

Qualité phénotypique et reproduction: corrélations entre traits phénotypiques des adultes et succès reproducteur chez les mésanges (*Parus major* & *Cyanistes caeruleus*)



Source : John Daniels

ETCHECOPAR ETCHART Marc

Stage effectué du 1 avril au 30 mai 2012 au :

Laboratoire Evolution & Diversité Biologique, UPS Toulouse III, 118 Route de Narbonne,
31062, Toulouse, France.

Sous la direction scientifique de Mr Jacob Staffan.



"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 tout d'abord Mr Staffan Jacob, pour sa gentillesse chaque jour passé avec lui sur le terrain et également pour son aide et ses conseils sur le travail effectué tout au long du stage. Je le remercie également de m'avoir fait partager sa passion pour l'ornithologie en m'emmenant sur différents sites d'observations dans la région toulousaine.

Je tiens également à remercier le personnel du laboratoire EDB de Toulouse et de l'EMFA de Toulouse-Auzeville pour leur accueil tout au long de ce stage.

Je tiens à remercier également Mr Heeb Phillip, tant pour sa bonne humeur, que pour ses anecdotes passionnantes au sujet des oiseaux.

Enfin, je tiens à remercier mes amis et ma famille pour leur soutien et leur aide pour la mise en page du rapport.

Pour finir, je dois rendre hommage aux mésanges charbonnières et bleues de m'avoir permis de les étudier même si cela n'a pas été toujours facile surtout lors des journées froides et pluvieuses.

SOMMAIRE

1. <u>Introduction</u>	p 1
2. <u>Matériel et Méthodes</u>	p 2
2.1. Présentation des deux espèces	p 2
2.2. Présentation du site d'étude	p 3
2.3. Suivi des niohirs, prélèvement des œufs et mesures morphométriques	p 3
2.4. Capture des adultes et mesures morphologiques	p 4
2.4.1. Technique du piégeage au nid	p 4
2.4.2. Manipulations sur les adultes	p 4
2.5. Description des variables	p 5
2.6. Analyses statistiques	p 6
2.6.1. Comparaison de moyenne	p 6
2.6.2. Visualisation des tendances de corrélations grâce à une ACP	p 6
2.6.3. Technique de statistique confirmatoire	p 7
3. <u>Résultats</u>	p 8
3.1. Comparaison moyennes entre espèces	p 8
3.2. Etude de corrélations entre variables phénotypiques des femelles et morphométriques des œufs :	p 8
3.2.1. Chez les mésanges charbonnières (<i>P. major</i>)	p 9
3.2.1.1. Tendances des corrélations via l'étude d'une ACP	p 9
3.2.1.2. Statistiques confirmatoires des corrélations	p 9
3.2.1.3. Influence de l'âge sur les paramètres morphométriques	p 10
3.2.2. Chez les mésanges bleues (<i>C. caeruleus</i>)	p 10
3.2.2.1. Tendances des corrélations via l'étude d'une ACP	p 10
3.2.2.2. Statistiques confirmatoires des corrélations	p 10
3.2.2.3. Influence de l'âge sur les paramètres morphométrique s	p 10

3.3. Etude de corrélations entre variables morphométriques des œufs et qualité de ponte :	P11
3.3.1. Chez les mésanges charbonnières (<i>P. major</i>)	P11
3.3.1.1. Tendances des corrélations via l'étude d'une ACP	p 11
3.2.1.2. Statistiques confirmatoires des corrélations	p 12
3.3.2. Chez les mésanges bleues (<i>C. caeruleus</i>)	p 12
3.2.2.1. Tendances des corrélations via l'étude d'une ACP	p 12
3.2.2.2. Statistiques confirmatoires des corrélations	p 12

4. Discussion **p13**

4.1. Discussion des résultats	p 13
4.1.1. Chez les mésanges charbonnières (<i>P. major</i>)	p 13
4.1.2. Chez les mésanges bleues (<i>C. caeruleus</i>)	p 15
4.2. Limites	p 16
4.3. Perspectives	p 17

Conclusion **p 18**

Bibliographie **p 17**

Annexes

Résumé

1. Introduction :

Charles Darwin en 1859 dans l'Origine des Espèces énonce la théorie de la sélection naturelle. Elle se définit par un ensemble de phénomènes qui induisent chez les organismes vivants des différences dans leur succès reproductif selon les caractères qu'ils portent.

La sélection naturelle concerne des caractères affectant la survie et le succès reproducteur des organismes. Le succès reproducteur est la capacité qu'à un individu à diffuser ses gènes. Elle se mesure par le nombre de descendants fertiles qui se reproduiront à leur tour.

Cependant, l'investissement dans la reproduction exige un coût dans la capacité de l'organisme à se maintenir en vie. La réponse des individus, dans la manière dont ils modifieront leurs investissements énergétiques face aux changements de l'environnement, va conditionner, en particulier au travers des effets sur la survie et la reproduction, leur succès reproducteur.

Cette recherche de compromis entre différentes exigences biologiques aurait pour objectif d'optimiser la valeur sélective (*fitness*), c'est-à-dire la contribution relative d'un individu aux futures générations. Dans les deux cas, ce compromis a donc pour but de favoriser sa descendance, soit en donnant beaucoup d'énergie pour sa future descendance soit en gardant son énergie pour améliorer sa survie afin de produire de nouveaux individus plus tard.

Chez les oiseaux, le nombre, la taille et la masse des œufs pondus ainsi que le nombre de reproductions ou la survie sont des composantes du succès reproducteur d'une femelle.

La femelle, afin d'optimiser son succès reproducteur peut intervenir sur différents paramètres. En effet, de nombreuses études ont montrées que chez différentes espèces d'oiseaux, la qualité de la femelle, estimée grâce à l'âge (Thomas et al., 1983) et la masse corporelle (DeSteven et al., 1978) notamment, semblent être corrélées avec la taille et la masse des œufs. Or de nombreux scientifiques ont montrés qu'il existait des corrélations positives entre taille, masse des œufs, probabilité d'éclosion ou encore survie des jeunes (Grindstaff, et al, 2005 ; Karell et al, 2008). En effet, des œufs plus gros semblent contenir plus de ressources nutritives (protéines, anticorps, antioxydants, ...) essentielles au futur développement des oisillons (Kenamer et al, 1997).

Le but de cette étude est donc d'étudier s'il existe des liens entre les différentes variables concernant la qualité des femelles, les paramètres morphométriques des œufs et les variables de qualité de pontes (nombre d'œufs pondus, taux d'éclosion et nombre de jeunes à l'envol) chez les mésanges charbonnières (*Parus major*) et bleues (*Cyanistes caeruleus*).

Dans une première partie, l'étude consistera à mettre en évidence des corrélations entre les variables de qualité des femelles et de morphométrie des œufs.

Puis, dans une deuxième partie, nous étudierons s'il existe des corrélations entre variables morphométriques des œufs, nombre d'œufs pondus, taux d'éclosion et nombre de jeunes à l'envol.

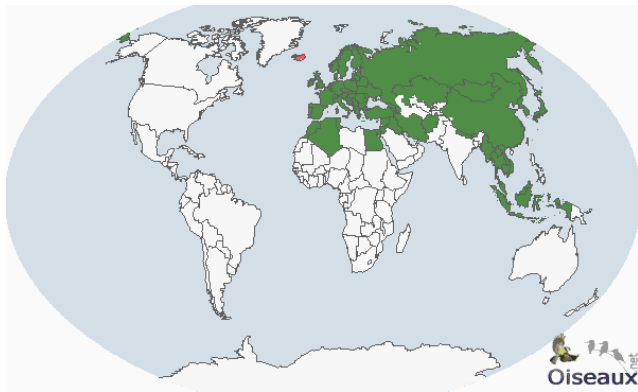


Figure 1 : Répartition géographique des mésanges charbonnières (*Parus major*)
(Source: www.oiseaux.net)

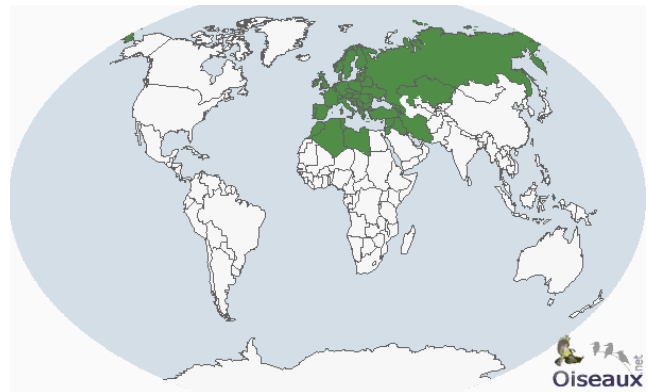


Figure 2 : Répartition géographique des mésanges bleue (*Parus caeruleus*)
(Source : www.oiseaux.net)



Figure 3 : représentation schématique des mésanges charbonnière (*P. major*) à gauche et mésanges bleue (*C. caeruleus*) à droite (Source : www.rspb.org.uk).



Figure 4 : Œufs de mésange charbonnière (N°58) et de mésange bleue (N°57)
(Source : www.lesphotosdemat.pagesperso-orange.fr)

2. Matériels et Méthodes :

2.1 Présentation des espèces étudiées :

Les mésanges sont des oiseaux appartenant à la famille des Paridés, du genre *Parus*. Cette étude s'est plus particulièrement intéressée aux mésanges charbonnière (*Parus major*) et aux mésanges bleues (*C. caeruleus*). Ce sont des espèces paléarctiques, largement répandues à travers l'Eurasie, depuis la Grande Bretagne jusqu'au Japon, en passant par l'Afrique du Nord (Figure 1 et 2).

Ces deux espèces fréquentent généralement des forêts et autres lisières, mais on peut également les trouver en ville dans des parcs et des jardins.

Elles se nourrissent aussi bien sur le sol que dans les arbres, en capturant toutes sortes d'invertébrés, de graines et de fruits.

