

UFR SCIENCES ET TECHNIQUES DE LA COTE BASQUE
Université de Pau et des Pays de l'Adour

Licence Biologie des Organismes

**LE CHOIX DU SITE DE NIDIFICATION DE DEUX ESPÈCES
DE PASSERAUX EST-IL INFLUENCÉ PAR SON
UTILISATION ANTERIEURE ET PAR LA PRESENCE D'UN
ECTOPARASITE ? II Y A-T-IL UN IMPACT DE CE CHOIX
SUR LEUR SUCCES REPRODUCTEUR ?**

DARQUIE Léa

Stage effectué du 11 mars au 6 juillet 2014 au
Department of Animal Ecology, University of Uppsala
Ile de Gotland, Suède
sous la direction scientifique de Lars Gustafsson
et l'encadrement d'Anaïs Appelgren

"Le présent rapport constitue un exercice pédagogique qui ne peut en aucun cas engager la responsabilité de l'Entreprise ou du Laboratoire d'accueil"

Remerciements

Je remercie mon maître de stage, M. Lars GUSTAFSSON, pour m'avoir permis d'effectuer ce stage sur les terrains d'étude de l'Université d'Uppsala, sur l'île de Gotland.

Je remercie également Mme Blandine DOLIGEZ, pour m'avoir mise en contact avec mon encadrante Anaïs APPELGREN.

Je tiens tout particulièrement à remercier :

Anaïs APPELGREN, ma thésarde encadrante, pour sa patience, sa disponibilité et son aide tout le long de ce stage.

Mes collègues Elise COQUILLART, Nicolas GAL, Morgane MANOURY, Quentin MAUVISSEAU et Elodie TOUCHEBOEUF pour leur travail d'équipe, leur bonne humeur quotidienne et leur implication dans ce stage.

Un grand merci à mes parents et à ma sœur pour m'avoir aidé dans mes différentes démarches pour ce stage et à leur soutien sans faille durant ce stage.

Avant-propos

Ce stage est réalisé sous l'encadrement d'Anaïs Appelgren, doctorante sous la co-tutelle de Heinz Richner, à la tête du laboratoire d'écologie évolutive à l'Université de Bern ; de Blandine Doligez, chercheuse au LBBE de Lyon, dans l'équipe Ecologie du Comportement et Dynamique des populations ; et sous le co-encadrement de Karen McCoy, chercheuse au laboratoire MIVEGEC de Montpellier, dans l'équipe Interactions Parasitaires et Adaptations (IPA).

L'île de Gotland possède une population très importante à la fois de gobe-mouches à collier *Ficedula albicollis* et de mésanges charbonnières *Parus Major*, c'est pourquoi elle a été choisie pour les expérimentations liées à la thèse d'Anaïs. Un partenariat a donc été établi avec l'Université d'Uppsala (Suède), et plus particulièrement le Département d'Ecologie Animale, où travaille mon maître de stage, Lars Gustafsson.

Sommaire

1	Introduction	1
2	Matériels et méthodes.....	3
2.1	Modèle d'étude	3
2.1.1	Le parasite	3
2.1.2	Les hôtes.....	3
2.2	Mise en place du protocole de choix	4
2.2.1	Obtention de nids de mésanges et de gobemouches à collier	4
2.2.2	Mise en place du protocole de choix du site de nidification	5
2.2.3	Suivi de population.....	5
2.3	Analyses statistiques.....	6
2.4	Expériences sur la migration parasitaire.....	7
3	Résultats	8
3.1	Description générale du système	8
3.2	Impact du traitement (infestation ou non des bois)	9
3.3	Impact du choix	10
3.4	Immigration des puces.....	11
4	Discussion	12
5	Conclusion et perspectives	15

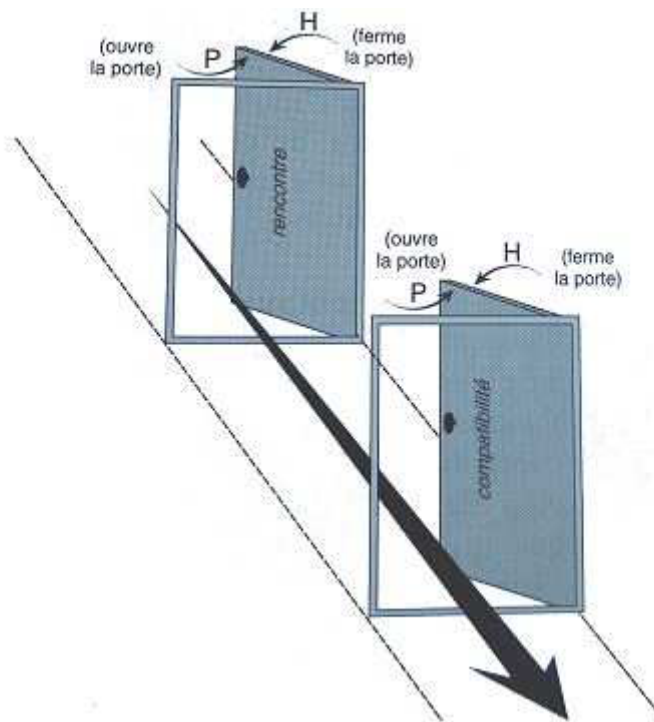


Figure 1. Représentation des filtres de rencontre et de compatibilité (Combes, 2010), P : Parasite, H : Hôte

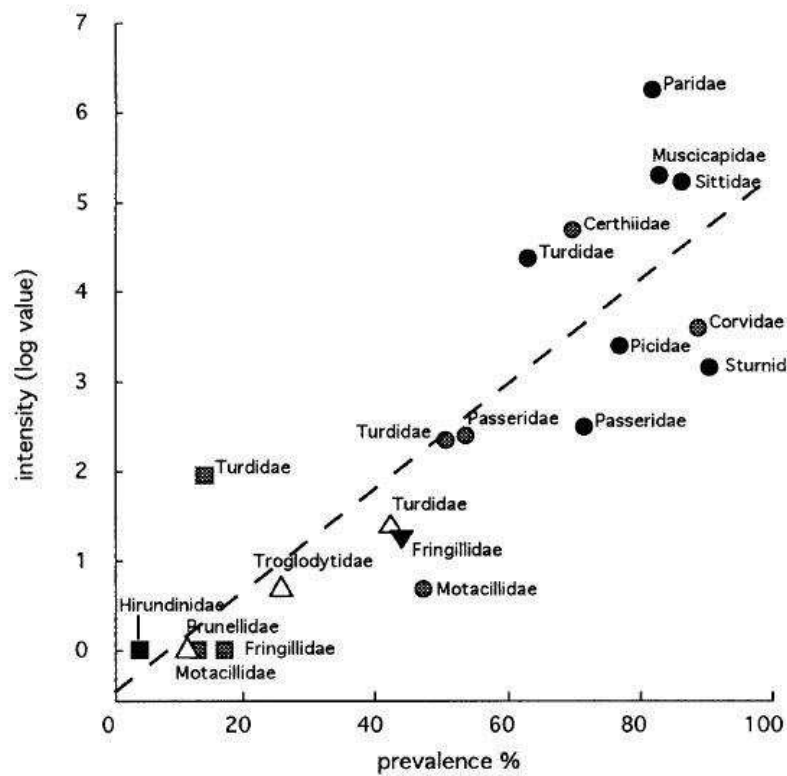


Figure 2. Représentation des différents hôtes de *C. gallinae* en fonction de l'abondance et de la prévalence du parasite (Tripet F. et Richner H., 1997)

1 Introduction

Le parasitisme est une relation biologique entre deux organismes d'espèce différente, où le parasite vit aux dépens du parasité, appelé hôte. Ils partagent un lien trophique, à bénéfice unilatéral. Comme le parasite vit et se reproduit aux dépens de son hôte, celui-ci voit ses traits d'histoire de vie (cycle de reproduction, taille des adultes ...) se modifier. De ce fait, les relations hôte-parasite peuvent modifier la structure des systèmes écologiques auxquels elles appartiennent.

Ces systèmes ne peuvent se créer que s'il y a rencontre entre les deux protagonistes, et s'il y a survie du parasite au contact de son hôte potentiel. De ces conditions découle alors une coévolution appelée « course à l'armement ». Cette course peut être symbolisée par deux filtres, appelés filtre de rencontre et filtre de compatibilité. L'hôte va s'efforcer de fermer ces filtres en sélectionnant les gènes les plus adaptés pour éviter le parasite (filtre de rencontre) et pour le tuer (filtre de compatibilité). A l'inverse, le parasite sélectionnera des gènes les plus adaptés pour ouvrir ces filtres, les gènes pour rencontrer (filtre de rencontre) et pour survivre (filtre de compatibilité) (Euzet et Combes, 1980, illustrée dans la version de 2010) (figure 1).

Les systèmes hôte-parasite sont donc un très bon modèle permettant d'étudier des phénomènes tels que la coévolution ; les parasites sont également des agents responsables de maladie, voire des vecteurs d'autres parasites (par exemple les tiques sont vecteurs des bactéries causant la maladie de Lyme), comprendre leur fonctionnement est donc fondamental pour pouvoir faire face à ces transmissions.

Parmi les parasites existant, la puce des oiseaux *Ceratophyllus gallinae* est un parasite de nombreux oiseaux et notamment de la mésange charbonnière *Parus major* et du gobe-mouche à collier *Ficedula albicollis*. Ces deux espèces appartiennent respectivement à la famille des Paridés et des Muscicapidés, qui sont les plus parasitées par *C. gallinae* au niveau de sa prévalence et de son abondance (figure 2) (F. Tripet and H. Richner, 1997). Ce système, composé d'un parasite et de deux hôtes, est celui étudié ici.

De nombreuses études ont été faites sur ces interaction - notamment entre la puce des oiseaux et la mésange charbonnière - cependant la plupart d'entre-elles sont axées sur l'hôte et non le parasite. Par exemple, Christie *et al.*, (1994). ont réalisé une étude sur le comportement de nidification de la mésange charbonnière en présence de puces. Afin de fermer le filtre de rencontre entre son parasite et elle, la mésange charbonnière sélectionne son site de nidification en partie en fonction de la présence de la puce. Cependant, les cavités naturelles viables pour la reproduction des mésanges sont une ressource limitée, les oiseaux revenant généralement tous les ans dans les mêmes secteurs.

Or, la compréhension de ces systèmes nécessite également d'élargir le champ d'interaction de *C. gallinae*, en ajoutant d'autres hôtes de son spectre et des interactions hôtes-hôtes. Le spectre d'hôte est fortement lié à la compatibilité entre le parasite et l'hôte, ainsi qu'à leur probabilité de rencontre, conditionnée par leur comportement. Par exemple, une étude a montré que la distribution spatiale des hôtes était un paramètre important dans la spécialisation et/ou la spéciation des parasites, et que, de fait, des oiseaux ayant une zone de nidification groupée abritaient plus d'espèces de puces que des oiseaux nichant à l'écart (Tripet *et al.*, 2002).

En corrélation avec cette dernière étude, il est intéressant de se demander si la puce des oiseaux, considérée comme généraliste, ne présente pas des lignées spécialisées entre des hôtes nichant au même endroit, et si les hôtes en question n'adaptent pas leur comportement de choix de l'habitat en fonction de cette hypothétique spécialisation.

L'année précédente, des expériences ont été effectuées sur la structuration spatiale des populations du parasite et sa structuration en fonction de ses hôtes, dans le but de savoir s'il existait une spécialisation des puces en fonctions des espèces hôtes. Des tendances ont été trouvées, montrant que peut-être il existe une spécialisation des puces en fonction de ses hôtes (Manoury M., 2013).

Cette année complète la réflexion en étudiant le comportement du choix de l'habitat de l'hôte et le comportement migratoire du parasite, qui conditionnent la rencontre entre le parasite et l'hôte, ainsi que le succès reproducteur résultant du choix.

En accord avec la théorie des filtres, la sélection naturelle favorise les oiseaux favorise capables de stratégies lui permettant d'éviter le parasite ; on peut donc émettre l'hypothèse qu'une espèce « cherchera » à éviter de nicher sur les vieux nids de ses congénères, afin de limiter ses interactions avec des puces possiblement spécialisées. Par ailleurs, les gobe-mouches auraient tout intérêt à choisir des nichoirs contenant des vieux nids de mésange, Lemoine *et al.* (2012) ayant montré que la nature des matériaux de ces nids pouvaient limiter les coûts du parasitisme (un nid de mousse posséderait des propriétés antipuces).

D'autre part, la présence d'un vieux nid dans un nichoir peut être considérée par l'oiseau comme un signal de présence de puces (« un oiseau y a déjà niché, il y a forcément des parasites dans le nid ») ou de viabilité du nichoir (« si un oiseau y a déjà niché, c'est que les paramètres environnementaux sont favorables »).

