

MASTER 1 Mention GAED

Parcours TRENT

Rapport de stage 2022 – 2023

**Examen du comportement innovant comme
paramètre clé du succès reproducteur et de
l'adaptation au milieu l'urbain.**



Roméo NAEDER

Soutenu le 01/09/2023

Sous la direction de :

Tuteur de stage : ADAMIK Peter

Enseignant-référent : DANIEL Marc

Résumé

Aujourd'hui, nos territoires sont de plus en plus façonnés par l'urbanisation. En parallèle, nous assistons à la destruction des habitats naturels, qui est la principale cause de la disparition de la faune. La cognition animale regroupe l'ensemble des mécanismes qui aident un individu à interagir avec son environnement. L'innovation leur permet d'adopter des comportements nouveaux ou de modifier un comportement existant face à une nouveauté. Dans ce présent devoir, nous nous intéressons aux facteurs pouvant influencer la cognition et aux liens existant entre l'innovation, le succès reproducteur et l'adaptation d'une espèce à un milieu urbain. Pour cela, nous avons réalisé une synthèse des littératures qui traitent et associent le comportement innovant à un contexte urbain. Dans un second temps, nous avons réalisé des tests de cognition visant à mesurer les aptitudes innovantes d'une population de mésanges charbonnières, en période d'approvisionnement des oisillons, en nous intéressant d'abord aux mécanismes de la cognition, puis aux variations phénologiques des nichées associées aux résultats des tests. Nos résultats montrent que 22 % des parents testés ont réussi le test. Nous pensons que les oiseaux ont été motivés par les piaillements des petits. D'autres facteurs semblent jouer sur la résolution des tests, la personnalité de l'individu, l'environnement (météo, température), indépendamment des capacités innovantes. Nos mesures ont ensuite révélé que les parents qui avaient résolu le problème arrivaient à garder plus d'oisillons jusqu'à l'envol. Mais aucun lien direct n'a été trouvé entre l'indice d'éclosion, l'indice de masse des oisillons et les aptitudes cognitives des parents. Tout de même, notre interprétation croisée de l'indice de masse et du nombre d'oisillons à l'envol tend à montrer que l'innovation aide les parents à approvisionner le nid de l'éclosion à l'envol et ainsi permet la survie des petits. La littérature met en évidence la survie et l'adaptation des animaux innovants en contexte urbain. Ils présentent des facilités pour adopter de nouvelles sources de nourriture, de nouveaux habitats. Cependant, des observations lient certaines espèces invasives et les comportements « risqués » de certains individus à leur aptitude à l'innovation.

Mots clés : Comportement animal ; Innovation ; Urbanisation ; Succès reproducteur ; Écologie.

Abstract

Currently, our territories are being sculpted more and more by urbanisation. At the same time, we are seeing the destruction of natural habitats, the main cause of the extinction of animal species. Animal cognition brings together all the mechanisms that help an individual to interact with its environment. Innovation enables them to adopt new behaviours or modify existing behaviours in response to something new. In this paper we are interested in the influences on cognition and the links between innovation, reproductive success and the adaptation of a species to the urban environment. To do this, we produced a synthesis of the literature that deals with and links innovative behaviour to an urban context. Secondly, we carried out cognitive tests aimed at measuring the innovative abilities of a population of great tits during the chick provisioning period, by looking first at the cognitive mechanism and then at the phenological variations in clutches associated with the test results. Our results show that 22% of the parents tested passed the test. We think that the birds were motivated by the chirping of their young. Other factors seem to play a role in solving the test: the individual's personality, the environment (weather, temperature), independently of innovative abilities. Our measurements showed that parents who had solved the problem were able to keep more chicks until they fledged. But no direct link was found between the hatching index, the chick mass index and the parent's cognitive skills. Nevertheless, our cross-interpretation of the mass index and the number of chicks fledged suggests that innovation helps the parents to provide the nest with food from hatching to fledging and consequently enables the chicks to survive. The literature highlights the survival and adaptation of innovative animals in an urban context. They are able to adopt new food sources and new habitats. However, the observation of invasive species and individuals exhibiting 'risky' behaviour are associated with a high rate of innovation.

Keywords: Animal behaviour; Innovation; Urbanisation; Reproductive success; Ecology.