Ce sont des espèces relativement sociables, qui peuvent vivre en groupes en dehors de la période de reproduction. Elles dorment en groupe, généralement dans des creux et des trous d'arbres. Cependant la compétition pour ces lieux est généralement très importante, c'est pourquoi les mésanges nichent aussi facilement dans des nichoirs. Les femelles construisent le nid essentiellement grâce à de la mousse, des poils, des plumes, et autres brindilles trouvées dans leur environnement.

Les œufs pondus par les mésanges sont tachetés par des pigments de couleur rougeâtre plus ou moins répartis et d'intensités variables selon les individus et les œufs.

L'incubation dure environ 9 à 16 jours avec beaucoup de variances. Les oisillons sont dès la naissance nourris par les deux parents. Ils s'envolent généralement après 16 à 22 jours passés dans le nid. Les femelles peuvent produire jusqu'à 2 couvées par saison.

Il est facile de différencier la mésange charbonnière (*P. major*) de la mésange bleue (*C. caeruleus*). En effet, la mésange charbonnière est plus grande que la mésange bleue (figure 3). De plus, elle est aisément reconnaissable par son dessous jaune à bande médiane noire, sa tête noir-bleue, et ses ailes gris bleuté. La mésange bleue est l'une des plus petites mésanges, elle se caractérise par une petite tête de couleur bleue à calotte arrondie enfoncée dans les épaules. Chez les deux espèces, les sexes sont relativement semblables (Delachaux et al., 2009).

Une différence subsiste également sur le nombre et la taille des œufs pondus par les femelles des 2 espèces. En effet, les mésanges charbonnières pondent en général des œufs plus gros mais moins nombreux (entre 5 et 9 le plus souvent) que les mésanges bleues (entre 8 et 13 œufs) (figure 4).

Les mésanges sont des espèces très étudiées par les chercheurs. Ceux-ci peuvent en effet, facilement les trouver de part leur importante répartition en Europe. De plus, elles utilisent régulièrement des nichoirs et tolèrent les manipulations de courtes durées sur les œufs et les oisillons sans pour autant abandonner leur nid.



Figure 5 : Localisation géographique de la commune de Saint-Léon par rapport à la ville de Toulouse.



Figure 6 : Type de nichoir utilisé (<http://www.lpo-boutique.com>).

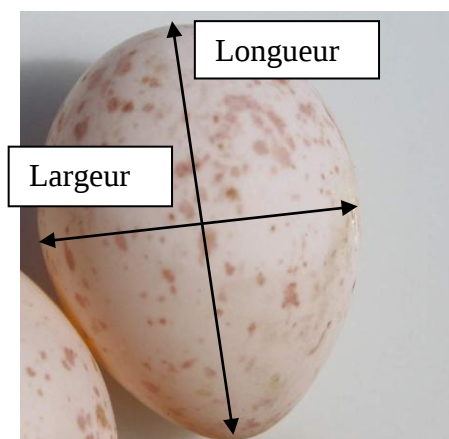


Figure 7 : Représentation des mesures effectuées sur les œufs.

2.2. Présentation du site d'étude :

Cette étude, a été réalisée près de Toulouse sur 4 sites différents, tous situés dans la commune de Saint-Léon (figure 5). Dans chaque zone, des nichoirs en béton, avaient été positionnés pendant l'hiver ou lors des saisons précédentes. Les nichoirs sont séparés les uns des autres par une quinzaine de mètre.

Chaque nichoir (figure 6) possède une porte composée d'une cavité. Cette cavité est d'une taille ne permettant pas à de plus gros oiseaux tels que des étourneaux de prendre la place des mésanges. Ceci réduit ainsi la compétition interspécifique pour l'accès aux nichoirs. Enfin, chaque nichoir se situe à environ 4 mètres du sol, et certains sont fermés à l'aide de languettes afin d'éviter les prédateurs tels que les chats, les blaireaux et autres genettes.

2.3. Suivi des nichoirs, prélèvement des œufs et mesures morphométriques :

Chaque nichoir est visité tous les 2 jours. Lorsqu'une mésange pond son premier œuf, la visite est alors quotidienne dans le nichoir concerné ; chaque œuf pondu étant numéroté.

Deux œufs sont prélevés par couvée, le premier ou le deuxième, ainsi que le quatrième ou le cinquième. Chaque œuf récupéré est alors positionné soigneusement dans une boîte à échantillon composée de mousse, puis stocké le reste de la journée dans une glacière afin d'éviter la casse.

Après avoir effectué le suivi des nichoirs et avoir échantillonné les œufs, différentes mesures sont alors réalisées sur les œufs au laboratoire de l'ENFA de Toulouse :

-Taille : la longueur et la largeur de l'œuf sont mesurées à l'aide d'un pied à coulisse à vernier (figure 7 et 9)

-Masse : la masse totale de l'œuf, ainsi que la masse de blanc et de jaune sont pesées.

Pour obtenir la masse de blanc et de jaune, l'œuf est cassé grâce à un scalpel.

Le blanc est ainsi récupéré dans un tube eppendorf à l'aide d'une micropipette. Le jaune est lui aussi récupéré, sans le casser, dans un autre tube eppendorf.

Les tubes sont préalablement pesés pour que d'une simple soustraction, on puisse aisément retrouver la masse de blanc et de jaune. Enfin, les tubes sont placés dans un congélateur afin d'effectuer, par la suite, des analyses sur la composition du blanc et du jaune. Ces analyses ne sont pas traitées dans ce rapport.



Figure 8 : Pochon dans lequel l'oiseau est capturé et stocké

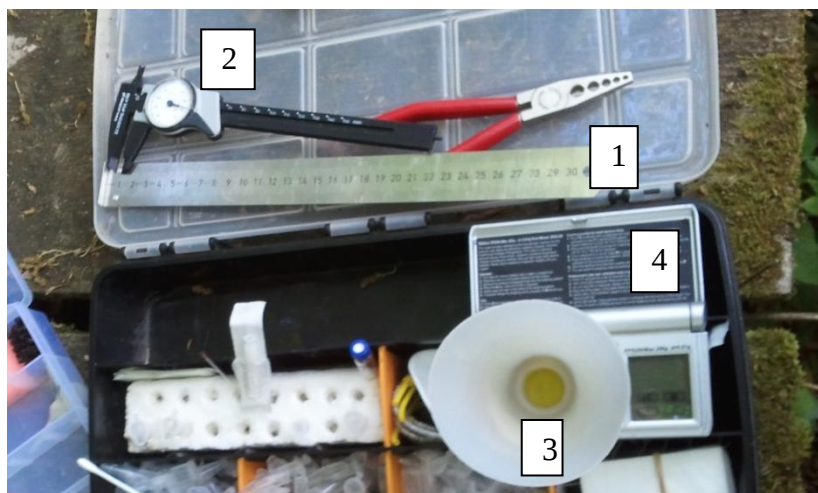


Figure 9 : 1) Règle à butée ; 2) pied à coulisse vernier ; 3) cône ; 4) balance

2.4. Capture des adultes et mesures morphologiques :

2.4.1. Technique du piégeage au nid :

Les oiseaux qui nichent dans des cavités, comme les mésanges, peuvent être capturés de façon passive ou active dans des nichoirs.

Deux cas de figures se posent : soit l'oiseau est déjà à l'intérieur du nichoir et dans ce cas la technique du piégeage actif est appliquée, soit l'oiseau n'est pas dans le nid et c'est la technique du piégeage passif qu'il faut utiliser.

En ce qui concerne la technique du piégeage passif, un mécanisme est déclenché fermant l'entrée alors que l'oiseau entre dans le nichoir. Dans le cadre de cette étude, un clapet préalablement peint en noir, sert de mécanisme de piégeage. Afin d'éviter de laisser trop longtemps l'oiseau dans le nichoir, les pièges passifs sont vérifiés toutes les 5 à 10 minutes.

Le piégeage actif se pratique sur la porte frontale, en bloquant l'entrée et en glissant une main dans l'ouverture de la porte. L'oiseau doit obligatoirement être saisi rapidement et être retiré du nichoir afin d'éviter tout dommage fait aux œufs par l'oiseau luttant dans le nichoir. Les mésanges récupérées sont alors placées dans des pochons (figure 8) et les manipulations se font à plusieurs dizaines de mètres du nichoir afin de réduire au minimum tout risque d'attraction de prédateurs aux sites de nidification et également pour réduire au minimum l'abandon des nids.

2.4.2. Manipulations sur les adultes :

Plusieurs données sont collectées sur les parents capturés :

- La taille du tarse à l'aide du pied à coulisse vernier (figure 9).
- La taille de l'aile à l'aide d'une règle à butée.
- La masse (en gramme) grâce à un cône et une balance.
- L'âge des oiseaux.

La prise de l'oiseau pour les manipulations consiste à placer le dos de l'oiseau contre la paume de la main, avec sa tête positionnée entre 2 doigts, les autres doigts tenant légèrement le corps de l'oiseau. Cette technique empêche le mouvement des ailes et des pattes afin de prévenir tout dommage à ses membres, tout en offrant un accès facile aux pattes et à l'aile. L'observation du plumage et des mues permet de déterminer l'âge des oiseaux.

2.5. Description des variables :

Le jeu de donnée contient plusieurs types de variables (Annexe I) ; on rappelle que seule les femelles ont été étudiées pour les analyses statistiques :

- ID nichoir : lieu où la femelle et les œufs ont été prélevés.
- Nb œufs pondus : Nombre d'œufs pondus par la femelle dans le nichoir. C'est une variable quantitative.
- Taux d'éclosion : Cette variable quantitative a été calculée en faisant le quotient du nombre d'œufs éclos par le nombre d'œufs pondus.
- Nb jeunes envol : Cette variable quantitative correspond au nombre de jeunes envolés par nid.
- Espèce : CH est un diminutif de mésange charbonnière, et B de mésange bleue. C'est une variable qualitative.
- Age : 1A : première année ; 2A : deuxième année. C'est une variable qualitative.
- Date : Cette variable quantitative correspond à la date de capture des parents. Le jour 1 étant le premier jour des captures et le 31 le dernier.
- Tarse : Longueur en centimètre du tarse de l'adulte (variable quantitative).
- Aile : Longueur en centimètre de l'aile de l'adulte (variable quantitative).
- Masse : Variable quantitative, exprimée en gramme.
- Long mean : Cette variable quantitative se calcule en faisant la moyenne des longueurs des deux œufs (unité : centimètre) pondus par la femelle prélevés dans le nichoir.
- Larg mean : de même mais pour la largeur.
- Masse mean : Moyenne de la masse totale des deux œufs pondus par la femelle (exprimée en gramme). C'est une variable quantitative.
- Blanc mean : Il s'agit de la moyenne de la masse de blanc par nichoir (quantitative).
- Jaune mean : De même que pour le blanc.