Une expérience a donc été mise en place pour répondre aux questions suivantes : le choix du site de nidification des deux passereaux est-il influencé par son utilisation antérieure et par la présence de *C.gallinae* ? Y-a-t-il un impact sur leur succès reproducteur ?

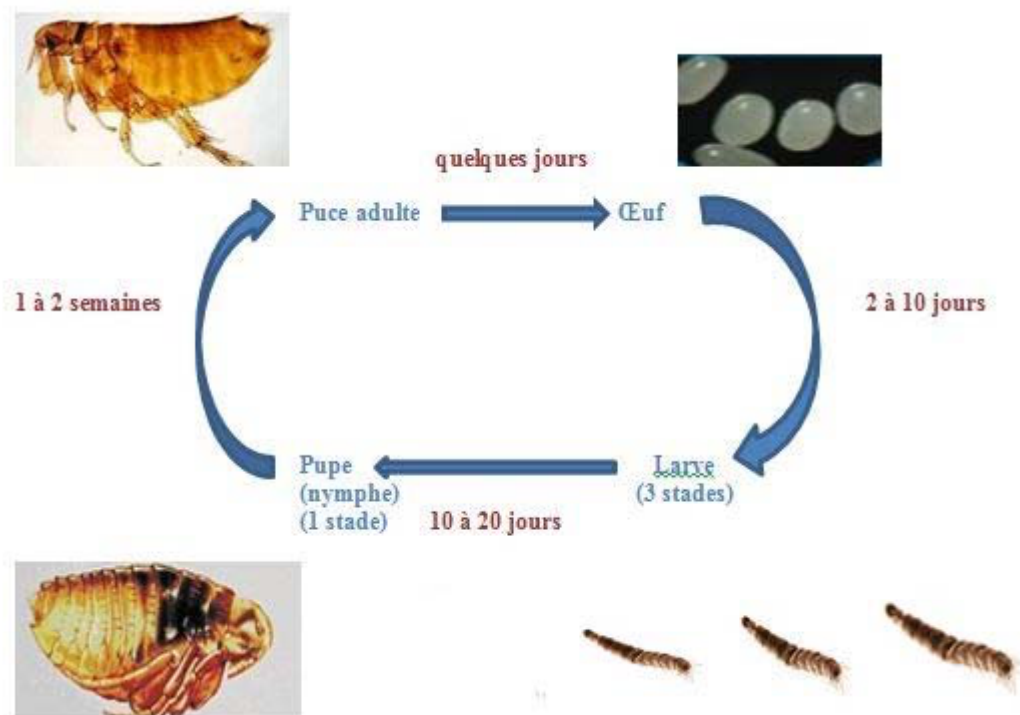


Figure 3. Cycle de développement de *Ceratophyllus gallinae*, le parasite effectue un à deux cycles de reproduction pendant la saison de reproduction de son hôte, le stade nymphal est la forme de résistance, persistant dans les nids durant l'hiver.



Figure 4. Mésanges charbonnières mâle (à gauche) et femelle (à droite)

2 Matériels et méthodes

2.1 Modèle d'étude

2.1.1 Le parasite

Le parasite étudié ici est la puce des oiseaux *Ceratophyllus gallinae*, un ectoparasite de couleur brune à noire mesurant entre 1.5 et 8 mm de long. *C. gallinae* est latéralement aplati et possède un appareil buccal piqueur suceur orienté vers le bas. Les mâles et femelles peuvent être différenciés : la femelle possède un abdomen tronqué et les mâles des antennes plus longues. Cependant, on ne peut observer ces différences qu'à la loupe binoculaire.

La puce des oiseaux vit dans le nid de son hôte, et se nourrit de l'hôte adulte pendant sa période d'incubation des œufs, puis des oisillons, ce qui peut entraîner une baisse importante de la fitness. Son cycle de développement comprend trois stades larvaires et un stade nymphal avant le stade adulte (figure 2). Elle n'est parasite que pendant son stade adulte, les larves se nourrissant de débris et du sang partiellement digéré émis par les adultes.

A la fin de la saison de reproduction de l'hôte, les puces adultes auront tendance à disperser, tandis que les larves et surtout les nymphes entreront dans un état de dormance pour l'hiver, jusqu'à la saison suivante.

2.1.2 Les hôtes

Les deux hôtes étudiés ici sont la mésange charbonnière *Parus major* et le gobe-mouche à collier *Ficedula albicollis*. Ces deux espèces d'oiseaux font partie des hôtes principaux de la puce des oiseaux.

2.1.2.1 *Parus major*

La mésange charbonnière, *Parus major*, est un passereau de la famille des Paridés, mesurant environ 14cm, pesant entre 16 à 21g et ayant une envergure de 23 à 26cm. Son plumage la rend facilement reconnaissable, en effet sa tête noire aux joues blanches, ses parties inférieures jaunes et sa bande noire partant du cou jusqu'à l'abdomen et sont spécifiques de l'espèce. La différenciation sexuelle se fait grâce à cette bande noire, qui est plus marquée pour le mâle que pour les femelles, chez qui elle rétrécit au niveau de l'abdomen (figure 4).

Cet oiseau est sédentaire, parfois migrateur partiel, et est présent sur tout le continent Eurasiatique et l'extrême nord-ouest de l'Afrique. Il vit dans des forêts mixtes ou de feuillus, mais est également à l'aise dans des zones semi-anthropisées comme les agrosystèmes ou les jardins ; il se nourrit essentiellement d'insectes et d'araignée, ainsi que de graines, et fréquente les mangeoires l'hiver.

La femelle commence à construire son nid au début du printemps, dans des cavités naturelles à l'abri de l'eau et des prédateurs (dans un tronc d'arbre par exemple), ou dans des nichoirs artificiels. Le nid est composé de mousse et de poils, avec une coupelle en son centre pour accueillir les œufs blancs tachetés de brun, en moyenne au nombre de 9, qu'elle enfouira en attendant l'incubation. Cette dernière dure entre 13 et 14 jours. Au 14^{ème} jour après éclosion, les poussins ont fini leur croissance mais ils ne partiront du nid qu'autour du 20^{ème} jour et resteront dépendants de leurs parents encore quelques semaines.



Figure 5. Gobe-mouches à collier mâle (à gauche) et femelle (à droite)
(photos Léa Darquié et Nicolas Gal)

2.1.2.2 *Ficedula albicollis*

Le gobe-mouche à collier, *Ficedula albicollis*, est également un passereau mais de la famille des Muscicapidés. C'est un oiseau de 14cm environ et migrateur transsaharien, partant de l'Afrique à la fin avril pour venir se reproduire en Europe.

Le mâle est très différent de la femelle, son plumage est noir et blanc, avec notamment un collier blanc autour du cou tandis que la femelle est plutôt grise avec des taches blanches sur les ailes et autour du cou. Elle présente elle aussi un collier mais visible seulement dans le duvet du cou, ce qui la différencie des femelles des autres espèces de gobe-mouche (figure 4). Les gobemouches à collier tiennent leur nom du fait qu'ils se nourrissent principalement de petits insectes volants.

La nidification se fait courant mai, dans des cavités naturelles à l'abri de l'eau ou dans des nichoirs artificiels ; il se retrouve dans des forêts de feuillus, notamment des chênaies. Le nid est composé d'herbes et de feuilles sèches arrangées en coupelle où seront déposés les œufs, entre 5 et 8 en moyenne. L'incubation dure environ 14 jours, et les oisillons quittent le nid environ 2 semaines après l'éclosion et restent dépendants de leurs parents encore quelques semaines.

2.2 Mise en place du protocole de choix

Pour étudier le choix de nidification des deux espèces étudiées, un protocole expérimental a été mis en place. Celui-ci consiste à faire choisir à l'hôte un nichoir contenant soit un nid de mésange, soit un nid de gobemouche, dans un même micro-environnement. Les deux nichoirs peuvent être infestés par des puces ou non. Ce protocole nécessite donc l'obtention de nids des espèces étudiées, de mettre en place le dispositif de choix et d'effectuer un suivi des populations.

2.2.1 Obtention de nids de mésanges et de gobemouches à collier

Les nids de mésange et de gobemouche à collier ont été récupérés dans des bois ayant été utilisés les années précédentes par d'autres équipes de recherches, ainsi qu'auprès d'autres équipes de recherche qui n'en avaient pas ou plus l'utilité. Ainsi, 887 nids ont été récupérés, soit 425 nids de mésanges et 462 de gobemouches.

Ces nids ont ensuite été classés selon leur degré d'infestation par la puce des oiseaux, déterminé brièvement lors de leur collecte : visiblement infestés ou non. Les nids non infestés ont été mesurés, pesés et stérilisés au micro-onde, afin de servir de support dans le dispositif de choix. Les nids infestés ont été regroupés dans des bacs, afin de faire des pools de puces indifférenciées qui ont servi à infester la moitié des nids utilisés pour l'expérience. Les nids de ces pools eux-mêmes ont été réutilisés plus tard pendant la fin de la mise en place.

Il y a plusieurs pools de puces car tout d'abord nous n'avions pas de récipient assez grand pour en faire un seul, cela permet également de nous garantir un certain stock de puces si jamais l'un des pools meurt et cela évite que les nids soient trop tassés et entrent en fermentation ou que les puces s'asphyxient.

Nombre de paires de niohirs	Bois infestés	Bois non infestés
46 paires	Högbro	Masterby & New Gervalds
40 paires	Vall	Resarve
36 paires	Halla	Atlingbo

Tableau 1. Correspondances entre les bois du Sud

Nombre de paires de niohirs	Bois infestés	Bois non infestés
52 paires	Big Forest	Gudings
46 paires	Fornborg	Hagdarve
44 paires	Svanuvalds	Binge 1 & 2
40 paires	Jaksarve	Sigdes

Tableau 2. Correspondances entre les bois du Nord



Figure 6. Doubleon de niohirs
(photo Elodie Toucheboeuf)

+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
+										
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
+										
+		+	+	+	+	+	+	+	+	+
+										
+		+	+	+	+	+	+	+	+	+
+										
+										

Figure 7. Schéma de l'organisation d'un bois et de ses niohirs (+ : paire de vieux niohirs installés lors de la première mise en place, au début de la reproduction des mésanges ; + : paire de vieux niohirs neufs installés lors de la première mise en place ; + : paire de vieux niohirs installés lors de la seconde mise en place, au début de la reproduction des gobe-mouches ; + : paire de niohirs neufs installés lors de la seconde mise en place)

2.2.2 Mise en place du protocole de choix du site de nidification

Les bois choisis pour cette expérience sont au nombre de 16, répartis sur deux zones géographiques appelées sud (9 bois) et nord (7 bois), séparés par une trentaine de kilomètres (Annexe 3). Chaque bois est associé à un autre, tous deux présentant les mêmes conditions environnementales (taille, essence végétale, zone géographique, ...), l'un étant infesté et l'autre non (Tableau 1 et Tableau 2). Les mésanges ont tendance à revenir tous les ans dans les mêmes bois ainsi que les gobe-mouches dans une moindre mesure. C'est pourquoi l'infestation se fait sur le bois entier, afin que les oiseaux ne puissent choisir entre des nichoirs infestés et non infestés. De plus, des déplacements de puces intra-bois sont possibles, il est donc plus fiable d'infester entièrement un bois plutôt qu'une partie.

Ceci nous permettra ensuite de voir si la présence de puces influence ou non le choix du nichoir dans lequel est présent un vieux nid de mésange ou de gobe-mouche.

Ces bois ayant été déjà utilisés l'an dernier, des nichoirs avaient été déjà installés et ont été retrouvés plus ou moins abimés. Le protocole de choix nécessitait la mise en place de paires de nichoirs, environ 400 nichoirs neufs ont été installés en plus de ceux déjà sur place. Afin de limiter au maximum les biais possibles, les vieux nichoirs ont été appariés selon leurs caractéristiques telles que l'ancienneté des nichoirs et leurs dimensions... (figure 6).

Les gobemouches à collier sont des oiseaux migrateurs et ont un cycle de reproduction décalé par rapport aux mésanges, ce qui fait que les mésanges – qui sont sédentaires – commencent à s'installer dans les nichoirs quelques semaines avant les gobemouches. La moitié des nichoirs, répartie aléatoirement dans l'espace, a donc été bouchée. Ceci afin de ne pas biaiser le choix des gobemouches, qui sinon se seraient installés dans les nichoirs restant, potentiellement dans les moins bons habitats, sans que l'on sache si le choix était délibéré. Ils ont été débouchés et préparés pour l'expérience lors de l'arrivée des premiers gobemouches sur l'île (figure 7).

Le reste des nichoirs a été nettoyé au maximum, stérilisé au chalumeau et renuméroté de façon logique. Par la suite, un nid de mésange et un nid de gobemouche stérilisés ont été installés de manière aléatoire dans chaque paire, et infestés par des puces des oiseaux pour la moitié des bois qui devait l'être. Chaque nid des bois « infestés » a reçu une dose de 60 puces au moment de sa mise en place.

