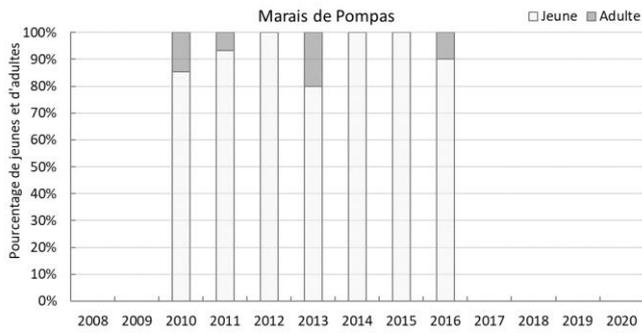
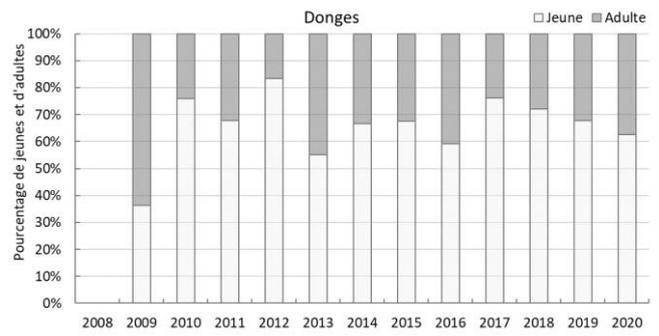
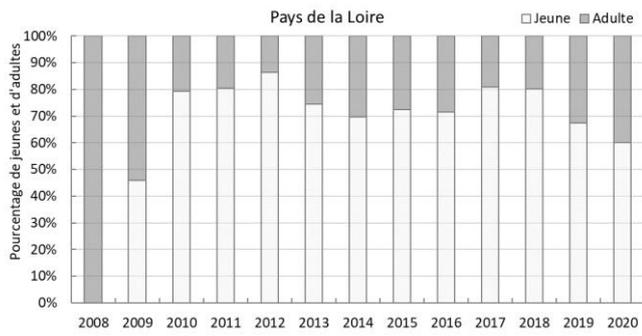


Figure 22 : Pourcentage annuel moyen de jeunes (blanc) et d'adulte (gris) par station

## 3.11 PHENOLOGIE

### 3.11.1 PHENOLOGIE MOYENNE PAR STATION

A l'échelle des Pays de la Loire, toutes années confondues, la date médiane de passage du Phragmite aquatique est le 16 août pour les deux classes d'âge réunies, le 17 août pour les jeunes et le 11 août pour les adultes. Sur la période de 2008 à 2020, le pic de passage des adultes est significativement plus tôt que les jeunes de 6 jours (Mann-Whitney U Test ; p-value < 0,05). La phénologie par classe d'âge a été calculée pour l'ensemble des stations.

Tableau 25 : Date médiane de passage par classe d'âge et par station du 1<sup>er</sup> au 31 août de 2008 à 2020

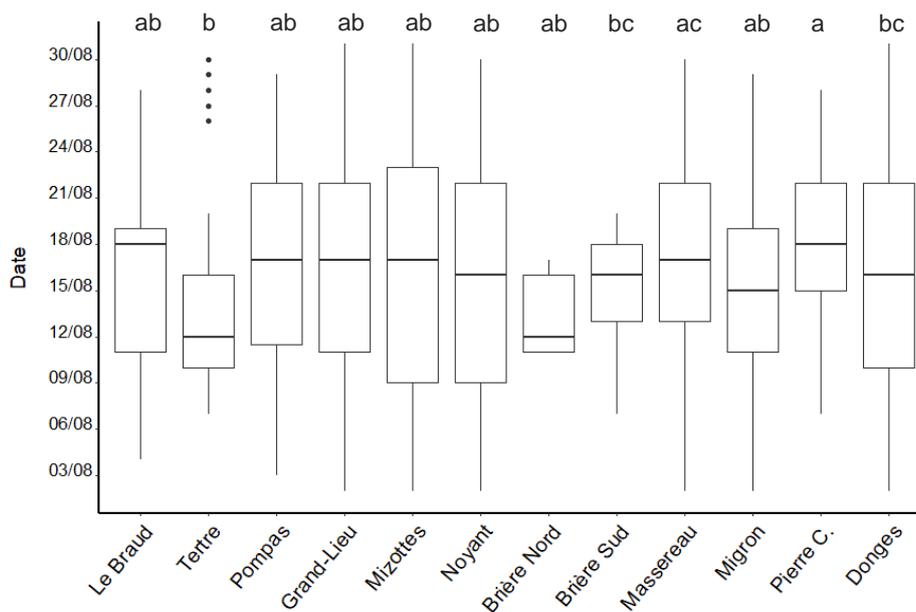
STATION	AGE	N	MIN	5%	25%	MEDIANE	75%	95%	MAX	MOYENNE	±SE	±SD
Pays de la Loire	Total	2740	1/8	4/8	11/8	<b>16/8</b>	20/8	28/8	31/8	15/8	0,1	6,9
	Jeune	2057	1/8	6/8	12/8	<b>17/8</b>	21/8	28/8	31/8	16/8	0,1	6,5
	Adulte	682	1/8	2/8	7/8	<b>11/8</b>	16/8	26/8	31/8	12/8	0,3	7,1
Digue des Prises	Total	4	13/8	13/8	21/8	<b>30/8</b>	30/8	30/8	30/8	25/8	4,3	8,5
	Jeune	4	13/8	13/8	21/8	<b>30/8</b>	30/8	30/8	30/8	25/8	4,3	8,5
	Adulte	0										
Digue du Maroc	Total	3	6/8	6/8	6/8	<b>6/8</b>	7/8	7/8	7/8	6/8	0,3	0,6
	Jeune	0										
	Adulte	3	6/8	6/8	6/8	<b>6/8</b>	7/8	7/8	7/8	6/8	0,3	0,6
Donges	Total	982	1/8	3/8	9/8	<b>15/8</b>	21/8	28/8	31/8	15/8	0,2	7,7
	Jeune	687	1/8	5/8	11/8	<b>17/8</b>	22/8	29/8	31/8	16/8	0,3	7,2
	Adulte	295	1/8	2/8	6/8	<b>11/8</b>	16/8	27/8	31/8	11/8	0,4	7,5
Douve du Grand Port	Total	0										
Etang des Mattes	Total	6	4/8	4/8	5/8	<b>9/8</b>	13/8	13/8	13/8	8/8	1,6	3,8
	Jeune	5	4/8	4/8	9/8	<b>9/8</b>	13/8	13/8	13/8	9/8	1,7	3,7
	Adulte	1	5/8	5/8	5/8	<b>5/8</b>	5/8	5/8	5/8	5/8		
Île Bernardeau	Total	0										
La Bourse Plate	Total	2	27/8	27/8	27/8	<b>27/8</b>	27/8	27/8	27/8	27/8	0,0	0,0
	Jeune	2	27/8	27/8	27/8	<b>27/8</b>	27/8	27/8	27/8	27/8	0,0	0,0
	Adulte	0										
La Clerciere	Total	3	17/8	17/8	17/8	<b>18/8</b>	21/8	21/8	21/8	18/8	1,2	2,1
	Jeune	2	17/8	17/8	17/8	<b>19/8</b>	21/8	21/8	21/8	19/8	2,0	2,8
	Adulte	1	18/8	18/8	18/8	<b>18/8</b>	18/8	18/8	18/8	18/8		
La Fosse aux Loups	Total	6	6/8	6/8	6/8	<b>7/8</b>	8/8	9/8	9/8	7/8	0,5	1,2
	Jeune	6	6/8	6/8	6/8	<b>7/8</b>	8/8	9/8	9/8	7/8	0,5	1,2
	Adulte	0										
La Grande Herse	Total	0										
Le Braud	Total	77	4/8	8/8	11/8	<b>18/8</b>	19/8	23/8	28/8	16/8	0,6	5,0
	Jeune	52	8/8	10/8	17/8	<b>18/8</b>	20/8	24/8	28/8	18/8	0,6	4,0
	Adulte	25	4/8	5/8	9/8	<b>11/8</b>	15/8	18/8	18/8	11/8	0,8	4,2
Le Carnet	Total	2	5/8	5/8	5/8	<b>5/8</b>	5/8	5/8	5/8	5/8	0,0	0,0
	Jeune	0										
	Adulte	2	5/8	5/8	5/8	<b>5/8</b>	5/8	5/8	5/8	5/8	0,0	0,0
Le Grand Bonhomme	Total	2	12/8	12/8	12/8	<b>12/8</b>	12/8	12/8	12/8	12/8	0,0	0,0
	Jeune	1	12/8	12/8	12/8	<b>12/8</b>	12/8	12/8	12/8	12/8		
	Adulte	1	12/8	12/8	12/8	<b>12/8</b>	12/8	12/8	12/8	12/8		
Le Tertre Rouge	Total	106	7/8	8/8	10/8	<b>12/8</b>	16/8	28/8	30/8	13/8	0,6	5,9
	Jeune	90	7/8	8/8	11/8	<b>12/8</b>	16/8	28/8	30/8	14/8	0,6	6,1
	Adulte	16	7/8	7/8	10/8	<b>10/8</b>	11/8	20/8	20/8	11/8	1,0	3,9
Les Polders	Total	9	19/8	19/8	19/8	<b>19/8</b>	20/8	20/8	20/8	19/8	0,2	0,5
	Jeune	8	19/8	19/8	19/8	<b>19/8</b>	20/8	20/8	20/8	19/8	0,2	0,5
	Adulte	1	19/8	19/8	19/8	<b>19/8</b>	19/8	19/8	19/8	19/8		
L'île Verte	Total	2	16/8	16/8	16/8	<b>17/8</b>	19/8	19/8	19/8	17/8	1,5	2,1

STATION	AGE	N	MIN	5%	25%	MEDIANE	75%	95%	MAX	MOYENNE	±SE	±SD
	Jeune	2	16/8	16/8	16/8	<b>17/8</b>	19/8	19/8	19/8	17/8	1,5	2,1
	Adulte	0										
Marais de Goulaine	Total	2	15/8	15/8	15/8	<b>17/8</b>	20/8	20/8	20/8	17/8	2,5	3,5
	Jeune	0										
	Adulte	2	15/8	15/8	15/8	<b>17/8</b>	20/8	20/8	20/8	17/8	2,5	3,5
Marais de la Seilleraye	Total	3	15/8	15/8	15/8	<b>15/8</b>	16/8	16/8	16/8	15/8	0,3	0,6
	Jeune	3	15/8	15/8	15/8	<b>15/8</b>	16/8	16/8	16/8	15/8	0,3	0,6
	Adulte	0										
Marais de Mazerolles	Total	4	8/8	8/8	8/8	<b>9/8</b>	10/8	12/8	12/8	9/8	0,9	1,7
	Jeune	2	9/8	9/8	9/8	<b>10/8</b>	12/8	12/8	12/8	10/8	1,5	2,1
	Adulte	2	8/8	8/8	8/8	<b>8/8</b>	9/8	9/8	9/8	8/8	0,5	0,7
Marais de Pompas	Total	79	3/8	5/8	11/8	<b>17/8</b>	22/8	28/8	29/8	16/8	0,7	6,3
	Jeune	71	3/8	6/8	12/8	<b>17/8</b>	22/8	28/8	29/8	16/8	0,7	6,3
	Adulte	8	5/8	5/8	9/8	<b>16/8</b>	19/8	24/8	24/8	14/8	2,3	6,5
Mizottes de Triaize	Total	392	1/8	3/8	9/8	<b>17/8</b>	22/8	29/8	31/8	15/8	0,4	7,9
	Jeune	313	1/8	3/8	11/8	<b>18/8</b>	23/8	29/8	31/8	17/8	0,4	7,4
	Adulte	79	1/8	1/8	6/8	<b>9/8</b>	15/8	30/8	31/8	11/8	0,9	8,1
Noyant	Total	119	2/8	5/8	10/8	<b>17/8</b>	23/8	28/8	30/8	16/8	0,7	7,6
	Jeune	70	3/8	6/8	12/8	<b>18/8</b>	25/8	27/8	30/8	17/8	0,8	7,1
	Adulte	49	2/8	5/8	8/8	<b>11/8</b>	19/8	28/8	29/8	13/8	1,1	7,6
Pointe d'Arcay	Total	0										
Polder Sébastopol	Total	8	11/8	11/8	14/8	<b>16/8</b>	20/8	22/8	22/8	16/8	1,4	4,0
	Jeune	8	11/8	11/8	14/8	<b>16/8</b>	20/8	22/8	22/8	16/8	1,4	4,0
	Adulte	0										
Pont de l'Alleud	Total	2	15/8	15/8	15/8	<b>16/8</b>	17/8	17/8	17/8	16/8	1,0	1,4
	Jeune	2	15/8	15/8	15/8	<b>16/8</b>	17/8	17/8	17/8	16/8	1,0	1,4
	Adulte	0										
Réserve de Brière Nord	Total	9	11/8	11/8	11/8	<b>12/8</b>	16/8	17/8	17/8	13/8	0,9	2,7
	Jeune	5	11/8	11/8	12/8	<b>16/8</b>	17/8	17/8	17/8	14/8	1,3	2,9
	Adulte	4	11/8	11/8	11/8	<b>11/8</b>	12/8	13/8	13/8	11/8	0,5	1,0
Réserve de Brière Sud	Total	238	7/8	9/8	13/8	<b>16/8</b>	18/8	20/8	20/8	15/8	0,2	3,5
	Jeune	192	7/8	10/8	14/8	<b>17/8</b>	19/8	20/8	20/8	16/8	0,2	3,3
	Adulte	45	8/8	9/8	10/8	<b>13/8</b>	15/8	18/8	19/8	12/8	0,4	3,0
Réserve de Grand-Lieu	Total	139	1/8	3/8	10/8	<b>17/8</b>	22/8	30/8	31/8	16/8	0,7	7,9
	Jeune	120	1/8	7/8	11/8	<b>18/8</b>	22/8	30/8	31/8	17/8	0,7	7,7
	Adulte	19	1/8	1/8	5/8	<b>11/8</b>	13/8	27/8	27/8	10/8	1,7	7,2
Réserve du Massereau	Total	324	1/8	5/8	13/8	<b>17/8</b>	22/8	27/8	30/8	16/8	0,4	6,4
	Jeune	237	2/8	6/8	14/8	<b>18/8</b>	22/8	27/8	30/8	17/8	0,4	6,1
	Adulte	87	1/8	3/8	11/8	<b>14/8</b>	21/8	26/8	30/8	15/8	0,8	7,1
Réserve du Migron	Total	76	2/8	7/8	11/8	<b>15/8</b>	19/8	26/8	29/8	15/8	0,7	5,7
	Jeune	62	2/8	9/8	11/8	<b>16/8</b>	20/8	26/8	29/8	16/8	0,7	5,6
	Adulte	14	6/8	6/8	7/8	<b>10/8</b>	15/8	19/8	19/8	11/8	1,2	4,5
Réserve Pierre Constant	Total	132	7/8	10/8	15/8	<b>18/8</b>	22/8	26/8	28/8	18/8	0,4	4,6
	Jeune	107	9/8	11/8	15/8	<b>19/8</b>	22/8	27/8	28/8	18/8	0,4	4,5
	Adulte	25	7/8	9/8	14/8	<b>16/8</b>	20/8	23/8	23/8	16/8	0,9	4,5
Touche Robin	Total	6	10/8	10/8	14/8	<b>17/8</b>	20/8	20/8	20/8	16/8	1,6	3,9
	Jeune	5	10/8	10/8	14/8	<b>18/8</b>	20/8	20/8	20/8	16/8	1,9	4,3
	Adulte	1	17/8	17/8	17/8	<b>17/8</b>	17/8	17/8	17/8	17/8		
Tourbières de France	Total	3	10/8	10/8	10/8	<b>11/8</b>	20/8	20/8	20/8	13/8	3,2	5,5
	Jeune	1	20/8	20/8	20/8	<b>20/8</b>	20/8	20/8	20/8	20/8		
	Adulte	2	10/8	10/8	10/8	<b>10/8</b>	11/8	11/8	11/8	10/8	0,5	0,7

### 3.11.2 COMPARAISON DE LA PHENOLOGIE

Pour l'ensemble des classes d'âge (jeunes et adultes), le modèle GLS indique une différence significative de la date médiane de passage entre les stations (df= 11 ; F-value = 3,20 ; p-value = 0,0002). En effet, sur le graphique présenté en Figure 23, la date médiane de la station du Tertre Rouge (12/8) apparaît comme étant significativement plus tôt que celle de la Réserve du Massereau (17/8) et de la Réserve Pierre Constant (18/8).

Figure 23 : Comparaison de la phénologie pour les jeunes et les adultes



Pour les jeunes, le modèle GLS indique une différence significative de la date médiane de passage entre les stations (df= 11 ; F-value = 2,66 ; p-value = 0,0022). En effet, sur le graphique présenté en Figure 24, la date médiane à la station du Tertre Rouge (12/8) apparaît comme étant significativement plus tôt que celle des stations le Braud (18/8), de la Réserve de Grand-Lieu (18/8), de Mizottes de Triaize (18/8), de la Réserve du Massereau (18/8), de la Réserve Pierre Constant (19/8).