Dès qu'une de ces données n'est pas présente chez un individu, alors celui-ci est supprimé du jeu de donnée pour les analyses statistiques.

Les variables dites de morphométrie des œufs sont les variables de moyenne de longueur, largeur, masse totale, masse de blanc et masse de jaune des œufs.

Les variables dites de qualité des femelles sont quant à elles les variables de longueur de tarse, d'aile, de masse des femelles (traits phénotypiques), d'âge mais également de date de capture. La date de capture renseigne sur la date de ponte qui est une composante importante pour renseigner de la qualité des femelles. En effet, le moment d'initiation de la ponte peut renseigner sur les aptitudes reproductrices des oiseaux et donc sur leur état physique physiologique et sanitaire en général ; un oiseau en bonne condition physique et physiologique doit pouvoir débiter sa reproduction tôt, n'ayant pas trop souffert des rigueurs hivernales ; physiologiquement il sera plus précoce n'ayant pas à se remettre en condition après la mauvaise saison. Enfin, le terme qualité de ponte (et de succès reproducteur) sera parfois employé pour désigner les variables de nombre d'œufs pondus, de taux d'éclosion et de nombre de jeunes à l'envol.

2.6. Analyses statistiques :

Le but de cette étude est de visualiser les éventuelles corrélations entre traits phénotypiques et succès reproducteur des femelles chez la mésange charbonnière ainsi que chez la mésange bleue.

2.6.1. Comparaison de moyenne :

Afin de savoir si les données concernant les deux espèces peuvent être traitées ensemble, des tests de comparaison de moyennes sont effectués. S'il n'y a pas de différences significatives de moyennes concernant les variables étudiées entre les espèces, les tests statistiques seront effectués en gardant le jeu de donnée initial. Cependant, si des différences significatives entre les moyennes des variables étudiées sont mises en évidence, alors les données des deux espèces sont traitées séparément. En effet, il serait maladroit d'analyser des corrélations entre variables de deux espèces différentes si elles n'ont pas des paramètres morphologiques et morphométriques similaires.

Pour cela, des tests de Normalité des données (Shapiro) et de comparaisons des variances (Fisher) sont effectués grâce au logiciel R, afin de savoir si des tests paramétriques peuvent être utilisés. Suite à cela, des tests de comparaison de moyennes (test paramétriques de Student ou test non paramétrique de Mann et Whitney) sont donc réalisés.

Le même principe est utilisé afin de savoir s'il existe une influence de l'âge des femelles sur la moyenne de taille des œufs. Des tests de comparaison de moyenne sont donc effectués sur ces variables en fonction de l'âge des femelles (1A, 2A).

Afin d'étudier les potentielles corrélations entre la qualité des femelles, les variables morphométriques des œufs, le nombre d'œufs pondus, le taux d'éclosion ainsi que le nombre de jeunes à l'envol, des Analyses en Composantes Principales (ACP), des tests de corrélations ainsi que des comparaisons de moyennes sont ensuite effectués.

2.6.2. Visualisation des tendances de corrélations grâce à une ACP :

Des Analyse en Composantes Principales (ACP) sont tout d'abord réalisées pour chaque partie de l'étude et pour chacune des deux espèces.

Ces ACP, réalisées grâce au logiciel XLSTAT 4.01, permettent de fournir des outils lisibles de représentation des informations traitées. Elles permettent de faire ressortir des données, les éventuels liens existant entre les variables. Les ACP donnent notamment des indications sur la nature, la force et la pertinence de ces liens, dans le but de faciliter leur interprétation et découvrir qu'elles sont les tendances dominantes de l'ensemble des données.

Des tests de Normalité des données (Shapiro) sont tout d'abord effectués grâce au logiciel R. Ces tests de Normalité permettent de savoir si une ACP dite de Pearson ou de Spearman peut être utilisée. En effet, afin d'éviter que les résultats ne soient faussés par des valeurs extrêmes, une ACP sur les rangs peut-être préconisée. De plus, en choisissant ce type d'ACP, les

variables pour lesquelles la distribution des données s'éloigne de la normalité peuvent être incluses dans l'analyse. Donc, au lieu d'utiliser une matrice de corrélation de Pearson, c'est celles de Spearman qui est utilisée. Hormis le mode de calcul des coefficients, il n'existe aucune différence avec une ACP paramétrique dans l'interprétation.

2.6.3. Technique de statistique confirmatoire :

Afin de prouver que les observations faites sur les cercles de corrélations sont statistiquement vérifiées, des tests de corrélation de Pearson ou de Spearman sont effectués. L'objectif de ces tests est de tester la significativité d'un coefficient de corrélation. Donc l'hypothèse nulle, est :

« le coefficient de corrélation (r) est égal à zéro (d'où $H_0 : r = 0$). »

Au préalable, des tests de Normalité des données (Shapiro) sont d'abord effectués grâce au logiciel R. Ces tests de Normalité permettent de savoir si des tests paramétriques (Test de nullité du coefficient de corrélation de Pearson) ou non paramétriques (Test de corrélation de rangs de Spearman) peuvent être utilisés.

.

3. Résultats :

Durant la saison, 84 captures ont été effectuées (46 femelles et 38 mâles) sur 46 nichoirs. Parmi ces 84 captures, il y avait 31 mésanges bleues et 53 mésanges charbonnières. Donc 17 femelles et 14 mâles de mésanges bleues, et 28 femelles et 25 mâles de mésanges charbonnières ont été capturés pendant la saison.

Après élimination des individus pour lesquels des données étaient manquantes, et après avoir gardé seulement les femelles, il reste dans le jeu de donnée 23 femelles de mésange charbonnière et 14 de mésange bleue.

Les statistiques descriptives de chaque variable pour chacune des espèces sont regroupées en Annexe II.

En analysant ces données, on remarque qu'il semble exister des différences de moyenne par espèce pour certaines variables. C'est pourquoi, avant de commencer les analyses statistiques des corrélations entre les variables, des tests de comparaisons de moyennes sont effectués. Ceux-ci permettent d'identifier s'il existe des différences significatives entre les moyennes des variables étudiées en fonction des deux espèces. S'il n'en existe pas, les deux espèces peuvent être regroupées pour la suite de l'étude.

3.1. Comparaison moyennes entre espèces :

Le tableau, en Annexe III, présente pour chaque variable s'il existe une différence de moyennes entre les 2 espèces. D'après le test de Shapiro de Normalité des données, seuls les variables de moyennes de longueur, de largeur et masse de jaune des œufs suivent une loi Normale. Pour ces variables, des tests d'égalité des variances (Tests F de Fisher) sont effectués, puis des tests paramétriques (Test t de Student) sont réalisés s'il y a aussi égalité des variances. Pour toutes les autres variables, des tests non paramétriques sont utilisés (Test de Mann et Whitney). Les résultats consignés dans le tableau 1 montrent que l'hypothèse nulle selon laquelle la différence entre les moyennes est égale à zéro est rejetée pour 7 variables ($p\text{-value} < 0.05$). Autrement dit, 7 variables ont une différence significative de moyennes entre les 2 espèces.

C'est pourquoi, durant le reste des analyses, les 2 espèces seront traitées séparément et non dans un jeu de données commun.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
Valeur propre	4,856	1,623	0,918	0,648	0,383	0,309	0,223	0,025	0,014
Variabilité (%)	53,958	18,033	10,202	7,205	4,261	3,435	2,477	0,279	0,151
% cumulé	53,958	71,991	82,192	89,398	93,659	97,093	99,570	99,849	100,000

Tableau 1 : Présentation des valeurs propres, du pourcentage de variabilité ainsi que du pourcentage cumulé pour chacun des axes chez les mésanges charbonnières (*P.major*).

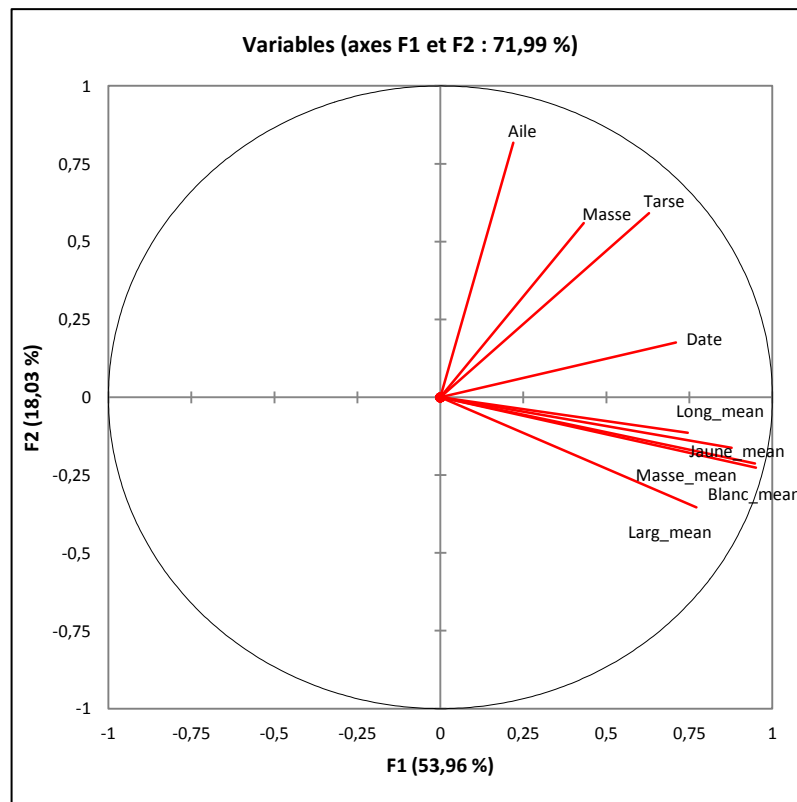


Figure 10 : Cercle de corrélation du plan F1/F2 de l'Analyse en Composante Principale réalisée avec les données morphométriques des œufs et celles de qualité des femelles chez les mésanges charbonnières (*P.major*).