Remerciements

Dans le cadre de ce mémoire de master, je souhaite commencer par remercier les personnes qui m'ont aidé, soutenu, permis de réaliser ce stage et de produire ce devoir.

En premier lieu, je tiens à porter une attention particulière à Laure Cauchard, coordinatrice du projet Evol-cog. Merci de m'avoir donné l'opportunité de réaliser ce stage, de m'avoir préparé en amont et aidé durant sa réalisation. Je suis très reconnaissant du temps et de l'intérêt que vous avez portés au suivi de mon mémoire. Vos corrections, vos idées et vos connaissances m'ont été extrêmement précieuses.

Ensuite, je souhaite remercier Elsa Daniaud, étudiante en DEUST Guide Nature Multilingue à la cité scientifique de Lille. En plus des connaissances professionnelles que nous avons partagées, nécessaires à la réalisation des missions, Elsa m'a permis de vivre trois mois extrêmement enrichissants sur le plan personnel. Cette expérience aurait, sans aucun doute, été différente sans toi.

Je remercie Daniel Marc, enseignant référent, pour m'avoir guidé dans la réalisation de mon mémoire et de ma soutenance.

Je souhaite terminer en remerciant Peter Adamik, tuteur de stage. Vous nous avez accueillis dans votre environnement professionnel et familial d'une façon remarquable. Merci de nous avoir encadrés et aiguillés durant cette expérience. Les connaissances que vous m'avez apportées et l'aide que vous avez mobilisée dans le cadre de la réalisation de ce stage et de la rédaction de mon devoir m'ont été extrêmement précieuses.

Sommaire

Résumé	2
Abstract	3
Remerciements	4
Sommaire	5
Introduction	6
1 Cadre du stage	8
1.1 Structure d'accueil.....	8
1.2 Contexte du stage.....	9
1.3 Zone d'étude.....	11
1.4 Missions réalisées	15
2 Cadre théorique	19
2.1 Un nouvel environnement, l'urbanisation.....	19
2.2 La cognition	21
2.3 L'innovation	22
2.4 Urbanisation et le comportement cognitif	24
2.5 Objectifs et hypothèses.	26
3 Méthodes :	28
3.1 Choix des manipulations et du sujet d'étude.....	28
3.2 Test cognitif :.....	29
3.3 Analyse vidéo :.....	32
3.4 Mesure du succès reproducteur :.....	34
3.5 Présentation des résultats :.....	35
4 Résultats	36
4.1 Examen des facteurs pouvant influencer la cognition :.....	36
4.2 Examen des liens entre les tests de cognition et le succès reproducteur.	38
5 Discussion	41
5.1 Discussion des résultats :	41
5.2 Discussion du stage :.....	44
Conclusion :	46
Bibliographie	48

Introduction

L'urbanisation rapide que nous vivons entraîne la perte des habitats naturels, ce qui constitue l'un des problèmes majeurs pour la conservation de la biodiversité. Ces nouveaux environnements obligent les animaux à interagir avec de nouveaux obstacles, de nouvelles sources de nourriture, de nouveaux habitats et de nouveaux prédateurs. L'adaptation de certains individus et de certaines espèces (en termes de survie, succès reproducteur) peut être très compliquée, dans ce cas, leur survie est directement compromise. Mais il est observé que certains animaux arrivent parfaitement à s'intégrer à la vie urbaine et présentent un taux de survie et un succès de reproduction plus importants qu'en milieu rural. La cognition regroupe les mécanismes qui permettent à un animal de collecter les informations d'un environnement et d'adapter sa réponse en conséquence. L'innovation est un trait cognitif qui donne la possibilité à un individu d'adopter de nouveaux comportements ou de créer de la souplesse dans un mouvement déjà établi face à une nouvelle situation, à un nouveau stimulus. Dans ce présent devoir, nous menons des recherches qui visent à comprendre le comportement innovant d'un animal en l'associant à son succès reproducteur et à son rapport à l'urbanisation.