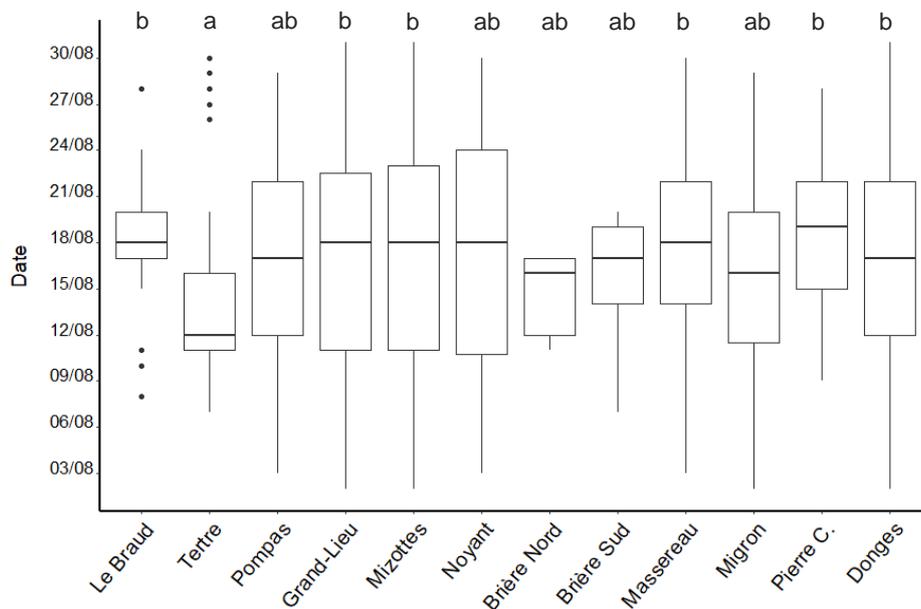


Figure 24 : Comparaison de la phénologie pour les jeunes

Pour les adultes, le modèle GLS indique une différence significative de la date médiane de passage entre les stations (df= 11 ; F-value = 2,58 ; p-value = 0,0033). En effet, sur le graphique présenté en Figure 25, les dates médianes de la station de Mizottes de Triaize (09/8) et de Donges (10/8) apparaissent comme étant significativement plus tôt que celles de la Réserve du Massereau (14/8), de la Réserve Pierre Constant (16/8).

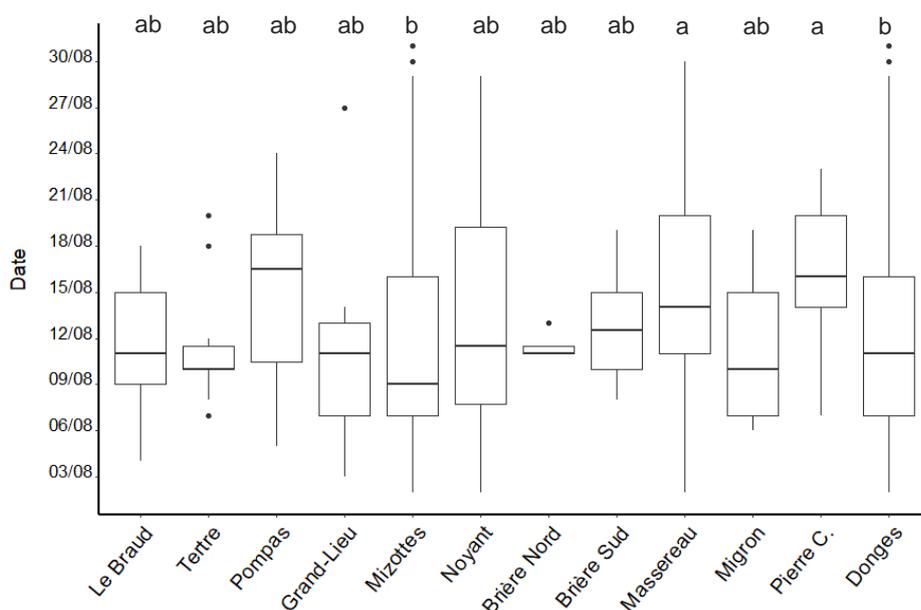


Figure 25 : Comparaison de la phénologie pour les adultes

### 3.11.3 EVOLUTION DE LA PHENOLOGIE

Les dates médianes de passage montrent une variabilité interannuelle significative à l'échelle des Pays de la Loire pour les deux classes d'âge réunies (total) et pour les jeunes. Cette variabilité interannuelle de la date médiane de passage se retrouve également sur la station de Noyant (total), Réserve de Brière Sud (total et adultes), Réserve de Grand-Lieu (total et jeunes), Réserve du Massereau (total et adultes) et la Réserve Pierre Constant (total, jeunes et adultes). Cependant, seule la Réserve de Grand-Lieu montre une tendance significative avec une avancée de la date médiane de passage de 6,6 jours (taux d'évolution annuelle = -0,73 ;  $\pm$  0,32 SE) pour les deux classes d'âge réunies et de 9,6 jours (taux d'évolution annuelle = -1,20 ;  $\pm$  0,32 SE) pour les jeunes entre 2008 et 2020 (Tableau 26). Pour l'ensemble des stations, les dates médianes de passage des adultes sont pour la quasi-totalité des années plus tôt que celles des jeunes (Figure 26).

Tableau 26 : Évolution annuelle de la date médiane de passage par classe d'âge et par station

STATIONS	AGE	GLS				REGRESSION LINEAIRE							
		DF	F-value	p-value		N	Evolution annuelle (jour)	$\pm$ SE	IC -95%	IC +95%	R <sup>2</sup>	p-value	
Pays de la Loire	Total	12	2,00	<b>0,0045</b>	<b>**</b>	2740	-0,05	0,04	-0,14	0,03	0,00	0,2415	n.s.
	Jeune	11	2,00	<b>0,0194</b>	<b>*</b>	2057	-0,08	0,05	-0,18	0,02	0,00	0,1072	n.s.
	Adulte	12	1,00	0,1585	n.s.	682	-0,09	0,08	-0,25	0,06	0,00	0,2395	n.s.
Donges	Total	11	0,00	0,9751	n.s.	982	0,09	0,07	-0,05	0,23	0,00	0,2120	n.s.
	Jeune	11	1,00	0,8264	n.s.	687	0,09	0,08	-0,07	0,26	0,00	0,2684	n.s.
	Adulte	11	0,00	0,9924	n.s.	295	0,02	0,12	-0,21	0,25	0,00	0,8757	n.s.
Marais de Pompas	Total	6	1,00	0,3736	n.s.	79	0,93	0,34	0,24	1,61	0,09	0,0086	<b>**</b>
	Jeune	6	1,00	0,2687	n.s.	71	0,92	0,36	0,19	1,64	0,08	0,0143	<b>*</b>
	Adulte	3	2,00	0,3364	n.s.	8	0,88	1,15	-1,94	3,7	0,09	0,4742	n.s.
Noyant	Total	10	3,00	<b>0,005</b>	<b>**</b>	119	0,11	0,24	-0,36	0,58	0,00	0,6338	n.s.
	Jeune	10	1,00	0,2363	n.s.	70	-0,09	0,29	-0,68	0,49	0,00	0,7456	n.s.
	Adulte	10	1,00	0,5545	n.s.	49	0,31	0,37	-0,44	1,06	0,01	0,4079	n.s.
R. de Brière Sud	Total	4	5,00	<b>0,0012</b>	<b>**</b>	238	-0,17	0,1	-0,36	0,02	0,01	0,0767	n.s.
	Jeune	4	2,00	0,1206	n.s.	192	-0,36	0,09	-0,54	-0,17	0,07	0,0002	<b>***</b>
	Adulte	3	3,00	<b>0,0291</b>	<b>*</b>	45	-0,07	0,34	-0,76	0,61	0,00	0,8314	n.s.
R. de Grand-Lieu	Total	6	8,00	<b>&lt;0,0001</b>	<b>***</b>	139	<b>-0,73</b>	0,32	-1,35	-0,1	0,04	<b>0,0230</b>	<b>*</b>
	Jeune	5	13,00	<b>&lt;0,0001</b>	<b>***</b>	120	<b>-1,20</b>	0,32	-1,83	-0,58	0,11	<b>0,0002</b>	<b>***</b>
	Adulte	3	1,00	0,2765	n.s.	19	-1,41	1,59	-4,77	1,95	0,04	0,3876	n.s.
R. du Massereau	Total	12	6,00	<b>&lt;0,0001</b>	<b>***</b>	324	-0,10	0,10	-0,30	0,10	0,00	0,3270	n.s.
	Jeune	11	1,00	0,5155	n.s.	237	-0,21	0,12	-0,46	0,03	0,01	0,0853	n.s.
	Adulte	12	4,20	<b>0,0001</b>	<b>***</b>	87	-0,25	0,21	-0,67	0,17	0,02	0,2437	n.s.
R. Pierre Constant	Total	4	9,00	<b>&lt;0,0001</b>	<b>***</b>	132	-0,18	0,14	-0,47	0,10	0,01	0,1975	n.s.
	Jeune	4	4,00	<b>0,0071</b>	<b>**</b>	107	-0,12	0,16	-0,44	0,19	0,01	0,4290	n.s.
	Adulte	4	4,72	<b>0,0076</b>	<b>**</b>	25	-0,38	0,31	-1,03	0,26	0,06	0,2288	n.s.

Niveau de significativité p-value (n.s. : non significatif,  $p > 0.05$  ; \* :  $p < 0.05$  ; \*\* :  $p < 0.01$  ; \*\*\* :  $p < 0.001$ )

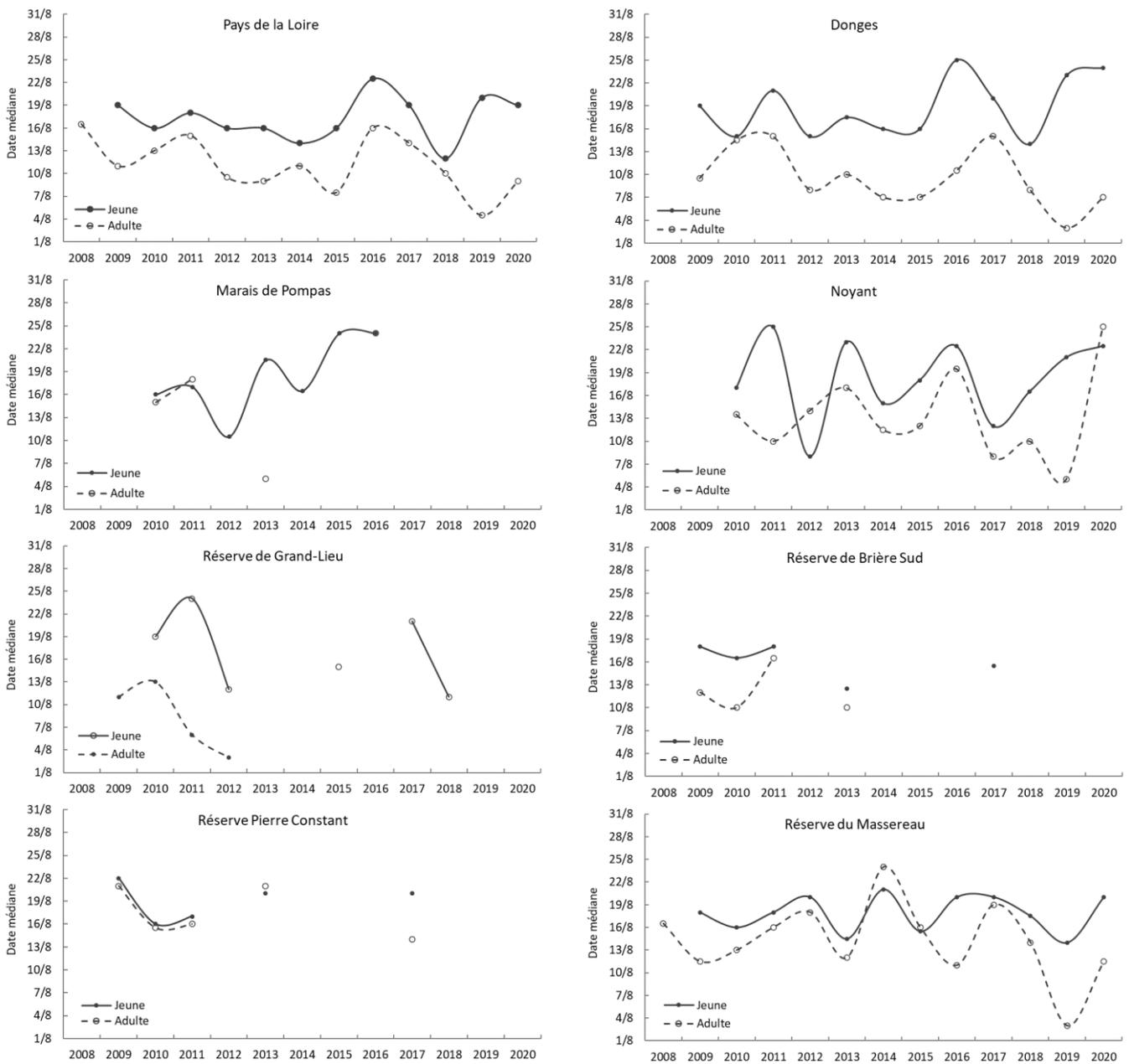


Figure 26 : Évolution de la date médiane de passage par classe d'âge et par station

La station de Donges peut servir de référence en termes d'évolution de la phénologie de l'espèce car cette station est ouverte en moyenne de fin juillet à mi-septembre. Les tableaux suivants montrent les différences de dates moyennes de passages et de la significativité de leurs évolutions en fonction de la période sélectionnée (Tableau 27 ; Tableau 28). La période du 1<sup>er</sup> au 31 août est sélectionnée pour limiter le biais de comparaison aux autres stations. Cependant, il est possible d'améliorer la précision de la phénologie pour la station de Donges en élargissant la période d'étude pour cette station du 22 juillet au 12 septembre. Cette période est commune à la totalité des années à quelques jours près et représente le compromis le plus cohérent pour sélectionner la période d'étude la plus longue en gardant le maximum de jours de baguage et d'années. Sur cette seconde période d'étude, une tendance significative apparaît pour les jeunes avec un retard de la date médiane de passage de 0,22 jour ( $\pm 0,10$  SE ; N = 752 ;  $p$ -value > 0,05) par année, soit un décalage de 2,6 jours plus tard entre 2008 et 2020. Bien que ce résultat soit significatif, il est proche du seuil de significativité et il semble cohérent qu'en réduisant la période d'étude, cette évolution n'apparaisse plus significative.

Tableau 27 : Évolution annuelle des dates moyennes de passage par classe d'âge pour la station de Donges

STATION	AGE	N	EVOLUTION ANNUELLE (JOUR)	±SE	IC -95%	IC +95%	R <sup>2</sup>	P-VALUE
Donges (01/08 au 31/08)	Total	982	0,09	0,07	-0,05	0,23	0,00	0,212 n.s.
	Jeune	687	0,09	0,08	-0,07	0,26	0,00	0,2684 n.s.
	Adulte	295	0,02	0,12	-0,21	0,25	0,00	0,8757 n.s.
Donges (22/07 au 12/09)	Total	1093	0,15	0,08	-0,01	0,32	0,00	0,0670 n.s.
	Jeune	752	<b>0,22</b>	0,10	0,03	0,41	0,01	0,0234 *
	Adulte	341	-0,04	0,14	-0,31	0,24	0,00	0,7854 n.s.

Niveau de significativité p-value (n.s. : non significatif,  $p > 0,05$  ; \* :  $p < 0,05$  ; \*\* :  $p < 0,01$  ; \*\*\* :  $p < 0,001$ )

Tableau 28 : Phénologie moyenne 2008-2020 par classe d'âge de la station de Donges sur la période totale et la période du 1<sup>er</sup> au 31 août

STATION	AGE	N	MIN	5%	25%	MEDIANE	75%	95%	MAX	MOYENNE	±SD	±SE
Donges (01/08 au 31/08)	Total	982	1/8	3/8	9/8	<b>15/8</b>	21/8	28/8	31/8	<b>15/8</b>	7,7	0,2
	Jeune	687	1/8	5/8	11/8	<b>17/8</b>	22/8	29/8	31/8	<b>16/8</b>	7,2	0,3
	Adulte	295	1/8	2/8	6/8	<b>11/8</b>	16/8	27/8	31/8	<b>11/8</b>	7,5	0,4
Donges (22/07 au 12/09)	Total	1104	21/7	1/8	9/8	<b>16/8</b>	22/8	2/9	17/9	<b>15/8</b>	9,9	0,3
	Jeune	762	26/7	4/8	12/8	<b>18/8</b>	24/8	3/9	17/9	<b>18/8</b>	9,2	0,3
	Adulte	342	21/7	28/7	4/8	<b>9/8</b>	16/8	29/8	11/9	<b>10/8</b>	9,6	0,5

## 3.12 HALTE MIGRATOIRE

### 3.12.1 DUREE MINIMALE DE HALTE MIGRATOIRE

A l'échelle des Pays de la Loire, la durée minimale de halte (MSL) moyenne est de 4,0 jours ( $\pm 0,28$  SE) sur la période de 2008 à 2020 (Tableau 29). Les stations ayant le plus de données, à savoir Donges, Mizottes de Triaize et la Réserve du Massereau, montrent des résultats très similaires, entre 4,1 et 4,3 jours. Les autres stations possèdent un nombre de données trop faible pour être comparé. Les stations ayant un nombre de données suffisant par année sont présentées en Figure 27. Les stations des Pays de la Loire et de Donges montrent une certaine stabilité de la durée de halte minimale. Les stations de Noyant et de la Réserve du Massereau montrent une plus grande variabilité de la durée de halte. Ces différences sont directement influencées par le nombre de données disponible par année et par station.