Variables	Long_mean	Masse	Aile	Tarse	Date
Long_mean	1	0,063	0,091	0,449	0,528
Masse	0,063	1	0,397	0,416	0,323
Aile	0,091	0,397	1	0,527	0,129
Tarse	0,449	0,416	0,527	1	0,565
Date	0,528	0,323	0,129	0,565	1
Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0,05$					

Tableau 2 : Matrice de corrélation de Pearson chez les mésanges charbonnière (*P.major*) : Les valeurs présentées dans cette matrice sont les coefficients de corrélation (r). Les valeurs en gras sont significativement différentes de 0, H_0 est donc rejetée.

3.2. Etude de corrélations entre variables phénotypiques des femelles et morphométriques des œufs :

Cette première partie de l'étude permet de mettre en évidence s'il existe des liens entre les variables morphométriques des œufs, et de qualité des femelles.

3.2.1. Chez les mésanges charbonnières (*P. major*) :

3.2.1.1. Tendances des corrélations via l'étude d'une Analyse en Correspondances Principales (ACP) :

Les tests de Normalité effectués sur les données des variables morphométriques des œufs ainsi que sur les variables phénotypiques des femelles ont montrés que celles-ci étaient distribuées selon une loi Normale ($p\text{-value} > 0.05$).

Les premiers résultats de l'ACP qui sont intéressants à analyser sont situés dans le tableau 1. Ils sont liés aux valeurs propres. On voit que la première valeur propre vaut 4.86 et représente environ 54 % de la variabilité, tandis que la deuxième valeur propre vaut 1.623 et représente environ 18 % de la variabilité. Ces deux valeurs propres correspondent à un pourcentage élevé de la variabilité, si bien que la représentation sur les deux premiers axes factoriels est de bonne qualité. De plus, Le plan F1/F2 est donc choisi car il représente 72 % de l'inertie de l'ACP. Ce plan est celui qui explique le mieux la plupart des variables.

Grâce au cercle de corrélation de l'ACP (figure 10), il est possible de voir les tendances des liens qui se dégagent entre les variables.

Ainsi, en analysant le cercle de corrélation de l'ACP, les variables morphométriques des œufs semblent être corrélées positivement entre elles. De plus, ces variables semblent aussi être positivement corrélées à la date de ponte. Ceci signifierai par exemple, que plus une femelle pond tard dans la saison, alors plus elle pond des œufs grands et gros.

Cependant, les autres variables liées aux traits phénotypiques des femelles ne semblent pas corrélées avec celles de morphométrie des œufs puisque leurs axes sont orthogonaux.

L'ACP permet également de simplifier le jeu de donnée ; en effet, sachant que les cinq variables morphométriques des œufs sont fortement corrélées entre elles, il est possible d'étudier seulement l'une de ces variables pour la suite des tests statistiques.

La variable choisie est la longueur moyenne car c'est une variable importante pour estimer la qualité d'un œuf. En effet, la taille des œufs est souvent utilisée par les scientifiques afin de quantifier la qualité d'un œuf.

3.2.1.2. Statistiques confirmatoires des corrélations :

Afin de vérifier si certaines tendances observées grâce à l'ACP sont prouvées statistiquement, des tests de corrélation sont effectués entre la variable de longueur moyenne des œufs et la variable de date de ponte et de traits phénotypiques des femelles.

Le tableau 2 présente la matrice de corrélations obtenues grâce au test de Pearson. Un test paramétrique a été choisi car soit les deux variables étudiées suivent une loi Normale, soit seule une des deux suit une loi Normale.

Colonne1	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
Valeur propre	4,135	1,564	1,453	0,737	0,541	0,291	0,174	0,085	0,022
Variabilité (%)	45,948	17,373	16,140	8,187	6,006	3,232	1,929	0,945	0,239
% cumulé	45,948	63,321	79,461	87,649	93,654	96,887	98,816	99,761	100,000

Tableau 3 : Présentation des valeurs propres, du pourcentage de variabilité ainsi que du pourcentage cumulé pour chacun des axes chez les mésanges bleues (*C.caeruleus*)

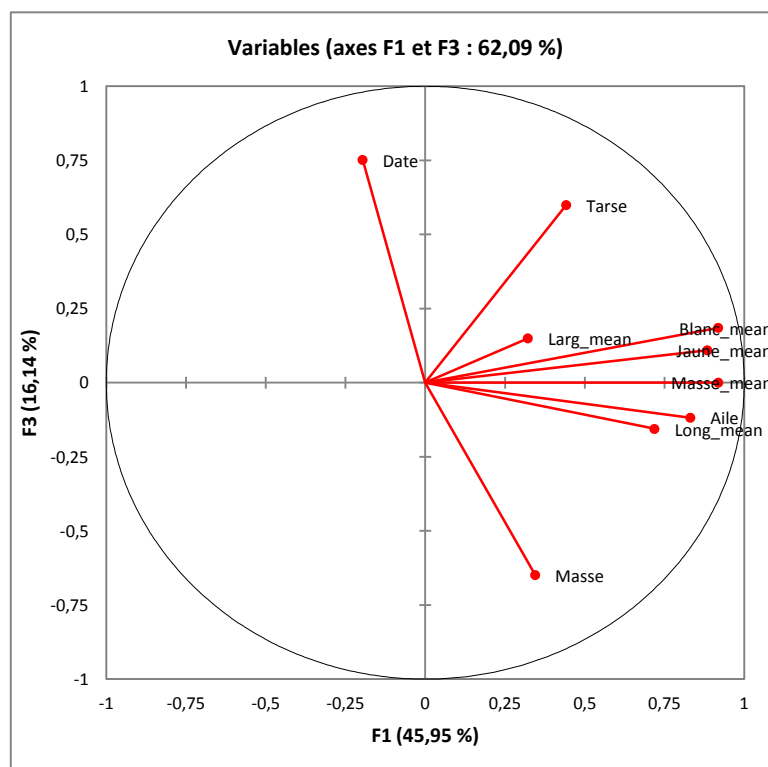


Figure 11 : Cercle de corrélation du plan F1/F3 de l'Analyse en Composante Principale réalisée avec les données morphométriques des œufs et celles de qualité des femelles chez les mésanges bleues (*C.caeruleus*)

Variables	Date	Tarse	Aile	Masse	Long_mean
Date	1	0,260	-0,171	-0,286	-0,150
Tarse	0,260	1	0,314	-0,081	0,355
Aile	-0,171	0,314	1	0,300	0,722
Masse	-0,286	-0,081	0,300	1	0,304
Long_mean	-0,150	0,355	0,722	0,304	1
Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0,05$					

Tableau 4 : Matrice de corrélation de Pearson chez les mésanges bleues (*C.caeruleus*) : Les valeurs présentées dans cette matrice sont les coefficients de corrélation (r). La valeur en gras est significativement différente de 0, H_0 est donc rejetée.

Dans le tableau 2, les valeurs en gras sont des valeurs différentes de 0 (à un niveau de signification $\alpha = 0.05$). Dans ce cas, l'hypothèse nulle est rejetée et il existe un lien significatif entre les 2 variables.

Les résultats de ces tests nous montrent qu'il existe bien des corrélations positives entre la variable de longueur moyenne des œufs et la variable date de ponte (p-value < 0.05 et $r = 0.528$), ainsi qu'une faible corrélation positive entre la longueur moyenne des œufs et la taille du tarse (p-value de $0.032 < \alpha$ et $r = 0.449$). De plus, la longueur du tarse est corrélée avec la masse (p-value de $0.048 < \alpha$ et $r = 0.416$), la taille de l'aile (p-value de 0.010 et $r = 0.527$) ainsi que la date de ponte (p-value de 0.005 et $r = 0.565$). Cependant, aucune autre corrélation significative n'est mise en évidence (p-value > 0.05).

3.2.1.3. Influence de l'âge sur les paramètres morphométriques :

Dans cette partie, afin d'estimer s'il existe une influence de l'âge des femelles sur les paramètres morphométriques des oeufs, une comparaison de moyenne est effectuée en fonction de l'âge. Le but est donc de montrer s'il existe des différences significatives entre les moyennes de variables morphométriques des œufs en fonction de l'âge de la femelle (1 ou 2 ans). Comme les variables morphométriques des œufs sont corrélées entre elles, afin de simplifier les calculs, la variable « longueur moyenne des œufs » a été choisie pour cette comparaison de moyennes. Le test de Normalité des données effectué auparavant sur la variable de longueur moyenne des œufs avait montré que celle-ci était distribuée selon une loi Normale (p-value de $0.770 > \alpha$). Le test d'égalité des variances a montré qu'on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle selon laquelle le rapport entre les variances est égal à 1 (p-value de $0.051 > \alpha$). C'est pourquoi, un test de Fisher est utilisé ; celui-ci montre qu'on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle selon laquelle la différence entre les moyennes est égale à 0 (p-value de $0.343 > 0.05$).

Donc il n'y a pas de différence de moyenne de taille des œufs en fonction de l'âge.

3.2.2. Chez les mésanges bleues (*C. caeruleus*) :

3.2.2.1. Tendances des corrélations via l'étude d'une Analyse en Correspondances Principales (ACP) :

Les tests de Normalité montrent que les variables de morphométrie des œufs et de traits phénotypiques des femelles suivent une loi Normale (p-value > 0.05).