Tous les nichoirs ne seront pas colonisés que par ces deux espèces : elles ne sont pas les seules à nicher dans des cavités artificielles. Nous avons donc trouvé des mésanges bleues, des moineaux et des torcols, qui n'ont pas été pris en compte dans le protocole.

2.2.3 Suivi de population

Le suivi commence dès la fin de la mise en place du dispositif de choix, les visites se font tous les deux jours. Ce suivi est composé de deux étapes : le suivi de nidification et le suivi de l'oisillon (de la fin de ponte jusqu'à l'envol).

Dans la première étape, nous suivons l'évolution de l'installation des mésanges charbonnières en premier lieu, puis celle des gobemouches à collier ; ce qui comprend l'arrivée de l'oiseau dans le nichoir, les différents stades de construction du nid (figure 8) et la ponte. La ponte commence généralement lorsque le nid est aux stades 3 ou 4. La fin de ponte est estimée lorsque l'on retrouve deux fois de suite le même nombre d'œufs dans le nid, une

<i>Quelques brins de mousse</i>		<i>Stade 0</i>		<i>Quelques brindilles</i>
<i>Leger tapis de mousse, cachant presque le nid dessous</i>		<i>Stade 1</i>		<i>Brindilles recouvrant presque le fond</i>
<i>Tapis épais de mousse, recouvrant entièrement le fond</i>		<i>Stade 2</i>		<i>Brindilles et herbes recouvrant le fond mais pas encore organisés</i>
<i>Apport de nouveaux matériaux mais pas organisés</i>		<i>Stade 3</i>		<i>Brindilles et herbes formant une coupelle plus ou moins profonde mais non « tissée »</i>
<i>Formation d'une coupelle</i>		<i>Stade 4</i>		<i>Coupelle tissée</i>

Figure 8. Stades de nidification chez la mésange charbonnière (à gauche) et le gobe-mouche à collier (à droite) (photos Elodie Toucheboeuf), la construction des nouveau nid se fait par-dessus le vieux nid mis en place dans le nichoir, ici, un vieux nid de mésange dans les deux cas.



Figure 9. Mesure du tarse d'une mésange charbonnière de 14 jours (photo Elise Coquillart)



Figure 10. Mesure de l'aile d'une mésange charbonnière de 14 jours (photo Elise Coquillart)

mésange ou un gobemouche pondant au maximum 1 œuf par jour. Les visites s'arrêtent alors pendant la majeure partie du temps de couvaison, soit 11 jours pour les deux espèces.

Le suivi de l'oisillon commence avec les visites d'éclosion, à partir du 11^e jour d'incubation. Les oisillons font tous le même poids à l'éclosion (environ 1,4g), et ont une prise de poids standard de 0,6g au cours du premier jour. Lors de l'éclosion, les oisillons sont donc pesés afin de déterminer exactement le jour où ils ont éclos. Cette donnée permettra de définir les dates des prochaines visites. A partir de ce moment les visites sont faites tous les deux jours. Le nid continue d'être visité jusqu'à ce que la fin d'éclosion soit déterminée, c'est-à-dire lorsque tous les oisillons ont éclos ou lorsque l'on retrouve le même nombre d'oisillons après 2 visites.

Les nids en fin d'éclosion ne sont plus dérangés, jusqu'au 8^{ème} jour post-éclosion (pour les gobe-mouches) ou au 9^{ème} jour (pour les mésanges). A ce moment, les oisillons sont repesés afin d'avoir une mesure de leur condition physique à mi-croissance puis sont identifiés individuellement par baguage si possible (il faut que les oisillons pèsent plus de 11g sinon ils sont trop petits et fragiles). Si le baguage est impossible, les oisillons sont tout de même identifiés de manière provisoire par l'épilation de leur duvet ou la coupe de leurs ongles. Les bagues sont fournies par le Museum d'Histoire Naturelle de Stockholm (Naturhistoriska riksmuseet). Au 12^{ème} jour (pour les gobe-mouches) ou au 14^{ème} (pour les mésanges), une visite de pré-envol est effectuée, où les oisillons sont pesés et mesurés pour regarder l'évolution de la croissance de l'oisillon d'une part, et d'autre part pour regarder si la présence de puces ou non, et le choix de nid effectué par les parents pourrait avoir un effet sur cette croissance. Les mesures se font sur le tarse et l'aile (figure 8 et 9).

La dernière visite est la visite d'envol, qui se fait au 20^{ème} jour, où l'on regarde si tous les oisillons se sont envolés, cette visite est répétée si des petits vivants sont encore présents. Le nid est ensuite récupéré afin de récolter par la suite des échantillons des puces présentes (1/3 des nids seront échantillonnés) et le nichoir bouché.

2.3 Analyses statistiques

L'analyse statistique s'effectue sur la version 3.1.0 du logiciel R© appartenant à The R Foundation for Statistical Computing

Les tests statistiques utilisés sont des tests non paramétriques car nos données ne suivent pas de loi connue, comme la plupart des données de terrain en écologie. 4 tests sont utilisés dans l'analyse des résultats :

- Le test de corrélation de Spearman ; il permet de déterminer le degré de liaison entre deux variables. Deux hypothèses sont usuellement posées : H0 : il n'y a pas de liaison entre les deux variables et H1 : les deux variables sont liées.
- Le test de la somme des rangs de Wilcoxon ; il permet de comparer deux mesures effectuées sur un même sujet et de vérifier leur homogénéité. Les deux hypothèses posées sont les suivantes : H0 : la différence entre les deux mesures est nulle et H1 : la différence entre les deux mesures est non nulle.
- Le test de Kruskal-Wallis ; qui permet de comparer au moins trois échantillons et de vérifier s'ils font partie de la même distribution. Les hypothèses utilisées pour répondre à cette question sont les suivantes : H0 : la différence entre toutes les mesures est nulle et H1 : il y a au moins une mesure qui est différente des autres.

- Le test du khi-deux permet tester l'indépendance d'une variable par rapport à une autre. Deux hypothèses sont formulées : H0 : les deux variables sont indépendantes et H1 : les deux variables ne sont pas indépendantes.

2.4 Expériences sur la migration parasitaire

La migration parasitaire peut se découper en 2 parties : l'émigration du nid d'un hôte et l'immigration vers le nid d'un autre hôte. Pour mener à bien ces expériences, deux binômes ont été créés, chacun étant chargé de réfléchir et de mettre en place des expériences permettant de répondre à la question suivante : quels sont les paramètres influençant la migration parasitaire ?

Je faisais partie du binôme sur l'immigration de la puce des oiseaux, avec Elise Coquillart, étudiante à l'école d'ingénieur Montpellier SupAgro en 4^{ème} année.

Afin de mettre les puces devant un choix, nous avons décidé de mettre en place un piège en Y (figure 11). Deux trous ont été percés dans un pot de contenance 100mL, où deux tuyaux d'une vingtaine de centimètres ont été passés. Au bout de ces tuyaux se trouve le piège à proprement parler, un entonnoir de papier glacé et un tube de contenance 50mL, dont le bout a été scié et remplacé par un filtre à café. Les stimuli sont placés de l'autre côté du filtre, dans un sac de congélation fermé par un élastique autour du piège (tube). Les puces seront placées dans le pot de contenance 100mL (appelé tube 0), auront le choix entre les deux tuyaux (appelés tuyaux D et G) et seront piégées dans les tubes (appelés pièges D et G). Chaque manipulation durait 24h environ.

Nous avons décidé de faire 7 expériences :

1. Dispersion sans stimuli (contrôle): dans un espace clos et dans le dispositif, disposer les puces et voir où elles dispersent (sans stimuli).
2. Nids / matériel forestier : dans un premier temps, disposition d'un nid de mésange ou de gobe-mouche d'un côté et de litière de l'autre ; dans un second temps, disposition d'un nid de mésange d'un côté et d'un nid de gobe-mouche de l'autre
3. luminosité : dans une pièce éclairée, un des deux tuyaux est enveloppé de papier aluminium
4. Température : un chauffe-main est mis dans un nid (de mésange ou de gobe-mouche)
5. Humidité : un pot d'eau est mis dans un des pièges.
6. Concentration en CO₂ : un pot d'eau gazeuse et un pot d'eau plate sont placés dans chacun des pièges
7. Présence préalable de puces : puces / rien

La première expérience est un contrôle, nous permettant de voir si le dispositif en lui-même pourrait biaiser le résultat. La seconde symbolise le choix de la puce en milieu naturel entre l'environnement extérieur et un nid. La puce des oiseaux vit dans les nids, c'est-à-dire un endroit sombre, nous nous sommes donc demandées si l'obscurité pouvait être une information utilisée par la puce pour trouver un nid. Les stimuli des 4^{ème}, 5^{ème} et 6^{ème} expériences représentent quelques caractéristiques d'un être vivant (température corporelle, respiration expulsant de la vapeur et du CO₂), nous cherchons à savoir quels paramètres exactement attirent le plus les puces par rapport à un environnement sans être vivant. Nous

nous sommes également demandé si la présence préalable de puces ne pourrait pas être un facteur d'attraction des puces (présence de puces = présence de nourriture).

En corrélation avec les résultats de l'expérience de l'année passée montrant une tendance de spécialisation des puces en fonction de son hôte, deux pools de puces ont été fait : un pool de puces prélevées sur des nids de mésanges (appelées puces de T) et un pool de puces de gobe-mouches (appelées puces de F) afin de comparer les comportements migratoires des deux types de puces.

4 dispositifs ont été créés et mis dans une pièce sans fenêtre. Pour chaque expérience, 4 tubes de 25 puces sont faits, pour pouvoir faire 4 manipulations en parallèle (pour le gain de temps, la répétabilité, et pour avoir un nombre de puces suffisant pour être analysés).

3 Résultats

3.1 Description générale du système

Cette partie décrit l'état du système étudié, c'est-à-dire les caractéristiques générales des populations de mésanges et des gobe-mouches, qui nous permettront d'avoir un aperçu des différences déjà présentes entre ces deux espèces et des conditions de cette saison de suivi.

La répartition des espèces de mésange charbonnière, de mésange bleue et de gobe-mouche à collier a été représentée dans chacun des bois utilisés pour l'expérience. La mésange bleue a été incluse ici car elle a niché dans une partie non négligeable des nichoirs utilisés, les couples de moineaux et de torcol, plus rares (2 couples de moineaux et 4 de torcol) ont été négligés. Il y a une certaine variabilité de nidification entre les bois. Les gobe-mouches sont plus nombreux que les mésanges, il y a eu 282 couples de gobe-mouches installés et 223 de mésanges.

La figure 12 présente les dates de pontes des deux espèces de mésange et de gobe-mouche. Nous pouvons voir que les mésanges pondent plus tôt (environ 20 jours de décalage entre les pics de ponte) et de manière plus étalée dans le temps que les gobe-mouches.

La figure 13 représente la taille de ponte, c'est-à-dire le nombre d'œufs pondus, des mésanges et des gobe-mouches. Les mésanges ont une taille de ponte plus grande que les gobe-mouches (environ 8 pour les mésanges et 6 pour les gobe-mouches).

La corrélation entre date de ponte et taille de ponte a été faite séparément sur les deux espèces, et a montré que, selon le test de corrélation de Spearman, la date de ponte et la taille de ponte chez les deux espèces semblent être liés (chez les gobe-mouches : $p\text{-value}=2.941\text{e-}9$, avec $\rho=-0,35$ et chez les mésanges $p\text{-value}=3.1\text{e-}13$, avec $\rho=-0,47$ quand le seuil α est égale à 5%). La $p\text{-value}$ étant inférieure au seuil α , H_0 est rejetée, il y a donc une corrélation entre la date de ponte et la taille de ponte. ρ étant négatif dans les deux cas, la variation des mesures est simultanée mais en sens inverse. Ainsi, plus la ponte commence tard, plus le nombre d'œufs sera réduit.

La figure 14 représente le nombre de jeunes envolés des deux espèces de passereaux. Chez les mésanges charbonnières, le nombre de jeunes à l'envol est d'environ 6 oisillons et chez les gobe-mouches à collier, d'environ 5 oisillons. En comparant ce graphique avec leur taille de ponte respective, nous pouvons voir qu'il y a une perte moyenne de 2,3 oisillons pour les mésanges et de 1,5 oisillon pour les gobe-mouches. Les mésanges semblent toutefois avoir un meilleur succès reproducteur que les gobe-mouches. En effet le taux de mortalité totale des gobe-mouches est de 42%, et de 12% pour les mésanges.

3.2 Impact du traitement (infestation ou non des bois)

Globalement, la présence ou l'absence de puces ne semble avoir aucun impact sur la date de ponte des mésanges charbonnières et des gobe-mouches à collier. De manière plus précise, nous avons regardé la date de ponte générale pour chaque bois afin de vérifier qu'il n'y ait pas « d'effet bois », c'est-à-dire si un bois ne modifie pas l'ensemble des résultats. Pour chaque bois d'un type de traitement, les dates de pontes sont assez homogènes, ce qui signifie que la date de ponte globale pour chaque espèce n'est pas biaisée par ce facteur.