Tableau 29 : Durée minimale de halte moyenne

Station	N	MSL moyen (jour)	SE	SD
<b>Pays de la Loire</b>	151	4,0	0,28	1,0
Donges	83	4,1	0,43	1,4
La Fosse aux Loups	1	2,0		
Le Braud	2	3,0		
Le Tertre Rouge	3	3,3	0,25	0,4
Marais de Pompas	6	3,8	1,01	2,0
Mizottes de Triaize	20	4,2	0,58	1,2
Noyant	11	3,0	0,63	1,7
Polder Sébastopol	1	3,0		
R. de Brière Sud	1	7,0		
R. de Grand-Lieu	1	7,0		
R. du Massereau	16	4,3	0,74	2,1
R. du Migron	4	5,3		
R. Pierre Constant	4	5,0		

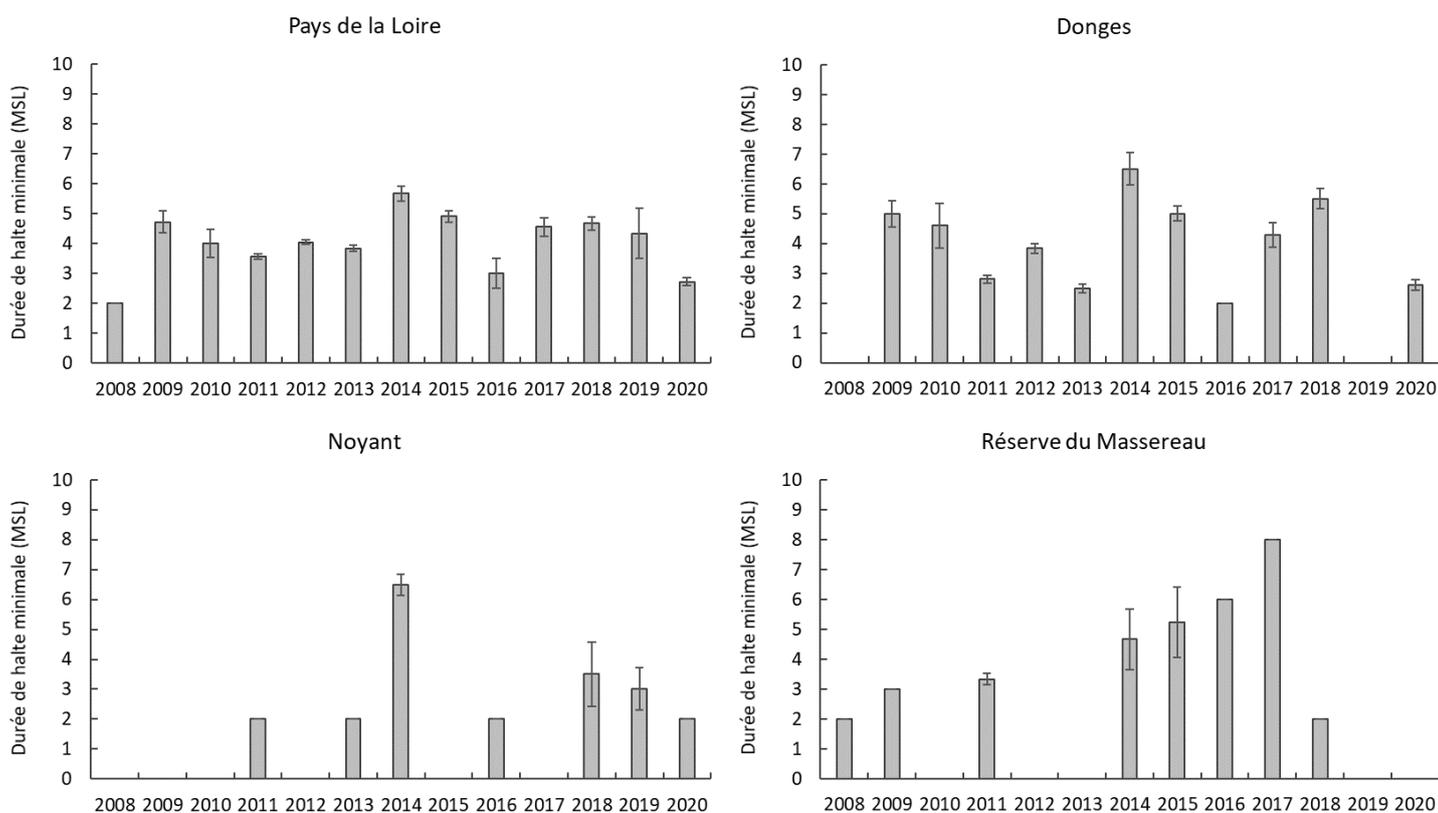


Figure 27 : Durée minimale de halte (MSL) par année et par station

### 3.12.2 ESTIMATION DE LA DUREE DE HALTE PAR CAPTURE-MARQUAGE-RECAPTURE

Le nombre de données de Phragmites aquatiques capturés au moins deux fois sur la même année sur la même station étant limité, les analyses par CMR n'ont pu être réalisées que sur les stations de Donges et de la Réserve du Massereau pour les années 2011, 2012, 2014 et 2015. De plus, les données utilisées ont été sélectionnées sur l'ensemble des protocoles dont les données de linéaire de filet étaient disponibles, à savoir ACROLA, SEJOUR, HALTE et AXE 2. Le Tableau 31 synthétise les meilleurs modèles CJS et Pradel dont l'AICc est supérieur à zéro. Il y avait une incertitude dans la sélection des modèles pour un effet station et/ou un effet de la pression de capture. Les résultats obtenus par *model averaging* étaient cependant quasiment identiques aux estimations des modèles les plus parcimonieux (détails en Annexe 4). Par souci de simplicité, les estimations des durées de halte ont été dérivées de ces modèles.

La durée de halte migratoire du Phragmite aquatique estimée par CMR varie de 2,8 jours (IC95% 1,7-5,2) à 11,0 jours (IC95% 4,2-31,3) entre les années. Les modèles sélectionnés n'ont pas montré d'effet station indiquant une durée de halte similaire entre la station de Donges et de la Réserve du Massereau. Les estimations de durée de halte sont environ deux fois plus élevées en 2014 et 2015 qu'en 2011 et 2012. En moyenne, la durée de halte du Phragmite aquatique est de 6,9 jours (IC95% 3,5-15,6).

Tableau 30 : Estimation de la durée de halte migratoire par CMR

ANNEE	STATION	DUREE DE HALTE (JOUR)	[IC 95%]	TAUX DE RECAPTURE (%)	[IC 95%]
2011	Donges/Massereau	2,8	[1,7 - 5,2]	7,4%	[2,9 - 17,6]
2012	Donges	4,2	[2,5 - 7,6]	5,2%	[2,2 - 11,8]
2014	Donges/Massereau	11,0	[4,2 - 31,3]	2,0%	[0,6 - 5,9]
2015	Donges/Massereau	8,5	[5,1 - 14,5]	4,3%	[2,1 - 8,8]
	Moyenne	6,9	[3,5 - 15,6]	5,0%	[2 - 11,9]

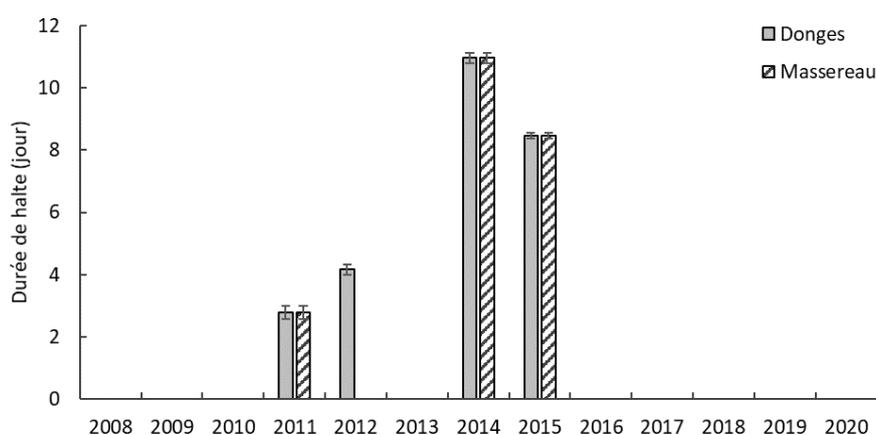


Figure 28 : Estimation de la durée de halte par CMR

Tableau 31 : Sélection des modèles CJS et PRADEL pour estimer les probabilités de survie locale et d'antériorité

ANNEE	SITE	MODELE	AICc	$\Delta$ AICc	POIDS AICc	VRAISEMBLANCE DU MODELE	K	DEVIANCE
2011	Donges, Massereau	$\phi_{(.)} p_{r(.)}$	130,71	0,00	0,29	1,00	2	69,77
		$\phi_{(g)} p_{r(g)} *FS$	130,91	0,20	0,26	0,90	4	65,83
		$\phi_{(.)} p_{r(g)} *FS$	131,74	1,03	0,17	0,60	4	66,65
		$\phi_{(.)} p_{r(g)}$	132,58	1,87	0,11	0,39	3	69,57
		$\phi_{(g)} p_{r(.)}$	132,71	2,00	0,11	0,37	3	69,71
		$\phi_{(g)} p_{r(g)}$	133,78	3,07	0,06	0,22	4	68,70
		$\gamma_{(.)} p_{(.)}$	131,92	0,00	0,33	1,00	2	-1017,87
		$\gamma_{(g)} p_{(g)} *FS$	132,91	0,99	0,20	0,61	4	-1021,03
		$\gamma_{(.)} p_{(g)}$	133,53	1,61	0,15	0,45	3	-1018,32
		$\gamma_{(.)} p_{(g)} *FS$	133,62	1,70	0,14	0,43	4	-1020,31
2012	Donges	$\phi_{(.)} p_{r(.)} *FS$	138,06	0,00	0,51	1,00	3	67,01
		$\phi_{(.)} p_{r(.)}$	138,12	0,06	0,49	0,97	2	69,14
		$\phi_{(.)} p_{r(t)}$	181,14	43,08	0,00	0,00	31	40,15
		$\phi_{(t)} p_{r(.)}$	189,76	51,70	0,00	0,00	31	48,77
		$\phi_{(g)} p_{r(.)}$	269,53	131,47	0,00	0,00	59	23,96
		$\gamma_{(.)} p_{(.)}$	136,89	0,00	0,70	1,00	2	-967,21
		$\gamma_{(.)} p_{(.)} *FS$	138,61	1,72	0,30	0,42	3	-967,56
		$\gamma_{(.)} p_{(t)}$	177,74	40,86	0,00	0,00	31	-998,16
2014	Donges, Massereau	$\phi_{(.)} p_{r(.)}$	85,40	0,00	0,30	1,00	2	56,01
		$\phi_{(.)} p_{r(g)} *FS$	85,64	0,24	0,26	0,89	4	51,94
		$\phi_{(.)} p_{r(g)}$	86,63	1,24	0,16	0,54	3	55,11
		$\phi_{(g)} p_{r(.)}$	87,47	2,07	0,11	0,36	3	55,94
		$\phi_{(g)} p_{r(g)} *FS$	87,48	2,09	0,10	0,35	5	51,56
		$\phi_{(g)} p_{r(g)}$	88,33	2,93	0,07	0,23	4	54,63
		$\gamma_{(.)} p_{(g)} *FS$	83,86	0,00	0,33	1,00	4	-477,50
		$\gamma_{(.)} p_{(.)}$	84,46	0,60	0,25	0,74	2	-472,60
		$\gamma_{(.)} p_{(g)}$	85,54	1,68	0,14	0,43	3	-473,65
		$\gamma_{(g)} p_{(g)} *FS$	85,77	1,91	0,13	0,38	5	-477,82
2015	Donges, Massereau	$\phi_{(.)} p_{r(g)} *FS$	230,86	0,00	0,51	1,00	4	153,96
		$\phi_{(g)} p_{r(g)} *FS$	231,43	0,58	0,39	0,75	5	152,42
		$\phi_{(.)} p_{r(.)}$	235,65	4,79	0,05	0,09	2	162,91
		$\phi_{(.)} p_{r(g)}$	237,29	6,43	0,02	0,04	3	162,48
		$\phi_{(g)} p_{r(.)}$	237,59	6,73	0,02	0,03	3	162,78
		$\phi_{(g)} p_{r(g)}$	237,98	7,13	0,01	0,03	4	161,08
		$\gamma_{(.)} p_{(g)} *FS$	227,72	0,00	0,48	1,00	4	-717,48
		$\gamma_{(g)} p_{(g)} *FS$	227,96	0,24	0,43	0,89	5	-719,35
		$\gamma_{(.)} p_{(.)}$	232,77	5,05	0,04	0,08	2	-708,27
		$\gamma_{(g)} p_{(.)}$	234,33	6,61	0,02	0,04	3	-708,78
$\gamma_{(g)} p_{(g)}$	234,65	6,92	0,02	0,03	4	-710,55		
$\gamma_{(.)} p_{(g)}$	234,69	6,97	0,01	0,03	3	-708,42		

Abréviations : AICc = Critère d'Information d'Akaike corrigé ;  $\Delta$ AICc : différence en valeur d'AIC entre chaque modèle et le meilleur modèle ; K = nombre de paramètres ; termes :  $\phi$  = survie,  $\gamma$  = antériorité, pr = probabilité de recapture ; pc = probabilité de capture ; effets : (g) = Donges vs Massereau ; (.) = constant dans le temps ; (t) = variable dans le temps ; (\*FS) = linéaire de filet. Seuls les meilleurs modèles sont présentés, tous les autres modèles testés avaient un poids d'AICc nul.

### 3.12.3 TAUX D'ENGRAISSMENT

Le nombre de jours entre la première et la dernière capture varie entre 2 et 15 jours (moyenne 4,1 jours  $\pm 0,26$  SE ; médiane = 4,0 ; N = 94). La différence de masse entre la première et la dernière capture varie entre -2,6 et 5 g (moyenne 1,1 g  $\pm 0,13$  SE ; N = 94). Le modèle de régression multiple indique une prise de masse significative du Phragmite aquatique pendant ses haltes migratoires à l'échelle des Pays de la Loire ( $R^2_{adj.} = 0,48$  ;  $F_{2;92} = 43,84$  ;  $p\text{-value} < 0,0001$ ). L'effet de l'âge sur le FDR est significatif ( $p\text{-value} = 0,00026$  ; Figure 29). Le FDR moyen est de 0,31 g.jour<sup>-1</sup> ( $\pm 0,04$  SE) pour les adultes et de 0,18 g.jour<sup>-1</sup> ( $\pm 0,04$  SE) pour les jeunes. Ces taux d'engraissement représentent une accumulation de 2,12% de la masse corporelle maigre (LBM) chez les jeunes et de 3,65% chez les adultes. Le FDR n'est cependant pas influencé par la date de première capture des individus ( $p\text{-value} > 0,05$  ; Figure 30) ni par l'indice de masse corporelle initiale IBMI ( $p\text{-value} > 0,05$  ; Figure 31). Autrement dit, les individus s'engraissent de la même façon tout au long de la saison de migration peu importe leur condition corporelle à leur arrivée sur le site de halte.

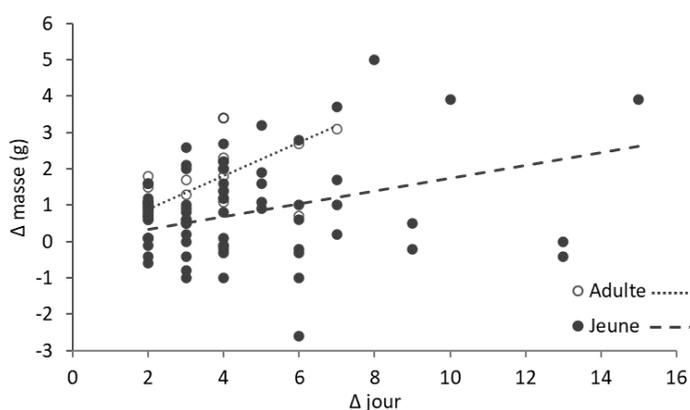


Figure 29 :  $\Delta$ Masse en fonction de  $\Delta$ Jour par classe d'âge (toutes années et toutes stations confondues)

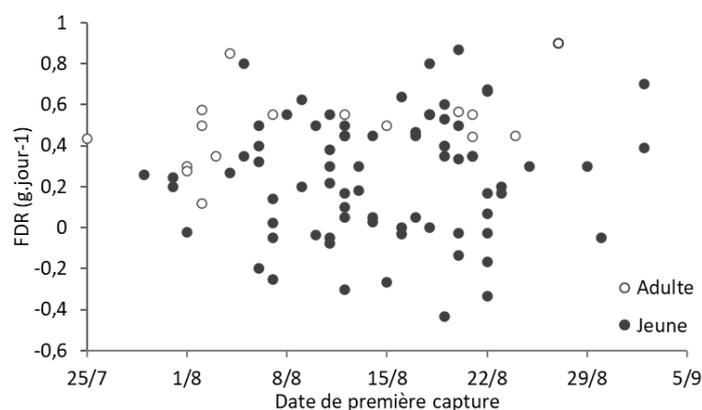


Figure 30 : Relation entre FDR (Fuel Deposition Rate) et date de première capture (toutes années et toutes stations confondues)

