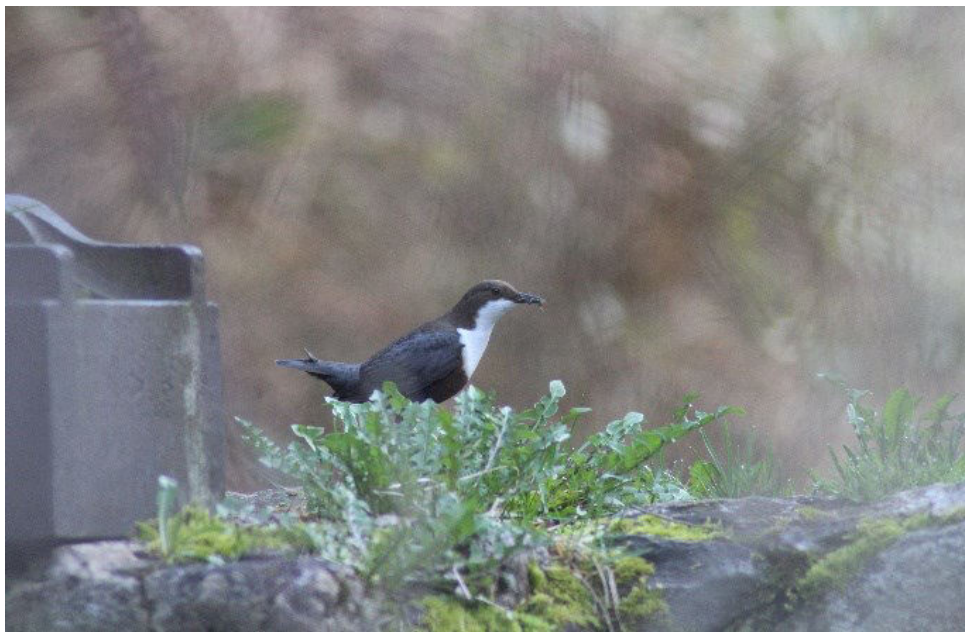


LES EFFETS DE L'ALTITUDE SUR LES TRAITS D'HISTOIRE DE VIE DU CINCLE PLONGEUR



VIGNASSE Julien

Stage effectué du 12 mars 2018 au 11 mai 2018 à

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON 1

LABORATOIRE DE BIOMETRIE ET BIOLOGIE EVOLUTIVE

UMR CNRS 5558



43, boulevard du 11 novembre 1918 69622 VILLEURBANNE

Sous la direction scientifique de Mme DOLIGEZ Blandine

*« 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

A l'issue de ces deux mois de stage, je désire exprimer mes remerciements à :

Monsieur Manolo GOUY, Directeur de recherche CNRS, pour m'avoir accueilli au sein de son laboratoire,

Monsieur Dominique ALLAINE, Directeur du département d'Écologie Évolutive et Professeur des Universités - UCBL, de m'avoir accueilli au sein de son département,

Monsieur Étienne RAJON, Responsable de l'équipe Évolution, Adaptation et Comportement et Maître de Conférences universitaires - UCBL, de m'avoir accueilli au sein de son équipe,

Madame Blandine DOLIGEZ, Tuteur de stage et Responsable du projet chargé de recherche au CNRS, pour m'avoir accompagné sur le terrain durant mon stage et guidé dans mon travail de recherche,

Madame Sylvia PARDONNET, Technicienne de terrain spécialisée en mammifères et oiseaux et Technicien UCBL, pour m'avoir appris à manipuler les individus, et à réaliser correctement toutes les mesures sur le terrain,

Madame Jeanne DUHAYER, Technicienne de terrain et Technicien UCBL, pour m'avoir accompagné sur le terrain pour mes différentes missions,

Monsieur Jean Claude SALVADO, Enseignant référent du stage, pour son soutien et ses conseils durant ma formation,

J'adresse aussi des remerciements à mes collègues stagiaires, pour leur entraide et leur collaboration lors des expéditions difficiles sur le terrain.

AVANT-PROPOS

Ce projet est initié par le Laboratoire de «Biométrie et Biologie Évolutive» (LBBE), Unité Mixte de Recherche (UMR) 5558 du CNRS, et l'université Claude Bernard Lyon I (UCBL). Ce centre de recherche est constitué de 122 permanents ainsi que de 1222 doctorants et postdoctorants. Il s'organise autour de deux thèmes fédérateurs la «Biométrie» et la «Biologie évolutive», ce qui lui a valu sa spécificité et ainsi contribué à sa création.

Les thématiques de recherche du LBBE s'organisent autour des problématiques biologiques propres et des développements méthodologiques d'où naît la plus grande part des résultats scientifiques du laboratoire. Ces thématiques sont donc organisées en quatre départements au sein du LBBE.

Le premier, est le département PEGASE, étudiant les mécanismes génétiques de l'évolution ; le second, est Écologie Évolutive basé sur les mécanismes responsables de la dynamique adaptative des populations et des communautés par une approche phénotypique ; le troisième département est celui de Bio Statistiques et Modélisation pour la santé et l'environnement, et le dernier s'intitule GINSENG, c'est un département qui étudie les mécanismes d'interaction hôte-parasites et de remodelage de la chromatine.

Le LBBE présente donc à la fois une composante science et santé, qui est répartie sur plusieurs sites à Lyon.

De plus, il collabore avec le Rhône-Alpes Bioinformatics Center (PRABI) pour les développements méthodologiques et avec la communauté scientifique de la Fédération de Recherche Bio-Environnement-Santé (FRBioenviS).

C'est dans le cadre des missions du département d'Écologie Évolutive, que j'ai effectué mon stage au sein du Parc Naturel Régional de Chartreuse et ses alentours, dans les départements de l'Isère et de la Savoie.

TABLES DES MATIERES

<u>1-INTRODUCTION</u>	page 1
<u>2-MATERIELS ET METHODES</u>	page 4
2-1 Espèce-modèle	page 4
2-2 Site d'étude	page 5
2-3 Suivi de la population	page 6
2-3-1 Capture des individus	page 6
2-3-2 Suivi des nids et des jeunes	page 9
<u>3-ANALYSES-STATISTIQUES</u>	page 11
3-1 Analyse de la survie	page 11
3-2 Analyse de la reproduction	page 11
<u>4-RESULTATS</u>	page 12
4-1 Donnée sur la survie	page 12
4-2 Donnée sur la reproduction	page 14
<u>5-DISCUSSION</u>	page 18
<u>6-BIBLIOGRAPHIE</u>	page 22
RESUME	

1 INTRODUCTION

Depuis plusieurs années, les organismes vivent dans un environnement qui ne cesse de changer. Ce changement s'effectue dans un cadre spatio-temporel, de l'échelle micro-locale à l'échelle mondiale. Leurs composantes forcent les organismes à adapter leur cycle de vie, quelque soit l'amplitude, la fréquence et la prévisibilité des variations. Le but des êtres vivants est d'optimiser leur forme physique dans l'intérêt de transmettre leur gène aux générations futures. Pour y parvenir, cela implique un ensemble complexe de compromis entre les caractéristiques clés telles que : l'investissement reproductif, la qualité des juvéniles, l'espérance de vie ou le succès reproducteur.

Ce cadre est connu sous le nom de «théorie de l'histoire de vie» (Stearns 1976). Par cette théorie, les scientifiques ont compris que les modèles spatiaux comme les gradients d'élévation fournissaient des systèmes naturels puissants pour aborder le rôle de la variation environnementale dans l'évolution des stratégies d'histoire de vie.

En effet, par l'élévation, de nombreuses variables climatiques agissent en parallèle, entraînant un changement d'environnement (Korner 2007).

L'une des variations les plus importantes est celle de la chute de la pression atmosphérique totale et de la pression partielle de tous les gaz atmosphériques, étant donné que la pression partielle en oxygène, est importante pour la respiration des oiseaux.

La deuxième variation est celle de la température qui chute de 5,5°C par kilomètre d'altitude en moyenne. Cette chute de température contraint l'oiseau à augmenter ses dépenses énergétiques de façon spectaculaires (Weathers et al., 2002).

Ce sont les deux principales pressions abiotiques qui s'exercent sur les traits de vie des oiseaux, le long des gradients d'élévation. Par conséquent, bien que le rayonnement solaire et la fraction des UV-B augmentent avec l'altitude, ces variations sont peu préoccupantes pour les oiseaux.

La variation altitudinale peut aussi avoir un impact sur les oiseaux à travers les effets multiples qu'elle produit sur le reste de l'écosystème. La phénologie de la végétation est affectée par ces diverses variations, induisant un rythme plus lent de croissance de certains arbres. C'est pourquoi, les communautés d'invertébrés qu'ils hébergent sont également touchées, les espèces aviaires insectivores ont plus de mal à trouver de la nourriture pour nourrir leurs juvéniles.) Il y a donc une synchronisation entre la reproduction des oiseaux et la phénologie des végétaux.