Le tableau 3 présente les données liées aux valeurs propres. La première valeur propre vaut 4.135 et représente environ 46 % de la variabilité, tandis que les deuxième et troisième valeurs propres valent respectivement 1.56 et 1.45 et représentent environ 17 % et 16 % de la variabilité. En étudiant les pourcentages des contributions des variables, on voit que l'axe F3 semble être plus approprié que l'axe F2 pour expliquer au mieux les variables de masse des femelles, de taille de tarse, ainsi que de date de ponte. Le plan F1/F3 est donc choisi ; il représente 62 % de l'inertie de l'ACP.

En analysant le cercle de corrélation de l'ACP (figure 11), on voit que les variables morphométriques des œufs semblent, aussi chez cette espèce, être corrélées positivement entre elles. Cependant, des différences subsistent entre les deux espèces. En effet, contrairement aux mésanges charbonnières (*P. major*), chez les mésanges bleues (*C. caeruleus*) la variable de date de ponte ne semble pas être corrélée avec les variables morphométriques des œufs. De plus, la variable de taille de l'aile semble être fortement corrélée positivement avec les paramètres morphométriques des œufs.

Colonne1	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Valeur propre	4,010	1,755	0,939	0,691	0,341	0,188	0,059	0,017
Variabilité (%)	50,125	21,942	11,741	8,632	4,265	2,346	0,734	0,213
% cumulé	50,125	72,068	83,809	92,441	96,706	99,052	99,787	100,000

Tableau 5 : Présentation des valeurs propres, du pourcentage de variabilité ainsi que du pourcentage cumulé pour chacun des axes chez les mésanges charbonnière (*P. major*).

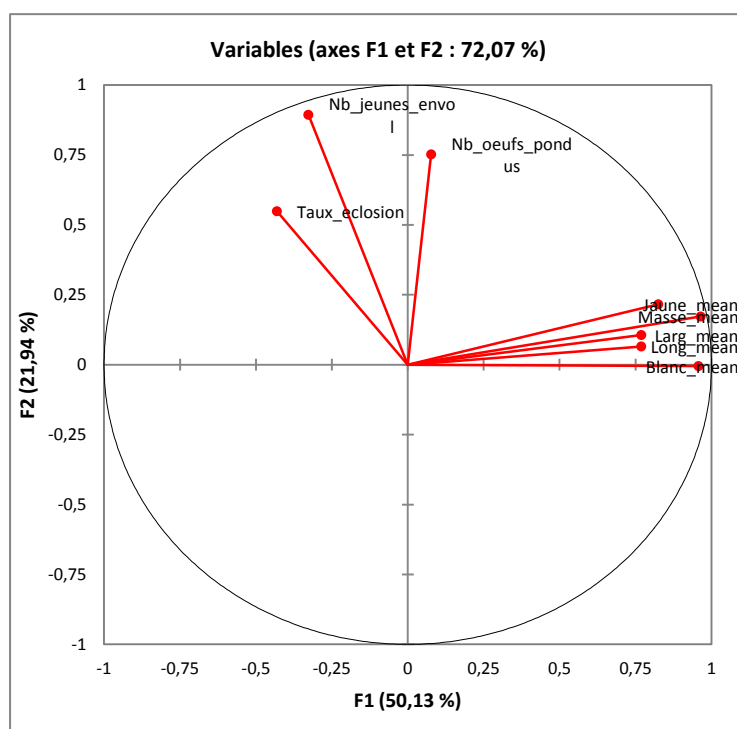


Figure 12 : Cercle de corrélation du plan F1/F2 de l'Analyse en Composante Principale réalisée avec les données morphométriques des œufs et celles du nombre d'œufs pondus, du taux d'éclosion et du nombre de jeunes à l'envol, chez la mésange charbonnière (*P. major*).

Variables	Nb_oeufs_pondus	Taux_eclosion	Nb_jeunes_envol	Long_mean
Nb_oeufs_pondus	1	0,002	0,550	0,051
Taux_eclosion	0,002	1	0,606	-0,176
Nb_jeunes_envol	0,550	0,606	1	-0,202
Long_mean	0,051	-0,176	-0,202	1

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0,05$

Tableau 6 : Matrice de corrélation de Spearman chez les mésanges charbonnières (*P. major*) : Les valeurs présentées dans cette matrice sont les coefficients de corrélation (r). La valeur en gras est significativement différente de 0, H_0 est donc rejetée.

3.2.2.2. Statistiques confirmatoires des corrélations :

La longueur moyenne des œufs est une nouvelle fois utilisée pour représenter les autres variables morphométriques des œufs. Des tests de corrélations de Pearson sont effectués afin de vérifier ces tendances, ce type test est choisi car les variables sont distribuées selon une loi Normale. Le tableau 4 présente la matrice de corrélation obtenue. Ainsi, on voit que seul un lien est significativement établi : en effet, la longueur moyenne des œufs et la taille de l'aile sont fortement corrélées positivement ($p\text{-value de } 0.004 < \alpha$ et $r = 0.722$). Cela signifie que plus une femelle a une taille d'aile importante, plus la longueur moyenne des œufs augmente. Donc, aucune des corrélations obtenues pour la mésange charbonnière (*P. major*) ne sont mises en évidence chez la mésange bleue (*C. caeruleus*).

3.2.2.3. Influence de l'âge sur les paramètres morphométriques :

Afin d'étudier si l'âge a une influence sur la taille de l'œuf (et donc des paramètres morphométriques), un test de comparaison de moyenne est effectué. Tout d'abord, le test de Shapiro de Normalité des données a montré que celles-ci étaient distribuées selon une loi Normale ($p\text{-value de } 0.982 > \alpha$). De plus, le test F de Fisher montre que le rapport entre les variables est égal à 1 vu que la $p\text{-value}$ calculée est supérieure au niveau de signification seuil ($\alpha=0.05$). En effet, la $p\text{-value}$ vaut 0.711.

Le test de Student est donc effectué ; celui-ci montre que la différence de moyenne est égale à 0. En effet, la $p\text{-value}$ est de 0.752 et est supérieure à alpha. Il n'y a donc pas de différence de moyennes de longueurs des œufs en fonction de l'âge non plus chez les mésanges bleues.

3.3. Etude de corrélations entre variables morphométriques des œufs et qualité de ponte :

3.3.1. Chez les mésanges charbonnières :

3.3.1.1. Tendances des corrélations via l'étude d'une ACP ; visualisations graphiques :

Les tests de Normalité effectués sur les données des variables morphométriques des œufs ont montrés que celles-ci étaient distribuées selon une loi Normale ($p\text{-value} > 0.05$). Cependant, les variables de nombres d'œufs pondus, de taux d'éclosion et de nombre de jeunes à l'envol ne suivent pas une loi Normale. C'est pourquoi, une ACP de type Spearman a été choisie.

Le tableau 5, montre que la première valeur propre vaut 4.01 et représente environ 50% de la variabilité, tandis que la deuxième vaut 1.755 et représente environ 22 % de la variabilité. Le plan F1/F2 est donc choisi, il représente 72 % de l'inertie de l'ACP et représente le mieux la plupart des variables. Seul la variable de taux d'éclosion des œufs n'est pas suffisamment bien expliqué par ce plan.

A la vue de l'ACP (figure 12), il est possible de voir que les variables morphométriques sont toujours fortement corrélées positivement entre elles. De plus, il semble y avoir des corrélations entre les variables du nombre d'œufs pondus, du nombre de jeunes à l'envol ainsi que du taux d'éclosion. Cependant, les axes des variables de morphométrie des œufs et les axes de nombre d'œufs pondus ou de nombre de jeunes à l'envol semblent être orthogonaux.

Colonne1	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Valeur propre	3,756	2,197	0,994	0,617	0,277	0,110	0,038	0,012
Variabilité (%)	46,947	27,459	12,430	7,713	3,456	1,381	0,470	0,144
% cumulé	46,947	74,405	86,836	94,548	98,005	99,386	99,856	100,000

Tableau 7 : Présentation des valeurs propres, du pourcentage de variabilité ainsi que du pourcentage cumulé pour chacun des axes chez les mésanges bleues (*C. caeruleus*).

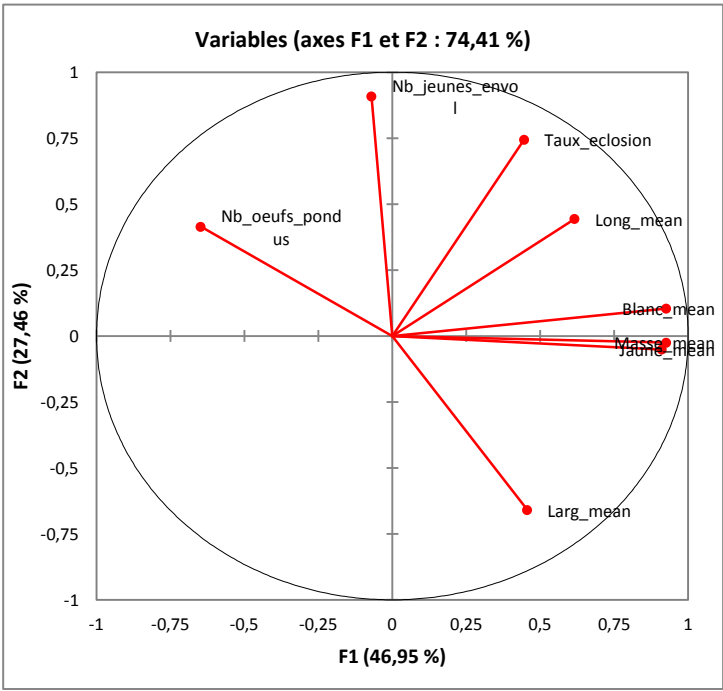


Figure 13 : Cercle de corrélation du plan F1/F2 de l’Analyse en Composante Principale réalisée avec les données morphométriques des œufs et celles de qualité des femelles chez les mésanges bleues (*C.caeruleus*).