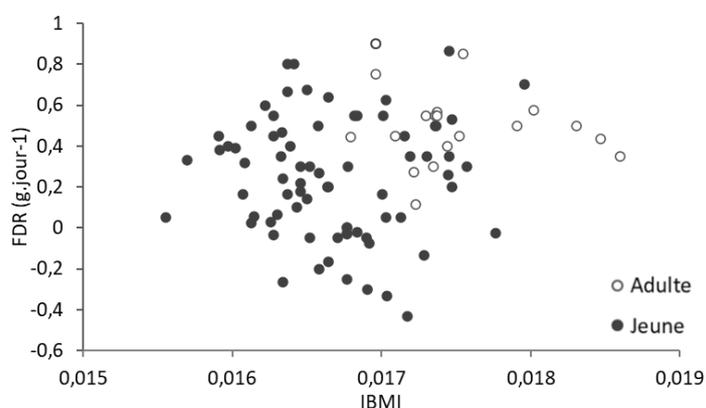


Figure 31 : Relation entre FDR (Fuel Deposition Rate) et IBMI (Initial Body Mass Index), toutes années et stations confondues

En utilisant seulement les données des stations de Donges, de la Réserve du Massereau et de Mizottes de Triaize pour ajouter un effet « station », le modèle indique également une prise de masse significative du Phragmite aquatique ( $R^2_{adj.} = 0,49$  ;  $F_{2;73} = 36,08$  ;  $p\text{-value} < 0,0001$ ). Comme précédemment, l'effet de l'âge sur le FDR est significatif ( $p\text{-value} = 0,0003$ ) et la date de première capture n'influence pas le FDR ( $p\text{-value} > 0,05$ ). L'effet station ajouté n'est pas significatif ( $p\text{-value} > 0,05$ ), autrement dit, il n'y a pas de différence de taux d'engraissement des individus à Donges, à la Réserve du Massereau et à Mizottes de Triaize (Tableau 32 ; Figure 32). Cependant, compte tenu du faible nombre de données disponibles pour la station du Massereau (N=11) et pour Mizottes de Triaize (N=16), il est possible que l'effet station ne soit pas détecté, bien que les valeurs calculées séparément par station semblent très proches. En effet, analysé séparément par régression multiple, le FDR moyen à Donges est de  $0,29 \text{ g.jour}^{-1}$  ( $\pm 0,05 \text{ SE}$ ) pour les adultes et de  $0,17 \text{ g.jour}^{-1}$  ( $\pm 0,04 \text{ SE}$ ) pour les jeunes. A la Réserve du Massereau, le FDR moyen est de  $0,28 \text{ g.jour}^{-1}$  ( $\pm 0,05 \text{ SE}$ ) pour les adultes et de  $0,12 \text{ g.jour}^{-1}$  ( $\pm 0,04 \text{ SE}$ ) pour les jeunes. A Mizottes de Triaize, les données ne permettent pas de détecter un effet de l'âge et indique un FDR moyen de  $0,28 \text{ g.jour}^{-1}$  ( $\pm 0,10 \text{ SE}$ ) bien que le FDR moyen calculé par la moyenne des FDR de chaque individu indique  $0,30 \text{ g.jour}^{-1}$  ( $\pm 0,11 \text{ SE}$ ) pour les jeunes et  $0,59 \text{ g.jour}^{-1}$  ( $\pm 0,09 \text{ SE}$ ) pour les adultes.

Tableau 32 : Taux d'engraissement (FDR) moyen par classe d'âge et par site et % de la masse corporelle maigre (LBM)

ESPECES	N	AGE	FDR (G.J <sup>-1</sup> )	± ES	IC -95	IC +95	P-VALUE	% DE LBM	
Pays de la Loire	75	Jeune	<b>0,18</b>	0,04	0,10	0,25	0,00026	***	2,12%
	19	Adulte	<b>0,31</b>	0,04	0,24	0,39	< 0,0001	***	3,65%
Donges	37	Jeune	<b>0,17</b>	0,05	0,06	0,28	0,029256	*	2,00%
	11	Adulte	<b>0,29</b>	0,05	0,18	0,40	< 0,0001	***	3,41%
Massereau	9	Jeune	<b>0,12</b>	0,05	0,00	0,24	0,00026	***	1,41%
	2	Adulte	<b>0,28</b>	0,05	0,16	0,40	< 0,0001	***	3,29%
Mizottes de Triaize	12	Jeune	<b>0,28</b>	0,10	0,08	0,49	< 0,0001	***	3,34%
	4	Adulte	<b>0,28</b>	0,10	0,08	0,49	< 0,0001	***	3,34%

Niveau de significativité p-value (n.s. : non significatif,  $p > 0,05$  ; \* :  $p < 0,05$  ; \*\* :  $p < 0,01$  ; \*\*\* :  $p < 0,001$ )

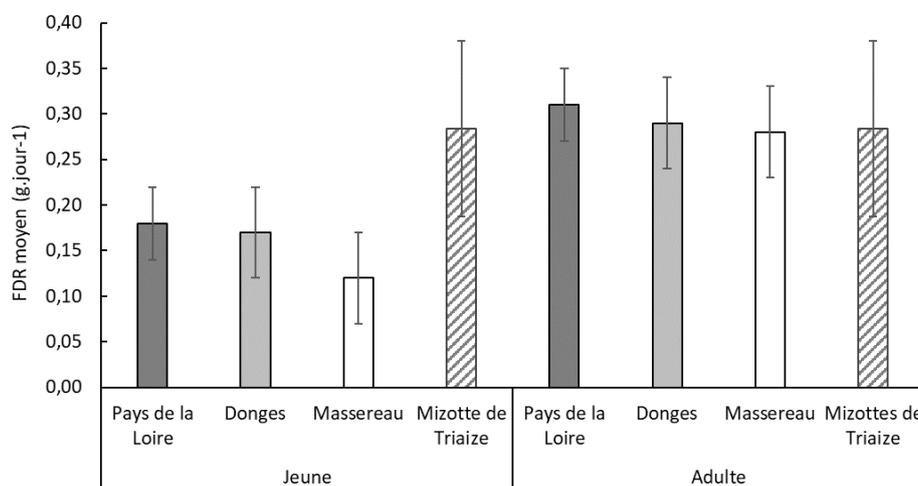


Figure 32 : Taux d'engraissement moyen (FDR) par classe d'âge et par site

### 3.12.4 QUANTITE DE RESERVE ENERGETIQUE ET CAPACITE DE VOL

La quantité de réserve énergétique, rapportée à la taille des individus, varie selon l'âge des oiseaux ( $F_{1,1962} = 60,074$ , p-value < 0,0001) et l'année ( $F_{12,1962} = 3,005$ , p-value < 0,0001). La date de capture est significativement corrélée avec la quantité de réserve énergétique mais la relation des deux variables est quasi-nulle (Spearman's correlation LP :  $R = -0,05$  ; p-value = 0,0009).

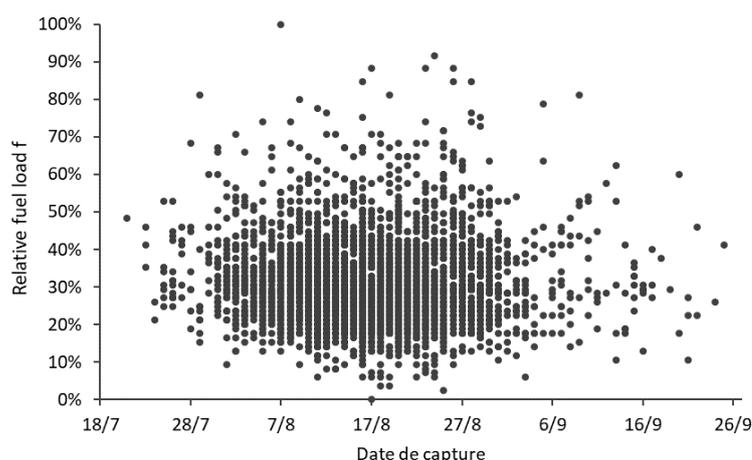


Figure 33 : Quantité de réserve énergétique relative f (Relative Fuel Load) en fonction de la date de capture

Chez les jeunes, la masse moyenne des 25% les plus lourds était de 12,4 g ( $\pm 0,04$  SE ; min.–max. : 11,6-19,2 ; N = 656). La réserve énergétique moyenne des 25% les plus lourds est de 45,6% ( $\pm 0,4$  SE ; min–max : 36,5–125,9%). Avec une vitesse de vol 36 km/h, cette réserve représente une capacité de vol ininterrompu de 1342 km ( $\pm 10$  SE ; min–max : 1119–2933 km), équivalant à 37% (min-max : 31-80%) du trajet jusqu'à la région du Djouj au Sénégal. Avec une vitesse de vol 59 km/h, cette réserve représente une capacité de vol ininterrompu de 2199 km ( $\pm 16$  SE ; min–max : 1835–4808 km), équivalant à 60% (min-max : 50-131%) du trajet jusqu'à la région du Djoudj au Sénégal. Chez les adultes, la masse moyenne des 25% les plus lourds était de 12,9 g ( $\pm 0,06$  SE ; min.–max. : 12,1-18,1 ; N = 213). La réserve énergétique des 25% les plus lourds est de 52,3% ( $\pm 0,7$  SE ; min–max : 42,4–112,9%). Avec une vitesse de vol 36 km/h, cette réserve représente une capacité de vol ininterrompu de 1507 km ( $\pm 16$  SE ; min–max : 1271–2721 km), équivalant à 41% (min-max : 35-74%) du trajet jusqu'à la région du Djouj au Sénégal. Avec une vitesse de vol 59 km/h, cette réserve représente une capacité de vol ininterrompu de 2470 km ( $\pm 26$  SE ; min–max : 2084–4459 km), équivalant à 60% (min-max : 57-122%) du trajet jusqu'à la région du Djoudj au Sénégal. Les capacités de vol en fonction de la vitesse de vol, de l'âge et des réserves énergétiques sont présentées en Figure 34 et Figure 35 ci-après.

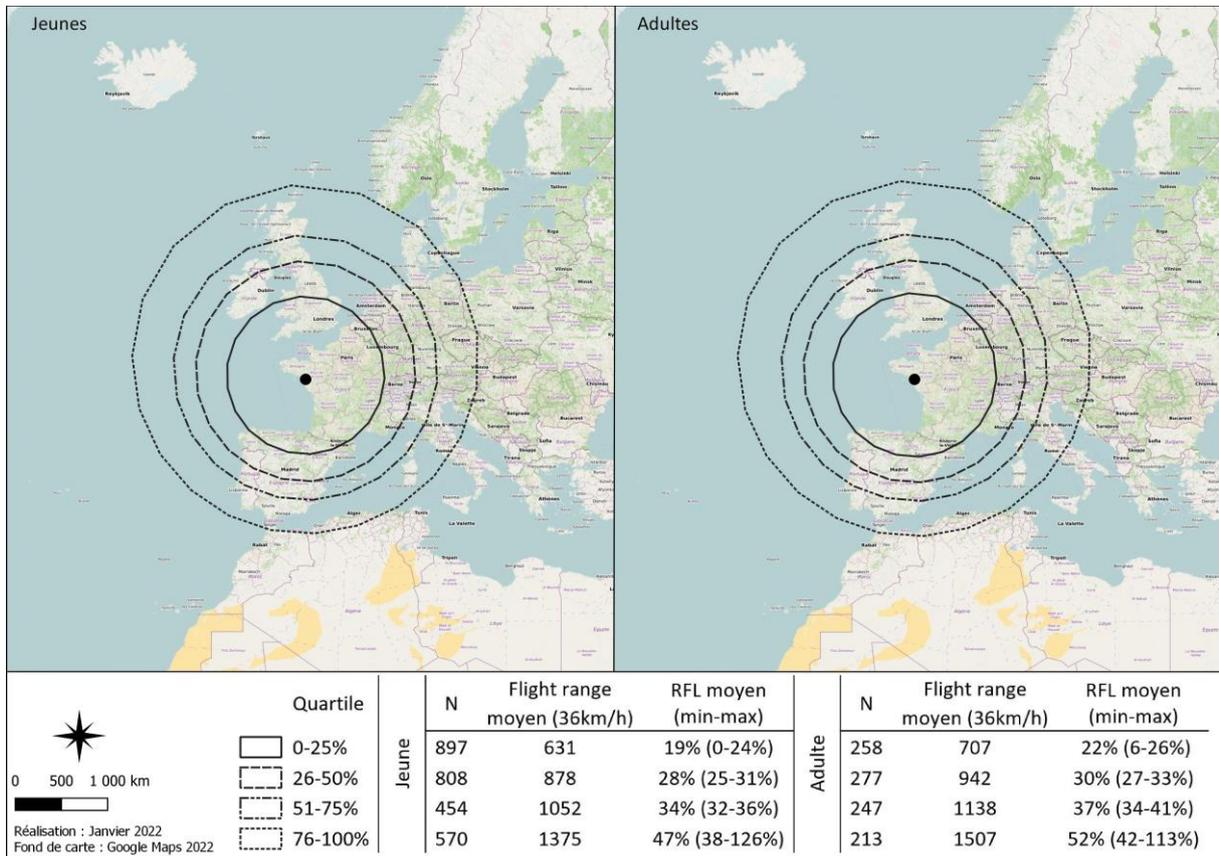


Figure 34 : Capacité de vol ininterrompu (Flight range) et quantité de réserve énergétique relative (RFL) avec U=36 km/h

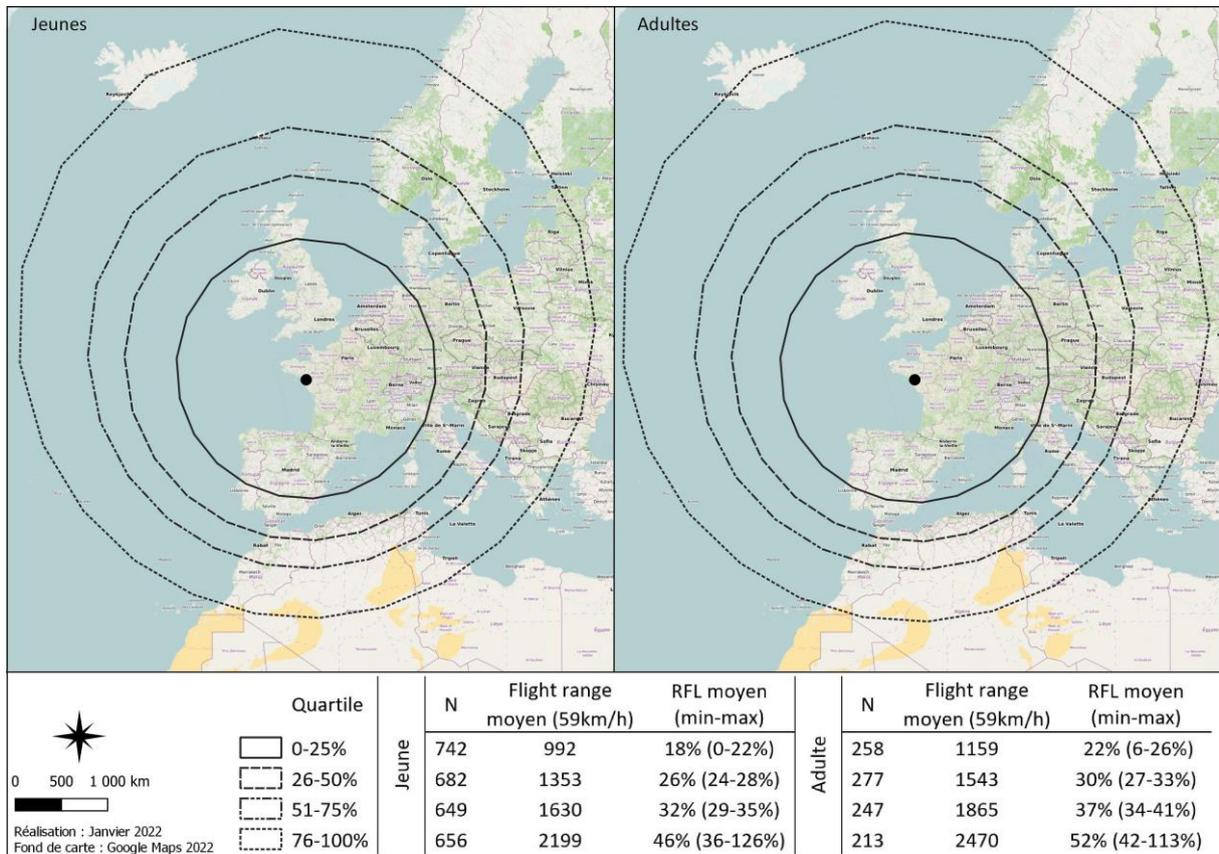


Figure 35 : Capacité de vol ininterrompu (Flight range) et quantité de réserve énergétique relative (RFL) avec U=59 km/h

## 4 DISCUSSION

### 4.1 LE PROTOCOLE ACROLA

Sur la période de 2008 à 2020, le nombre de Phragmites aquatiques capturés en Pays de la Loire s'élève à 4 006 individus sur l'ensemble des protocoles de baguage mis en place. Le protocole ACROLA, spécifique au Phragmite aquatique, comptabilise 2 882 captures sur 13 ans, représentant 72 % des données. Les stations présentant au moins un protocole en plus du protocole spécifique au Phragmite aquatique, montrent que ce dernier représente 61% des captures avec un minimum de 56% à Noyant et un maximum de 68% à la Réserve du Massereau. Lorsque le protocole ACROLA est utilisé à proximité immédiate d'autres protocoles, celui-ci montre une efficacité variable selon les stations et une efficacité globale moyenne pour le recensement du Phragmite aquatique en migration postnuptiale. Le protocole SEJOUR représente 16% des données (N = 648) de Phragmites aquatiques en Pays de la Loire. Ce protocole est souvent mis en place en même temps que le protocole ACROLA et les dispositifs de captures des deux protocoles peuvent être proches voir dans la même continuité du linéaire de filet. Le système de repasse utilisé diffuse généralement un ensemble d'espèces paludicoles dont plusieurs du genre *Acrocephalus*. Le protocole SEJOUR attire donc une partie des Phragmites aquatiques présente en halte migratoire sur la zone d'étude. Malgré la proximité spatiale de ces deux protocoles sur certaines stations et le biais ainsi créé, l'efficacité des captures ciblées en protocole ACROLA reste non négligeable. Actuellement, l'utilisation du protocole seul sur un site reste la meilleure méthode de recensement de l'espèce par baguage.