Par conséquent l'altitude induit une variation des paramètres abiotiques et biotiques provoquant une pression de sélection sur les oiseaux, affectant leur fitness.

De manière générale, les études connues ont démontré avec une certaine incertitude, que les oiseaux se reproduisant à haute altitude, devraient être confrontés à une réduction à la fois temporelle et quantitative de la disponibilité alimentaire, ce qui les pousserait à retarder leur début de reproduction, par un développement plus tardif de leur structure reproductive. (Boyle et al., 2015).

La durée de la saison de reproduction est donc plus courte (Hille et Cooper 2015). Cependant, la densité des couples reproducteurs a tendance à être plus faibles en altitude ce qui est susceptible de réduire la concurrence. La compétition pour les territoires, le partenaire et les ressources ont un impact direct sur les stratégies de reproduction. La prédation est un paramètre important dans la survie de l'individu, mais il n'y a pas de tendance des pressions de prédation avec l'altitude, même si celle-ci diminuerait avec l'élévation (Badyaev 1997).

L'idée principale de ce rapport est dédiée à la compréhension de l'influence de l'altitude sur la fitness d'un individu : quel est le succès reproducteur de l'individu et quelle est sa survie? Cette dernière s'applique tant aux adultes qu'aux juvéniles.

Le but est donc d'étudier la relation qui existe entre le succès reproducteur et l'altitude tout en définissant les variables utilisées. En effet, il y aurait une corrélation positive avec l'altitude et le succès à l'envol des poussins (Boyle et al., 2015). Toutefois, il faudra faire attention car cette corrélation ne tient pas compte de la stratégie choisie par l'oiseau. Chez les Juncos aux yeux noirs, il a été démontré que les oiseaux ont préféré opter pour une forte stratégie reproductive en plaine, plutôt qu'une stratégie de survie forte en altitude, induisant un faible taux de reproduction (Bears et al, 2009). Ainsi ce n'est plus la survie qui entre en compte mais la fécondité annuelle. Les individus se reproduisant en altitude peuvent avoir un nombre de juvéniles sortis du nid similaire aux individus de basse altitude, sachant que ces derniers ont produit deux couvées. Une survie plus élevée à haute altitude est souvent associée à une fécondité annuelle plus faible, ce qui suggère que l'altitude entraîne un changement des stratégies d'histoire de vie.

Une saison de reproduction plus courte doit permettre aux adultes de consacrer plus d'énergie à la couvée pour faire face aux contraintes altitudinales. Ainsi, les poussins seraient plus vigoureux et donc mieux préparés à faire face à des pressions environnementales élevées, amenant à une survie accrue. La forme physique peut témoigner de l'endroit où il se trouve. Cependant, l'éventualité de mécanismes d'adaptations et d'ajustements des traits d'histoire de vie des oiseaux en fonction de l'altitude sont encore assez mal connues.

Ce projet de recherche sur le Cincle plongeur (*Cinclus Cinclus*) a pour objectif à long terme, de mieux appréhender ces variations en fonction de l'environnement.)

Le suivi d'une population naturelle dans le Massif de la Chartreuse au sein du Parc Naturel Régional de Chartreuse et de ses alentours permettra de mesurer de façon standardisée, différents paramètres année après année, sur le comportement et la reproduction du cincle plongeur. Ainsi, le devenir de tous les individus jeunes et adultes sera déterminé par les données de présence et de leur succès reproducteur.

Le choix de ce modèle biologique a été établi par le fait que l'altitude, est la source de variation environnementale la plus importante chez le cincle plongeur, et que cette espèce se reproduit entre 200 et 2500 mètres d'altitude.

L'altitude impactant de nombreux paramètres environnementaux (température, phénologie de la végétation, présence de parasites et prédateurs...), mais aussi de l'écologie du cincle (migrations altitudinales partielles), son rôle semble potentiellement majeur sur l'évolution des stratégies d'histoire de vie de l'espèce.

Enfin, l'environnement du cincle présente également la particularité d'être linéaire. Les déplacements du cincle étant très largement inféodés aux cours d'eau, ils offrent des perspectives

importantes pour l'étude de son comportement. Des captures d'individus pourront être effectués et permettront de faire des manipulations et des mesures.

De plus, l'espèce accepte relativement facilement de se reproduire en nichoirs, ce qui permet un accès facile aux données de reproduction pour une grande part de la population. Dans ces conditions, il sera possible d'obtenir des données sur un grand nombre d'individus, à l'aide de prélèvements faiblement ou moyennement invasifs, ne compromettant pas leur survie ni leur reproduction. Ces données permettront d'atteindre des puissances statistiques satisfaisantes pour tester le processus d'intérêt : la reproduction et la survie.

Le cincle plongeur est protégé selon la liste de l'International Union for Conservation of Nature (IUCN), mais dont la préoccupation est mineure, étant abondant lorsque l'habitat est favorable, comme c'est le cas dans notre étude.

2 MATERIELS ET METHODES

2-1 Espèce modèle

Le cincle plongeur (*Cinclus cinclus*) est un petit passereau de la famille des Cinclidés au plumage brun sombre et présentant un plastron blanc ventral s'étendant du menton au sternum, sous lequel une bande rousse est présente. Il n'y a pas de dimorphisme sexuel chez cette espèce. Son corps est trapu et rondelet, pour une longueur comprise entre 17 et 20 centimètres. Son poids oscille entre 47 et 75g. Le poids des femelles fluctue énormément, il est en moyenne de 58 g, mais peut atteindre 74 g au moment de la ponte et baisser à 47 g en fin de nidification, alors que celui des mâles est en moyenne de 66 g et est maximal en hiver. Ses ailes sont courtes lui permettant un vol rapide et direct, souvent au ras de l'eau et lui conférant une envergure de 25 à 30 centimètres.

C'est une espèce protégée mais pas menacée (figure 1). Sa survie est étroitement liée à la qualité du milieu aquatique dans lequel il se trouve, d'après le statut de conservation de l'IUCN. Sa longévité est d'environ 6 ans. On le trouve en France à une altitude allant de 200 à 2500 mètres, y compris sur des secteurs plus ou moins boisés et ombragés, dès que le courant rapide et la clarté de l'eau lui apportent proies et zones de chasse. Il est présent surtout en Europe et au Nord-Ouest de l'Afrique.



Figure 1 : Le Cincle plongeur.

Cette espèce est inféodée aux cours d'eau rapides et froids, de moyenne et basse montagne, fortement oxygénés avec des remous et des cascades, présentant des ressources alimentaires tels que des invertébrés aquatiques et ponctuellement de petits poissons. Il est capable de plonger, de nager et de marcher sur le lit d'un torrent, parfois à contre-courant, pour trouver sa nourriture. Le cincle plongeur longe le cours d'eau et nage avec aisance en s'aidant de ses ailes courtes pour gagner le fond du torrent. Il reste immergé de 3 à 10 secondes, généralement à moins d'un mètre de profondeur. De ce fait, les narines et les oreilles sont fermées par de fines membranes lors de la plongée. Sa glande uropygienne est 10 fois plus grosse que chez d'autres oiseaux de la même taille. Elle produit une sécrétion huileuse qui imperméabilise son plumage.

Le cincle plongeur est nerveux, actif et méfiant. En hiver, la territorialité est faible, les populations délaissent plus ou moins les hautes altitudes où la neige bloque l'accès aux torrents, pour descendre en piémont. Dès janvier en plaine la défense du territoire s'accroît alors qu'il faut attendre mars-avril en montagne (Breitenmoser-Wursten, 1988; Dick, 1988).

Ce phénomène marque le début de la saison de reproduction, chaque couple établit son territoire le long de 3 à 5 kilomètres de cours d'eau, le patrouillant et le défendant sans cesse par des vols rapides au ras de l'eau de caillou en caillou.

La maturité sexuelle est acquise à un an et la période de ponte s'étend de mi-février à fin mai. Les deux individus construiront un nid au-dessus de l'eau sous un pont, sur un rocher ou encore des falaises rocailleuses, fait de mousses et contenant une coupelle remplie de feuilles. La femelle y pondra généralement 5 œufs, qu'elle va couvrir pendant 16-17 jours avant l'éclosion. Pendant ce temps, le mâle ramènera la nourriture et assurera la surveillance du nid.

Les jeunes seront nourris pendant 20 jours environ par les deux parents, surtout dans la matinée et en fin de journée avant leur sortie du nid. Ils y seront encore nourris pendant 2-3 semaines. Si la nourriture est abondante, une seconde ponte peut survenir. Les jeunes, quant à eux restent sur le territoire familial jusqu'à la fin de l'été, par la suite, ils se dispersent plus ou moins loin de l'environnement où ils sont nés.

2-2 Site d'étude

Le suivi de la population s'est donc effectué le long de 11 rivières au sein du Parc Naturel Régional de Chartreuse et ses alentours, dans les départements de l'Isère et de la Savoie. Chaque zone de couleur correspond à une rivière ou portion de rivière et ses affluents, sur lesquels entre 10 et 40 nichoirs (tuyau en PVC de 20 cm de diamètre et 30 cm de longueur) ont été installés facilitant le suivi de la reproduction dans la population (figure 2).