La figure 15 montre la variabilité de la taille de ponte en fonction de la présence ou non de puces, chez chacune des deux espèces étudiées. La taille de ponte ne semble pas changer chez les mésanges charbonnières (médiane à 8 pour les bois infestés et les bois non infestés). Cependant, le nombre d'œufs est différent chez les gobe-mouches entre les deux traitements : lorsque les gobe-mouches nichent dans des nichoirs avec des puces, la médiane se situe à 6 œufs, tandis que dans les nichoirs sans puces, la médiane est à 7 œufs.

Cette différence est significative d'après le test de la somme des rangs de Wilcoxon, dont la p-value est égale à 0.01944 et $W=8002,5$. La valeur du seuil de risque α est arrêtée à 5%. La p-value étant inférieure à α , on rejette H_0 .

Afin de savoir si cette différence significative est due à un effet bois, un autre test a été effectué sur ces données : le test de Kruskal-Wallis. Concrètement, ce test nous permettra de savoir si les tailles de ponte de chaque bois (sans distinction entre les bois infestés et non infestés) sont homogènes. Le seuil de risque α est fixé à 5%. La valeur du test est de 25,26 et la p-value est égale à 0.04661, c'est-à-dire inférieure à α , ce qui signifie qu'au moins un des bois est différent des autres.

Cette différence étant peut-être due à la distinction bois avec puces et bois sans puce, deux derniers tests de Kruskal-Wallis ont été faits, sur les deux types de bois. Nous obtenons une p-value de 0.5986 pour les bois avec puces et une valeur du test de 5,50 ; ainsi qu'une p-value de 0.03939 et une valeur du test de 14,75 pour les bois sans puces. Il n'y a donc pas de différence significative entre les tailles de ponte dans les bois infestés mais il y en a dans les bois non infestés.

La figure 16 représente la variabilité du nombre de jeunes envolés en fonction de la présence de puces ou non, chez les deux espèces étudiées. Chez les mésanges, le nombre de jeunes envolés semble légèrement plus haut lorsqu'il n'y a pas de puce. Au contraire, les jeunes sont plus nombreux à s'envoler chez les gobe-mouches lorsqu'il y a des puces.

Le test utilisé pour vérifier ces différences est le test de Wilcoxon. Les p-values obtenues sont supérieures au seuil α ($\alpha=5\%$) : pour les mésanges, p-value=0.0956 (et $W=2856$) et pour les gobe-mouches, p-value=0.3547 (et $W=1661,5$). On accepte H_0 ; les

différences entre le nombre de jeunes envolés des deux espèces dans des bois au traitement différent sont donc considérées comme non significatives.

En comparant ces résultats avec le nombre d'œufs pondus en fonction du traitement chez les mésanges (la médiane est à 8 en présence ou en absence de puces), nous pouvons voir que la perte globale est de 1 oisillon par nid. Pour les gobe-mouches, la médiane se situe à 6 oisillons en présence de puces et à 7 oisillons en absence de puces. Tandis que le nombre de jeunes envolés est de 5 oisillons en présence de puces et de 4 oisillons en absence de puces. Il y a donc une perte globale de 1 oisillon en présence de puces et de 3 oisillons en absence de puces.

3.3 Impact du choix

La figure 17 représente le choix du nichoir effectué par les mésanges et les gobe-mouches, en fonction de l'information présente à l'intérieur. Ici, l'information est le vieux nid, qui les renseignerait sur l'oiseau ayant niché l'année précédente. Les nichoirs contenant de vieux nids de mésange semblent être les plus choisis pour les deux espèces, même si la différence est légère. Cette dernière est non significative d'après le test du khi-deux. Les deux hypothèses formulées sont les suivantes : H_0 : les oiseaux ne choisissent pas leur nichoir en fonction de la nature du vieux nid déjà présent et H_1 : les oiseaux choisissent leur nichoir en fonction de la nature du vieux nid déjà présent. Le seuil de risque α est fixé à 5% , la p-value obtenue est égale à 0.9873 et $\chi^2=0.0255$: H_0 est acceptée.

La figure 18 nous montre le choix du nichoir en présence ou en absence de puces, chez les mésanges charbonnières. Le choix semble pencher vers les nichoirs contenant des vieux nids de mésange, il est plus marqué en présence de puces .Un test de khi-deux a été fait pour voir si la différence de choix entre les deux types de nid est significative, en présence et en absence de puces. $\chi^2=0,0236$ et p-value=0.8779, elle est supérieure au seuil α ($\alpha=5\%$), donc on accepte H_0 et la différence de choix dans les bois infestés ou non n'est pas considérée comme significative.

La figure 19 représente elle aussi le choix du nichoir en fonction du traitement mais chez les gobe-mouches. De la même manière que pour les mésanges, le choix des gobe-mouches semble pencher vers des nichoirs contenant des nids de mésange, il est plus marqué en présence de puces. Les hypothèses formulées sont les mêmes que pour les mésanges (figure 15) et le seuil α est fixé à 5%. $\chi^2=0.3534$ et p-value=0.5522, H_0 est acceptée et la différence de choix en fonction des traitements n'est donc pas significative.

La figure 20 présente le nombre de jeunes mésanges envolées, en fonction du choix du nichoir et du traitement. En présence de puces, le nombre de jeunes envolés chez les mésanges nichant sur des vieux nids de mésanges est supérieur à celui des mésanges nichant sur des vieux nids de gobe-mouches (avec une médiane de 7 et 6 jeunes envolés respectivement).

La différence du nombre de jeunes envolés en fonction du choix uniquement est testée grâce au test de Wilcoxon. α est fixé à 5% ; $W=3027$ et p-value = 0,5414 (p-value > α) donc on accepte H_0 et la différence entre le nombre de jeunes envolés nichant sur des nids de mésanges ou des nids de gobe-mouches est considérée comme non significative .

Ensuite, la différence du nombre de jeunes envolés des mésanges nichant sur des nids de mésanges ou de gobe-mouches avec puces, est testée avec le test de Wilcoxon. $\alpha=5\%$;

$W=966$ et $p\text{-value}=0.07087$, on accepte H_0 et la différence est donc considérée comme non significative même si $p\text{-value}$ et le seuil $\alpha=5\%$ sont très proches.

La même différence est testée mais en absence de puces, toujours avec le test de Wilcoxon. Les hypothèses formulées sont les mêmes qu'en absence de puces et $\alpha=5\%$. $W=565,5$ et $p\text{-value}=0.3511$, on accepte donc H_0 .

La figure 21 représente elle aussi le nombre de jeunes envolées, en fonction du choix du nichoir et du traitement, mais chez les gobe-mouches. En présence de puces, le nombre de jeunes envolés est plus important chez les gobe-mouches nichant sur des nids de mésange que chez des gobe-mouches nichant sur des nids de leur propre espèce. A l'inverse, en absence de puces, le nombre de jeunes envolées chez les gobe-mouches nichant sur des nids de leur propre espèce est plus important que lorsqu'ils nichent sur des nids de mésange.

En testant ces résultats avec un test de Wilcoxon, pour savoir s'il y a tout d'abord une différence entre le nombre de jeunes envolés chez les gobe-mouches nichant sur des nids de mésanges ou sur des nids de gobe-mouches, quel que soit le traitement ($\alpha=5\%$), nous trouvons $W=1612$ et $p\text{-value}=0,2811$ qui est supérieure à α . On accepte H_0 et la différence entre les deux paramètres est donc considérée comme nulle.

Ensuite, la différence entre le nombre de jeunes envolés chez des gobe-mouches nichant sur des nids de mésanges ou de gobe-mouches, en présence de puces est testée, toujours avec le test de Wilcoxon. $\alpha=5\%$. $W=298$ et $p\text{-value}=0,9992$, on accepte H_0 et la différence entre les deux paramètres est considérée comme non significative.

Les mêmes paramètres sont testés mais en absence de puces, toujours avec le test de Wilcoxon et avec $\alpha=5\%$. $W=522,5$ et $p\text{-value}=0,9031$, on accepte donc H_0 : la différence entre les deux paramètres n'est pas significative.

3.4 Immigration des puces

Les données récoltées à partir des manipulations n'ont pas encore été analysées, il est impossible de déterminer des éléments de réponse. Le tableau 3 présente un exemple du type de résultats que nous avons obtenu. Il représente les mouvements des puces en présence de nids (de mésanges ou de gobe-mouches) ou de litière.

Nous nous attendons cependant à quelques résultats. Par exemple, pour toutes nos manipulations liées à des paramètres biologiques traduisant la présence d'êtres vivants (chaleur, hygrométrie, concentration en CO_2), nous nous attendons à ce que les puces se dirigent vers les pièges où la chaleur, l'hygrométrie et la concentration en CO_2 sont plus hauts. De même nous pensons que la présence préalable de puces peut être un facteur d'immigration des puces, les incitant à venir dans un nid.

4 Discussion

Le protocole de choix est un protocole expérimental, cependant le lien qui sera fait avec le succès reproducteur est lui corrélatif. En effet, nous n'avons pas forcé la moitié des oiseaux à choisir un type de nid et l'autre moitié le deuxième type. On ne peut donc pas savoir si un meilleur succès reproducteur est dû à un certain type de nid ou si les oiseaux qui choisissent ce type ont en général un meilleur succès reproducteur.

En ce qui concerne les résultats, nous pouvons comparer nos données avec celles de la littérature pour savoir si notre système évolue de manière habituelle. D'après Lemoine *et al.* (2011), la date de ponte des mésanges charbonnières est entre la mi-avril et la mi-mai est leur taille de ponte est de 8,1 œufs en moyenne. La date de ponte des gobe-mouches à collier commence 14 à 15 jours plus tard et leur nombre d'œufs pondus est de 6,3 en moyenne. Nos données indiquent que la date de ponte moyenne des mésanges se situe au 30 avril (jour 120) et s'étale du 31 mars au 30 mai (entre le 90^{ème} et le 150^{ème} jour) et que leur taille de ponte moyenne est de 7,9. Pour les gobe-mouches à collier, leur date de ponte moyenne est le 19 mai (jour 139) et s'étale du 30 avril au 19 juin (du jour 120 au jour 170). Leur taille de ponte est de 6,1 œufs en moyenne.

La différence entre le début et l'étalement des dates de ponte de ces deux espèces s'explique par le fait que les mésanges sont des oiseaux sédentaires, qui peuvent se reproduire une deuxième fois dans l'année. Elles ont donc la possibilité de construire un nid tôt dans la saison et de pondre puis de le désert et de commencer une nouvelle couvée ailleurs. Au contraire, les gobe-mouches sont des oiseaux migrateurs qui ne reviennent en Europe que début avril, et qui sont plus contraintes en termes de durée de reproduction.

De plus, la date de ponte est étroitement liée à la compétition pour la nourriture : les mésanges nourrissent principalement leurs petits de chenilles et les gobe-mouches d'insectes volants, tels les moustiques et les mouches. L'éclosion des oisillons doit donc corréliser avec l'apparition des insectes (Perrins et McCleery, 1989). Ceci expliquerait le fait que plus la date de ponte est tardive, plus le nombre d'œufs diminue.

La différence entre les tailles de ponte moyenne des deux espèces trouvée dans la littérature et celles trouvées sur le terrain cette année sont minimes. On peut donc dire que les tailles de ponte suivent le déroulement prédit par la littérature.

La mortalité des jeunes gobe-mouches est beaucoup plus forte que celle des mésanges, d'autant plus que leur nombre d'œufs pondus est initialement plus bas. Ceci pourrait s'expliquer par le mode de vie des gobe-mouches, où la migration leur consomme beaucoup d'énergie, qu'ils ne peuvent ensuite plus investir dans la reproduction et l'élevage. De plus, nous avons subi une vague de froid et des conditions météoriques déplorables début juin, qui ont fait fortement diminuer les effectifs des oisillons, et surtout celle des gobe-mouches qui étaient encore fragiles à cette époque.

Dans les résultats concernant le traitement (infesté ou non infesté), nous avons trouvé que la date de ponte n'est pas influencée par la présence ou l'absence de puces. Cependant, Oppliger *et al.* (1994) annoncent que les mésanges charbonnières peuvent retarder leur ponte (jusqu'à 11 jours) lorsqu'elles nichent dans des nichoirs infestés, afin de laisser les puces se disperser. Nous aurions pu émettre l'hypothèse que le nombre de puces présentes dans les nichoirs n'était pas assez important pour que les mésanges retardent leur ponte, cependant Oppliger *et al.* avaient utilisé entre 15 et 20 dans leur infestation.