Sur les stations ouvertes en roselière, le nombre de captures de Phragmite aquatique est relativement faible comparé aux captures de Phragmites des joncs ou de Rousserolles effarvattes et le nombre de contrôles annuels sur chaque station est par conséquent très faible. Afin d'optimiser les recaptures des individus stationnant sur un site de halte, la disposition des filets peut être pensée pour répondre à cet objectif. Ainsi, il pourrait être préférable de répartir sur le site d'étude, le linéaire de filet en plusieurs sections orientées de façon différente plutôt qu'en un linéaire qu'un seul tenant. Les données de contrôles annuels permettent par la suite d'estimer une durée de halte des oiseaux sur site et de calculer leur taux d'engraissement et ainsi de caractériser la qualité du site en termes de halte migratoire pour l'espèce.

## 4.2 UTILISATION DES DONNEES

Le nombre de stations sélectionnées pour analyser des tendances temporelles des effectifs, de la phénologie ou encore de la structure d'âge ne représente que 24% (n=7) des stations ayant participé au protocole ACROLA entre 2008 et 2020. Seules 5 stations (15%) ont plus de 8 années de baguage et permettent ainsi de décrire les tendances les plus fiables en Pays de la Loire. Ces stations représentent le suivi historique de l'espèce dans la région et possèdent donc un intérêt particulier. Les stations ayant un trop faible nombre d'années de baguage ne permettent pas d'analyses temporelles, limitant ainsi l'utilisation de ces données. Cela représente 25 stations (76 %) ayant participé au protocole ACROLA entre 2008 et 2020.

La période de baguage représente un biais important dans la comparaison des stations. Les stations montrent des périodes de baguage très variables les unes par rapport aux autres et engendrent ainsi des biais pour leur comparaison. La sélection d'une période commune à toutes les stations n'était pas envisageable car elle n'aurait pas permis de garder suffisamment de données pour les analyses. Ce biais se retrouve également au sein de chaque station dont les périodes d'ouverture diffèrent parfois de manière importante entre les années. De la même manière, la sélection des données sur une période commune au sein de chaque station n'aurait pas permis de garder suffisamment de données pour les analyser. Il faut donc garder à l'esprit qu'un compromis a été fait dans le but de garder le plus grand nombre de données par station pour augmenter la quantité de réplicats et ainsi améliorer la robustesse des tests statistiques.

Une fois ces biais mis en évidence, il convient pour de futures analyses de répéter aussi rigoureusement que possible les modalités de baguage historiques (période d'ouverture, nombre de jours ...) afin de limiter les biais dans la comparaison des données.

### 4.3 CONTROLES ALLOCHTONES

Les baguages et contrôles avec d'autres pays reflètent les trajets migratoires du Phragmite aquatique entre sa zone de reproduction en Europe de l'Est (principalement la Pologne, la Biélorussie et l'Ukraine), ses sites de halte migratoire (principalement façade atlantique de l'Europe de l'Ouest) et ses zones d'hivernage (Afrique de l'Ouest subsaharienne). Au total, 72 échanges ont permis de relier les sites de reproduction avec les sites de halte en Pays de la Loire mais également avec d'autres sites de halte. Les sites de reproduction concernés par ces échanges sont la Pologne, l'Autriche, la Biélorussie, l'Ukraine et la Lituanie. Les sites de halte concernés par ces échanges sont la Belgique, la Grande-Bretagne, les Pays-Bas, le Portugal et l'Espagne. Deux données ont permis de relier une zone d'hivernage au Sénégal avec les Pays de la Loire. Ces nombreux échanges montrent l'intérêt à l'échelle mondiale des sites de halte des Pays de la Loire pour le Phragmite aquatique, parcourant plusieurs milliers de kilomètres pour effectuer son cycle biologique.

Les échanges entre les stations des Pays de la Loire sont également nombreux, relativement au nombre de captures, avec un total de 30 individus ayant transité sur deux stations différentes. Ces mouvements ont été effectués lors de la même saison de migration pour la majorité des individus. Quelques individus ont fait une halte sur deux sites différents à une année d'intervalle. Ces résultats montrent une complémentarité des sites de halte à l'échelle régionale. En cas de conditions environnementales difficiles ne permettant pas de recouvrer l'énergie nécessaire pour poursuivre leur migration, les individus peuvent trouver refuge sur d'autres sites à proximité.

#### 4.4 EFFECTIFS

Les 12 stations représentant la majorité des données de Phragmites aquatiques en Pays de la Loire montrent des différences significatives en termes d'effectifs. En effet, les stations du Tertre Rouge, Réserve Brière Sud, Mizottes de Triaize, Réserve Pierre Constant et Donges représentent les stations dont les effectifs moyens annuels (100m/jour) sont les plus élevés. La station du Tertre Rouge montre les effectifs moyens annuels les plus élevés en Pays de la Loire. Cependant, cette station n'a été ouverte qu'une année sur la durée minimale conseillée par le protocole, ainsi la poursuite des suivis sur cette station permettrait d'améliorer la comparaison avec les autres stations et de confirmer son intérêt.

Les effectifs du Phragmite aquatique en migration postnuptiale montrent une baisse significative de 70 % entre 2008 et 2020 à l'échelle des Pays de la Loire (-5,8 %  $\pm$ 0,84 par an). Cette diminution se retrouve également sur les stations de Donges, Marais de Pompas, Réserve de Brière Sud, Réserve de Grand-Lieu, Réserve du Massereau et Réserve Pierre Constant. Seule la station de Noyant montre une tendance stable des effectifs. Cependant, le nombre de Phragmites aquatiques capturés chaque année sur cette station est relativement faible et une tendance pourrait ainsi ne pas être détectée.

La plupart des stations montre une corrélation positive de leurs effectifs de Phragmites aquatiques avec les autres stations. Ce résultat indique un fonctionnement relativement commun entre ces stations. Une année de migration particulièrement marquée devrait donc se retrouver sur l'ensemble de ces stations. Cependant, certaines stations géographiquement proches ne montrent pas de corrélations. En effet, la Réserve Pierre Constant est corrélée avec le Marais de Pompas et la Réserve de Brière Sud, mais ces deux dernières stations ne sont pas corrélées ensemble. Compte tenu de l'échelle spatiale très large de migration de l'espèce, une corrélation des stations proches aurait pu être attendue. Toutefois, il semble y avoir une indépendance et donc une complémentarité au sein de stations de la façade littorale.

La station de Noyant ne montre aucune corrélation positive avec les autres stations et tend même vers une corrélation négative. Autrement dit, lorsque les effectifs sont plus élevés que la moyenne à Noyant, ils sont plus faibles que la moyenne sur les autres stations. Ce pattern d'évolution montre que toutes les stations ne fonctionnent pas de la même manière. La station de Noyant se situe nettement plus à l'intérieur des terres par rapport aux autres stations plus proches du littoral (130 km du littoral). Cette station montre une indépendance dans son utilisation comme site de halte par le Phragmite aquatique. Bien que cette station ne représente qu'une faible partie des captures en Pays de la Loire, elle représente un exemple de complémentarité entre les zones de haltes à large échelle. L'hypothèse pourrait être qu'une voie de migration légèrement différente de celle du littoral pourrait se dessiner à l'intérieur des terres lorsque les conditions environnementales sont moins favorables sur le littoral pour la migration. Les zones humides continentales pourraient dessiner une voie de migration parallèle non négligeable pour la migration de l'espèce.

#### 4.5 INDICE 93 ET INDICE ACROLA

L'indice 93 a été corrélé avec les effectifs moyens annuels (100m/jour) pour les stations ayant un nombre d'années de suivis conséquent. Il apparaît en moyenne une très forte corrélation de 0,94 ( $\pm 0,02$  SE) entre les deux méthodes pour exprimer l'évolution du nombre de captures de l'espèce. Cependant, plusieurs incohérences sont apparues certaines années et sur plusieurs stations. En effet, lors du calcul de l'Indice 93, il est apparu que la formule ne permettait pas de prendre en compte la durée d'ouverture de la station. Ainsi, un exemple a permis de montrer que des stations, ayant un même linéaire de filet, un même nombre de captures mais une durée de baguage différente, présentaient un Indice 93 identique. Cela a permis d'expliquer l'absence de corrélation entre l'Indice 93 et l'effectif moyen annuel pour la station de la Réserve Pierre Constant. Bien que l'Indice 93 et les effectifs moyens annuels puissent être corrélés, l'utilisation de l'Indice 93 pour la comparaison des stations présente des résultats très différents de l'utilisation des effectifs moyens annuels. En effet, l'Indice 93 ne prenant pas en compte la durée de baguage, les stations ouvertes sur de longues périodes et ayant capturé un nombre important de *Phragmites aquatiques*, comme la station de Donges, apparaissent avec un Indice 93 moyen très élevé. Compte tenu des incohérences mises en évidence dans cette étude vis-à-vis de la formule de l'Indice 93, cet indice ne semble pas adapté pour comparer les stations entre elles mais également les années pour chaque station.

Un exemple de simplification de la formule en utilisant le ratio du nombre de jours de baguage sur le nombre total de jours de la période de migration de l'espèce a montré des résultats non concluants. En effet, les résultats montraient une survalorisation très nette des stations ouvertes sur une longue durée. Afin de prendre en compte la période de baguage dans le calcul d'un indice, chacun des 93 jours définis devraient comporter un poids différent en fonction de la phénologie de passage. Ainsi, une capture au 1<sup>er</sup> août n'aurait pas le même poids qu'une capture au 15 août lors du pic de passage de l'espèce. Cette piste de réflexion pourrait permettre d'améliorer la formule de l'indice et ainsi mieux comparer une station ouverte sur l'ensemble de la période de migration et une station ouverte entre le 10 et le 20 août.

L'indice ACROLA représente le ratio entre le nombre de captures de *Phragmites aquatiques* et le nombre total de captures du genre *Acrocephalus*. Cet indice permet de caractériser une station en termes d'utilisation de l'habitat par l'espèce. Un Indice ACROLA élevé indique que l'habitat échantillonné est préférentiellement utilisé par l'espèce car elle représente une part importante dans le nombre d'oiseaux capturés. Plusieurs stations ont montré des indices ACROLA très élevés, comme les stations de la Digue de Prises, la Digue du Maroc ou encore les Polders. Cependant, ces stations ont été ouvertes une seule année sur moins de 5 jours et ces résultats doivent être confirmés sur une plus longue période pour montrer leur intérêt. Les stations du Polders et de Mizottes de Triaize montrent des résultats élevés de l'Indice ACROLA et des effectifs moyens annuels. Cela indique que sur ces stations,

le nombre de Phragmites aquatiques capturés est particulièrement élevé par rapport au linéaire de filet mis en place et que l'espèce utilise préférentiellement ce site plutôt qu'un autre. Un Indice ACROLA élevé et un effectif moyen (100m/jour) élevé indique par conséquent un site de halte privilégié pour l'espèce.

#### 4.6 STRUCTURE D'ÂGE

Les Phragmites aquatiques effectuant leur migration pour la première fois explorent les sites de halte potentiels au fur et à mesure de leur route migratoire. Ces individus n'ont pas l'expérience des adultes pour sélectionner les sites les plus favorables, principalement en termes de ressources alimentaires. En effet, les adultes ayant déjà effectué cette migration au moins une fois, peuvent choisir un site précis de par leurs expériences passées ou à contrario, éviter certains sites dont la ressource alimentaire disponible était trop faible l'année précédente. Ainsi, la proportion de jeunes et d'adultes sur un site peut renseigner sur le choix potentiellement aléatoire ou bien volontaire d'un site de halte et donc sur la qualité du milieu.

Le pourcentage de jeunes et d'adultes diffère entre les stations représentant la majorité des données de Phragmites aquatiques en Pays de la Loire. Sur ces 12 stations, le pourcentage d'adultes est significativement plus élevé que le pourcentage théorique pour les stations de Noyant (43%), de la Réserve du Massereau (33%) et de Donges (31%). Inversement, le pourcentage est significativement plus faible pour les stations du Marais de Pompas (10%), la Réserve Grand-Lieu (14%) et Mizottes de Triaize (20%). Les stations de Noyant, de la Réserve du Massereau et de Donges montrent un intérêt particulier pour les individus adultes ayant l'expérience de la migration et choisissant préférentiellement les sites de halte proposant une ressource alimentaire importante. La station de Noyant se détache encore une fois des autres stations avec un pourcentage d'adultes particulièrement élevé et atteignant presque un pourcentage égal à celui des jeunes. Ce résultat pourrait indiquer une voie de migration préférentielle des adultes à l'intérieur des terres, en parallèle d'une voie de migration plus littorale. Le plus faible pourcentage de jeunes sur cette station pourrait aussi indiquer la nécessité pour les jeunes d'utiliser des repères géographiques, comme le littoral, l'estuaire ou de grandes surfaces de zones humides (Réserve de Brière, Réserve de Grand-Lieu) pour leur migration et ainsi d'éviter de s'aventurer vers l'intérieur des terres.

En termes d'évolution, le pourcentage d'adultes diminue de façon significative à l'échelle des Pays de la Loire de -14,2 % entre 2008 et 2020 (-1,2%  $\pm$  0,39 SE par an). Cette diminution est très marquée pour les stations de la Réserve Brière Sud (-5,5%  $\pm$  1,62 SE par an), la Réserve de Grand-Lieu (-4,9%  $\pm$  1,64 SE par an) et la Réserve du Massereau (-3,9%  $\pm$  0,87 SE par an). La Réserve de Brière Sud montre en effet une diminution du pourcentage d'adultes jusqu'en 2017 où aucun individu adulte n'a été capturé. Sur la Réserve Grand-Lieu, les individus capturés lors de la première année de baguage n'étaient que des adultes. A l'inverse, les trois dernières années de suivis n'ont montré que des individus de première année. Sur la Réserve du Massereau, les individus capturés lors de la première année de suivi n'étaient que

des adultes. Les stations de Noyant, Donges, Marais de Pompas et de la Réserve de Brière Sud ne montrent pas d'évolution significative de la proportion de jeunes et d'adultes.

Ces tendances d'évolution se retrouvent sur les tendances d'évolution des effectifs moyens annuels. Les effectifs moyens annuels pour les adultes diminuent de -7,2% ( $\pm 1,19$  SE) par an à l'échelle des Pays de la Loire, de -13,2% ( $\pm 4,15$  SE) par an à la Réserve de Brière Sud, de -11,5% ( $\pm 2,89$  SE) par an à la Réserve de Grand-Lieu et de -9,5% ( $\pm 1,74$  SE) par an à la Réserve du Massereau. Ces taux d'évolution annuelle sont supérieurs à ceux des jeunes pour ces stations et par conséquent entraînent une diminution de la proportion d'adultes.

#### 4.7 PHENOLOGIE

La phénologie de passage du Phragmite aquatique diffère selon les jeunes ou les adultes. En effet, à l'échelle des Pays de la Loire, les adultes passent significativement plus tôt de 6 jours que les jeunes. Sur la période de 2008 à 2020, le pic de passage des jeunes est le 17 août et le pic de passage des adultes est le 11 août. Les stations ont montré des différences significatives de date médiane de passage pour l'espèce en général, les jeunes et les adultes. La station du Tertre Rouge montre une date médiane de passage significativement plus précoce pour les deux classes d'âge réunies et pour les jeunes que plusieurs autres stations. Les stations de la Réserve du Massereau et la Réserve Pierre Constant montre des dates médianes plus tardives pour les deux classes d'âge réunies, les jeunes et les adultes par rapport à plusieurs autres stations. Les stations de Mizottes de Triaize et de Donges montrent une date médiane de passage significativement plus précoce pour les adultes que les stations de la Réserve du Massereau et de la Réserve Pierre Constant.

La phénologie de migration du Phragmite aquatique est difficilement comparable entre les stations car elle est directement influencée par la période et la durée de baguage ainsi que le nombre de captures. Certaines différences ressortent pourtant des analyses entre des stations possédant une période et une durée commune comme les stations de Donges et de la Réserve du Massereau chez les individus adultes. Ces différences indiquent un fonctionnement différent de ces stations au sein de la saison de migration en termes d'accueil des individus en halte. Certaines stations accueilleront une partie des individus plus précoces et d'autres accueilleront les individus plus tardifs. Ces différences induisent une complémentarité dans l'accueil du Phragmite aquatique à l'échelle spatiale des Pays de la Loire mais également à l'échelle temporelle de la saison de migration.

## 4.8 HALTE MIGRATOIRE

La durée de halte et le taux d'engraissement des individus sur site permettent de caractériser la qualité d'un site de halte en termes de ressources alimentaires (COHEN ET AL. 2014). La durée de halte moyenne du Phragmite aquatique estimée par CMR est de 6,9 jours (IC95% : 3,5–15,6). Cette durée est très proche de celle obtenue par la même méthode dans une étude réalisée dans l'estuaire de la Loire (CHENAVAL ET AL. 2011) indiquant une durée de 6 jours. Une autre étude menée dans l'estuaire de la Gironde (MUSSEAU ET AL., 2014) indiquait une durée similaire de  $6,46 \pm 0,46$  (IC95% : 4,44–9,61) jours. Ces résultats confortent l'utilisation des sites d'études comme sites de halte migratoire. Cependant, de nombreux facteurs environnementaux comme les conditions météorologiques, la disponibilité des ressources alimentaires, le taux d'engraissement, la condition corporelle des individus peuvent influencer la durée de halte. La qualité d'un site est difficilement explicable seulement par la durée de halte.