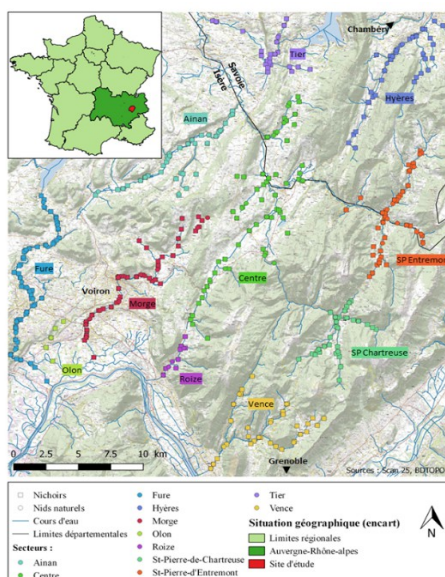


Figure 2 : Carte représentant l'emplacement des nids sur les différentes rivières



Figure 3 : Carte représentant les nicheris et nids naturels sur les différentes rivières

Les ronds correspondent aux emplacements de nids naturels et les carrés aux emplacements des nicheris (figure 3).

2-3 Suivi de la population

Afin de pouvoir répondre à notre question, deux types de missions ont été menées lors de ce projet. La première étant : les captures des individus et la seconde : le suivi des nids.

2-3.1 Capture des individus

Cette mission permet de prélever des informations sur les individus trouvés.

Les cincles plongeurs adultes, sont capturés à partir de mi-janvier jusqu'à début juillet. Ces captures renseignent sur la présence d'un ou plusieurs individus à un endroit précis, sur leurs caractères morphologiques mais aussi sur leurs dispersions. Elles sont stoppées à cette date lorsque les adultes sont entrés en période de mue, du fait de leur plus forte vulnérabilité et de leur comportement moins actif.

Les adultes sont capturés à l'aide de filets japonais (figure 4) comportant des mailles de 30X30 millimètres et tendus perpendiculairement au cours des rivières, sur toute la largeur. Les femelles à l'incubation qui n'ont pas été capturées au préalable dans la saison, le seront à l'épuisette directement au nid.

Le démaillage et la manipulation des oiseaux suivent les directives et préconisations du Centre de Recherche de Biologie des Populations d'Oiseaux (C.R.B.P.O). Une fois démaillés, les oiseaux sont placés dans des sacs opaques en tissu jusqu'aux opérations de mesure et échantillonnage, au maximum pendant 1 h à 1h30. Une fois capturés, les adultes subissent une série de manipulations visant à les marquer de façon individuelle pour pouvoir les identifier lors des captures suivantes et les suivre sur l'ensemble de leur vie. Des mesures morphologiques et des échantillonnages sont aussi relevés. Elles seront par la suite analysées en laboratoire.



Figure 4 : Filets japonais posés

L'identification de l'individu consiste à avoir recours à la méthode de baguage. Les adultes sont bagués à l'aide d'une bague métal en aluminium, numérotée individuellement, fournie par le C.R.B.P.O, et permettant l'identification en main au cours des captures suivantes. En plus de cette bague métal, une combinaison de 3 bagues plastiques colorées, dont une portant un transpondeur (figure 5) possédant la technologie Radio Frequency Identification (RFID) sont posées. Il y aura 2 bagues par patte au total, afin de permettre une identification à distance, par observation directe, vidéo ou détection des transpondeurs et éviter des captures successives pour identification ultérieure.

La pose d'une combinaison de 4 bagues au total sur les deux pattes est une procédure classique sur les petits passereaux. Les bagues plastiques choisies, de diamètre adapté au cinclé soit 4 millimètres de diamètre intérieur, ont des bords chevauchants pour éviter tout risque d'accrochage des bagues par des branches ou fils de pêche. Les bagues portant les transpondeurs n'étant pas chevauchantes, elles sont soudées sur le terrain après la pose à l'aide d'un petit fer à souder portatif, pour éviter un entrebâillement entre les deux bords.



Figure 5 : Illustration d'une pose de bague (à gauche) et d'un oiseau bagué avec un transpondeur gris (à droite)

La deuxième manipulation est celle de la prise des mesures morphologiques. Elles sont relevées à l'aide des instruments adéquats et suivant les procédures standardisées chez les petits passereaux : la masse ainsi que la longueur du bec et du crâne s'effectue à 0.1 g près. Toutes les autres mesures, longueur du tarse, longueur de l'aile pliée et de la 3e rémige primaire, longueur de la queue s'effectuent à 0.5 mm près (figure 6).

L'âge (deux catégories : adulte né l'année précédente ou avant), le sexe supposé (en fonction du dimorphisme de taille), la présence d'une plaque incubatrice, le début de mue, les bagues, le comportement en main (actif ou non), l'émission de cris de détresse et la présence éventuelle de blessures sont notés.

Enfin, une mesure de rythme respiratoire sur 30 secondes, un enregistrement du rythme cardiaque (4 périodes de 15 secondes) à l'aide d'un micro-cravate posé sur le ventre de l'oiseau et d'un enregistreur numérique et des photographies de différentes parties du corps sont également réalisés. L'ensemble des opérations de baguage dure autour de 15 à 20 minutes. Toutes les informations sont inscrites sur une fiche (figure 7), une par individu. Un prélèvement de plumes et de sang est aussi réalisé dans d'autres analyses.

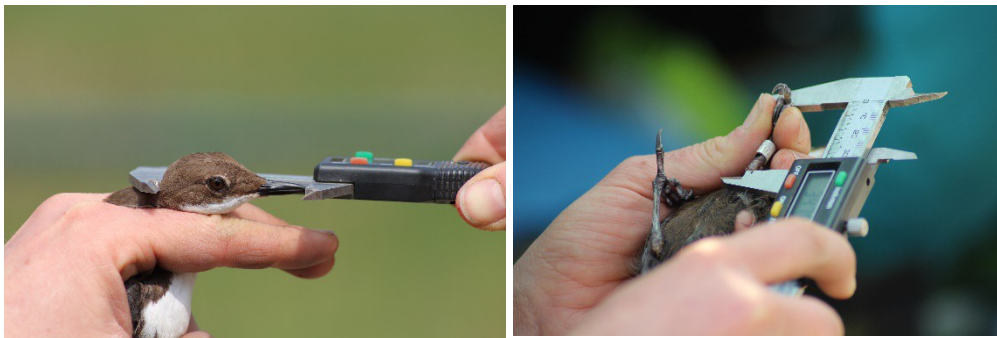


Figure 6 : Illustration d'une mesure tête + bec (à gauche) et longueur du tarse (à droite).

Ringnb JA673841		New: Y / (N)	
Place St Buet ^{Passerelle}		Name JD	
Colour rings: Left ^(white) R/Y		Right W/H	
Transpond.			
Age: +2A		Date: 15/02/18	
Sex: M?		Time: 09h55	
Mass: 65.8	Tarsus: 36.1		
Wing: 99.5	Abraded: ++ / + / (N)		
Tail: 57.0	3 rd prim: 63.5		
Sk+Bl lgh: 48.8	Bl lgh: 23.7		
Brood patch: Y / (N)	Molt: Y / (N)		
Breath: 4.1 / 30s	Card. Rhythm: Y / N		
Feathers: white brown	CORT POL		
Blood: alc microv - microv + smear mlt			
Pictures: belly white belly brown eye coverts			
Struggl: +++ ++ + (N)	Distress: Y / (N)		
Wounds: (N) / old / capt / nail			
Remarks on the other side SAISIE			

Figure 7 : Illustration d'une fiche de saisi lors d'un oiseau capturé

2-3-2 Suivi des nids et des jeunes

Le suivi des nids durant la reproduction, implique des visites régulières des sites de reproduction et des nichoirs pour la détection des nids. Le but de ce repérage est d'avoir la date exacte de début et de fin de ponte. C'est une variable fondamentale en écologie évolutive.

L'ensemble des sites potentiels de nidification est visité environ une fois par semaine, à la fois les sites naturels répertoriés les années précédentes ainsi que les nichoirs. Parfois, les cincles n'utilisent pas les nichoirs, il faut donc prospecter les sites naturels afin de trouver un nid naturel. Les visites démarrent de mi-février à fin février en plaine et de mi-mars à fin mars en altitude. Ces visites consistent en une simple observation pour déterminer si un nid est en train d'être construit et si oui, quel en est le stade de construction.

Les nids en construction (figure 8) sont visités toutes les semaines pour noter l'avancement de la construction et repérer les changements de sites éventuels. Lorsqu'un nid atteint le stade 4/4, c'est-à-dire que l'entrée est bien formée, il est visité tous les 4 à 5 jours jusqu'à la ponte. Le contenu du nid est vérifié à la main pour détecter la présence éventuelle d'œufs, et les compter au toucher.