Variables	Nb_oeufs_pondus	Taux_eclosion	Nb_jeunes_envol	Long_mean	Larg_mean	Jaune_mean
Nb_oeufs_pondus	1	-0,155	0,534	-0,282	-0,394	-0,527
Taux_eclosion	-0,155	1	0,707	0,410	-0,116	0,283
Nb_jeunes_envol	0,534	0,707	1	0,134	0,405	-0,106
Long_mean	-0,282	0,410	0,134	1	-0,312	0,526
Larg_mean	-0,394	-0,116	0,405	-0,312	1	0,396
Jaune_mean	-0,527	0,283	-0,106	0,526	0,396	1
Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05						

Tableau 8 : Matrice de corrélation de Pearson chez les mésanges bleues (*C.cearuleus*) : Les valeurs présentées dans cette matrice sont les coefficients de corrélation (r). La valeur en gras est significativement différente de 0, H0 est donc rejetée.

La variable de longueur moyenne des œufs est une nouvelle fois utilisée pour simplifier les analyses confirmatoires vu que toutes les variables morphométriques des œufs sont corrélées entre elles.

3.3.1.2. Statistiques confirmatoires des corrélations :

Afin de vérifier ces tendances, des tests de corrélation sont donc effectués.

Le tableau 6 présente la matrice de corrélations obtenues grâce aux tests de Spearman. Aucune corrélation significative n'est mise en évidence entre la longueur moyenne des œufs et les variables de nombre d'œufs pondus, de taux d'éclosion ou de nombre de jeunes à l'envol ($p\text{-value} > \alpha$). Ce qui laisse à penser qu'il n'y a pas de compromis entre taille des œufs et nombre d'œufs pondus.

Cependant la variable de nombre de jeunes à l'envol est fortement corrélée avec les variables de taux d'éclosion ($p\text{-value}$ de $0.003 < 0.05$ et $r = 0.606$) et de nombre d'œufs pondus ($p\text{-value}$ de $0.007 < \alpha$ et $r = 0.550$).

3.3.2. Chez les mésanges bleues (*C. caeruleus*) :

3.3.2.1. Tendances des corrélations via l'étude d'une ACP ; visualisations graphiques :

Les tests de Normalité effectués sur les données des variables morphométriques des œufs et de nombre d'œufs pondus, de taux d'éclosion et de nombre de jeunes à l'envol ont montrés que ces variables étaient distribuées selon une loi Normale ($p\text{-value} > 0.05$).

Le tableau 7 consigne les valeurs propres : les deux premières valeurs propres valent respectivement 3.756 et 2.197 et représentent 47% et 27% de la variabilité. Le plan F1/F2 est ainsi choisi, il représente 74 % de l'inertie.

En analysant le cercle de corrélation de l'ACP (figure 13), il est donc possible de voir que les variables de longueur et de largeur moyennes des œufs ne semblent pas corrélées (axes orthogonaux). De plus, les variables de nombre d'œufs pondus et de largeur des œufs semblent négativement corrélées. Ce qui signifierait que quand la largeur moyenne des œufs augmente, le nombre d'œufs pondus est plus faible. De même, une corrélation positive semble être établie entre la longueur moyenne des œufs et le taux d'éclosion (tableau 8). Ces résultats semblent tout de même assez contradictoires. Enfin, la variable de nombre de jeunes à l'envol ne semble pas être corrélée avec les variables de masses moyennes des œufs (axes également orthogonaux).

3.3.2.2. Statistiques confirmatoires des corrélations :

Il a été choisi de faire des tests de corrélations confirmatoires sur toutes les variables, sauf celles de masse moyenne totale et de blanc, vu qu'elles sont fortement liées à la variable de masse moyenne de jaune.

Des tests de corrélations de Pearson sont effectués, puisque la Normalité des données a été significativement vérifiée.

Le tableau 8 présente ainsi la matrice de corrélations obtenue. Aucune corrélation n'est finalement significative, entre largeur moyenne des œufs et nombre d'œufs pondus, ou entre longueur moyenne et le taux d'éclosion ($p\text{-value} > \alpha$). De plus, aucun compromis n'est mis en évidence entre taille, masse des œufs et nombre d'œufs pondus.

4. Discussion :

4.1. Discussion des résultats :

Le but de cette étude était dans un premier temps de mettre en évidence des corrélations entre les différentes variables morphométriques des œufs et la qualité des femelles (traits phénotypiques et date de ponte). Puis dans un deuxième temps de montrer si la qualité des œufs était corrélée positivement avec les variables de qualité de ponte (nombre d'œufs pondus, taux d'éclosion et nombre de jeunes à l'envol). L'hypothèse était que plus une femelle est de bonne qualité (masse, taille et âge importants, choix de date de ponte), plus elle formera des œufs de bonnes qualités (masses et tailles importantes) et plus son succès reproducteur sera maximisé (qualité de ponte).

Tout d'abord, les tests de comparaison des moyennes entre les deux espèces ont montrés qu'il n'était pas possible de tester les hypothèses en réunissant les données des mésanges charbonnières et bleues. En effet, différentes variables (longueur moyenne des œufs, etc..) ont une différence significative de moyennes entre les 2 espèces. Les mésanges charbonnières (*P. major*) sont en moyennes plus grandes et grosses et pondent des œufs significativement plus grands et de masses plus importantes que les mésanges bleues (*C. caeruleus*). Cela confirme ce qui est mentionné dans la littérature. Cependant, dans cette étude, les femelles de mésanges bleues ne pondent pas significativement plus d'œufs que les mésanges charbonnières (Annexe III). Ces différences de moyennes nous entraînent donc à traiter séparément les deux espèces.

4.1.1. Chez les mésanges charbonnières (*P. major*) :

Concernant les mésanges charbonnières (*P. major*), l'ACP (figure 10) semble montrer tout d'abord qu'il existe de fortes corrélations positives entre les différentes variables morphométriques des œufs (moyennes de largeurs, longueurs, masse totale, masse de jaune et masse de blanc). Or la masse du vitellus et sa composition sont de bons indicateurs de la qualité de l'œuf, car le jaune contient les réserves énergétiques de l'embryon (Williams et al, 1994). De son côté, la masse de blanc est également un paramètre important puisqu'elle est corrélée à la masse et la taille du jeune chez certaines espèces d'oiseaux (Dzialowskia et al., 2008). Or la taille et la masse du jeune sont de bons indicateurs de sa survie (Finkler et al., 1998) et par conséquent de la qualité d'une ponte. De plus, il existe une corrélation entre la taille des œufs et les masses de jaune et de blanc, ce qui montre ainsi que des œufs de grandes tailles contiennent plus de ressources nutritives (Kennamer et al, 1997).

C'est pourquoi, on pourrait penser que plus une femelle transfère de substances nutritives dans ses œufs, alors plus ils seront de bonnes qualités, et plus celle-ci maximisera son succès reproducteur ; ses oisillons étant en meilleures conditions physiques.

Cette même ACP (figure 10), ainsi que des tests confirmatoires de Pearson montrent, également chez les mésanges charbonnières, que la longueur moyenne des œufs est corrélée positivement avec la date de ponte. L'hypothèse formulée afin d'expliquer ce résultat est qu'une femelle qui pond tardivement compense la diminution du nombre d'insectes en fin de saison de reproduction en pondant des œufs plus lourds, mais moins nombreux. Ainsi, les jeunes, moins nombreux et en meilleure condition physique à l'éclosion, bénéficient malgré la faible quantité de nourriture, de chances de survie égales à celles des jeunes nés plus tôt

dans la saison (Styrsky et al., 1999). Ce phénomène a notamment été observé chez le troglodyte familial (Müller et al., 2008).

De plus, les résultats montrent que la longueur moyenne des œufs est corrélée avec la taille du tarse ce qui laisserait penser qu'un oiseau de grande taille pond de grands œufs contenant plus de ressources nutritives favorisant ainsi son succès reproducteur.

Cependant, à la vue de l'ACP (figure 10), des tests confirmatoires de Pearson, et de la comparaison de moyenne des mésanges charbonnières (*P. major*), les variables de masse, de taille de l'aile et d'âge ne sont pas corrélées avec les variables morphométriques des œufs. Pourtant la masse ainsi que l'âge influenceraient l'accès à la nourriture et aux nids (Perrins 1979). En effet, les individus les plus âgés et ceux ayant une meilleure condition physique, dû à leur dominance sociale et leur expérience (Barluenga et al. 2000, Senar et al. 2001), auraient un meilleur accès aux ressources. Ils auraient ainsi la possibilité d'être en meilleure condition physique pour faire face aux fortes demandes qu'imposent une reproduction (Alvarez et al. 2008) et par conséquent plus investir de ressources dans la ponte.

Cette première partie nous a donc permis de mettre en évidence qu'il existait des corrélations entre certaines variables de qualité des femelles (taille du tarse et date de ponte) et les variables morphométriques des œufs.

Dans un second temps, des corrélations entre variables morphométriques des œufs et variables de qualité de ponte (nombre d'œufs pondus, taux d'éclosion et nombre de jeunes à l'envol) ont été étudiées. Le but de cette partie était de voir si des corrélations positives étaient mises en évidence entre qualité des œufs et qualité de ponte.

L'étude de l'ACP (figure 12) et de la matrice de corrélation de Spearman (tableau 4), nous permet de mettre en évidence tout d'abord qu'il n'y a pas de corrélations entre le nombre d'œufs pondus et la longueur moyenne des œufs. Des études ont d'ailleurs montrées que chez la mésange bleue (*C. caeruleus*) par exemple (J.A. Nilsson et al, 1993), le nombre d'œufs pondus et la taille des œufs n'étaient pas reliés. Le fait que la femelle investisse plus ou moins d'énergie dans la formation des œufs ne semble pas avoir d'influence sur le nombre d'œufs qu'elle pond.

En analysant l'ACP (figure 12) et la matrice de corrélation (tableau 6), aucun lien significatif n'est mis en évidence entre les différents paramètres morphométriques des œufs et la qualité de la ponte. Ces résultats nous laissent penser que chez les mésanges charbonnières (*P. major*), aucun lien n'est établi entre qualité des œufs et succès de reproduction.