Le taux d'engraissement (FDR) moyen en Pays de la Loire montre une différence significative en fonction de l'âge des oiseaux. Les jeunes individus ont un taux d'engraissement de moyen de  $0,18 \text{ g.jour}^{-1}$ , représentant 2,12% de leur masse corporelle maigre et les adultes ont un taux d'engraissement moyen nettement supérieur de  $0,31 \text{ g.jour}^{-1}$ , représentant 3,65% de leur masse corporelle maigre. Ces résultats sont cohérents avec des études indiquant des stratégies de migration différentes entre les jeunes et les adultes (JAKUBAS, 2010 ; WOJCZULANIS-JAKUBAS ET AL., 2013 ; JAKUBAS ET AL., 2014 ; ARIZAGA ET AL., 2014). De par leur expérience, les adultes possèdent une meilleure capacité à trouver les sites de halte possédant des ressources alimentaires importantes et à accumuler ces ressources rapidement pour poursuivre leur migration (WOODREY, 2000). Une étude menée dans le cadre du Plan National d'Action du Phragmite aquatique, indiquait un gain de masse moyen de  $0,11 \text{ g.jour}^{-1}$  (écart-type  $\pm 0,478$ ) sur un échantillon de 391 individus (jeunes et adultes) capturés en France depuis 1969 (DEHORTER & CRBPO, 2017 IN HEMERY ET AL., 2017). Les taux calculés en Pays de la Loire sont 1,6 fois plus élevés pour les jeunes et 2,8 fois plus élevés pour les adultes que l'estimation moyenne nationale.

L'étude menée dans l'estuaire de la Gironde (MUSSEAU, 2014) sur des individus de première année a montré un effet significatif de la condition corporelle des individus avec leur taux d'engraissement. Les individus dits « robustes » ayant une bonne condition corporelle (score adipeux et musculaire élevé) accumulaient chaque jour  $0,12 \pm 0,56$  % de leur masse corporelle alors que les individus dits « maigres » ayant une faible condition corporelle (score adipeux et musculaire faible) accumulaient chaque jour  $2,81 \pm 0,89$  % de leur masse corporelle maigre, soit 23,43 fois plus que les individus robustes. Cette tendance indique que les individus en bonnes conditions ont très probablement déjà fait une halte quelque temps avant et ont déjà accumulé des réserves sur un autre site. Les pourcentages d'accumulation de l'étude menée dans l'estuaire de la Gironde ne permettent cependant pas une comparaison directe avec les estimations obtenues en Pays de la Loire en raison de méthode de calcul différente.

Cependant, les individus recapturés en Pays de la Loire ne montrent pas de différence entre les individus en bonne et en moins bonne condition corporelle à leur arrivée sur le site. Ce résultat indique que la région des Pays de la Loire est ciblée pour l'engraissement indépendamment des conditions corporelles des individus.

La date de première capture, utilisée comme indicateur de l'arrivée des oiseaux sur le site, n'influence pas leur taux d'engraissement. Les individus accumulent des réserves énergétiques de la même façon en début qu'en fin de saison de migration. Une accumulation accrue en fin de saison de migration est souvent observée chez les passereaux migrateurs (FRANSSON, 1998 ; SCHAUB & JENNI, 2000b ; BALANÇA & SCHAUB, 2005). Ce résultat montre également que les Pays de la Loire sont un site de halte privilégié pour l'engraissement du Phragmite aquatique et non un site utilisé seulement en cas d'urgence migratoire en fin de saison.

L'accumulation de réserves énergétiques au-delà d'un seuil d'environ 20 - 30 % de la masse maigre crée de nouveaux coûts, dont une autonomie de vol qui ne sera plus proportionnelle aux réserves stockées (ALERSTAM & LINDSTRÖM, 1990 ; CHERNETSOV, 2012). En Pays de la Loire, la quantité moyenne de réserve des jeunes est de 30% et celle des adultes est de 34%, soit légèrement au-dessus de ce seuil. CHERNETSOV (2012) indiquait qu'en dehors des zones d'engraissement précédent une barrière écologique (montagne, mer...), seul 0,8 à 19,4% des individus de six espèces de passereaux possédaient plus de 25% de réserve énergétique. Les données récoltées en Pays de la Loire montre que 46% des jeunes et 79% des adultes ont plus de 25% de réserves énergétiques. Bien que la date de capture soit significativement corrélée à la quantité de réserve énergétique accumulée, le coefficient de corrélation est quasi-nul et les résultats montrent un grand nombre d'individus dépassant largement le seuil des 25% de réserves accumulées tout au long de la période de migration. La fraction des individus les 25% les plus lourds indiquent 45,6% de la masse corporelle maigre pour les jeunes et 52,3 % pour les adultes. Cependant, le désert du Sahara se trouve à environ 2000 km et les zone de halte sont encore possible avant cette traversée périlleuse. Ces résultats corroborent ceux obtenus du FDR constant tout au long de la saison de migration et indiquant un choix spécifique des Pays de la Loire comme site de halte pour l'engraissement.

Avec une vitesse de vol de 36 km/h, également utilisé dans l'étude de JAKUBAS ET AL. (2014), les capacités de vol ininterrompu ont montré qu'en moyenne, sur la fraction des 25% des individus les plus lourds, les jeunes individus pouvaient parcourir 37% (1342 km) du trajet jusqu'à leur quartier d'hiver et que les adultes pouvaient en parcourir 41% (1507 km). Pour cette même fraction, JAKUBAS ET AL. (2014) indiquait une distance 926 km ( $\pm$  282) pour les jeunes, soit 25% du trajet, et 1178 km ( $\pm$  149) pour les adultes, soit 32% du trajet sur 179 individus capturés à Donges en 2011. Entre 2008 et 2020, à l'échelle des Pays de la Loire les résultats montrent des capacités de vol plus importantes que les résultats de l'étude menée en 2011 et la possibilité pour les jeunes et les adultes proches du départ (25% les plus lourds)

de gagner le sud de la Péninsule Ibérique et l’Afrique du Nord. Cette zone représente la dernière halte possible avant la traversée du Sahara et donc une zone à fort enjeu.

Lorsque la vitesse de vol utilisée est de 59 km/h, les capacités de vol ininterrompu ont montré qu’en moyenne, sur la fraction des 25% des individus les plus lourds, les jeunes individus pourraient parcourir 60% (2199 km) du trajet jusqu’à leur quartier d’hiver et que les adultes pourraient en parcourir 67% (2470km). Ces résultats montrent cette fois la possibilité pour les jeunes et les adultes proches du départ (25% les plus lourds) de gagner le sud du Maroc et donc de ne faire qu’une halte depuis les Pays de la Loire avant la traversée du Sahara pour atteindre les quartiers d’hivers. Avec une distance de 3660 km à parcourir pour rejoindre la région du Djoudj au Sénégal et une vitesse de vol à 59 km/h, la réserve énergétique théorique pour atteindre les sites d’hivernage devrait être de 76% pour les jeunes et 78% pour les adultes. Ces réserves sont atteintes pour 18 jeunes et 6 adultes, soit respectivement 0,5% et 0,6% des individus capturés entre 2008 et 2020. Bien que des individus capturés semblent avoir les capacités d’atteindre les sites d’hivernage sans halte depuis les Pays de la Loire, ces données sont exceptionnelles et ne sont pas représentatives des individus capturés en Pays de la Loire.

#### 4.9 PERSPECTIVES DE SUIVI EN PAYS DE LA LOIRE

Le nombre de données utilisées pour décrire la migration du Phragmite aquatique en Pays de la Loire provient d’une minorité de stations. Ces stations représentent l’historique des données de migration de l’espèce et portent donc un intérêt majeur à poursuivre ce suivi. Plusieurs stations ont été identifiées comme particulièrement intéressantes en termes de captures et permettent de réaliser des analyses robustes. En effet, les stations comportant un faible nombre de Phragmites aquatiques sont limitées dans les possibilités d’analyses. Ceci est d’autant plus vrai qu’elles possèdent un faible nombre d’années de suivi, ne permettant pas de confirmer des tendances à très court terme. Ces stations permettent néanmoins de participer à plus grande échelle aux tendances régionales et nationales. Les données collectées permettent également de montrer l’utilisation du site d’étude par le Phragmite aquatique. Le nombre de stations ACROLA ouvertes entre 2008 et 2013 a augmenté fortement, montrant un intérêt d’échantillonner le territoire afin de trouver les principales zones de passage de l’espèce pour mettre en place un suivi pérenne à long terme. Lorsque le nombre de données n’était pas suffisant, ces stations n’ont pas été reconduites pour cause de compromis entre les moyens humains et financiers pour réaliser ces suivis chronophages et le nombre de données obtenues et exploitables. De fait, dans la majorité des cas, seules les stations capturant le plus sont restées ouvertes. Les stations « one-shot » montrant un faible passage du Phragmite aquatique ont donc un intérêt limité dans le suivi de l’espèce face aux stations à long terme.

Aujourd'hui, à l'échelle des Pays de la Loire, les principales zones de halte de l'espèce sont relativement bien connues. L'objectif de découvrir de nouvelles zones de passage de l'espèce sur le territoire n'est plus d'actualité. Les efforts devraient davantage porter sur le soutien des stations historiques afin de s'assurer de leur pérennité. C'est le cas des stations de la Réserve du Massereau, de Donges, de Noyant, de la Réserve Grand-Lieu et du Marais de Pompas. Les efforts devraient également porter sur les stations possédant 4 ou 5 années de suivi et dont les effectifs sont relativement importants afin qu'elles puissent compléter les stations historiques d'ici quelques années et apporter un rôle majeur aux tendances de l'espèce à l'échelle des Pays de la Loire. Il s'agit des stations de la Réserve de Brière Sud, de la Réserve Pierre Constant, de Mizottes de Triaize et de la Réserve du Migron. La reprise ou la création de stations pour le suivi de l'espèce devrait se faire sur des stations ayant présenté, par le passé, des effectifs suffisants pour s'assurer de la pertinence d'engager ces sites sur des suivis à long terme. Le Tertre Rouge (île Pipy) est concerné par ce cas de figure, sous confirmation des résultats obtenus en 2013.

Les stations historiques jouant un rôle majeur dans le suivi de l'espèce présentent également une forte contrainte liée à la conservation des habitats échantillonnés par la station de baguage. La conservation de ces habitats ne peut se faire que sur l'emprise stricte de la station mais sur un périmètre suffisamment grand (plusieurs hectares) pour accueillir un nombre important d'individus en halte. Ainsi la conservation des habitats doit aller de pair avec les suivis mis en place, sans quoi, ces derniers ne permettront pas de répondre aux objectifs du suivi.

## 5 CONCLUSION

L'analyse des données de baguage en Pays de la Loire sur la période de 2008 à 2020 a permis de répondre aux objectifs posés initialement. Cette étude a permis de faire un état des lieux spatial et temporel du suivi de l'espèce à l'échelle régionale. Les résultats ont également permis de décrire les tendances en termes d'effectifs, de structure d'âge et de phénologie de l'espèce de chaque station. Pour chacun de ces paramètres, les stations représentant la majorité des données ont pu être comparées pour caractériser leur intérêt à l'échelle régionale. Les estimations de durée de halte et de taux d'engraissement des individus ont permis de mettre en évidence l'intérêt des Pays de la Loire à l'échelle mondiale pour la migration du Phragmite aquatique.

Les effectifs moyens diffèrent largement entre les stations et montrent l'intérêt d'une minorité de stations sur l'ensemble des sites ayant participé au protocole ACROLA. L'Indice ACROLA, couplé aux effectifs moyens, permet de préciser l'intérêt de certaines stations dont le ratio des Phragmites aquatiques par rapport aux nombres d'individus du genre *Acrocephalus* est nettement supérieur aux autres stations. Ces résultats montrent la sélection des habitats présents sur ces stations par l'espèce. L'utilisation de l'Indice 93 a révélé des incohérences et ne permet pas d'exploiter les données de captures ni de comparer les stations entre elles.

La diminution du nombre de Phragmites aquatiques est une tendance générale à l'ensemble des stations des Pays de la Loire, exceptée la station de Noyant dont les effectifs sont stables. Cette tendance commune à l'échelle des Pays de la Loire met en avant une diminution de la population mondiale bien qu'une diminution des surfaces et de la qualité des sites de halte puisse jouer un rôle majeur. Le pourcentage de jeunes et d'adultes diffère également entre les stations dont certaines montrent une sous-représentation des adultes par rapport aux valeurs théoriques attendues et d'autres montrent un pourcentage d'adultes plus élevé. Ces variations indiquent un attrait particulier des individus expérimentés sur ces sites et montrent ainsi un intérêt du site. La phénologie diffère légèrement entre les stations dont certaines montrent une date médiane de passage plus tardive que les autres et inversement, certaines montrant une date médiane de passage plus précoce. Ces différences, bien que présentes, restent faibles, mais montrent cependant la variabilité du passage de l'espèce et l'intérêt des stations, ouvertes plusieurs dizaines de jours, centré sur le pic de passage des individus.

Les stations des Pays de la Loire fonctionnent comme un complexe de sites dépendants les uns des autres offrant des particularités différentes. Certaines stations présentent un passage de Phragmite aquatique en grand nombre pendant que d'autres montrent une utilisation marquée par des individus expérimentés ayant sélectionné l'habitat de halte pour ses ressources alimentaires. Malgré des différences marquées entre les stations, des échanges sont effectués entre les stations des Pays de la Loire mais également avec des stations hors région et à l'étranger en zone de reproduction et en zone d'hivernage.

A l'échelle des Pays de la Loire, la durée de stationnement du Phragmite aquatique est cohérente avec les données de précédentes études réalisées en estuaire de la Loire et en estuaire de la Gironde. Les individus montrent un taux d'engraissement très élevé comparé aux estimations nationales. Ce résultat est confirmé par un taux d'engraissement constant tout au long de la saison de migration et indépendant de la condition corporelle des individus indiquant que les Pays de la Loire est un site de halte de haute importance pour la migration de l'espèce et car sélectionné pour l'engraissement.

Enfin, la perspective d'une analyse à l'échelle nationale semble nécessaire afin de confirmer ou d'infirmier les résultats dans d'autres régions...

## 6 BIBLIOGRAPHIES

- Alerstam T. & Lindström A. (1990). Optimal Bird Migration : The Relative Importance of Time, Energy, and Safety. *Bird Migration*, pp. 331-351.
- Alerstam T., Bäckman J., Gudmundsson G. A., Hedenström A., Henningson S. S., Karlsson H., Rosén M., Strandberg R. (2007). A polar system of intercontinental bird migration. *Proc. R. Soc. B*, 274 : 2523-2530.
- Association ACROLA, (2007). La migration des fauvettes paludicoles en estuaire de la Loire, site de Donges 2002/2007. 23p.
- Association ACROLA, (2009). Bilan et analyse des données du camp de baguage de Donges-Est (44) pour l'année 2009. 43p.
- Arizaga J., Andueza M., Azkona A., Dugué H., Fontanilles P., Foucher J., Herrmann V., Lapios J.M., Menéndez M., Musseau. R., Unamuno E. & Peon P. (2014). Reed-bed use by the Aquatic Warbler *Acrocephalus paludicola* across the bay of Biscay during the autumn migration of 2011. *Alauda*, 82: 343-351.
- Balança G., Schaub M. (2005). Post-breeding migration ecology of reed *Acrocephalus scirpaceus*, moustached A. *Melanopogon* & Cetti's warbler *Cettia cetti* at a Mediterranean stopover site. *Ardea* 93 : 245–257.
- Batard R., Mourgaud G. (2018). Bilan de la prospection phragmite aquatique *Acrocephalus paludicola*, réalisée dans les marais de la Giguénais (Saint-Père-en-Retz, Loire-Atlantique), du 15 au 24 août 2018. LPO Loire-Atlantique, 19p.
- Bibby C.J. & Green R.E. (1981). Autumn migration strategies of reed & sedge warblers. *Ornis scand* 12 : 1–12.
- BirdLife International, (2017). *Acrocephalus paludicola* (amended version of 2016 assessment). The IUCN Red List of Threatened Species 2017. Accessed on 07 June 2022.
- Blaize C., Le Nevé A., Dumeige B., Jiguet F., Dugué H., Ledard M., Provost P., Musseau R., Batard R. & Paillette V. (2022). Plan National d'Actions en faveur du Phragmite aquatique *Acrocephalus paludicola* 2022-2031. Ministère de la Transition Ecologique, 61p.
- Burnham K. P., Anderson D. R. (2002). Model selection and multimodel inference : A practical information-theoretic approach 2<sup>nd</sup> ed.). Springer, New York.
- Chenaval N., Lorrillière R., Dugué H. & Doxa A. (2011). Phénologie et durée de halte migratoire de quatre passereaux paludicoles en migration postnuptiales en estuaire de la Loire. *Alauda* 79 : 149–156
- Chernetsov, N. (2012). *Passerine Migration: stopovers & flight*. Springer-Verlag, Berlin.
- Chil J.L. & Cochard C., (2012). Bilan du camp de baguage du Massereau 2012. ONCF, 16p.
- Chil J.L. & Cochard C., (2013). Bilan du camp de baguage du Massereau 2013. ONCF, 19p.
- Chil J.L. & Maillard J.F., (2014). Bilan du camp de baguage du Massereau 2014. ONCF, 22p.
- Chil J.L. & Maillard J.F., (2015). Bilan du camp de baguage du Massereau 2015. ONCF, 25p.
- Chil J.L., (2016). Bilan du camp de baguage du Massereau 2016. ONCF, 22p.
- Choquet, R., Lebreton, J.-D., Gimenez, O., Reboulet, A. M., & Pradel, R. (2009). U-CARE: Utilities for performing goodness of fit tests & manipulating capture-recapture data. *Ecography*, 32(6), 1071–1074. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2009.05968.x>
- Cohen E. B., Pearson S. M., Moore F. R. 2014. Effects of landscape composition and configuration on migrating songbirds: inference from an individual-based model. *Ecol. Appl.* 24: 169–180.
- Correia E., Neto J. M. (2013). Migration Strategy of White-Spotted Bluethroats (*Luscinia svecica cyanecula* and *L. S. namnetum*) Along the Eastern Atlantic Route. *Ardeola* 60 (2) : 245-259.
- Courant S. (2014). Bilan de la station de baguage du Pont de l'Alleud, suivi des passereaux migrants (la Poissonnière – Maine-et-Loire) - saison 2014. LPO Anjou, 15p.