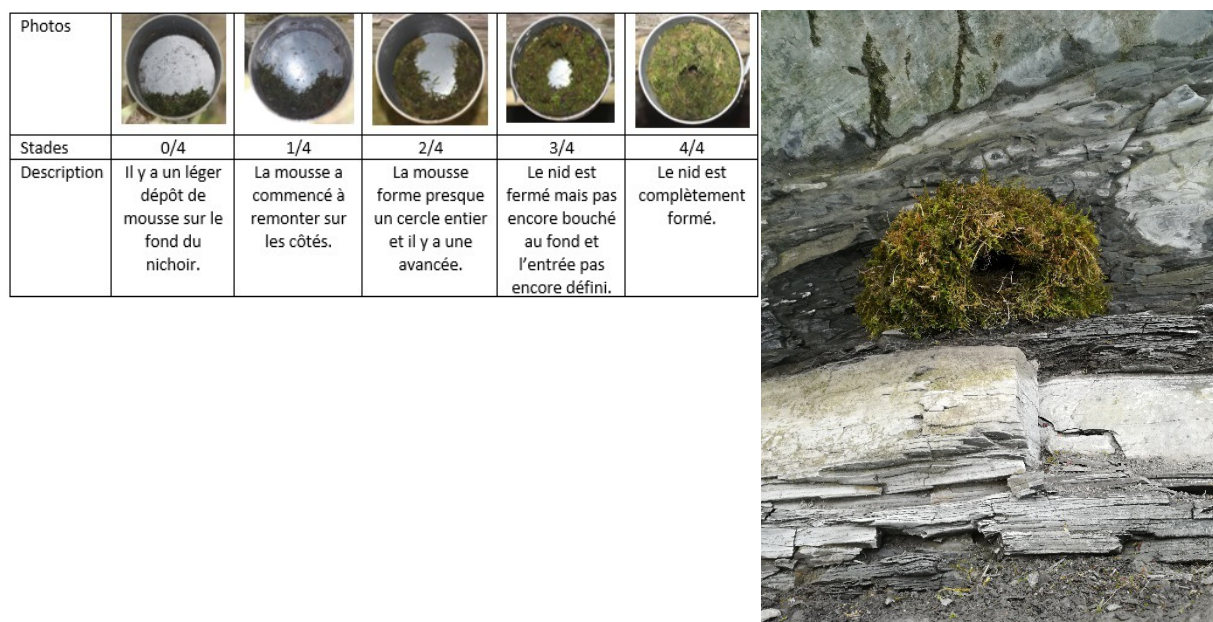


Figure 8 : Construction du nid par le cincle plongeur dans un nichoir (à gauche) et naturel (à droite)

Une identification éventuelle des parents est organisée. Les adultes étant capturés dès janvier avant le début de la reproduction, il est nécessaire de contrôler l'identité des parents à chaque nid. En janvier les oiseaux sont en plaine et peuvent remonter les cours d'eau pour aller se reproduire, ils sont dispersés. Les individus ne se retrouvent pas forcément au premier lieu de capture. C'est pourquoi, une vidéo est posée et camouflée à distance du nid pendant quelques minutes. La lecture de celle-ci permettra de lire les bagues des individus se posant aux alentours du nid. La lecture des transpondeurs peut aussi être utilisés à l'aide d'un détecteur et de deux antennes directionnelles.

Par la suite, si des poussins viennent à naître, un suivi continu du nid perpétue. La visite s'effectuera au jour 5 et 7 pour peser et baguer les poussins. Puis au jour 12 pour faire des mesures et prélever du sang, et au jour 17 juste avant l'envol pour vérifier s'il n'y a pas eu de prédation. Au jour 5 et 12 des caméras seront posés à distances pour mesurer les soins parentaux.

La vérification pré-envol permet d'obtenir une mesure précise du succès reproducteur tandis que la vérification post-envol permet d'obtenir une mesure du succès reproducteur final et repérer les secondes pontes. Ces vérifications ne s'effectuent plus à la main mais bien à distances car les jeunes commencent à adopter un comportement anti-prédateur.

Ces différentes opérations de capture et suivis des nids et jeunes ont a priori un impact très limité sur la survie et le succès reproducteur dans cette population. Une très grande majorité des adultes ou jeunes capturés ont été identifiés comme reproducteurs les années suivantes et donc recapturés. Ceux capturés pendant la reproduction n'ont pas montré de signes de désertion des territoires. Ce succès reproducteur est sûrement dû à une forte disponibilité en nourriture dans ces rivières.

3 ANALYSES-STATISTIQUES

Avant de réaliser une quelconque analyse, il a fallu combiner et trier toutes les données prises sur le terrain afin de déterminer le sexe et l'identité de l'oiseau. Pour cela l'ensemble des vidéos ont été visionnées, l'ensemble des observations sur les oiseaux et les nids ont été écrites et les individus capturés ont été également enregistré. Toutes ces informations sont répertoriées chaque jour dans un fichier Excel récapitulatif à la date précise.

A partir de ce moment, les analyses statistiques peuvent débuter. Pour cela, l'ensemble des tests statistiques a été réalisé sur le logiciel R version 3.3.2 avec un seuil de significativité α de 5 %. Les graphiques quand à eux seront réalisés à l'aide de ce même logiciel mais aussi à l'aide du logiciel Excel. De ce fait, pour répondre à notre sujet les tests du Khi deux, et de Wilcoxon seront utilisés ainsi que des modèles linéaires.

3-1 Analyse de la survie

Afin d'analyser la survie dans la population, des captures ont été réalisées. Elles permettent d'établir des tableaux de comparaison en fonction du numéro de bague de chaque individu. Pour cela, il suffit de regarder si le numéro de bague à l'instant «t» est présent l'année suivante à «t+1». Toutefois, il se peut qu'un individu ne soit pas capturé d'une année sur l'autre donc il faudra comparer l'instant «t» à l'instant «t+2», «t+3»...Une fois cette étape réalisée, la comparaison entre les individus qui ont survécu et ceux qui sont morts peut-être analysée en fonction de l'altitude.

Pour finaliser cette partie, une dernière analyse sur la condition physique du cinkle plongeur en fonction de l'altitude a été réalisée.

3-2 Analyse de la reproduction

Pour étudier le succès reproducteur d'un individu en fonction de l'altitude, plusieurs paramètres ont été testés et analysés.

Sachant que le cinkle plongeur est capable de faire deux pontes, les analyses seront séparées en deux. Dans un premier temps, des analyses seront faites sur la première ponte et dans un autre temps, les analyses s'effectueront sur la seconde. Pour la première ponte, la date de ponte et le succès à l'envol des poussins seront regardés en fonction de l'altitude.

Afin de faire un lien entre la première et la deuxième ponte, la proportion du nombre de pontes en fonction des classes d'altitude sera analysée et l'explication de la différence tentera d'être analysée. Pour cela, il sera regardé si c'est l'altitude ou la date de la première ponte qui a un effet sur la seconde ponte ou les deux.

Toutes ces analyses sont effectuées grâce aux données répertoriées dans les classeurs Excel qui consiste simplement à relever le nombre de nids par altitude, la date de ponte par nid...etc.

4 RESULTATS

Tous les résultats apportés seront illustrés à base de graphique

4-1 Données sur la survie

Les individus morts et ceux qui ont survécu ont été répertoriés de part et d'autre, afin de savoir s'il y avait un lien avec l'altitude. D'après le test de Wilcoxon, il n'y a pas de significativité qui démontre une quelconque influence de celle-ci sur la survie ou la mort des individus et ce, quel que soit l'année (figure 9).

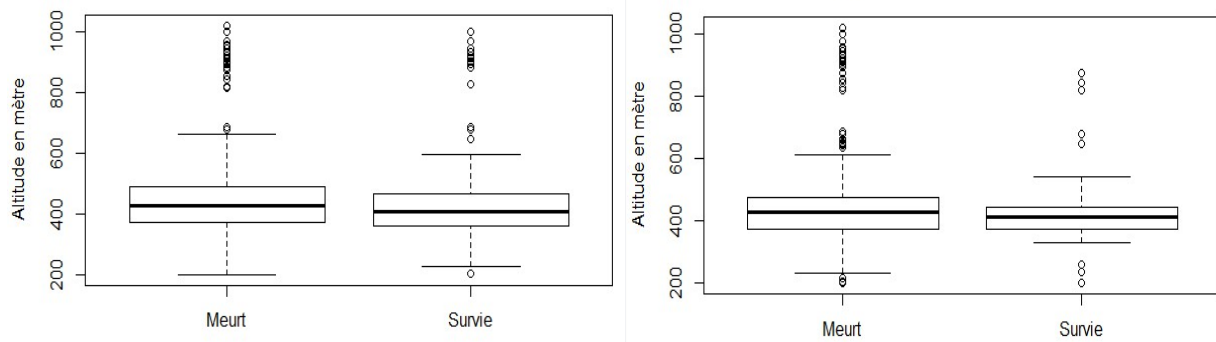


Figure 9: Boîtes de dispersions représentant la survie en fonction de l'altitude (adultes à gauche et poussins à droite)

Les p-valeurs respectives du test étant de 0.2513 pour un effectif de 382 parents et 0.2217 pour un effectif de 1246 poussins prouvent qu'il n'y pas de lien entre la survie et l'altitude. De plus, la moyenne de survivant ou de mort dans les deux cas se situe aux alentours de 400 mètres.