Cependant, des corrélations positives existent entre le nombre de jeunes à l'envol, le nombre d'œufs pondus et le taux d'éclosion. Le nombre d'œufs pondus ne semble donc pas influencer sur la capacité de la femelle à correctement incubé et nourrir tous ses œufs.

Cette deuxième partie nous a donc permis de montrer que pour notre jeu de donnée, la qualité et le nombre d'œufs pondus ne semblaient pas influencer le succès reproducteur de la femelle.

4.1.2. Chez les mésanges bleues (*C. caeruleus*) :

Concernant les mésanges bleues (*C. caeruleus*), l'ACP (figure 11) semble montrer tout d'abord qu'il existe des corrélations positives entre les différentes variables morphométriques des œufs (moyennes de longueurs, masse totale, masse de jaune et masse de blanc). Associée au test confirmatoire de corrélation de Pearson (tableau 4), cette ACP (figure 11) permet de mettre en évidence une corrélation entre la taille de l'aile et les variables morphométriques de l'œuf. Or, la taille de l'aile a tendance à être un indicateur de la qualité du plumage, et non de la qualité physique de la femelle. De plus, la comparaison de moyenne montre qu'il n'y a pas de différence significative de moyenne de la taille des œufs en fonction de l'âge. La qualité des femelles ne semble donc pas influencer sur la qualité des œufs.

Comme chez les mésanges charbonnières (*P. major*), aucune corrélation n'est mise en évidence entre variables morphométriques des œufs et variables de qualité de ponte (ACP figure 13, matrice de corrélation tableau 8).

Donc, chez les mésanges bleues la qualité d'une femelle ne semble pas non plus influencer son succès reproducteur.

4.2. Limites :

Les résultats obtenus sur l'étude des mésanges bleues (*C. caeruleus*) montrent des différences avec ceux obtenus chez les mésanges charbonnières (*P. major*). Les différences de résultats entre les deux espèces, peuvent s'expliquer par la taille de l'échantillon des mésanges bleues (*C. caeruleus*) (N = 14) qui n'est pas suffisante pour faire des études statistiques fiables. De même, le nombre d'individus étudié chez les mésanges charbonnières (*P. major*) n'est pas très important (N=24), les résultats obtenus ne sont peut-être pas représentatif de la population étudiée. C'est pourquoi, afin d'avoir de meilleurs résultats des liens existants entre les différentes variables étudiées, il serait intéressant d'augmenter les effectifs.

Outre le fait d'avoir de faibles effectifs pour pouvoir faire des tests significatifs, le choix d'utiliser des tests de corrélations est discutable. En effet, ces tests permettent seulement de déterminer l'absence ou la présence d'une relation linéaire significative entre deux variables. Des modèles linéaires, qui renseignent sur les relations causales, auraient pu être utilisés afin de savoir quelle variable agit sur une autre. Avec un modèle linéaire, de façon générale, il est possible de tester l'effet de chaque facteur tout en corrigeant pour l'effet des autres. Par exemple, une ANCOVA aurait pu être effectuée afin de tester la longueur des œufs par rapport au tarse en prenant en compte l'âge comme covariable, qui peut aussi avoir un effet sur la longueur des œufs.

De plus, afin de savoir s'il existe des corrélations entre les traits phénotypiques des adultes et succès reproducteur, cette étude a négligé beaucoup de variables qui ont pourtant des effets sur la survie et la reproduction des oisillons (et donc sur le succès reproducteur des adultes). En effet, l'investissement dans la reproduction se divise en deux groupes ; l'investissement sexuel et l'investissement parental (Trivers et al., 1972). L'investissement sexuel correspond à toute l'énergie consacrée à la recherche du bon partenaire, à sa conquête ou à l'affrontement de rivaux. Le choix du partenaire a pourtant beaucoup d'influence sur la future survie des oisillons : par exemple une étude à montréal a montré que la femelle compensait la piètre qualité du mâle par un plus fort investissement dans sa progéniture (Bluhm et al., 2004 et Burley 1988). De même beaucoup de variables concernant l'investissement parental n'ont pas été étudiées ; notamment tout ce qui a trait aux soins parentaux (nourrissage des jeunes par exemple). Les lieux de captures des adultes et de prélèvements des œufs n'ont également pas été pris en compte lors de l'analyse des résultats. Or même si les quatre sites d'étude sont proches les uns des autres, les conditions entre ces sites sont différentes (prédation, abondance de nourritures, etc...) et ont pu avoir une influence sur ces résultats.

4.3. Perspectives :

Pour pouvoir avoir des résultats plus significatifs, il faudrait augmenter les effectifs. Pour cela, il faudrait augmenter le nombre de nichoirs.

Il serait intéressant de comparer les résultats obtenus cette saison avec ceux des autres années. Ceci permettrait notamment de savoir s'il y a une influence des conditions météorologiques sur les résultats, et de savoir sur quelles variables ces conditions agissent. En effet, les conditions climatiques influencent directement la qualité des femelles. Par exemple au début de la saison, une mauvaise condition physique peut amener une femelle reproductrice à retarder sa reproduction (Drent & Daan, 1980), voir même à abandonner les œufs ou les jeunes (Monaghan et al., 1989). De plus, il a été montré qu'une baisse de la température entraînait des comportements différents de certaines espèces d'oiseaux durant l'incubation. En effet, les femelles passeraient moins de temps hors du nid, afin de réchauffer au maximum les œufs qu'elles incubent (C.J. Conway et al 2000). Or ce temps passé hors du nid, permet aux femelles notamment de s'alimenter afin de reprendre des forces. Mais, les conditions climatiques influencent également indirectement le succès reproducteur d'une femelle en jouant un rôle sur la disponibilité des ressources (essentielle à la survie de l'adulte et au nourrissage de jeunes).

Dans cette étude, il aurait également été intéressant de connaître la masse et la taille moyenne des oisillons juste avant l'envol. Cela aurait permis de mettre en évidence s'il existe une corrélation entre les variables morphométriques des œufs et la qualité des jeunes à leur départ du nid.

De plus, il aurait été intéressant d'étudier l'effet de la condition physique des mâles sur l'investissement maternel. En effet, l'investissement maternel peut être stimulé par la qualité du mâle partenaire. Par exemple, chez le roselin familial, la femelle dépose plus de ressource nutritives dans les œufs fécondés par des mâles peu attractifs et en moins bonne condition (Navara et al., 2006a).

Conclusion :

Le but de l'étude était de montrer s'il existait des corrélations entre qualité des femelles (traits phénotypiques, date de ponte) et succès reproducteur chez les mésanges (*P. major* & *C. caeruleus*).

L'hypothèse formulée était que plus une femelle était de bonne qualité (masse, taille du tarse et âge importants, date de ponte précoce), plus elle aurait tendance à former des œufs de bonnes qualités (masses et tailles importantes), et ainsi maximiser son succès reproducteur (nombre de jeunes à l'envol,...).

Cependant, après analyse des corrélations entre les variables (grâce à des Analyse en Composantes Principales (ACP) et des tests de corrélations) chez les mésanges charbonnières (*P. major*), nous ne pouvons pas affirmer qu'il existe bien des corrélations entre variables morphométriques des œufs et qualité des femelles. En effet, seule la taille du tarse est corrélée positivement avec la qualité des œufs. Aucune corrélation n'a été mise en évidence entre la taille de l'aile, la masse ou encore l'âge des femelles et la qualité des œufs. Et une relation positive a été montrée entre la date de ponte et la taille des oeufs. Enfin, aucune corrélation n'a été mise en évidence entre variables morphométriques des œufs et qualité de ponte (nombre d'œufs pondus, taux d'éclosion et nombre de jeunes à l'envol).

Chez les mésanges bleues (*C. caeruleus*), aucune corrélation intéressante n'a été vérifiée.

Les résultats ne permettent donc pas de confirmer l'hypothèse formulée. Cependant, il serait intéressant de poursuivre cette étude sur des échantillons plus importants, en y intégrant des modèles statistiques prenant en compte plusieurs variables liées entre elles et en récoltant des données supplémentaires sur les effets maternels post-ponte (nourrissage, etc..). Cela permettrait peut être de mettre en évidence un lien entre les traits phénotypiques des adultes et leur succès reproducteur.

Bibliographies

Alvarez E., Barba E. 2008. Nest quality in relation to adult bird condition and its impact on reproduction in Great Tits *Parus major*. *Acta Ornithol.* 43:3-9.

Barluenga M., Barbosa A., Moreno E. 2000. Social relationships of Great Tits *Parus major* during winter in a mountain area in central Spain in relation to sex, age and morphology. *Ardeola* 47: 19–27.

Bluhm, C. K. et Gowaty, P. A. 2004. Reproductive compensation for offspring viability deficits by female mallards, *anas platyrhynchos*. *Anim Behav*, 68, 985-992.

Burley, N. T. 1988. The differential-allocation hypothesis: An experimental test. *The American Naturalist*, 132, 611-628.

C.M. Perrins 1965 Population fluctuations and clutch-size in the great Tit, *Parus major*, *J. Anim Ecol*, 34 (3) (1965), pp. 601–647.

Courtney J. Conway and Thomas E. Martin, 2000. Evolution of passerine incubation behavior: influence of food, temperature, and nest predation. *Evolution* 54(2) : 670-685.

Drent, R.H. & S. Daan, 1980. The prudent parent: energetic adjustments in avian breeding. *Ardea* 68:225-252.

Dzialowskia, E. M., Reed, W. L. et Sotherland, P. R. 2008. Effects of egg size on double-crested cormorant (*phalacrocorax auritus*) egg composition and hatchling phenotype. *Comp Biochem Physiol Part A*, 152, 262-267.

Finkler, M. S., Van Orman, J. B. et Sotherland, P. R. 1998. Experimental manipulation of egg quality in chickens: Influence of albumen and yolk on the size and body composition of near-term embryos in a precocial bird. *Journal of Comparative Physiology B*, 168, 17-24.

Grindstaff, J.L., Demas, G.E., Ketterson, E.D. 2005 Diet quality affects egg size and number but does not reduce maternal antibody transmission in Japanese quail *Coturnix japonica*. *Journal of Animal Ecology*. 74, 1051-1058.