De plus, si pour les mésanges la taille ne ponte ne change pas selon le traitement, elle change pour les gobe-mouches. La différence n'est pas due entièrement au traitement (les tailles de pontes seraient alors homogènes dans les deux types de bois) mais semblent due à des facteurs propres aux bois (plus grande source d'alimentation par exemple) qui ont alors hétérogénéisé les tailles de ponte des bois sans puce. Nous pouvons également émettre l'hypothèse que les bois non infestés présentaient des taux de contamination par les puces différents, l'immigration étant fréquente pendant la saison de reproduction des hôtes. L'échantillonnage des puces réalisés dans les nids en fin de saison pourra nous apporter des éléments de réponse sur ce point. En mettant en parallèle ces données avec le nombre de jeunes envolés, il n'y a toujours aucune différence chez les mésanges entre bois infestés et bois non infestés, de même que pour les gobe-mouches.

La présence de puces dans les nids ne semble pas modifier la fitness des deux espèces, il faudrait cependant faire une étude à plus long terme pour savoir s'il n'y a eu réellement aucun impact ou s'il y a eu compensation. Les conséquences de cette compensation se répercuteraient alors sur la saison de reproduction suivante, où la fitness serait moins élevée (les oiseaux ne pourraient utiliser autant d'énergie qu'habituellement) (Fitze P., *et al.*, 2004)

Les mésanges et les gobe-mouches ne semblent pas montrer de préférence significative entre des vieux nids de mésange ou des vieux nids de gobe-mouche. Cependant, une tendance pourrait être vue, les mésanges et les gobe-mouches choisissent un peu plus les nichoirs contenant des vieux nids de mésanges dans les bois infestés. Le fait que la différence de choix des nichoirs en fonction du traitement chez les gobe-mouches soit presque significatif appuie l'hypothèse de la tendance. Cette dernière appuie Lemoine *et al.* (2012) et le fait que les nids de mésanges pourraient limiter les coûts du parasitisme.

Graphiquement parlant, le nombre de jeunes envolés est plus haut quand les deux espèces choisissent de nid nichez par-dessus un vieux nid de mésange, cependant cette différence n'est significative pour aucune des deux espèces. Nous pouvons cependant dégager une légère tendance, qui pourrait être appuyée par une suivi plus long des oiseaux et voir les différences de fitness l'année prochaine entre les oiseaux ayant choisi des nids différents de leur espèce (avec et sans puces) et les oiseaux ayant choisi des nids de leurs congénères (avec et sans puces).

Les expériences sur la migration des puces sont des expériences préliminaires, nous ne les avons commencés qu'au milieu de la saison et n'avons pas pu y consacrer beaucoup de temps. Tous ces facteurs font que les résultats ne sont pas forcément fiables et que les manipulations seront à développer plus amplement et à répéter. De plus les manipulations n'ont pas été faites dans un environnement contrôlé mais dans une pièce de la cave de notre maison de fonction, et les pièges n'étaient pas très étanches (nous avons parfois eu des puces qui se sont échappées du système de piégeage).

Nous avons également du modifier nos manipulations au milieu des expériences, notre pool de puces de mésanges étant mort. De ce fait, nous avons remplacé par la suite les puces par des puces dites de pool (c'est-à-dire que les puces de mésanges et de gobe-mouches y sont toutes les deux présentes). Par manque de temps, les premières manipulations n'ont pas pu être refaites.

La planification de ces expériences nous a permis de prendre la mesure de la difficulté à réaliser une expérience, aussi simple soit-elle, et de nous confronter aux difficultés pouvant être rencontrées durant ces expériences (d'un point de vue de l'organisateur et non plus du stagiaire)

Il serait intéressant de refaire ces expériences dans un environnement contrôlé, pour limiter les biais environnementaux, de rajouter des stimuli (son ? mouvement ? état du nichoir ?) et de faire des associations de stimuli (par exemple, est-ce qu'une puce préfère un endroit sans nid chaud ou un nid froid ?).

Les expériences sur l'immigration nous permettent de savoir, pour les bois non infestés, les différents taux possibles d'infestation naturelle, notamment si le taux est le même pour les nids de gobe-mouches et de mésange.

5 Conclusion et perspectives

Nous avons cherché à voir le choix que pouvait faire une mésange charbonnière ou un gobe-mouche à collier face à deux sites de nidification potentiels, situés dans un même micro-environnement, l'un contenant un nid de gobe-mouche et l'autre de mésange. Nous avons testé ce choix en présence d'un ectoparasite, la puce des oiseaux, et en son absence.

Ce choix a été présenté sous la forme de deux nichoirs artificiels, placés à environ 1m l'un de l'autre, et dans lesquels ont été placés un vieux nid de mésange et un vieux nid de gobe-mouche.

Les résultats obtenus ne montrent pas de choix significatif entre les types de nids de la part des oiseaux, que ce soit en présence de puces ou en absence de puces, même si nous pouvons dégager une certaine tendance des oiseaux à choisir un nichoir possédant un vieux nid de mésange. Cette tendance s'accroît légèrement en présence de puces. La variation de leur succès reproducteur (ou fitness) ne semble être due qu'à des conditions environnementales et non pas à la présence de puces. Cependant, il serait possible que les oiseaux aient également compensé la présence de puces pour garder leur fitness habituelle, montrant ainsi une possible adaptation de l'hôte au parasite. Nous ne pouvons répondre de manière claire à la problématique, les données récoltées ne montrant que les conséquences sur le court terme.

Il serait donc intéressant de re-tester ce choix sur plusieurs années, afin de limiter l'effet « année », et de pouvoir généraliser l'expérience. De plus, voir le succès reproducteur de ces oiseaux l'an prochain, permettrait de voir s'il y a eu compensation, cette dernière se traduisant par une baisse du fitness l'année suivante.

D'autres expériences peuvent être faites sur des systèmes hôtes-parasites plus complexes, prenant en compte d'autres paramètres et pouvant modifier nos résultats. De plus, si nos résultats avaient été significatifs, le lien entre le choix et le succès reproducteur n'est qu'une corrélation. Donc, pour avoir le succès reproducteur réel, il faudrait échanger une partie des vieux nids avec un nid de l'autre espèce, après installation d'un oiseau.

Les manipulations sur la migration parasitaire sont également à refaire, avec des dispositifs plus fiables et dans des environnements contrôlés. De plus, utiliser des paramètres combinés dans une même manipulation serait intéressant.

L'expérience globale est à replacer dans le contexte de la recherche fondamentale en écologie, et notamment dans la compréhension des mécanismes des systèmes hôtes-parasites. Elle peut être également replacée dans le contexte médical, la compréhension de ces mécanismes pourra être utile pour lutter contre la transmission de maladies via les parasites.

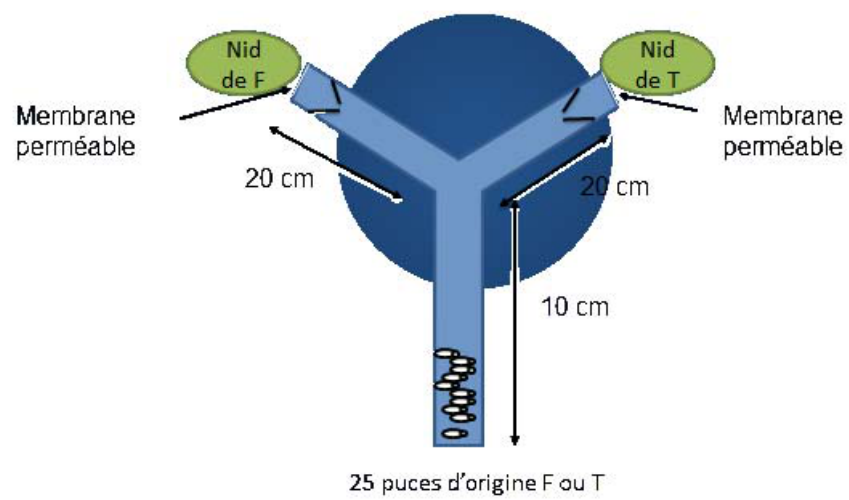


Figure 11. Schématisation du dispositif de piégeage des puces, avec d'une part un nid de mésange (T) et de l'autre un nid de gobe-mouche (F)

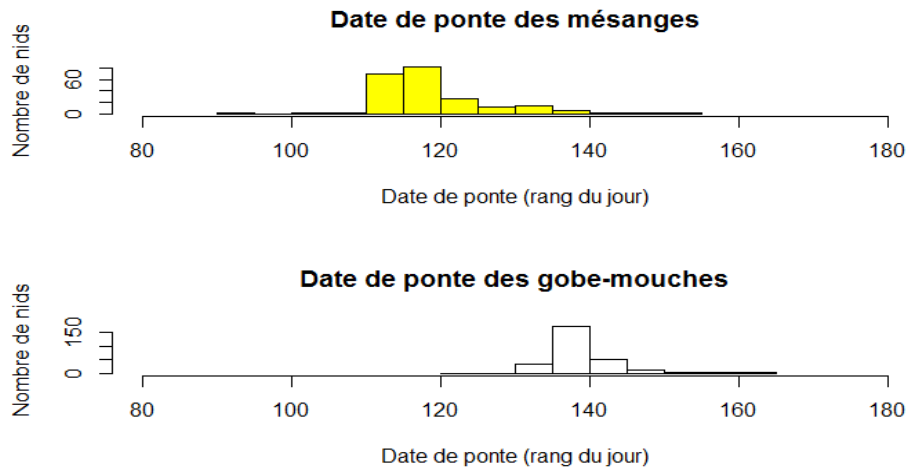


Figure 12. Graphes représentant les dates de pontes des deux espèces étudiées (le jour 100 correspond au 10 avril 2014)

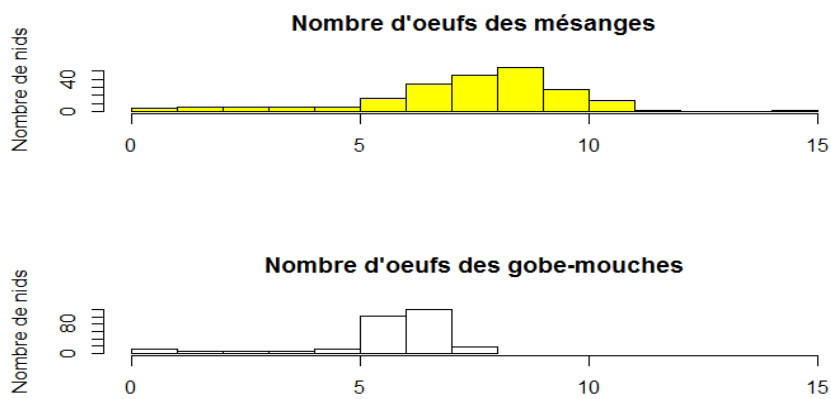


Figure 13. Graphes représentant le nombre d'œufs pondus des deux espèces étudiées

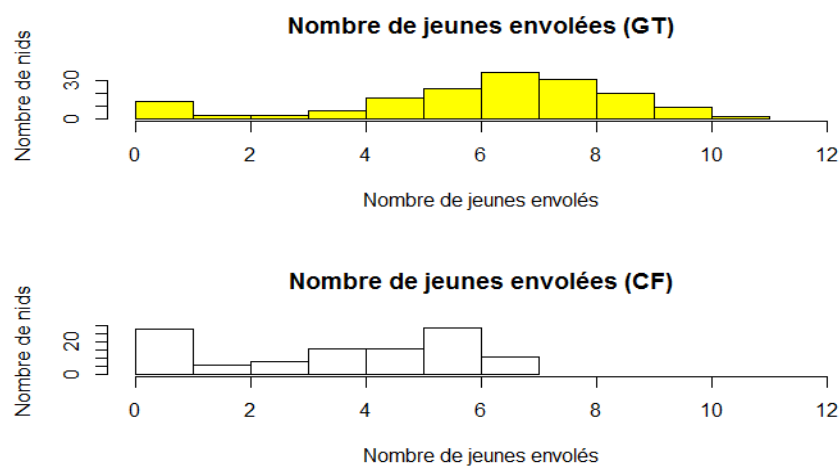


Figure 14. Graphe représentant le nombre de jeunes envolés des deux espèces étudiées