Maintenant, on a essayé de savoir si parmi les individus qui ont survécu, certains revenaient à la même altitude ou non. Cette analyse s'effectue cette fois-ci d'une année à l'autre (figure 10 et 10 bis).

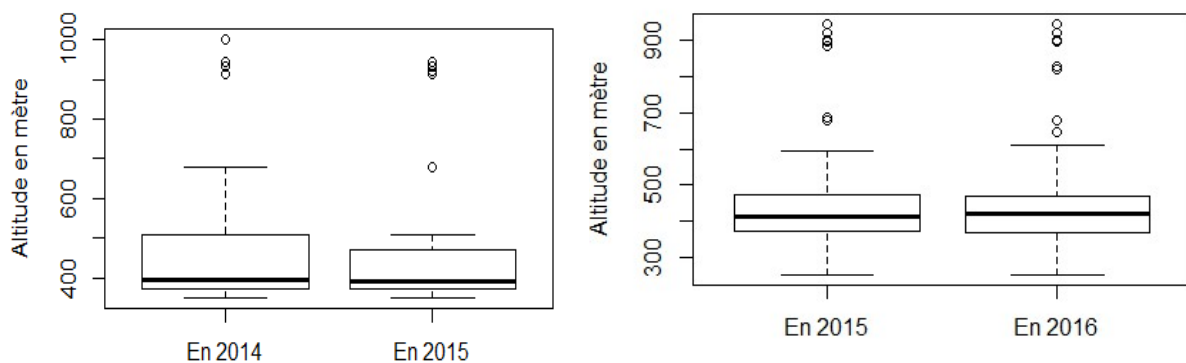


Figure 10: Boîte de dispersion représentant la position des adultes qui ont survécu

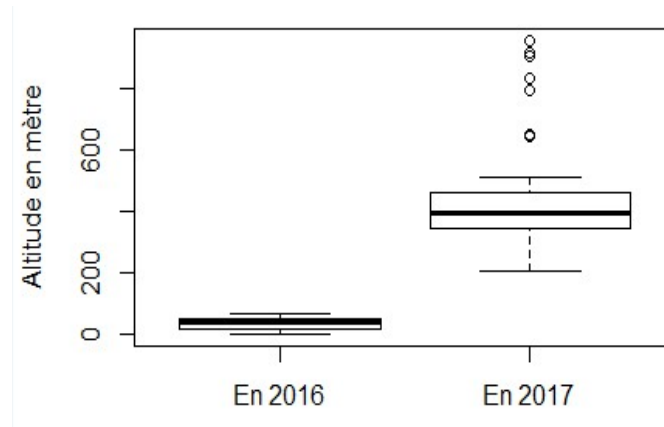


Figure 10 bis : Boite de dispersion représentant la position des adultes qui ont survécu

On peut constater que les individus adultes reviennent à la même altitude de 2014 à 2015 et de 2015 à 2016, par contre ce n'est pas le cas de 2016 à 2017. La p-valeur pour le premier graphique est de 0.1814 pour $n=96$, de 0.6206 pour 172 individus entre 2015 et 2016 et de $2.2 \cdot 10^{-16}$ pour le dernier graphique avec $n=253$.

Pour les poussins qui ont survécu d'une année sur l'autre la tendance qui se dégage est la même que celle pour les adultes. La p-valeur est de 0,5781 entre 2014 et 2015 ($n=16$), une p-valeur de 0,7761 entre 2015 et 2016 ($n=92$), une p-valeur de $7,762 \cdot 10^{-12}$ entre 2016 et 2017 ($n=144$) (figure 11).

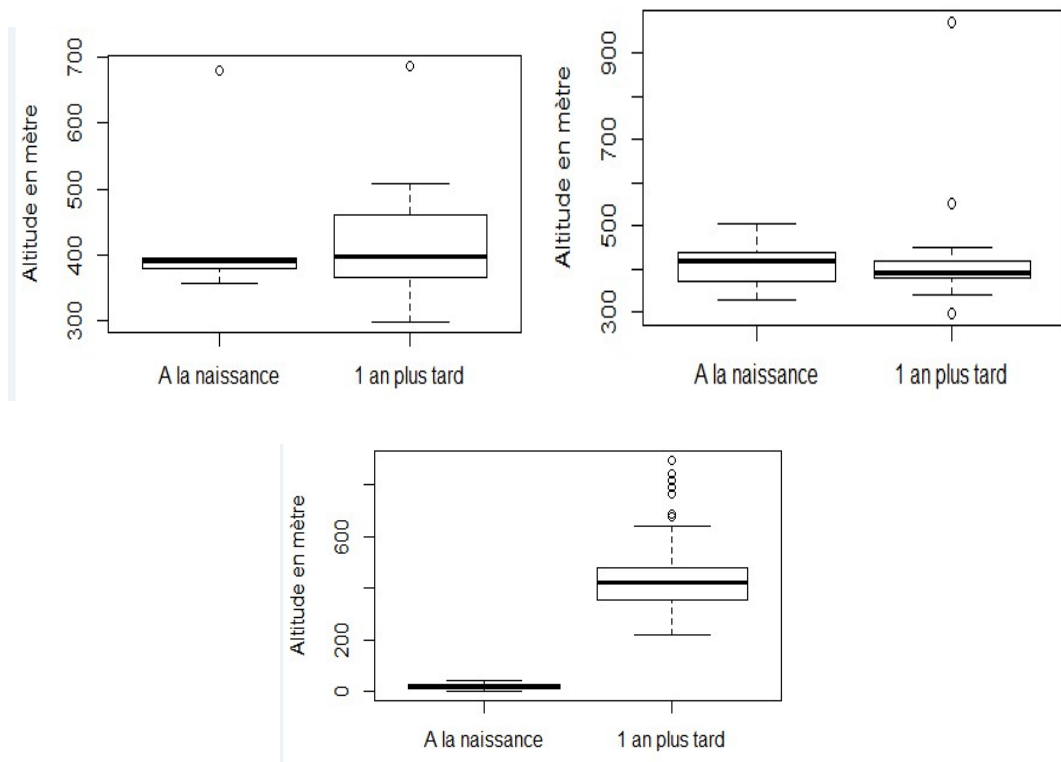


Figure 11 : Boite de dispersion représentant la position des poussins de l'année de naissance à un an

Ainsi, à partir d'une régression linéaire la condition physique d'un individu a été analysé en fonction de l'altitude car cet aspect morphologique peut renseigner sur la survie et le succès reproducteur de l'individu. La condition physique d'un individu est évaluée en faisant un rapport : masse de l'individu/longueur du tarse.

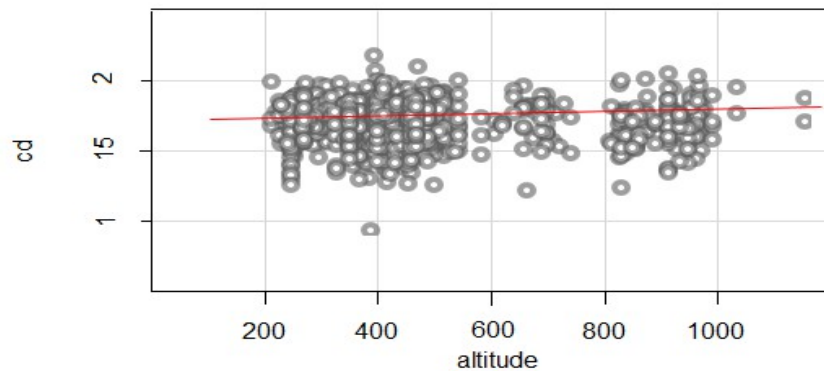


Figure 12 : Graphique de la régression linéaire entre la condition physique en fonction de l'altitude

Pour un effectif de 939 individus, la p-valeur est de 0.3899 pour un degré de liberté de 931. Il n'y a donc pas de lien entre la condition physique (cd) et l'altitude.

4.2 Données sur la reproduction

Dans cette partie d'analyse, le succès reproducteur d'un individu va être étudié. Pour cela, il faut regarder si un individu a la possibilité de pondre et si c'est le cas, si, ses juvéniles arrivent à l'envol. L'altitude est donc peut-être une variable qui influe ces paramètres. Les données seront traitées de 2014 à 2017 confondues.

La première analyse est que dans le cas d'une première ponte, l'altitude peut elle avoir un effet sur la date de ponte ?

Par une régression linéaire, il a été constaté un lien entre ces deux variables (figure 13).