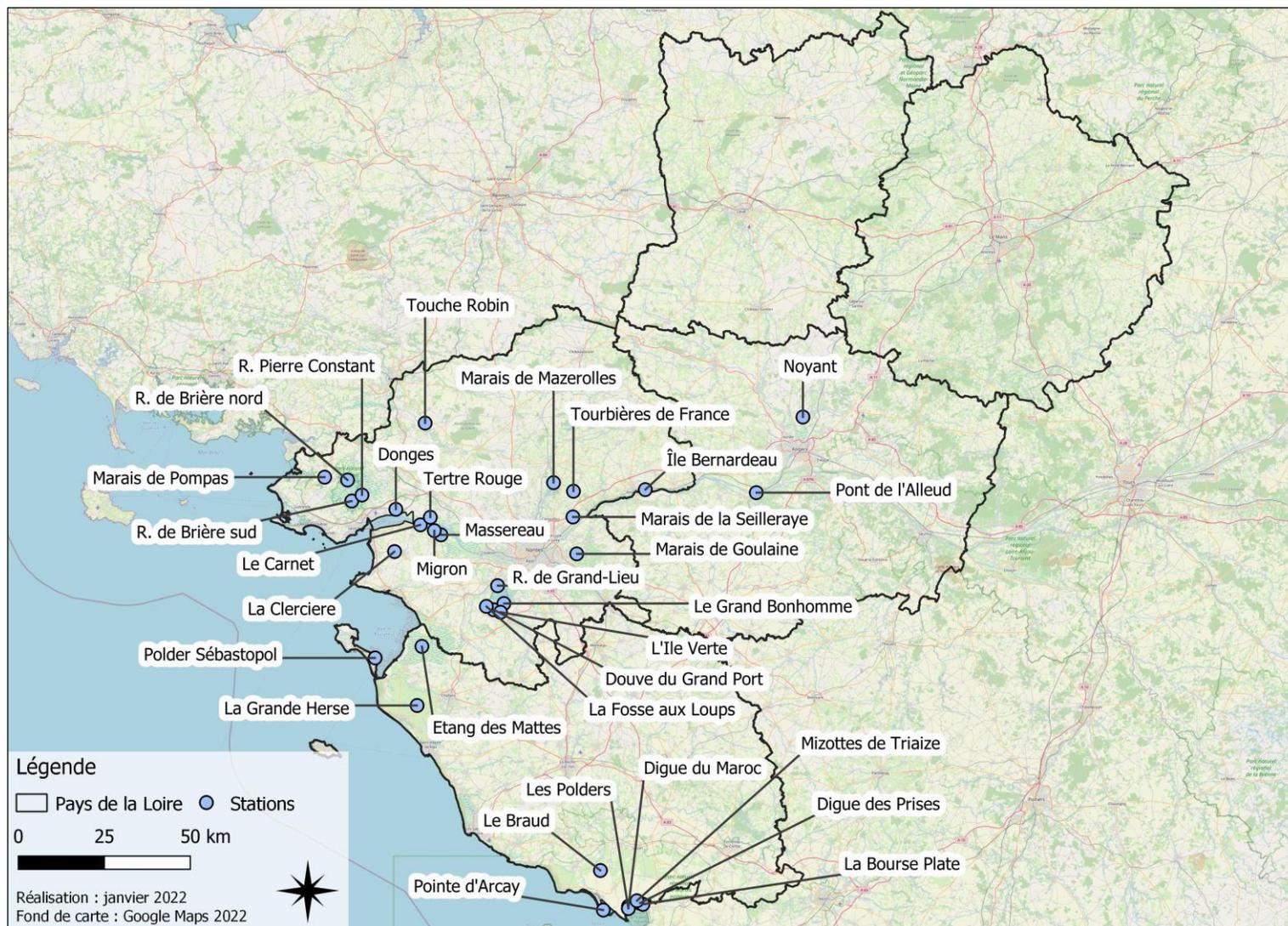
- Dehorter et CRBPO, (2022). Base de données de baguage et déplacements d'oiseaux de France. Centre de Recherche sur la Biologie des Population d'Oiseaux, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, France, <http://crbpo.mnhn.fr>. Consulté le 12/07/2021.
- Delingat J., Bairlein F., Hedenström A. (2008). Obligatory barrier crossing and adaptative fuel management in migratory birds : the case of the Atlantic crossing in Northern Wheatears (*Oenanthe oenanthe*). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 62, pp. 1069-1078.
- Dugué H., (2008). Rapport d'étude de la migration des passereaux paludicoles dans les roselières de Donges-est Programme 2008. Association ACROLA. 11 p.
- Ellegren H. & Fransson T. (1991). Fat loads and estimated flight-ranges in four *Sylvia* species analysed during autumn migration at Gotland, South-East Sweden. *Ringing & Migration*, 13 (1), pp. 1-12.
- Foucher J. (2010). Bilan et Analyse des données de la station de baguage de Donges pour l'année 2010. Association ACROLA. 45p.
- Foucher J. (2013). Bilan et Analyse des données de la station de baguage de Donges pour l'année 2013. Association ACROLA. 31p.
- Foucher J. (2014). Bilan et Analyse des données de la station de baguage de Donges pour l'année 2014. Association ACROLA. 31p.
- Foucher J. (2015). Bilan et Analyse des données de la station de baguage de Donges pour l'année 2015. Association ACROLA. 19p.
- Foucher J. (2016). Bilan et Analyse des données de la station de baguage de Donges pour l'année 2016. Association ACROLA. 23p.
- Foucher J. (2017). Bilan et Analyse des données de la station de baguage de Donges pour l'année 2017. Association ACROLA. 30p.
- Foucher J. (2018). Bilan et Analyse des données de la station de baguage de Donges pour l'année 2018. Association ACROLA. 33p.
- Foucher J. (2019). Bilan et Analyse des données de la station de baguage de Donges pour l'année 2019. Association ACROLA. 30p.
- Foucher J. (2020). Bilan et Analyse des données de la station de baguage de Donges pour l'année 2020. Association ACROLA. 31p.
- Foucher J. & Dugué H., (2012). Bilan et Analyse des données de la station de baguage de Donges pour l'année 2012. Association ACROLA. 35p.
- Foucher J., Dugué H., Ozarowska A., Wojczulanis-Jakubas K., Heinrich F., Lefebvre M., Archer E.. (2011). Bilan et Analyse des données de la station de baguage de Donges pour l'année 2011. Association ACROLA. 52p.
- Fransson T (1998) A feeding experiment on migratory fuelling in whitethroats (*Sylvia communis*). *Anim Behav* 55:153–162
- Gautier S., (2017). Bilan des données récoltées dans le cadre de la station de baguage de la réserve de chasse et de faune sauvage du Massereau (44). Estuaire de la Loire, Année 2017. ONCFS. 13p.
- Gautier S., Raymond B., (2018). Bilan des données récoltées dans le cadre de la station de baguage de la réserve de chasse et de faune sauvage du Massereau et du Migron (44), Année 2018. ONCFS. 13p.
- Gautier S., Raymond B., (2020). Bilan des données récoltées dans le cadre de la station de baguage de la réserve de chasse et de faune sauvage du Massereau et du Migron (44), Année 2020. ONCFS. 13p.
- Gautier S., Raymond B., (2021). Bilan des données récoltées dans le cadre de la station de baguage de la réserve de chasse et de faune sauvage du Massereau et du Migron (44), Année 2021. ONCFS. 15p.
- Gautier S., Raymond B., Lefran R. (2019). Bilan des données récoltées dans le cadre de la station de baguage de la réserve de chasse et de faune sauvage du Massereau et du Migron (44), Année 2019. ONCFS. 13p.
- Gonin J., Mercier F. (2011). Evaluation des potentialités d'accueil des prés salés de la Baie de l'Aiguillon pour la halte migratoire postnuptiale du Phragmite aquatique *Acrocephalus paludicola*. LPO Charente-Maritime.
- Gonin J., Mercier F. (2012). Mise en évidence de l'importance des prés-salés de la Baie de

- l'Aiguillon pour la halte migratoire postnuptiale du Phragmite aquatique *Acrocephalus paludicola*. LPO Charente-Maritime.
- Gonin J., Mercier F. (2016). Etude de la migration postnuptiale du Phragmite aquatique *Acrocephalus paludicola* sur les RNN de la Baie de l'Aiguillon et de la Casse de la Belle Henriette. LPO Charente-Maritime, 40 p.
- Grafen A, Hails R (2002) Modern statistics for the life sciences. OUP, Oxford
- Hemery D., Blaize C., Musseau R. & Jiguet F. (2017) - Les captures de Phragmites aquatiques en France, 2013-2016. Plan national d'actions en faveur du Phragmite aquatique. Dreal Bretagne – Bretagne Vivante-SEPNB. 22p.
- Jakubas D. & Wojczulanis-Jakubas K. (2010). Sex-and age-related differences in the timing and body condition of migrating ReedWarblers *Acrocephalus scirpaceus* and SedgeWarblers *Acrocephalus schoenobaenus*. *Naturwissenschaften* 2010, 97, 505–511.
- Jakubas D., Wojczulanis-Jakubas K., Foucher J., Dziarska-Palac J. & Dugué H. (2014). Age and sex differences in fuel load and biometrics of Aquatic Warblers *Acrocephalus paludicola* at an autumn stopover site in the Loire estuary (NW France). *Ardeola* 61: 15–30.
- Jiguet F., Chiron F., Dehorter O., Dugué H., Provost P., Musseau R., Guyot G., Latraube F., Fontanilles P., Séchet E., Laignel J., Gruwier X., Le Nevé A. (2011). How many Aquatic Warbler *Acrocephalus paludicola* stop over in France during the autumn migration ? *Acta Ornithologica* 46 : 135-142.
- Jiguet F., Dehorter O., Gonin J., Latraube F., Le Nevé A. & Provost P. (2012) – Connaissance de la migration du Phragmite aquatique en France : méthodologie de suivi scientifique et réglementation ; version de juillet 2012. CRBPO, Bretagne Vivante – SEPNB, LPO. 13 p.
- Julliard R., Bargain B., Dubos A., Jiguet F. (2006). Identifying autumn migration routes for the globally threatened Aquatic Warbler *Acrocephalus paludicola*. *Ibis* 148 (4) : 735-743.
- Laigneau F., Batard R. (2020). Bilan de la station de baguage du marais d'Isac à Guenrouet, suivi de la migration postnuptiale des passereaux (Guenrouet – Loire-Atlantique) - août 2020. LPO Loire-Atlantique, 18p.
- Laigneau F., Batard R. (2020). Bilan de la station de baguage de l'île Bernardeau, suivi de la migration postnuptiale des passereaux (Ancenis – Loire-Atlantique) - août 2020. LPO Loire-Atlantique, 16p.
- Latraube F., (2009). Bilan du camp de baguage du Massereau 2009. ONCFS, Conservatoire du Littoral, Département de Loire-Atlantique. 7p.
- Latraube F., (2010). Bilan du camp de baguage du Massereau 2010. ONCFS, Conservatoire du Littoral, Département de Loire-Atlantique. 7p.
- Latraube F., (2011). Bilan du camp de baguage du Massereau 2011. ONCFS, Conservatoire du Littoral, Département de Loire-Atlantique. 8p.
- Latraube F. (2012). Bilan du camp de baguage du Migron 2012. LPO Loire-Atlantique, 10p
- Latraube F. (2013). Bilan de la prospection Phragmite aquatique *Acrocephalus paludicola* réalisée sur le marais de Goulaine du 14 au 24 août 2013. LPO Loire-Atlantique, 8p.
- Latraube F. (2013). Bilan de la prospection Phragmite aquatique *Acrocephalus paludicola* réalisée sur le marais de Mazerolles du 5 au 13 août 2013. LPO Loire-Atlantique, 8p.
- Latraube F. (2014). Bilan de la prospection Phragmite aquatique *Acrocephalus paludicola* réalisée sur le marais Breton Vendéen du 3 au 15 août 201. LPO Loire-Atlantique, 8p.
- Latraube F. (2015). Bilan de la prospection Phragmite aquatique *Acrocephalus paludicola* réalisée sur le site du Carnet (commune de Saint-Viaud) du 3 au 12 août 2015. LPO Loire-Atlantique, 9p.
- Latraube F. (2015). Bilan de la prospection Phragmite aquatique *Acrocephalus paludicola* réalisée sur le marais de la Seilleraye (commune de Mauves-sur-Loire et de Carquefou) du 13 au 26 août 2015. LPO Loire-Atlantique, 8p.
- Latraube F. (2017). Bilan de la prospection Phragmite aquatique *Acrocephalus paludicola* réalisée sur la Réserve Naturelle Régionale du polder du Sébastopol (commune de Barbâtre, Noirmoutier,

- 85) du 11 au 22 août 2017. LPO Loire-Atlantique, 11p.
- Latraube F. & Le Nevé A. (2014). La migration postnuptiale du Phragmite aquatique en région des Pays de la Loire et les habitats fréquentés. *Alauda* 82 (4), 2014 : 291-305
- Lebreton J.D., Burnham K.P., Clobert J., Anderson J.R., (1992). Modelling survival and testing biological hypothesis using marked animals: a unified approach with case studies. *Ecol Monogr* 62:67–118
- Le Nevé A., Bargain B., Provost P. & Latraube F. (2009). Le Phragmite aquatique *Acrocephalus paludicola* ; Plan national d'actions 2010 – 2014. Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, Direction régionale de l'Environnement Bretagne, Bretagne Vivante – SEPNEB. 177 p.
- Le Nevé A., Latraube F., Provost P. & Jiguet F. (2011) Synthèse des captures de Phragmites aquatiques en France en 2008 et 2009. Plan national d'actions du Phragmite aquatique 2010-2014. DREAL Bretagne. 52 p
- Liechti F (2006) Birds: blown by the wind. *J Ornithol* 147:202–211
- Liechti F, Schmaljohann H (2007) Wind-governed flight altitudes of nocturnal spring migrants over the Sahara. *Ostrich* 78:337–341
- Marquet M., Bonnet P., Sechet E., Julien R., Bécheau F. & Kerbiriou C. (2014). La Brière, un site de halte migratoire post-nuptiale d'importance pour le Phragmite Aquatique *Acrocephalus paludicola* et éléments d'écologie de l'espèce sur ce site. *Alauda* 82: 249–268.
- Marquet M. & Sechet E., (2010). Étude du stationnement du Phragmite aquatique (*Acrocephalus paludicola*) en halte migratoire postnuptiale sur la ZPS « Grande Brière - Marais de Donges et du Brivet ». Résultats de la campagne 2009. Parc naturel régional de Brière (Loire-Atlantique), Agence de l'Eau Loire-Bretagne, 55p.
- Marquet M. & Sechet E., (2011). Étude du stationnement du Phragmite aquatique (*Acrocephalus paludicola*) en halte migratoire postnuptiale sur la ZPS « Grande Brière - Marais de Donges et du Brivet ». Résultats de la campagne 2010. Parc naturel régional de Brière (Loire-Atlantique), Agence de l'Eau Loire-Bretagne, 22p.
- Marquet M. & Sechet E., (2014). Étude du stationnement du Phragmite aquatique (*Acrocephalus paludicola*) en halte migratoire postnuptiale sur la ZPS « Grande Brière - Marais de Donges et du Brivet ». Résultats de la campagne 2011. Parc naturel régional de Brière (Loire-Atlantique), Agence de l'Eau Loire-Bretagne, 28p.
- Marquet M. & Sechet E., (2015). Étude du stationnement du Phragmite aquatique (*Acrocephalus paludicola*) en halte migratoire postnuptiale sur la ZPS « Grande Brière - Marais de Donges et du Brivet ». Résultats de la campagne 2013. Parc naturel régional de Brière (Loire-Atlantique), Agence de l'Eau Loire-Bretagne, 26p.
- Marquet M. & Sechet E., (2019). Suivi du passage migratoire du Phragmite aquatique (*Acrocephalus paludicola*) par opération de baguage sur la ZPS « Grande Brière - Marais de Donges et du Brivet ». Résultats de la campagne 2017. Parc naturel régional de Brière (Loire-Atlantique), Agence de l'Eau Loire-Bretagne, 26p.
- Mourgaud G. & Simonneau M., (2022). Suivi par le baguage de la migration postnuptiale des fauvettes paludicoles et autres passereaux, sur la période 2010-2018, sur la station des Basses Vallées Angevines (Maine-et-Loire). p. 45-91
- Musseau R., Herrmann V., Kerbiriou C., Bénard S., Herault T., Kerbiriou E. et Jiguet F. (2014). Ecology of Aquatic Warblers *Acrocephalus paludicola* in a fall stopover area on the Atlantic coast of France. *Acta Ornithologica*, 49 : 93-105.
- Neto, J. M., Encarnação, V. and Fearon, P. (2010). Distribution, phenology and condition of Aquatic Warblers *Acrocephalus paludicola* migrating through Portugal. *Ardeola* 57, 181–189.
- Newton I. (2008). The Migration Ecology of Birds. The Migration Ecology of Birds. 10.1016/B978-0-12-517367-4.X5000-1.