J.A. Nilsson, E. Svensson Causes and consequences of egg mass variation between and within Blue Tit clutches *J Zool (Lond)*, 230 (1993), pp. 469–481.

Karell, P., Kontiainen, P., Pietiainen, H., 2008 Maternal effects on offspring Igs and egg size in relation to natural and experimentally improved food supply. *Functional Ecology* 22, 82-690.

Kenamer, R.A., Alsum, S.K., Colwell, S.V. 1997 Composition of wood duck eggs in relation to egg size, laying sequence, and skipped days of laying. *Auk* 114, 479-487.

Monaghan, P. J.D. Uttley, MD. Burns, C. Thaine & J. Blackwood, 1989. The relationship between food supply, reproductive effort and breeding success in Arctic Terns *Sterna paradisaea* *J. Anim. Ecol.* 58:261-274.

Müller, W., Vergauwen, J. et Eens, M. 2008. Yolk testosterone, postnatal growth and song in male canaries. *Horm Behav*, 54, 125-133.

Navara, K. J., Badyaev, A. V., Mendonca, M. T. et Hill, G. E. 2006a. Yolk antioxidants vary with male attractiveness and female condition in the house finch (*carpodacus mexicanus*). *Physiological and Biochemical Zoology*, 79, 1098-1105.

Senar J. C., Camerino M., Uribe F. 2001. Body mass regulation in resident and transient wintering siskins *Carduelis spinus*. *Etología* 9: 47–52.

Styrsky, J. D., Eckerle, K. P. et Thompson, C. F. 1999. Fitness-related consequences of egg mass in nestling house wrens. *Proc R Soc Lond B, Biol Sci*, 266, 1253-1258.

Thomas, D. W., Blondel, J; Perret, P 2001. Physiological ecology of Mediterranean blue tits (*Parus caeruleus*) 1. A test for inter-population differences in resting metabolic rate and thermal conductance as a response to hot climates. *Zoology* 104, 33-40.

Trivers, R. L. 1972. Parental investment and sexual selection. In: *Sexual selection and the descent of man* (Ed. by B. Campbell), pp. 136-179. Chicago: Aldine.

Williams, T. D. 1994. Intraspecific variation in egg size and egg composition in birds: effects on offspring fitness. *Biological Reviews Cambridge Philosophical Society*, 69, 35-59.

Livres :

Charles Darwin, 1999 (réédition en français). L'origine des espèces. Edition Flammarion.

Killizn Mullarney, Lars Svensson, Dan Zetterstöm et Peter J. Grant. 2009. Le guide ornitho. Edition Delachaux et Niestlé.

Sites internet :

www.lesphotosdemat.pagesperso-orange.fr

www.lpo-boutique.com

www.oiseaux.net

www.rspb.org.uk

Annexe I : extrait du jeu de donnée :

ID niche	Nb_oeufs_pondus	Taux_eclosion	Nb_jeunes_envol	Especie	Age	Date	Tarse
A225	9	1,00	7	CH	1	7	2,25
B307	10	1,00	8	CH	1	18	2,19
A209	9	1,00	7	CH	1	13	2,22
D406	10	0,63	5	CH	2	18	2,3
A240	10	1,00	7	CH	2	17	2,21
A229	9	1,00	7	B	2	18	2,17
C164	9	1,00	0	CH	2	29	2,32
ID	Aile	Masse	Long_mean	Larg_mean	Masse_mean	Blanc_mean	Jaune_mean
A225	7,4	16,06	1,77	1,3	1,52	0,93	0,32
B307	7,2	16,91	1,85	1,33	1,74	1,11	0,34
A209	7,4	17,46	1,59	1,25	1,31	0,85	0,25
D406	7,3	17,4	1,86	1,31	1,66	1,05	0,33
A240	7,4	16,19	1,84	1,28	1,58	1,01	0,3
A229	7,2	17,84	1,75	1,29	1,55	0,98	0,33
C164	7,5	16,98	1,8	1,29	1,61	1,05	0,34

Annexe II : Statistiques descriptives des différentes variables chez les mésanges charbonnières (*P. major*).

Statistique	Nb œufs pondus	Taux éclosion	Nb jeunes envol	Date	Tarse	Aile
N	23	23	23	23	23	23
Moyenne	9,304	0,923	6,130	14,348	2,216	7,343
Variance (n-1)	0,858	0,016	4,119	67,419	0,003	0,024
Ecart-type (n-1)	0,926	0,127	2,029	8,211	0,056	0,156
Statistique	Masse	Long mean	Larg mean	Masse mean	Blanc mean	Jaune mean
N	23	23	23	23	23	23
Moyenne	17,060	1,766	1,302	1,584	1,000	0,323
Variance (n-1)	0,319	0,006	0,001	0,020	0,014	0,001
Ecart-type (n-1)	0,565	0,080	0,036	0,141	0,117	0,034

Statistiques descriptives des différentes variables chez les mésanges bleues (*C.caeruleus*).

Statistique	Nb œufs pondus	Taux éclosion	Nb jeunes envol	Date	Tarse	Aile
N	14	14	14	14	14	14
Moyenne	10,214	0,868	6,929	11,929	1,890	6,400
Variance (n-1)	1,258	0,021	2,071	52,841	0,002	0,015
Ecart-type (n-1)	1,122	0,146	1,439	7,269	0,044	0,124
Statistique	Masse	Long mean	Larg mean	Masse mean	Blanc mean	Jaune mean
N	14	14	14	14	14	14
Moyenne	10,701	1,550	1,172	1,139	0,672	0,259
Variance (n-1)	0,385	0,010	0,002	0,008	0,002	0,000
Ecart-type (n-1)	0,620	0,100	0,045	0,088	0,040	0,021

Annexe III :

	Nb œufs pondus	Taux éclosion	Nb jeunes envol	Age	Tarse	Aile	Masse
Normalité/ Test de Shapiro	Pas normale	Pas normale	Pas normale	Pas normale	Pas normale	Pas normale	Pas normale
Variance/ Test F de Fisher	/	/	/	/	/	/	/
Choix du test	Test de Mann et Whitney						
Réponse du test (p-value)	Différence (0,014)	Pas différences (0,171)	Pas de différences (0,282)	Différence (0,025)	Différence (< 0,0001)	Différence (< 0,0001)	Différence (< 0,0001)

	Date	Long mean	Larg mean	Masse mean	Blanc mean	Jaune mean
Normalité/ Test de Shapiro	Pas Normale	Normale	Normale	Pas normale	Pas normale	Normale
Variance/ Test F de Fisher	/	Egalité	Egalité	/	/	Egalité
Choix du test	Test de Mann et Whitney	Test t de Student		Test de Mann et Whitney		Test t de Student
Réponse du test	Pas de différence (0,510)	Pas de différence (< 0,0001)	Pas de différence (< 0,0001)	Différence (< 0,0001)	Différence (< 0,0001)	Pas de différence (< 0,0001)

Test de Shapiro / Normalité des données :

Hypothèse :

H0 : la variable suit une loi Normale

H1 : la variable ne suit pas une loi Normale

Légende :

Pas normale : la p-value est inférieure à alpha (0.05).

Normale : la p-value est supérieure à alpha (0.05).

Test d'égalité des variances :

Hypothèses :

H0 : $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$

H1 : $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

Légende :

Egalité : H0 non rejeté (p-value > 0.05)

Test U de Mann et Whitney et test T de Student :

Hypothèse :

H0 : les 2 moyennes sont égales

H1 : différence significative entre les moyennes

Légende : Pas de différence (p-value > 0.05) ; Différence (p-value < 0.05).

Résumé :

Chez les oiseaux, le nombre, la taille et la masse des œufs pondus ainsi que le nombre de reproductions ou la survie sont des composantes du succès reproducteur d'une femelle.

L'objectif de cette étude était de mettre en évidence s'il existe, chez les mésanges charbonnières (*Parus major*) et bleues (*Cyanistes caeruleus*), des corrélations entre qualité des femelles (traits phénotypique, date de ponte), variables morphométriques des œufs (masses, tailles) et succès de reproduction (nombre d'œufs pondus, taux d'éclosion et nombre de jeunes à l'envol). Pour cela, pendant deux mois, des captures d'adultes et des prélèvements d'œufs ont été effectuées dans des zones où des nichoirs avaient préalablement été installés, (près de Toulouse, dans la commune de Saint-Léon). Les résultats obtenus ne permettent pas de mettre en évidence d'intéressantes corrélations. Cependant, il serait intéressant de poursuivre cette étude sur des échantillons plus importants, en y intégrant des modèles statistiques prenant en compte plusieurs variables liées entre elles et en récoltant des données supplémentaires sur les effets maternels post-ponte (nourrissage, etc..). Cela permettrait peut être de mettre en évidence des liens entre les traits phénotypiques des adultes et leur succès reproducteur.

Mots-clés : Mésange charbonnière (*Parus major*), mésange bleue (*Cyanistes caeruleus*), traits phénotypiques, succès reproducteur, variables morphométriques des oeufs.

Summary :

In birds, the number, size and mass of eggs laid and the number of reproductions or survival are components of the fitness of a female.

The objective of this study was to demonstrate, in great tits (*Parus major*) and blue tits (*Cyanistes caeruleus*), correlations between female's quality (phenotypic traits, laying date), morphometric variables eggs (masses, sizes) and reproductive success (number of eggs laid, hatching rate and number of fledglings). To do this, for two months, catches of adults and egg samples were performed in areas where nest boxes had previously been installed, (near Toulouse, in the commune of Saint-Leon). The results do not reveal these correlations. However, it would be interesting to continue this study on larger samples, incorporating statistical models taking into account several variables related to each other and collecting additional data on maternal effects post-spawning (feeding, etc. ..). This would be to highlight links between phenotypic traits of adults and their reproductive success.

Keywords: Great tits (*Parus major*), Blue tits (*Cyanistes caeruleus*), phenotypic traits, reproductive success (fitness).