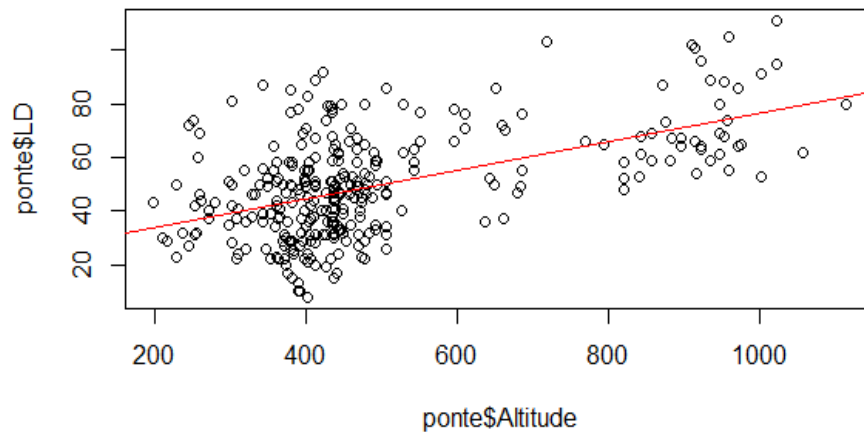


Figure 13 : Graphique représentant la régression linéaire entre la date de la première ponte en fonction de l'altitude

Sur le graphique, une corrélation est bien marquée sur le fait que, plus on est en l'altitude plus la date de ponte est tardive. Le test statistique du modèle linéaire le confirme par la p-valeur qui est significative : $2.2 \cdot 10^{-16}$ et de degré de liberté 307. Ce test a été testé pour $n=999$ pontes.

Une fois que cette première ponte est réalisée par les individus, le succès à l'envol des poussins a été regarder en fonction de l'altitude. A noter que le 0 correspond aux poussins non envolés et le 1 aux poussins qui ont réussi à sortir du nid. Les NA sont des données de certain nids où l'on n'a pas l'information.

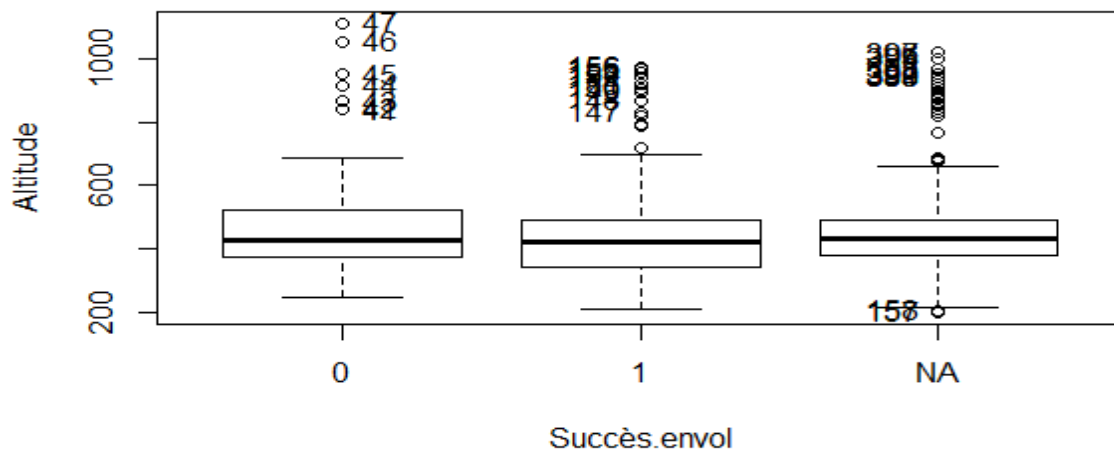


Figure 14 : Boite de dispersion représentant le succès à l'envol des poussins lors de la première ponte en fonction de l'altitude

Par le test du Khi-deux et de sa p-valeur : 0.3211, il n'y aurait pas de significativité entre l'altitude et le succès à l'envol des poussins lors de la première ponte. Pour un non succès à l'envol ou bien une réussite, la moyenne de l'altitude est quasiment la même : environ 400 mètres. Le test a été effectué avec un degré de liberté de 352 et $n = 398$.

A la suite de cette première ponte, le cincle plongeur est capable de réaliser une seconde ponte mais ce n'est pas le cas partout comme peut le témoigner ce graphique (figure 15).

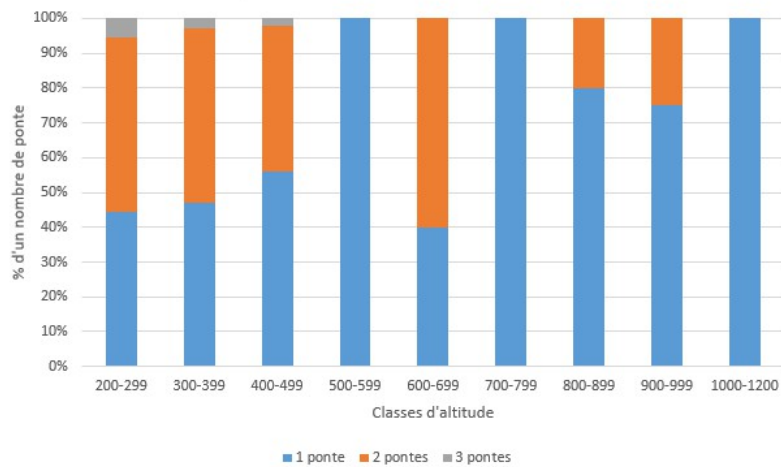


Figure 15 : Graphique représentant le nombre de pontes dans un nid en fonction de l'altitude

D'après le graphique, il y aurait une plus grosse proportion de seconde ponte à une altitude moins élevée. Pour cela, un test du Khi-deux est effectué pour vérifier l'interprétation visuelle du graphique (figure 16).

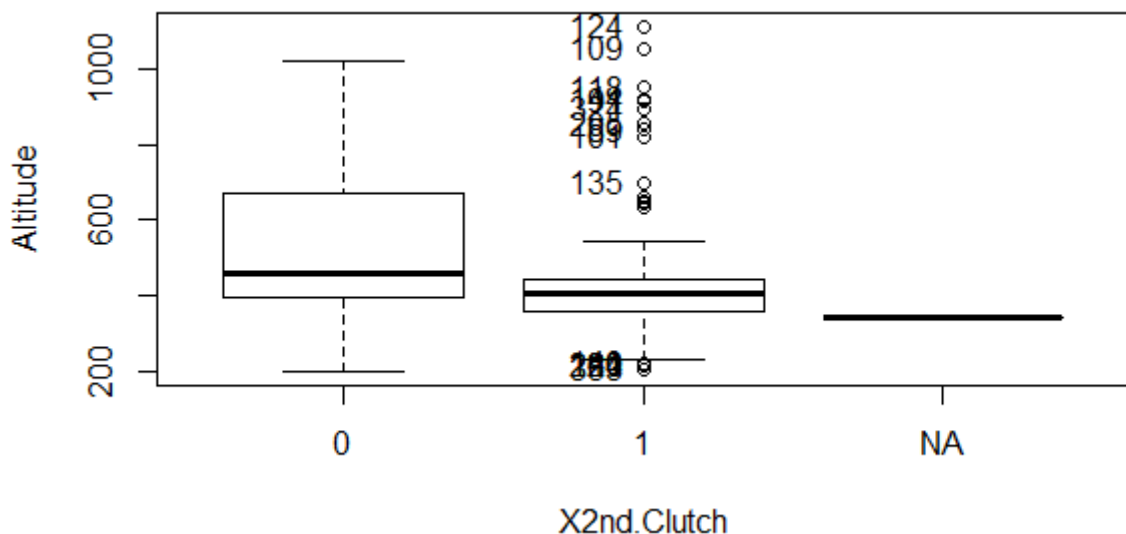


Figure 16 : Boîte de dispersion représentant la probabilité d'une seconde ponte en fonction de l'altitude. (0 = pas de deuxième ponte, 1 = deuxième ponte et NA= pas de valeurs)

Sur le graphique précédent, représentant sous forme de boîte de dispersion, la probabilité d'une deuxième ponte en fonction de l'altitude, il nous révèle qu'il n'y aurait pas un lien avec l'altitude. La p-valeur du test étant de 0.7994 confirme qu'il n'y a pas de significativité entre les deux variables. Le degré de liberté du test est de 162 et n=359.

De ce fait est testé si la date de la première ponte à une influence sur la probabilité d'une seconde ponte (figure 17).