- Pradel R., Hines J.E., Lebreton J.D. & Nichols J.D. (1997). Capture-recapture survival models taking account of transients. *Biometrics* 53:60-72.
- Provost P., Bargain B., Le Nevé A., Latraube F., Jiguet F. et Kerbiriou C. (2010). Groupe de travail « Phragmite aquatique ». Vers une stratégie nationale de conservation de l'espèce en France. Nouveau thème acrola inclus dans le Programme National de Recherche Ornithologique du CRBPO (Axe 3). Document 8p.
- Raitière W., Dortel F. (2009). Opérations de baguage dans le marais de Mazerolles, programme ACROLA. EDENN, LPO Loire-Atlantique, 18p.
- Reeber S., (2011 à 2021). Suivi ornithologique du Lac de Grand-Lieu. Présentation des résultats des suivis de l'avifaune du lac de Grand-Lieu par la SNPN. SNPN, Réserve Naturelle Lac de Grand-Lieu.
- Roberge, J.-M. & Angelstam, P. (2004). Usefulness of the umbrella species concept as a conservation tool. *Conservation Biology* 18: 76-85.
- Roques S. (2020). Études des déterminants du départ d'un site de halte migratoire: modélisation et implications pour la gestion. Thèse de doctorat de l'Université Toulouse III Paul Sabatier, Toulouse, 222 p.
- Safriel U. N., Lavee D. 1988. Weight changes of cross-desert migrants at an oasis — do energetic considerations alone determine the length of stopover? *Oecologia* 76: 611–619.
- Salewski V., Kéry M., Herremans M., Liechti F., Jenni L. (2009). Estimating fat and protein fuel from fat and muscle scores in passerines. *Ibis* 151 (4): 640-653.
- Salewski V., Schmaljohann H., Liechti F. (2010). Spring passerine migrants stopping over in the Sahara are not fall-outs. *Journal of Ornithology*, 151, pp. 371-378.
- Schaub M., (2006). How to study departure decisions of migrants from stopover places using capture-recapture data. *Acta Zool Sin* 52(suppl):602–605
- Schaub M., Jenni L. (2000a). Body mass of six long-distance migrant passerine species along the autumn migration route. *Journal of Ornithology* 141(4):441–460
- Schaub M. & Jenni L. (2000b). Fuel deposition of three passerine bird species along the migration route. *Oecologia*, 122(3), 306-317
- Schaub M. & Jenni L. (2001). Stopover durations of three warbler species along their autumn migration route. *Oecologia* vol. 122, no. 3, 2000, pp. 306–317.
- Schaub M., Pradel R., Jenni L. & Lebreton J.D. (2001). Migrating birds stop over longer than usually thought: an improved capture-recapture analysis. *Ecology*. 82. 10.2307/2680203.
- Schmaljohann H, Liechti F, Bruderer B (2007) Daytime passerine migrants over the Sahara—are these diurnal migrants or prolonged flights of nocturnal migrants. *Ostrich* 78:357–362
- Schmaljohann H, Bruderer B, Liechti F (2008) Sustained bird flights occur at temperatures far beyond expected limits. *Anim Behav* 76:1133–1138
- Simberloff, D. (1998). Flagships, umbrellas, keystones: is single-species management passé in the landscape era? *Biological Conservation* 81: 247-257.
- Tanneberger, F. & Kubacka, J. (eds) (2018) *The Aquatic Warbler Conservation Handbook*. Brandenburg State Office for Environment (LfU), Potsdam.
- White G. C., Burnham K. P. (1999). Program MARK : survival estimation from populations of marked animals. *Bird Study* 46 : 120-139.
- Wojczulanis-Jakubas K., Jakubas D., Foucher J., Dziarska J. & Dugué H. (2013). Differential autumn migration of the aquatic warbler *Acrocephalus paludicola*. *Die Naturwissenschaften*. 100. 10.1007/s00114-013-1108-4.
- Woodrey M. 2000. Age-dependent aspects of stopover biology of passerine migrants. *Stud. Avian Biol.* 20: 43–52.

## 7 ANNEXES



Annexe 1 : Localisation des stations de bague ACROLA en Pays de la Loire

Annexe 2 : Nombre de Phragmites aquatiques bagués en Pays de la Loire et lieux de contrôle

BAGUAGE STATION PDL	FR (HORS PDL)	FR (PDL)	FR (TOTAL)	AUTRICHE	BELGIQUE	BIELORUSSIE	ESPAGNE	LITUANIE	POLOGNE	PORTUGAL	REPUBLIQUE TCHEQUE	SENEGAL	UKRAINE	TOTAL GENERAL
Donges	4	9	13		1		1	4	4	1				24
Le Braud		1	1											1
Le Tertre Rouge		2	2					1						3
Marais de Pompas		2	2											2
Mizottes de Triaize	4		4		1	1	2		2			1		11
Noyant	1	4	5						1					6
Réserve de Brière Nord							1							1
Réserve de Brière Sud	1	5	6					1						7
Réserve de Grand-Lieu		1	1						2					3
Réserve du Massereau	2	2	4	1	1		1	3	2	1	1		1	15
Réserve du Migron		1	1											1
Réserve Pierre Constant		3	3				1	1						5
<b>Pays de la Loire</b>	<b>12</b>	<b>30</b>	<b>42</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>79</b>

BAGUAGE STATION PDL	FR (HORS PDL)	FR (PDL)	FR (TOTAL)	AUTRICHE	BELGIQUE	BIELORUSSIE	ESPAGNE	LITUANIE	POLOGNE	PORTUGAL	REPUBLIQUE TCHEQUE	SENEGAL	UKRAINE	TOTAL GENERAL
Donges	5%	11%	16%		1%		1%	5%	5%	1%				30%
Le Braud		1%	1%											1%
Le Tertre Rouge		3%	3%					1%						4%
Marais de Pompas		3%	3%											3%
Mizottes de Triaize	5%		5%		1%	1%	3%		3%			1%		14%
Noyant	1%	5%	6%						1%					8%
Réserve de Brière Nord							1%							1%
Réserve de Brière Sud	1%	6%	8%					1%						9%
Réserve de Grand-Lieu		1%	1%						3%					4%
Réserve du Massereau	3%	3%	5%	1%	1%		1%	4%	3%	1%	1%		1%	19%
Réserve du Migron		1%	1%											1%
Réserve Pierre Constant		4%	4%				1%	1%						6%
<b>Pays de la Loire</b>	<b>15%</b>	<b>38%</b>	<b>53%</b>	<b>1%</b>	<b>4%</b>	<b>1%</b>	<b>8%</b>	<b>13%</b>	<b>14%</b>	<b>3%</b>	<b>1%</b>	<b>1%</b>	<b>1%</b>	<b>100%</b>

BAGUAGE STATION PDL	FR (HORS PDL)	FR (PDL)	FR (TOTAL)	AUTRICHE	BELGIQUE	BIELORUSSIE	ESPAGNE	LITUANIE	POLOGNE	PORTUGAL	REPUBLIQUE TCHEQUE	SENEGAL	UKRAINE	TOTAL GENERAL
Donges	31%	69%	54%		4%		4%	17%	17%	4%				100%
Le Braud		100%	100%											100%
Le Tertre Rouge		100%	67%					33%						100%
Marais de Pompas		100%	100%											100%
Mizottes de Triaize	100%		36%		9%	9%	18%		18%			9%		100%
Noyant	20%	80%	83%						17%					100%
Réserve de Brière Nord							100%							100%
Réserve de Brière Sud	17%	83%	86%					14%						100%
Réserve de Grand-Lieu		100%	33%						67%					100%
Réserve du Massereau	50%	50%	27%	7%	7%		7%	20%	13%	7%	7%		7%	100%
Réserve du Migron		100%	100%											100%
Réserve Pierre Constant		100%	60%				20%	20%						100%
<b>Pays de la Loire</b>	<b>29%</b>	<b>71%</b>	<b>53%</b>	<b>1%</b>	<b>4%</b>	<b>1%</b>	<b>8%</b>	<b>13%</b>	<b>14%</b>	<b>3%</b>	<b>1%</b>	<b>1%</b>	<b>1%</b>	<b>100%</b>

Annexe 3 : Nombre de Phragmites aquatiques contrôlés en Pays de la Loire et lieux de baguage

CONTROLE STATION PDL	FR (HORS PDL)	FR (PDL)	FR (TOTAL)	BELGIQUE	ESPAGNE	GRANDE-BRETAGNE	LITUANIE	PAYS-BAS	POLOGNE	TOTAL GENERAL
Donges	12	8	20	5	2		1	4	6	38
Etang des Mattes	1		1							1
Le Braud	2	1	3	1						4
Le Tertre Rouge	1	4	5							5
Les Polders	0	1	1							1
Marais de la Seilleraye	1		1							1
Marais de Pompas	1	1	2							2
Mizottes de Triaize	7	1	8	4						12
Noyant	2	1	3	1						4
Réserve de Brière Sud	2	2	4			1	1		1	7
Réserve de Grand-Lieu	0	1	1	1						2
Réserve du Massereau	1	7	8	2	1				1	12
Réserve du Migron	2	1	3	1						4
Réserve Pierre Constant	2	2	4	1						5
Tourbières de France	1		1							1
<b>Pays de la Loire</b>	<b>35</b>	<b>30</b>	<b>65</b>	<b>16</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>99</b>

CONTROLE STATION PDL	FR (HORS PDL)	FR (PDL)	FR (TOTAL)	BELGIQUE	ESPAGNE	GRANDE-BRETAGNE	LITUANIE	PAYS-BAS	POLOGNE	TOTAL GENERAL
Donges	12%	8%	20%	5%	2%		1%	4%	6%	38%
Etang des Mattes	1%		1%							1%
Le Braud	2%	1%	3%	1%						4%
Le Tertre Rouge	1%	4%	5%							5%
Les Polders	0%	1%	1%							1%
Marais de la Seilleraye	1%		1%							1%
Marais de Pompas	1%	1%	2%							2%
Mizottes de Triaize	7%	1%	8%	4%						12%
Noyant	2%	1%	3%	1%						4%
Réserve de Brière Sud	2%	2%	4%			1%	1%		1%	7%
Réserve de Grand-Lieu	0%	1%	1%	1%						2%
Réserve du Massereau	1%	7%	8%	2%	1%				1%	12%
Réserve du Migron	2%	1%	3%	1%						4%
Réserve Pierre Constant	2%	2%	4%	1%						5%
Tourbières de France	1%		1%							1%
<b>Pays de la Loire</b>	<b>35%</b>	<b>30%</b>	<b>66%</b>	<b>16%</b>	<b>1%</b>	<b>1%</b>	<b>2%</b>	<b>4%</b>	<b>8%</b>	<b>100%</b>

CONTROLE STATION PDL	FR (HORS PDL)	FR (PDL)	FR (TOTAL)	BELGIQUE	ESPAGNE	GRANDE-BRETAGNE	LITUANIE	PAYS-BAS	POLOGNE	TOTAL GENERAL
Donges	60%	40%	53%	13%	5%		3%	11%	16%	100%
Etang des Mattes	100%		100%							100%
Le Braud	67%	33%	75%	25%						100%
Le Tertre Rouge	20%	80%	100%							100%
Les Polders	0%	100%	100%							100%
Marais de la Seilleraye	100%		100%							100%
Marais de Pompas	50%	50%	100%							100%
Mizottes de Triaize	88%	13%	67%	33%						100%
Noyant	67%	33%	75%	25%						100%
Réserve de Brière Sud	50%	50%	57%			14%	14%		14%	100%
Réserve de Grand-Lieu	0%	100%	50%	50%						100%
Réserve du Massereau	13%	88%	67%	17%	8%				8%	100%
Réserve du Migron	67%	33%	75%	25%						100%
Réserve Pierre Constant	50%	50%	80%	20%						100%
Tourbières de France	100%		100%							100%
<b>Pays de la Loire</b>	<b>54%</b>	<b>46%</b>	<b>66%</b>	<b>16%</b>	<b>1%</b>	<b>1%</b>	<b>2%</b>	<b>4%</b>	<b>8%</b>	<b>100%</b>

*Annexe 4 : Comparaison des résultats du modèle sélectionné et du model averaging*

ANNEE	SITE	PARAMETRE	MODELE	ESTIMATE	SE	LCI	UCI
2011	Donges	Gamma	{Gamma(.) p(.) Design Matrix}	0,476	0,098	0,295	0,663
		Gamma	Model averaging	0,462	0,107	0,270	0,666
		pc	{Gamma(.) p(.) Design Matrix}	0,076	0,035	0,030	0,180
		pc	Model averaging	0,086	0,045	0,030	0,224
		Phi	{Phi(.) p(.) Design Matrix}	0,501	0,105	0,305	0,696
		Phi	Model averaging	0,488	0,112	0,283	0,697
		pr	{Phi(.) p(.) Design Matrix}	0,073	0,034	0,028	0,173
		pr	Model averaging	0,081	0,042	0,028	0,212
	Massereau	Gamma	{Gamma(.) p(.) Design Matrix}	0,476	0,098	0,295	0,663
		Gamma	Model averaging	0,511	0,143	0,254	0,762
		pc	{Gamma(.) p(.) Design Matrix}	0,076	0,035	0,030	0,180
		pc	Model averaging	0,064	0,042	0,017	0,215
		Phi	{Phi(.) p(.) Design Matrix}	0,501	0,105	0,305	0,696
		Phi	Model averaging	0,532	0,142	0,271	0,777
		pr	{Phi(.) p(.) Design Matrix}	0,073	0,034	0,028	0,173
		pr	Model averaging	0,074	0,051	0,018	0,258
2012	Donges	Gamma	{Gamma(.) p(.) Design Matrix}	0,629	0,086	0,450	0,777
		Gamma	Model averaging	0,628	0,086	0,450	0,777
		pc	{Gamma(.) p(.) Design Matrix}	0,051	0,022	0,022	0,117
		pc	Model averaging	0,052	0,022	0,022	0,118
		Phi	{Phi(.) p(.) Design Matrix} p(FS)}	0,609	0,086	0,434	0,760
		Phi	Model averaging	0,614	0,086	0,440	0,764
		pr	{Phi(.) p(.) Design Matrix} p(FS)}	0,052	0,023	0,022	0,119
		pr	Model averaging	0,051	0,022	0,022	0,117
2014	Donges	Gamma	{Gamma(.) p(.) Design Matrix}	0,837	0,079	0,623	0,941
		Gamma	Model averaging	0,835	0,083	0,609	0,943
		pc	{Gamma(.) p(.) Design Matrix}	0,020	0,011	0,006	0,060
		pc	Model averaging	0,027	0,018	0,007	0,096
		Phi	{Phi(.) p(.) Design Matrix}	0,829	0,078	0,621	0,935
		Phi	Model averaging	0,822	0,080	0,613	0,931
		pr	{Phi(.) p(.) Design Matrix}	0,019	0,011	0,006	0,058
		pr	Model averaging	0,025	0,016	0,007	0,086
	Massereau	Gamma	{Gamma(.) p(.) Design Matrix}	0,837	0,079	0,623	0,941
		Gamma	Model averaging	0,860	0,106	0,521	0,972
		pc	{Gamma(.) p(.) Design Matrix}	0,020	0,011	0,006	0,060
		pc	Model averaging	0,012	0,012	0,002	0,080
		Phi	{Phi(.) p(.) Design Matrix}	0,829	0,078	0,621	0,935
		Phi	Model averaging	0,829	0,101	0,545	0,952
		pr	{Phi(.) p(.) Design Matrix}	0,019	0,011	0,006	0,058
		pr	Model averaging	0,015	0,013	0,003	0,077
2015	Donges	Gamma	{Gamma(.) p(g) Design Matrix} p(FS)}	0,787	0,050	0,673	0,870
		Gamma	Model averaging	0,806	0,057	0,671	0,894
		pc	{Gamma(.) p(g) Design Matrix} p(FS)}	0,043	0,017	0,020	0,090

ANNEE	SITE	PARAMETRE	MODELE	ESTIMATE	SE	LCI	UCI
		pc	Model averaging	0,040	0,016	0,018	0,087
		Phi	{Phi(.) p(g) Design Matrix} p(FS)}	0,791	0,049	0,678	0,872
		Phi	Model averaging	0,803	0,055	0,674	0,890
		pr	{Phi(.) p(g) Design Matrix} p(FS)}	0,043	0,015	0,021	0,086
		pr	Model averaging	0,035	0,003	0,028	0,042
	Massereau	Gamma	{Gamma(.) p(g) Design Matrix} p(FS)}	0,787	0,050	0,673	0,870
		Gamma	Model averaging	0,732	0,103	0,494	0,884
		pc	{Gamma(.) p(g) Design Matrix} p(FS)}	0,070	0,033	0,027	0,168
		pc	Model averaging	0,059	0,039	0,016	0,198
		Phi	{Phi(.) p(g) Design Matrix} p(FS)}	0,791	0,049	0,678	0,872
		Phi	Model averaging	0,743	0,098	0,515	0,887
		pr	{Phi(.) p(g) Design Matrix} p(FS)}	0,063	0,029	0,025	0,150
		pr	Model averaging	0,062	0,005	0,052	0,071

Annexe 5 : Effectifs annuels (jeunes et adultes) et résultats du modèle GLS par station