La transition environnementale est associée aux modifications qui nous permettent de passer de notre situation actuelle à une future situation durable et viable économiquement, socialement et environnementalement. Elle peut faire directement référence à l'urbanisation et aux enjeux environnementaux qui en découlent. Une transition environnementale juste doit prendre en compte l'intégralité de la faune et de la flore dans ses changements, ses planifications et ses développements. L'étude du comportement innovant qu'un individu peut présenter, corrélé avec son succès reproducteur peut révéler comment les animaux s'adaptent à ces changements environnementaux (Sol et al., 2005). L'urbanisation exerce des pressions sélectives sur les animaux. Les espèces capables d'innover pourraient s'assurer un succès reproducteur et une chance de survie importante en milieu urbain. Ces études nous permettraient d'adapter au mieux notre transition et notre urbanisation à la faune, afin de limiter l'extinction potentielle d'une espèce. Les changements climatiques (température, météo), liés à la transition environnementale, peuvent avoir un impact sur la reproduction animale. Un animal qui présente un comportement innovant peut ajuster sa stratégie reproductrice en réponse à ces changements.

L'étude des comportements cognitifs, de l'innovation et du succès reproducteur des animaux en contexte urbain nous aidera à adapter au mieux notre transition environnementale. Ces connaissances peuvent nous éclairer sur les plans et stratégies de conservation qui doivent être mis en place en tenant compte de leur comportement et de leurs besoins reproducteurs. La création et l'aménagement des espaces urbains doivent être pensés en adéquation avec l'expression et la survie des espèces, afin de préserver la biodiversité de l'anthropisation.

L'intérêt pour ce sujet et les méthodes mises en place pour le traiter ont été rendus possibles grâce à la réalisation d'un stage dans le département de zoologie de la faculté des sciences naturelles de l'université Palacky (Olomouc en République Tchèque). J'ai pu bénéficier, grâce à cette structure de recherches et d'enseignement, de l'encadrement de Peter Adamik. Cette expérience répondait au programme Evol-cog, qui a pour but d'étudier les capacités cognitives dans le contexte de la flexibilité comportementale et de l'adaptation des espèces aux changements environnementaux.

Le sujet a pu être traité grâce à la réalisation de tests de résolution de problème visant à mesurer les aptitudes d'innovation d'une population de mésanges charbonnières. Ensuite, des données ont été récoltées afin d'identifier le succès reproducteur que présentaient les individus testés préalablement. Une synthèse bibliographique a été mise produite afin de comprendre les liens de l'innovation animale dans un contexte urbain.

Dans les pages suivantes, nous répondrons à cette question : comment le comportement cognitif est-il influencé et en quoi l'innovation d'un individu peut-elle l'aider dans son succès reproducteur et dans sa survie face à l'urbanisation ?

À la suite d'une présentation détaillée de la structure d'accueil, des objectifs du stage et de la zone étudiée, nous avons contextualisé le sujet d'étude en se basant sur la littérature scientifique ayant déjà abordé la cognition animale, l'innovation et leurs liens avec l'urbanisation. Pour aller plus loin, nous avons réalisé des manipulations décrites dans la partie « méthode » visant à collecter des données. Les résultats seront ainsi présentés et analysés en fin de devoir. Ensuite, quelques lignes ont été formulées afin de discuter de l'expérience professionnelle qui est associée à ce devoir. Pour clore ce travail, une conclusion est dressée sur le problème étudié.

1 Cadre du stage

1.1 Structure d'accueil.

Entre le mois de mai et le mois de juillet 2023, j'ai pu effectuer un stage au sein du département de zoologie de la faculté des sciences naturelles de l'université Palacky (Olomouc en République Tchèque). Le département a été créé en 1996, le personnel académique comprend vingt-et-un employés occupant différents postes (chercheur, professeur agrégé, professeur honoraire, maître de conférences, chef de département...). Nous pouvons également compter deux secrétaires et deux travailleurs techniques, cinq élèves doctorants complètent l'équipe¹.