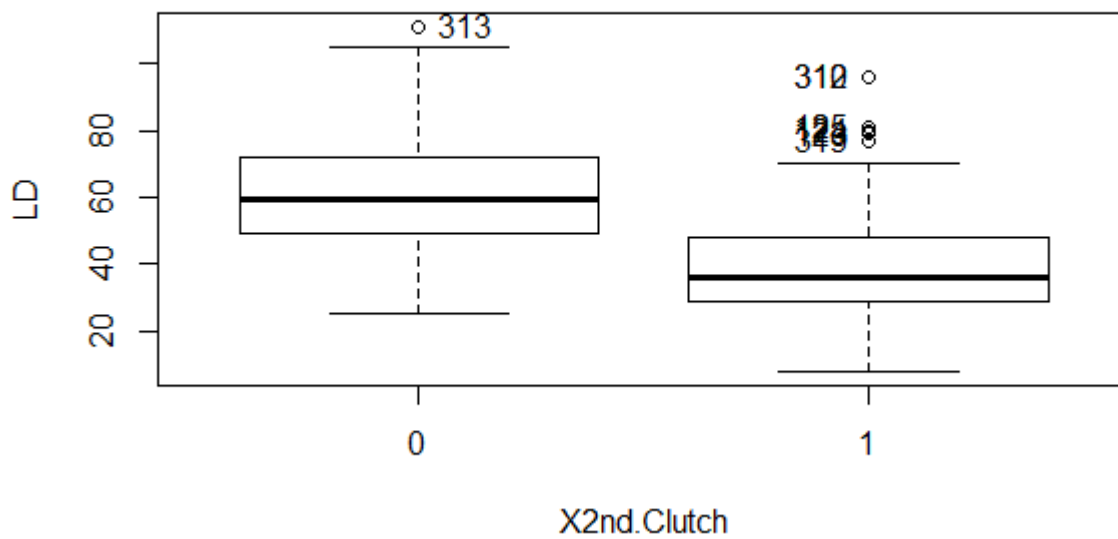


Figure 17 : Boite de dispersion représentant la probabilité d’avoir une 2nd ponte par rapport à la date de la 1^{ère} ponte

Ici, le graphique et le test révèle que la probabilité d’avoir une 2^{ème} ponte est liée à la date de la 1^{ère} ponte. Plus la première ponte est tardive moins une deuxième ponte sera effectuée par les individus.

Le test du Khi-deux le révèle par sa p-valeur significative de 0.02858, de degré de liberté égal à 334. Le test a été réalisé pour n=399.

V DISCUSSION

Au cours de ce sujet de recherche, l'objectif est d'observer comment les effets de l'altitude agissent sur l'histoire de vie du cincle plongeur. En effet, l'ensemble des facteurs environnants incite les individus à constamment évoluer dans leur milieu avec un enjeu majeur qui est celui de maintenir le succès reproducteur. On peut observer que leur fitness change, ce qui permet de comprendre l'action de la sélection naturelle. Cette fitness étant la capacité que possède un individu à se reproduire, afin de transmettre une partie de ses gènes à la génération future. Il était donc primordial d'analyser la survie et la fécondité de ces oiseaux.

La fitness et les traits d'histoire de vie étant étroitement liés, ces deux paramètres donnent l'opportunité de faire des analyses communes car ils englobent la survie et la reproduction. C'est pourquoi les captures d'adultes et de poussins donnent la possibilité d'avoir un regard sur la survie des individus et ainsi, faire un lien avec le succès reproducteur.

Afin d'affiner l'étude, il est d'autant plus intéressant de connaître la provenance des individus, s'ils sont nouveaux ou pas. Pour cela, il est impératif de mettre en place un suivi afin d'avoir accès aux données de reproduction : suivi des nids, nombre de couple, accès à la progéniture (en vérifiant le nombre de jeunes, la taille, la croissance, sexe ratio).

Depuis la mise en place de ce projet, la dynamique de la population a relativement changé durant les années, c'est pourquoi des études ont été lancées pour savoir d'où venait ce changement. L'altitude étant l'une des variables entraînant le plus de changements environnementaux et étant très présente dans l'habitat du cincle plongeur, c'est la raison pour laquelle des analyses ont été réalisées.

Dans un premier temps, la capture des individus s'effectuant à différentes altitudes, il était intéressant d'établir s'il y avait un lien entre celle-ci et le fait que certains individus soient recapturés ou non. Pour répondre à cela, la survie des adultes et des poussins sur 4 ans a été étudiée. Les résultats ont montré qu'il n'y avait pas de lien direct avec le taux de mort ou de survivant.

C'est pour cela qu'une étude supplémentaire et plus précise a été réalisée, dans le but de savoir si les oiseaux revenaient à la même altitude d'année en année. Cette étude expliquerait pourquoi certains individus ne sont pas recapturés puisque les sites de captures sont différents d'une année sur l'autre. Cette fois-ci, l'analyse a montré que d'une année sur l'autre les individus revenaient à la même altitude sauf de 2016 à 2017 où les oiseaux avaient tendance à changer d'altitude. Le taux d'individus ne variant pas, confirment le fait, qu'il y ait autant de morts et de survivant durant les années 2014 à 2016 à la même altitude (cf figure 9). Cependant, le changement d'altitude lors des années 2016 à 2017 laisse supposer l'incidence d'un nouveau facteur environnemental au sein de la population.

Une nouvelle variable environnementale vient peut-être de s'allier avec l'altitude, ainsi il sera intéressant de voir l'évolution sur plus long terme puisqu'on la retrouve aussi chez les poussins. Cependant, il est important de signaler que les résultats de la première expérience peuvent être biaisés puisque ce sont des relevés sur des oiseaux qui ont été capturés sur l'ensemble des années de 2014 à 2017, et peut-être une seule fois en 4 ans. La deuxième expérience (figure 10 et 11) étant réalisée année par année est plus précise et semble plus juste mais est réalisée sur un échantillon plus petit.

Par conséquent, il était intéressant de voir que si le cincle plongeur revenait à la même altitude pouvait être lié à sa condition physique. Le rapport masse/longueur du tarse renseigne sur la

condition physique de l'oiseau. Plus l'indice est fort mieux l'oiseau se porte, mais un indice trop fort peut-être mauvais pour lui. D'après la régression linéaire effectuée sur la figure 12, il n'y a aucun lien qui confirme qu'un oiseau avec une bonne condition physique se retrouve à une plus haute ou plus faible altitude.

Une fois que l'on sait d'où viennent les individus et que l'on a analysé leur survie, il est intéressant de savoir où naissent les nouveaux oiseaux capturés. C'est pour cela qu'une analyse sur les premières pontes a lieu afin de savoir où elles s'effectuent, et dans quel «ordre». Le fait de savoir, si à une altitude donnée les pontes commencent plus tôt est un gain de temps pour la recherche et les captures. Autant commencer par ces endroits. Le test de la date de la première ponte en fonction de l'altitude (figure 13) a donc été réalisé. Le modèle linéaire révèle que plus on est en basse altitude plus la première ponte est tôt.

De ce fait, il est intéressant de regarder le succès à l'envol de cette première ponte.

Le test du Khi-deux et de sa p-valeur, a démontré que le succès à l'envol des poussins ne dépend pas du niveau d'élévation. La moyenne des altitudes pour les poussins qui sortent du nid et de ceux qui meurent avant n'est pas assez significative pour dire que l'altitude a un rôle. A la suite de cela, les cincles plongeurs sont donc capables d'effectuer une seconde ponte mais comme en témoigne la figure 15, très peu de nids accueillent une seconde couvée. Il a fallu connaître d'où venait cette différence, si c'était due à l'altitude ou un effet de la première ponte.

L'analyse sur la probabilité d'avoir une seconde ponte en fonction de l'altitude, a prouvé qu'il n'y avait pas de rapport direct avec le fait d'avoir ou non une deuxième couvée. Par contre, l'analyse sur la probabilité d'avoir une seconde ponte en fonction de la date de première ponte a révélé un lien direct entre les deux. Effectivement, plus la première ponte est tardive moins il y a une seconde ponte. Il n'y a donc pas un lien direct entre la deuxième ponte et l'altitude mais, les deux variables sont étroitement liées puisque l'altitude influe sur la première ponte qui elle-même joue un rôle au niveau de la seconde ponte. Dans ce cas-là, il est important de mentionner que le test statistique s'effectue également au risque de 5% puisqu'il peut y avoir une seconde ponte très précoce à basse altitude, non pas, parce que les poussins de la première couvée sont sortis, mais plutôt parce qu'ils n'ont pas survécu. Ainsi, les individus ont répondu juste après.

De même, l'analyse montre que l'espèce quand elle se trouve en haute altitude, n'effectue une deuxième ponte que très rarement, la première ponte étant trop tardive. On pourrait signaler une contradiction puisque si la première ponte échoue, l'individu pourrait successivement pondre de nouveau. Ainsi, de la variabilité à l'analyse pourra être ajoutée.

Par conséquent, l'étude du cincle plongeur a permis de montrer les effets de l'altitude sur son histoire de vie. Il a pu être démontré que l'altitude n'engageait en rien sa survie mais que ce paramètre environnemental avait des effets directs sur son succès reproducteur. Ceci est dû peut-être aux variations climatiques que l'altitude entraîne.

Toutefois, certaines composantes du succès reproducteur ne sont pas touchées par l'altitude puisque celle-ci n'a aucun effet sur le succès à l'envol. Par contre, ce n'est pas le cas pour la date de première ponte, ainsi que le nombre de pontes qui lui est étroitement lié.