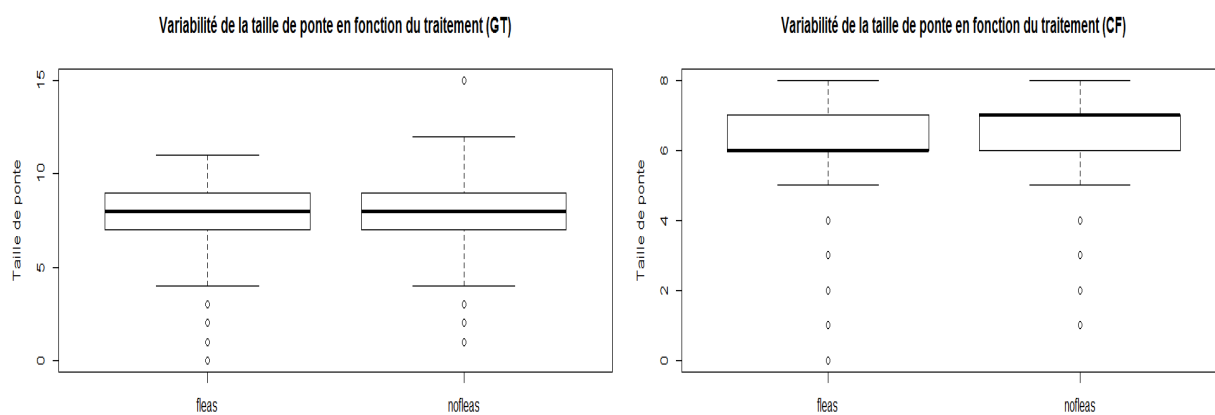


Figure 15. Représentation de la variabilité de la taille de ponte en fonction de l'infestation chez les mésanges (à gauche) et les gobe-mouches (à droite)

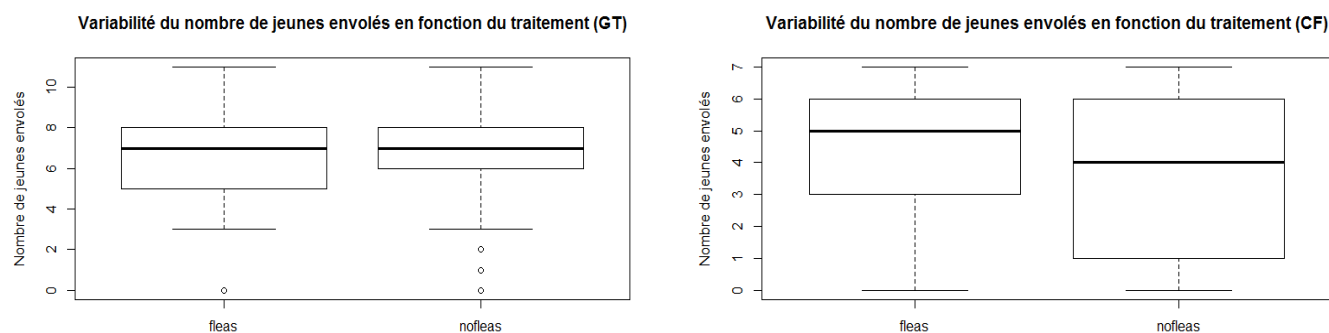


Figure 16. Représentation de la variabilité du taux d'envol en fonction de l'infestation chez les mésanges (à gauche) et les gobe-mouches (à droite)

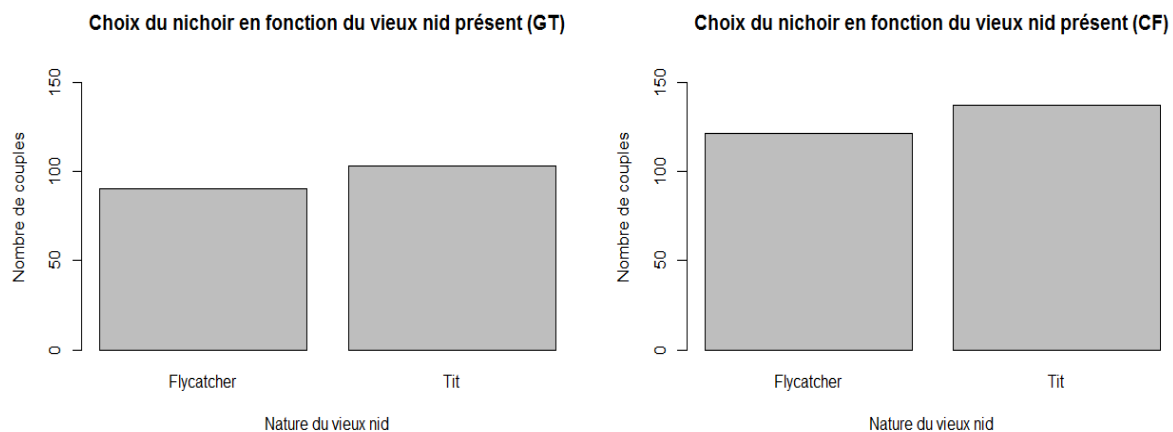


Figure 17. Représentation du choix du nicher en fonction du vieux nid présent, chez les mésanges (à droite) et chez les gobe-mouches (à gauche)

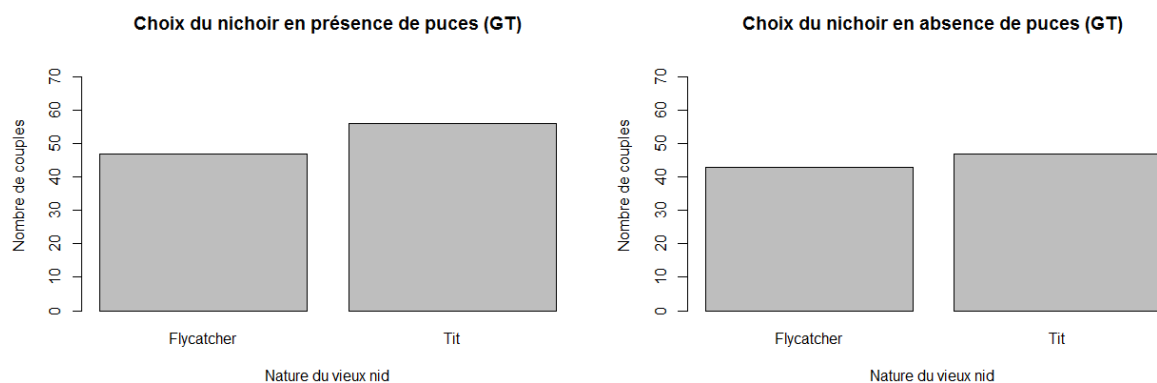


Figure 18. Représentation du choix du nicher en fonction de l'infestation chez les mésanges charbonnières

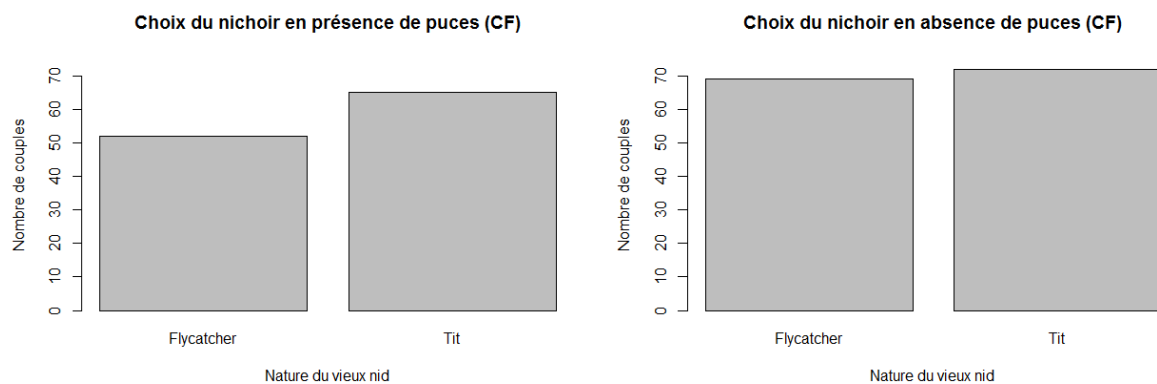


Figure 19. Représentation du choix du nicher en fonction de l'infestation chez les gobe-mouches à collier

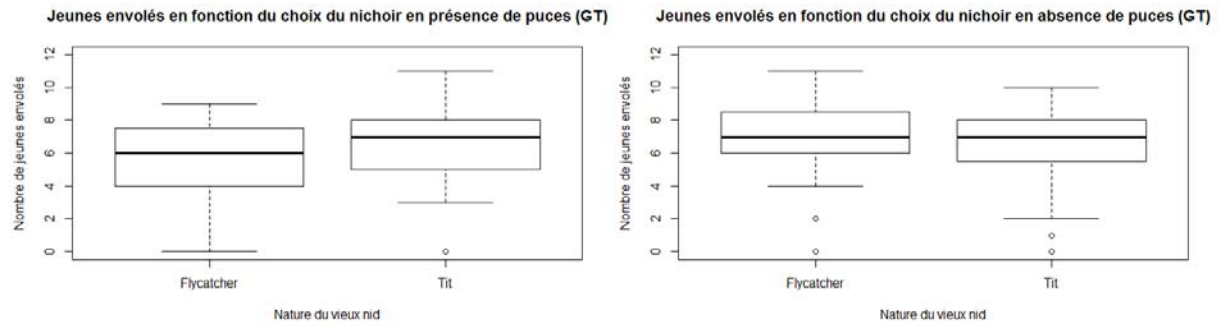


Figure 20. Représentation du nombre de jeunes envolés en fonction du choix du nichoir et de l'infestation chez les mésanges charbonnières

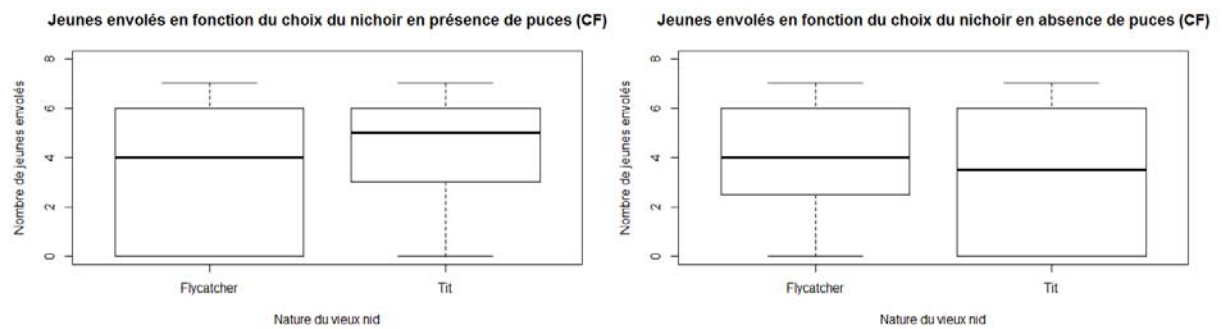


Figure 21. Représentation du nombre de jeunes envolés en fonction du choix du nichoir et de l'infestation chez les gobe-mouches à collier

	Tube O	Tuyau (nid de F)	Tuyau (litière)	Piège (nid de F)	Piège (litière)	Somme (nid de F)	Somme (litière)	pertes
A (F)	17	0	0	6	1	6	1	1
B (F)	22	0	0	3	0	3	0	0
C (T)	19	0	0	1	0	1	0	5
D (T)	21	0	0	1	3	1	3	0
	79	0	0	11	4	11	4	6

Tableau 3. Tableau de résultats présentant l'immigration des puces en présence de nids ou de litières

Références bibliographiques

Christe P., Oppliger A. et Richner H., 1994, *Ectoparasite affects choice and use of roost sites in the great tit, Parus major*, Animal Behaviour, p895-898.

Combes C., 2010, *L'art d'être parasite*, Flammarion, 393p.

Fitze P., Tschirren B. et Richner H., 2004, *Life history and fitness consequences of ectoparasites*. Journal of Animal Ecology **73**, 216-226

Lemoine M., Doligez B., Passerault M. et Richner H., 2011, *Influence of host profitability and microenvironmental conditions on parasite specialization on a main and an alternative hosts*, Journal of Evolutionary Biology **24**, 1212-1225.

Lemoine M., Doligez B. et Richner H. (2012) *On the Equivalence of Host Local Adaptation and Parasite Maladaptation : An Experimental Test*. The American Naturalist **179** (2) 270-281.

Manoury M., 2013, *La puce Ceratophyllus gallinae présente-t-elle des lignées spécialisées dans un système avec des hôtes alternatifs ?*. CNRS, Gotland, Suède. 28p.

Oppliger A., Richner H. et Christe P., 1994, *Effect of an ectoparasite on lay date, nest-site choice, desertion, and hatching success in the great tit (Parus major)*, Behavioral Ecology **5** (2) 130-132.

Perrins CM. et McCleery RH., 1989, *Laying dates and clutch size in the great tit*. Wilson bull **101**, 236-253.

Tripet F. et Richner H., 1997 *The coevolutionary potential of a « generalist » parasite, the hen flea Ceratophyllus gallinae*. Parasitology **115**, 419-427.

Tripet F., Christe P. et Møller A.P. , 2002, *The importance of host spatial distribution for parasite specialization and speciation : a comparative study of bird fleas (Siphonaptera : Ceratophyllidae)*, Journal of Animal Ecology **71**, 735-748.