De plus, on peut souligner que les différentes missions, tels que les captures ou le suivi des nids n'affectent en aucun cas la population et le succès reproducteur des individus. Aucun individu capturé n'a déserté ou abandonné son nid. Les poussins manipulés au nid n'ont pas été abandonnés par les parents, et à l'envol ils sont restés dans le territoire.

De manière générale, tous les individus touchés, approchés ou capturés ont été aperçus les années suivantes et même trouvés en tant que reproducteurs. Dans le cas inverse, on suppose plutôt de la mortalité.

D'autres protocoles et analyses pourraient venir appuyer, confirmer ou même contredire ces hypothèses. Pour cela, en plus des captures, un prélèvement de plumes sur les individus pourrait témoigner de la pollution du milieu, grâce à une détection des métaux lourds lors du prélèvement. Le cincle plongeur ayant une forte dépendance à son environnement, la détection de métaux comme le mercure sur ses plumes pourrait témoigner de la pollution de l'eau dans laquelle il se trouve. Ceci pourrait expliquer pourquoi en 2016 et 2017 les oiseaux sont remontés en altitude, les eaux des hauts reliefs étant très certainement moins polluées qu'en basse altitude. Une graduation de la pollution pourra être établie d'année en année. Si ce changement perdure, cela pourrait témoigner d'une évolution de son histoire de vie.

D'autre part, la haute altitude pourrait être bénéfique à la préservation de l'espèce puisque le parasitisme et la prédation y est moins importante (Bears et al.2009, Hill et al.2015). Ce changement s'effectuant progressivement, il permettrait à certains individus d'éviter les bagarres territoriales. Néanmoins, les oiseaux sont à cet instant, plus présents en basse altitude comme nous le montre le graphique suivant :

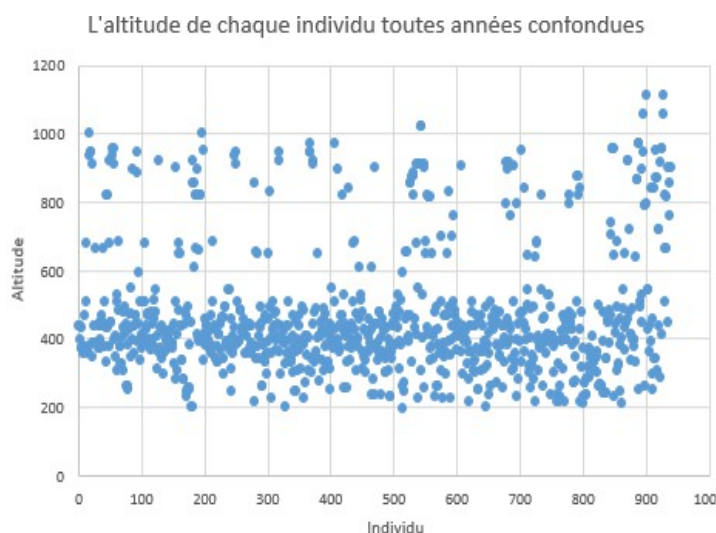


Figure 18: Nuage de points représentant le nombre d'individus par rapport à l'altitude

On peut s'apercevoir que sur 382 individus plus de 70% se trouvent entre une altitude de 200 et 400 mètres, d'où le fait que sur les expériences présentées, un bon nombre de nos données sont relevés dans ce milieu. Il est donc normal que l'on retrouve plus de nids à ces altitudes.

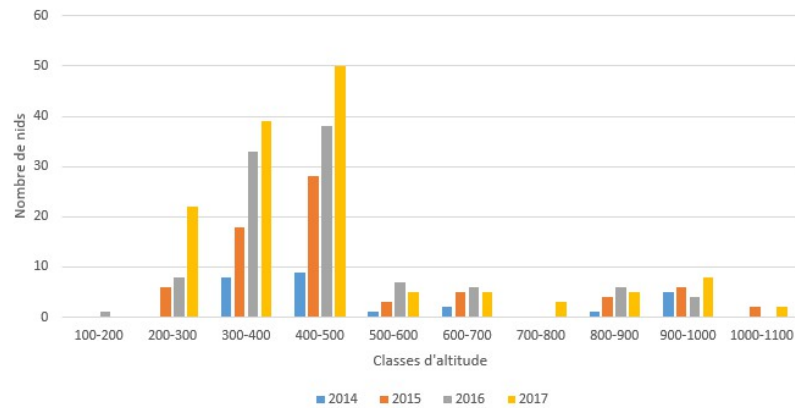


Figure 19 : Graphique en barres représentant le nombre de nids par classes d'altitude et par année.

En conclusion, en plus des prélèvements de plumes qui permettraient de témoigner de la remonter des individus à hautes altitudes, des prélèvements sanguins pourraient venir en complément. Ils permettraient de réaliser une série de mesures physiologiques sur le plasma et les globules rouges. Ceux-ci sont marqueurs du stress oxydatif, du fonctionnement et de la densité des mitochondries, du niveau d'hormones thyroïdiennes et donc pourraient être modifiés en fonction de l'altitude, ce qui expliquerait la présence ou non de certain individu à une altitude donnée.

BIBLIOGRAPHIE

- BADYAEV, AV 1997.: Variation d'histoire de vie aviaire le long des gradients altitudinaux : un exemple avec des pinsons cardueline.- Oecologia 111, 365-374.
 - BEARS (H), MARTIN (K). et WHITE (GC) 2009.: La reproduction dans un habitat de haute altitude entraîne le passage à une stratégie plus lente d'histoire de vie au sein d'une même espèce. J. Anim.Ecol.78, 365-375.
 - BOYCE (AJ), FREEMAN (BG), MITCHELL (AE) et MARTIN (TE) 2015.: La taille des couvées diminue avec l'élévation chez les oiseaux tropicaux.- Auk 132, 424-432.
- BOYLE (AW), SANDERCOCK (BK) et MARTIN(K) 2015.: Les modèles et les moteurs de la variation intraspécifique dans l'histoire de la vie aviaire le long des gradients d'élévation : une méta analyse.- Biol.Rev. : n / a / a.
- BREITENMOSER-WURSTEN(C) (1988) On the breeding biology of the Dipper (Cinclus cinclus) in the Saanenland (Bernese Oberland, northern Swiss Alps). Okol. Vogel. 10, 119-150.
 - DICK (G) (1988).: Zur Brutbiologie der Wasseramsel (Cinclus cinclus), FluBsystem des Kamp. 31, 56-69.
 - HILLE (SM) et COOPER (CB) 2015 : Tendances de l'évolution des trajectoires de vie : révision du cadre de la cadence de vie.- Biol.Rev. 90, 204-213.
 - KÖRNER (C) 2007.: L'utilisation de «l'altitude» dans la recherche écologique.- Tendances Ecol.Evol.22, 569-574.
 - STEARNS (SC) 1976.: Tactiques de l'histoire de la vie : un examen des idées.- Q. Rév. Biol.51 : 3-47.
 - WEATHERS (WW), DAVIDSON (CL), OLSON (CR), MORTON (ML), NUR (N) et FARMULA (TR) 2002.: Variation altitudinale de la dépense énergétique des parents chez les moineaux à couronne blanche.- J. Exp.Biol.205, 2915-2924.

RESUME

L'étude sur le cincle plongeur (*Cinclus cinclus*) a été élaboré dans le but d'identifier et de comprendre les mécanismes d'adaptation des individus aux variations de l'environnement année après année.

Ce suivi a commencé en 2014, sur le Massif de la Chartreuse et ses alentours, afin d'analyser le changement de fitness de chaque individu impacté par l'altitude.

C'est grâce à des captures d'individus et par un suivi des nids permanent, que des relevés démographiques, comportementaux, physiologiques et génétiques sont effectués.

Les données récoltées ont permis de comprendre que l'altitude ne jouait pas un rôle prépondérant sur la survie du cincle plongeur mais qu'au contraire, elle agissait fortement sur le succès reproducteur. Par l'altitude, cette espèce a du trouver des adaptations afin de se rapprocher au mieux de la meilleure fitness. L'élévation entraînant un décalage de la date de la première ponte, l'espèce a du choisir l'une des stratégies qui s'offrait à elle : soit se reproduire plusieurs fois en basse altitude en acceptant toutes les contraintes qui en découlent, soit se reproduire qu'une seule fois en haute altitude, mais en dépensant plus d'énergie pour avoir un taux de survie légèrement supérieur aux individus vivant à basse altitude.

Cependant, l'altitude n'est pas forcément le seul paramètre témoin du changement des traits d'histoire de vie du cincle plongeur. La pollution en est peut-être un autre, ce qui confirmerait la remontée possible des individus en altitude au cours de ces dernières années.

Pour cela, des analyses complémentaires seront à mettre en place, afin de témoigner d'une telle évolution.

Mots clés : cincle plongeur- traits d'histoire de vie- variation environnementale- altitude- fitness.