Autres sources :

Manoury M., 2013, *La puce Ceratophyllus gallinae présente-t-elle des lignées spécialisées dans un système avec des hôtes alternatifs ?*. CNRS, Gotland, Suède. 28p.

OISEAUX. Mésange charbonnière [en ligne]. Disponible sur <http://www.oiseaux.net/oiseaux/mesange.charbonniere.html> (consulté le 20/05/2014)

OISEAUX. Gobemouche à collier [en ligne]. Disponible sur <http://www.oiseaux.net/oiseaux/gobemouche.a.collier.html> (consulté le 25/05/2014)

Organisation mondiale de la santé animale. *Puces et méthodes de lutte* [pdf]. Disponible sur <http://oie.int/doc/ged/d8934.pdf> (consulté le 19/05/2014)

Annexe 1: Tableau des tâches

Intervenant	Idée originale	Bibliographie	Mise en place du protocole	Suivi de population	Expériences sur la migration des puces	Rédaction du rapport
Principal	AA	LD	AA, EC, LD, NG, QM, ET	AA, EC, LD, NG, MM, QM, ET	EC, LD, NG, ET	LD
Secondaire		AA				AA

AA : Anaïs Appelgren : thésarde en encadrante

EC, LD, NG, MM, QM, ET : Elise Coquillart, Léa Darquié, Nicolas Gal, Morgane Manoury, Quentin Mauvisseau, Elodie Toucheboeufs : stagiaires

Annexe 2 : Calendrier du stage



Annexe 3 : Répartition géographique des bois



Figure 1. Répartition géographique des bois



Figure 2. Répartition des bois du Nord



Figure 3. Répartition des bois du Sud

(source : <https://mapsengine.google.com/map/edit?mid=zVKQdKTOvf7g.kc7LKOh2tv20> – Gotland Woods Anaïs APPELGREN)

Annexe 4 : Commandes employées pour la génération de graphiques et de tests statistiques dans R

Génération des graphes

```
s14<- read.delim("F:/Suivi14.RAPPORTS.txt")
```

```
CF<-s14[s14$Host=="CF",]  
GT<-s14[s14$Host=="GT",]
```

1. Description générale du système

Graphe de la date de ponte

```
hist(GT$Date.Ponte.Num, xlim=c(80,180), main="Date de ponte des mésanges",  
xlab="Date de ponte (rang du jour)", ylab="Nombre de nids", col="yellow")  
hist(CF$Date.Ponte.Num, xlim=c(80,180), main="Date de ponte des gobe-mouche  
s", xlab="Date de ponte (rang du jour)", ylab="Nombre de nids")
```

Graphe du nombre d'œufs

```
hist(GT$NB.OEUFS, main="Nombre d'oeufs des mésanges", ylab="Nombre de nids",  
col="yellow", xlim=c(0,15), breaks=14, xlab="")  
hist(CF$NB.OEUFS, main="Nombre d'oeufs des gobe-mouches", ylab="Nombre de n  
ids", xlim=c(0,15),xlab="")
```

Graphe de répartition des espèces dans les bois

```
plot(s14$Host~s14$ID.Wood)
```

Graphe de jeunes envolés

```
hist(GT$NumberOfFg, xlim=c(0,12), main="Nombre de jeunes envolées (GT)", xlab="Nombre de jeunes envolés", ylab="Nombre de nids", col="yellow")  
hist(CF$NumberOfFg, xlim=c(0,12), main="Nombre de jeunes envolées (CF)", xlab="Nombre de jeunes envolés", ylab="Nombre de nids")
```

Variabilité de la taille de ponte en fonction du temps

```
plot(GT$NB.OEUFS~GT$Date.Ponte.Num, main="Variabilité de la taille de ponte  
en fonction du temps (GT)", ylab="Taille de ponte (nombre d'oeufs pondus)",  
xlab="Date de ponte (rang du jour)" )  
abline(lm(GT$NB.OEUFS~GT$Date.Ponte.Num))  
plot(CF$NB.OEUFS~CF$Date.Ponte.Num, main="Variabilité de la taille de ponte  
en fonction du temps (CF)", ylab="Taille de ponte (nombre d'oeufs pondus)",  
xlab="Date de ponte (rang du jour)" )  
abline(lm(CF$NB.OEUFS~CF$Date.Ponte.Num))
```

2. Effet du traitement

Variabilité de la date de ponte en fonction du traitement (puces ou non)

```
GTpuce<-GT[GT$Treatment=="fleas",]  
GTsanspuce<-GT[GT$Treatment=="nofleas",]  
  
CFpuce<-CF[CF$Treatment=="fleas",]  
CFsanspuce<-CF[CF$Treatment=="nofleas",]  
plot(GT$Date.ponte.Num~GT$Treatment, ylab="Date de ponte (rang du jour)", m  
ain = "Variabilité de la date de ponte en fonction du traitement (GT)", xla  
b="")  
  
plot(CF$Date.ponte.Num~CF$Treatment, ylab="Date de ponte (rang du jour)", m  
ain = "Variabilité de la date de ponte en fonction du traitement (CF)", xla  
b="")  
  
plot(GTpuce$Date.Ponte.Num~GTpuce$ID.Wood, ylim=c(90,155), main="Variabilit  
é de la date de ponte en fonction du traitement (GT)", ylab="Date de ponte  
(rang du jour)", xlab="Bois infestés")  
plot(GTsanspuce$Date.Ponte.Num~GTsanspuce$ID.Wood, ylim=c(90,155), main="Va  
riabilité de la date de ponte en fonction du traitement (GT)", ylab="Date d  
e ponte (rang du jour)", xlab="Bois non infestés")  
  
plot(CFpuce$Date.Ponte.Num~CFpuce$ID.Wood, ylim=c(130,170), main="Variabili  
té de la date de ponte en fonction du traitement (CF)", ylab="Date de ponte  
(rang du jour)", xlab="Bois infestés")  
plot(CFsanspuce$Date.Ponte.Num~CFsanspuce$ID.Wood, ylim=c(130,170), main="V  
ariabilité de la date de ponte en fonction du traitement (CF)", ylab="Date  
de ponte (rang du jour)", xlab="Bois non infestés")
```

Variabilité de la taille de ponte en fonction du traitement (puces ou non)

```
plot(GT$NB.OEUFS~GT$Treatment, ylab="Taille de ponte", main = "Variabilité  
de la taille de ponte en fonction du traitement (GT)", xlab="")  
  
plot(CF$NB.OEUFS~CF$Treatment, ylab="Taille de ponte", main = "Variabilité  
de la taille de ponte en fonction du traitement (CF)", xlab="")  
  
plot(GTpuce$NB.OEUFS~GTpuce$ID.Wood, main="Variabilité de la taille de pont  
e en fonction du traitement (GT)", ylab="Taille de ponte", xlab="Bois infes  
tés", ylim=c(0,15))  
plot(GTsanspuce$NB.OEUFS~GTsanspuce$ID.Wood, main="Variabilité de la taille  
de ponte en fonction du traitement (GT)", ylab="Taille de ponte", xlab="Boi  
s non infestés", ylim=c(0,15))  
  
plot(CFpuce$NB.OEUFS~CFpuce$ID.Wood, main="Variabilité de la taille de pont  
e en fonction du traitement (CF)", ylab="Taille de ponte", xlab="Bois infes  
tés", ylim=c(0,10))  
plot(CFsanspuce$NB.OEUFS~CFsanspuce$ID.Wood, main="Variabilité de la taille  
de ponte en fonction du traitement (CF)", ylab="Taille de ponte", xlab="Boi  
s non infestés", ylim=c(0,10))
```

Variabilité du nombre de jeunes à l'envol en fonction du traitement (puces ou non)

```
plot(GT$NumberOfFg~GT$Treatment, ylab="Nombre de jeunes envolés", main = "V  
ariabilité du nombre de jeunes envolés en fonction du traitement (GT)", xla  
b="")  
  
plot(CF$NumberOfFg~CF$Treatment, ylab="Nombre de jeunes envolés", main = "V  
ariabilité du nombre de jeunes envolés en fonction du traitement (CF)", xla  
b="")
```

```
plot(GTpuce$ NumberOfFg ~GTpuce$ID.Wood, main="Variabilité du nombre de jeunes envolés en fonction du traitement (GT)", ylab="Nombre de jeunes envolés", xlab="Bois infestés", ylim=c(0,15))
plot(GTsanspuce$ NumberOfFg ~GTsanspuce$ID.Wood, main="Variabilité du nombre de jeunes envolés en fonction du traitement (GT)", ylab="Nombre de jeunes envolés", xlab="Bois non infestés", ylim=c(0,15))
```

```
plot(CFpuce$ NumberOfFg ~CFpuce$ID.Wood, main="Variabilité du nombre de jeunes envolés en fonction du traitement (CF)", ylab="Nombre de jeunes envolés", xlab="Bois infestés", ylim=c(0,10))
plot(CFsanspuce$ NumberOfFg~CFsanspuce$ID.Wood, main="Variabilité du nombre de jeunes envolés en fonction du traitement (CF)", ylab="Nombre de jeunes envolés", xlab="Bois non infestés", ylim=c(0,10))
```

Variabilité du taux d'envol (nb jeunes envolés / nb œufs) en fonction du traitement (puces ou non)

```
plot(GT$NumberOfFg/GT$NB.OEUFS~GT$Treatment, ylab="Taux d'envol", main = "Variabilité du taux d'envol en fonction du traitement (GT)", xlab="")
```

```
plot(CF$NumberOfFg/CF$NB.OEUFS~CF$Treatment, ylab="Taux d'envol", main = "Variabilité du taux d'envol en fonction du traitement (CF)", xlab="")
```

```
plot(GTpuce$NumberOfFg/GTpuce$NB.OEUFS ~GTpuce$ID.Wood, main="Variabilité du taux d'envol en fonction du traitement (GT)", ylab="Taux d'envol", xlab="Bois infestés")
plot(GTsanspuce$ NumberOfFg/GTsanspuce$NB.OEUFS ~GTsanspuce$ID.Wood, main="Variabilité du taux d'envol en fonction du traitement (GT)", ylab="Taux d'envol", xlab="Bois non infestés")
```

```
plot(CFpuce$NumberOfFg/CFpuce$NB.OEUFS ~CFpuce$ID.Wood, main="Variabilité du taux d'envol en fonction du traitement (CF)", ylab="Taux d'envol", xlab="Bois infestés")
plot(CFsanspuce$ NumberOfFg/CFsanspuce$NB.OEUFS ~CFsanspuce$ID.Wood, main="Variabilité du taux d'envol en fonction du traitement (CF)", ylab="Taux d'envol", xlab="Bois non infestés")
```

3. Choix

Choix du nichoir en fonction de la nature du vieux nid

```
plot(GT$Nest, ylim=c(0,160), main="Choix du nichoir en fonction du vieux nid présent (GT)", ylab="Nombre de couples", xlab="Nature du vieux nid")
plot(CF$Nest, ylim=c(0,160), main="Choix du nichoir en fonction du vieux nid présent (CF)", ylab="Nombre de couples", xlab="Nature du vieux nid")
```

Choix du nichoir en fonction du traitement (avec ou sans puces)

```
plot(GTpuce$Nest, ylim=c(0,75), main="Choix du nichoir en présence de puces (GT)", ylab="Nombre de couples", xlab="Nature du vieux nid")
plot(GTsanspuce$Nest, ylim=c(0,75), main="Choix du nichoir en absence de puces (GT)", ylab="Nombre de couples", xlab="Nature du vieux nid")
```

```
plot(CFpuce$Nest, ylim=c(0,75), main="Choix du nichoir en présence de puces (CF)", ylab="Nombre de couples", xlab="Nature du vieux nid")
```

```
plot(CFsanspuce$Nest, ylim=c(0,75), main="Choix du nichoir en absence de puces (CF)", ylab="Nombre de couples", xlab="Nature du vieux nid")
```

Jeunes envolés en fonction du choix du nichoir et du traitement

```
plot(GTpouce$NumberOfFg~GTpouce$Nest, ylim=c(0,12), main="Jeunes envolés en fonction du choix du nichoir en présence de puces (GT)", ylab="Nombre de jeunes envolés", xlab="Nature du vieux nid")
plot(GTsanspuce$NumberOfFg~GTsanspuce$Nest, ylim=c(0,12), main="Jeunes envolés en fonction du choix du nichoir en absence de puces (GT)", ylab="Nombre de jeunes envolés", xlab="Nature du vieux nid")
```

```
plot(CFpouce$NumberOfFg~CFpouce$Nest, ylim=c(0,8), main="Jeunes envolés en fonction du choix du nichoir en présence de puces (CF)", ylab="Nombre de jeunes envolés", xlab="Nature du vieux nid")
plot(CFsanspuce$NumberOfFg~CFsanspuce$Nest, ylim=c(0,8), main="Jeunes envolés en fonction du choix du nichoir en absence de puces (CF)", ylab="Nombre de jeunes envolés", xlab="Nature du vieux nid")
```

Jeunes envolés en fonction du choix du nichoir et du traitement (fichier sans doublons)

```
s14s<- read.delim("F:/Suivi14.RAPPORTS.ssdoublons.txt")
```

```
CFs<-s14s[s14s$Host=="CF",]
GTs<-s14s[s14s$Host=="GT",]
```

```
GTspouce<-GTs[GTs$Treatment=="fleas",]
GTssanspuce<-GTs[GTs$Treatment=="nofleas",]
```

```
CFspouce<-CFs[CFs$Treatment=="fleas",]
CFssanspuce<-CFs[CFs$Treatment=="nofleas",]
```

```
plot(GTs$Nest, ylim=c(0,160), main="Choix du nichoir en fonction du vieux nid présent (GT)", ylab="Nombre de couples", xlab="Nature du vieux nid")
plot(CFs$Nest, ylim=c(0,160), main="Choix du nichoir en fonction du vieux nid présent (CF)", ylab="Nombre de couples", xlab="Nature du vieux nid")
```

Choix du nichoir en fonction du traitement (avec ou sans puces)

```
plot(GTspouce$Nest, ylim=c(0,75), main="Choix du nichoir en présence de puces (GT)", ylab="Nombre de couples", xlab="Nature du vieux nid")
plot(GTssanspuce$Nest, ylim=c(0,75), main="Choix du nichoir en absence de puces (GT)", ylab="Nombre de couples", xlab="Nature du vieux nid")
```

```
plot(CFspouce$Nest, ylim=c(0,75), main="Choix du nichoir en présence de puces (CF)", ylab="Nombre de couples", xlab="Nature du vieux nid")
plot(CFssanspuce$Nest, ylim=c(0,75), main="Choix du nichoir en absence de puces (CF)", ylab="Nombre de couples", xlab="Nature du vieux nid")
```

#Jeunes envolés en fonction du choix du nichoir et du traitement

```
plot(GTspouce$NumberOfFg~GTspouce$Nest, ylim=c(0,12), main="Jeunes envolés en fonction du choix du nichoir en présence de puces (GT)", ylab="Nombre de jeunes envolés", xlab="Nature du vieux nid")
plot(GTssanspuce$NumberOfFg~GTssanspuce$Nest, ylim=c(0,12), main="Jeunes envolés en fonction du choix du nichoir en absence de puces (GT)", ylab="Nombre de jeunes envolés", xlab="Nature du vieux nid")
```

```
plot(CFspuce$NumberOfFg~CFspuce$Nest, ylim=c(0,8), main="Jeunes envolés en
fonction du choix du nichoir en présence de puces (CF)", ylab="Nombre de je
unes envolés", xlab="Nature du vieux nid")
plot(CFssanspuce$NumberOfFg~CFssanspuce$Nest, ylim=c(0,8), main="Jeunes env
olés en fonction du choix du nichoir en absence de puces (CF)", ylab="Nombr
e de jeunes envolés", xlab="Nature du vieux nid")
```

Tests

Variabilité de la taille de ponte en fonction du temps

➔ corrélation entre taille et date de ponte :

```
cor.test(GT$NB.OEUFS,GT$Date.Ponte.Num,method="spearman")
```

Spearman's rank correlation rho

```
data: GT$NB.OEUFS and GT$Date.Ponte.Num
S = 2467989, p-value = 3.1e-13
alternative hypothesis: true rho is not equal to 0
sample estimates:
rho
-0.4694086
```

```
cor.test(CF$NB.OEUFS,CF$Date.Ponte.Num,method="spearman")
```

Spearman's rank correlation rho

```
data: CF$NB.OEUFS and CF$Date.Ponte.Num
S = 4673318, p-value = 2.914e-09
alternative hypothesis: true rho is not equal to 0
sample estimates:
rho
-0.348293
```

2. Comparaisons bois avec et sans puces

Variabilité de la date de ponte en fonction du traitement (puces ou non)

➔ Comparaison entre 2 catégories :

```
wilcox.test(GTpuce$Date.Ponte.Num,GTsanspuce$Date.Ponte.Num)
```

wilcoxon rank sum test with continuity correction

```
data: GTpuce$Date.Ponte.Num and GTsanspuce$Date.Ponte.Num
W = 5651.5, p-value = 0.3421
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

```
wilcox.test(CFpuce$Date.Ponte.Num,CFsanspuce$Date.Ponte.Num)
```

wilcoxon rank sum test with continuity correction

```
data: CFpuce$Date.Ponte.Num and CFsanspuce$Date.Ponte.Num
W = 10273, p-value = 0.2879
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

Variabilité de la taille de ponte en fonction du traitement (puces ou non)

➔ Comparaison entre 2 catégories :

```
wilcox.test(GTpuce$NB.OEUFS,GTsanspuce$NB.OEUFS)
```

wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: Gtpuce\$NB.OEUFS and Gtsanspuce\$NB.OEUFS
W = 5663, p-value = 0.7128
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

`wilcox.test(CFpuce$NB.OEUFS,CFsanspuce$NB.OEUFS)`

wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: CFpuce\$NB.OEUFS and Cfsanspuce\$NB.OEUFS
W = 8002.5, p-value = 0.01944
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

Différence significative entre les nombres d'oeufs pondus chez les gobe-mouches de bois avec ou sans puces → On regarde si cet effet est du ou non à un effet bois :

→ Comparaison entre catégories (plus de deux catégories)

`kruskal.test(CF$NB.OEUFS~CF$Wood)`

Kruskal-wallis rank sum test

data: CF\$NB.OEUFS by CF\$Wood
Kruskal-wallis chi-squared = 25.2558, df = 15, p-value = 0.04661

`kruskal.test(CFpuce$NB.OEUFS~CFpuce$Wood)`

Kruskal-wallis rank sum test

data: CFpuce\$NB.OEUFS by CFpuce\$Wood
Kruskal-wallis chi-squared = 5.5049, df = 7, p-value = 0.5986

`kruskal.test(Cfsanspuce$NB.OEUFS~Cfsanspuce$Wood)`

Kruskal-wallis rank sum test

data: Cfsanspuce\$NB.OEUFS by Cfsanspuce\$Wood
Kruskal-wallis chi-squared = 14.7462, df = 7, p-value = 0.03939

Variabilité du nombre de jeunes à l'envol en fonction du traitement (puces ou non)

→ Comparaison entre deux catégories

`wilcox.test(Gtpuce$NumberOfFg,Gtsanspuce$NumberOfFg)`

wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: Gtpuce\$NumberOfFg and Gtsanspuce\$NumberOfFg
W = 2856, p-value = 0.09516
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

`wilcox.test(CFpuce$NumberOfFg,Cfsanspuce$NumberOfFg)`

wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: CFpuce\$NumberOfFg and Cfsanspuce\$NumberOfFg
W = 1661.5, p-value = 0.3547
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

Variabilité du nombre ratio de jeunes à l'envol en fonction du traitement (puces ou non)

```
wilcox.test(GTpuce$NumberOfFg/GTpuce$NB.OEUFs,GTsanspuce$NumberOfFg/GTsanspuce$NB.OEUFs)
```

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

```
data: GTpuce$NumberOfFg/GTpuce$NB.OEUFs and GTsanspuce$NumberOfFg/GTsanspuce$NB.OEUFs
W = 2984, p-value = 0.3858
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

```
wilcox.test(CFpuce$NumberOfFg/CFpuce$NB.OEUFs,CFsanspuce$NumberOfFg/CFsanspuce$NB.OEUFs)
```

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

```
data: CFpuce$NumberOfFg/CFpuce$NB.OEUFs and CFsanspuce$NumberOfFg/CFsanspuce$NB.OEUFs
W = 1636, p-value = 0.4416
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

3. Choix : sur le jeu de données sans doublons uniquement

Choix du nichoir en fonction de la nature du vieux nid et de l'espèce-hôte

```
chisq.test(table(s14s$Nest,s14s$Host))
```

Pearson's Chi-squared test

```
data: table(s14s$Nest, s14s$Host)
X-squared = 0.0255, df = 2, p-value = 0.9873
```

Si on regarde plus en détail = pour les GT entre puces et pas puces

```
chisq.test(table(GTs$Nest,GTs$Treatment))
```

Pearson's Chi-squared test with Yates' continuity correction

```
data: table(GTs$Nest, GTs$Treatment)
X-squared = 0.0236, df = 1, p-value = 0.8779
```

Pour les CF

```
chisq.test(table(CFs$Nest,CFs$Treatment))
```

Pearson's Chi-squared test with Yates' continuity correction

```
data: table(CFs$Nest, CFs$Treatment)
X-squared = 0.3534, df = 1, p-value = 0.5522
```

Jeunes envolés en fonction du choix du nichoir et du traitement

```
GTtit<-GTs[GTs$Nest=="Tit",]
GTfly<-GTs[GTs$Nest=="Flycatcher",]
```

```
CFtit<-CFs[GTs$Nest=="Tit",]
CFfly<-CFs[GTs$Nest=="Flycatcher",]
```

Jeunes envolés pour les GT, en fonction du choix de nid

```
wilcox.test(GTtit$NumberOfFg,GTfly$NumberOfFg)
```

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

```
data: GTtit$NumberOfFg and GTfly$NumberOfFg
w = 3027, p-value = 0.5414
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

Idem pour les couples avec puces d'une part et sans puce d'autre part

```
GTtitpuce<-GTtit[GTtit$Treatment=="fleas",]
GTtitsanspuce<-GTtit[GTtit$Treatment=="nofleas",]
```

```
GTflypuce<-GTfly[GTfly$Treatment=="fleas",]
GTflysanspuce<-GTfly[GTfly$Treatment=="nofleas",]
```

```
wilcox.test(GTtitpuce$NumberOfFg,GTflypuce$NumberOfFg)
```

wilcoxon rank sum test with continuity correction

```
data: GTtitpuce$NumberOfFg and GTflypuce$NumberOfFg
w = 966, p-value = 0.07087
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

```
wilcox.test(GTtitsanspuce$NumberOfFg,GTflysanspuce$NumberOfFg)
wilcoxon rank sum test with continuity correction
```

```
data: GTtitsanspuce$NumberOfFg and GTflysanspuce$NumberOfFg
w = 565.5, p-value = 0.3511
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

Idem pour les CF

```
wilcox.test(CFtit$NumberOfFg,CFfly$NumberOfFg)
```

wilcoxon rank sum test with continuity correction

```
data: CFtit$NumberOfFg and CFfly$NumberOfFg
w = 1612, p-value = 0.2811
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

```
CFtitpuce<-CFtit[CFtit$Treatment=="fleas",]
CFtitsanspuce<-CFtit[CFtit$Treatment=="nofleas",]
```

```
CFflypuce<-CFfly[CFfly$Treatment=="fleas",]
CFflysanspuce<-CFfly[CFfly$Treatment=="nofleas",]
```

Avec puces et sans puces

```
wilcox.test(CFtitpuce$NumberOfFg,CFflypuce$NumberOfFg)
```

wilcoxon rank sum test with continuity correction

```
data: CFtitpuce$NumberOfFg and CFflypuce$NumberOfFg
w = 298, p-value = 0.09992
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

```
wilcox.test(CFtitsanspuce$NumberOfFg,CFflysanspuce$NumberOfFg)
```

wilcoxon rank sum test with continuity correction

```
data: CFtitsanspuce$NumberOfFg and CFflysanspuce$NumberOfFg
w = 522.5, p-value = 0.9031
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

Résumé

La bonne connaissance du comportement d'évitement du parasite par l'hôte est essentielle pour comprendre les interactions hôtes-parasites, et notamment son évolution. Après avoir fait des expériences sur le spectre d'hôte de la puce des oiseaux (*Ceratophyllus gallinae*) l'an dernier, cette année est consacrée au comportement de choix du site de nidification de deux espèces de passereaux, la mésange charbonnière (*Parus major*) et le gobe-mouche à collier (*Ficedula albicollis*), en fonction de l'utilisation antérieure de ce nichoir et de la puce des oiseaux ; ainsi que ses conséquences sur leur succès reproducteur. Un protocole de choix a été mis en place, incluant l'installation de plots de paires de nichoirs, dans lesquels un nid de mésange et un nid de gobe-mouche ont été placés. La moitié des bois contenant ces plots a été infesté, l'autre non. Un suivi s'est fait, afin de voir ce choix, mais également le succès reproducteur. Les premiers résultats montrent que le système évolue habituellement au niveau de la date et de la taille de ponte. Ils ne montrent cependant pas de choix significatif entre les deux types de nids, chez les deux espèces, même si une tendance peut être vue graphiquement, montrant une petite préférence pour les nichoirs contenant les vieux nids de mésanges.

Parus major, *Ficedula albicollis*, *Ceratophyllus gallinae*, interactions hôte-parasite, choix d'habitat, écologie expérimentale