L'enseignement de ce pôle offre des programmes de licences, de maîtrises et dispose d'accréditations pour les études doctorales. Les étudiants peuvent ainsi acquérir des compétences en biodiversité, science de la terre, écologie, géographie physique, biochimie, biophysique... Parallèlement à l'enseignement, les scientifiques locaux entreprennent des recherches dans les domaines de la biologie des vertébrés, de l'entomologie et de l'hydrobiologie appliquée². Des études sont menées sur la stratégie de reproduction et de migration des oiseaux, l'écologie des petits mammifères, la physiologie reproductive et générale (transfert d'embryons, fécondation in-vitro, maturation et aspiration d'ovocytes...), l'entomologie systématique (étude de l'évolution, la phylogénie, la diversité, l'écologie d'insectes). Pour mettre en œuvre leurs recherches, les chercheurs bénéficient de subventions. Les projets en cours sont soutenus par La fondation nationale des sciences naturelles de Chine, Le ministère de l'Agriculture (République Tchèque), L'Agence des subventions de la République Tchèque, Le ministère de l'Éducation, de la Culture et des Sciences³.

Pour réaliser cette expérience professionnelle et m'encadrer durant cette période, j'ai eu la chance de bénéficier de l'expérience de Peter Adamik (superviseur de mon organisme d'accueil). Il est spécialisé en zoologie et en biologie. Après son parcours universitaire traditionnel, il a effectué son doctorat en 2004 et l'a obtenu en 2008. Parallèlement à ces études, il a intégré en tant que chercheur le laboratoire d'ornithologie de l'université d'Olomouc. En

¹ Source : zoologie.upol.cz

² Source : prf.upol.cz

³ Source : zoologie.upol.cz

2018, il accède au poste de chef de l'unité d'histoire naturelle au musée Vlastivedné. Depuis, il oriente ses travaux de recherche dans le domaine de l'ornithologie, il étudie ce sujet à travers l'écologie (oiseaux migrateurs), le changement climatique et la phénologie. Son statut d'enseignant lui permet de produire et de dispenser des cours qui abordent la mammalogie et l'ornithologie. De plus, tout au long de l'année universitaire, il est responsable de l'encadrement de certains étudiants en licence, master et doctorat dans leurs projets de thèse⁴.

1.2 Contexte du stage.

Elsa Daniaud (étudiantes en DEUST⁵ Guide Nature Multilingue à la cité scientifique de Lille) et moi avons été recrutés afin de participer au projet Evol-Cog, « Cognition dans un monde changeant : exploration du potentiel évolutif des capacités cognitives en populations naturelles », soutenu par l'Agence nationale de la recherche (ANR). Ce projet vise à étudier les capacités cognitives dans le contexte de la flexibilité comportementale et de l'adaptation des espèces aux changements environnementaux. Les connaissances actuelles sont encore limitées, notamment en ce qui concerne leur variation intra-espèce et leur évolution en réponse aux pressions de sélection dans les environnements changeants. De telles recherches pourraient apporter des informations essentielles à la compréhension de l'évolution des capacités cognitives face aux changements environnementaux induits par l'Homme. Pour cela, l'équipe a prévu de réaliser des tests de comportement et des comparaisons à grande échelle inter- et intra-populations afin de comprendre au mieux le potentiel évolutif de la capacité d'innovation chez la mésange charbonnière, *Parus major*, un passereau réputé pour son intelligence et largement répandu en Europe. Un second point d'étude du projet se concentre sur la compréhension des liens qu'il peut y avoir entre ces comportements et le succès reproducteur de l'espèce. Ce projet est porté par la coordinatrice Dr. Blandine Doligez, experte en biométrie et biologie évolutive, rattachée au Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) et à l'université Lyon 1, France. À ses côtés, nous pouvons citer Dr. Laure Cauchard, co-coordinatrice qui occupe un poste à l'institut ornithologique de Suisse⁶.

⁴ Source : peteradamik.wordpress.com

⁵ Def : diplôme d'études universitaires scientifiques et techniques

⁶ Source : anr.fr

Le projet Evol-Cog a débuté en 2019, et ce, pour une durée de 48 mois. Il peut compter sur cinq partenaires : LBBE BIOMETRIE ET BIOLOGIE EVOLUTIVE, BioSP Biostatistique et Processus Spatiaux, McGill University / Department of Biology, University of Aberdeen / School of Biological Sciences, Institute of Biological and Environmental Sciences, IPHC Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien – IPHC (UMR 7178). L'ANR a présenté une aide financière de 565 573 euros⁷. Pour réaliser ce projet, 24 équipes de recherche ont été réunies (Figure 1). Nous pouvons citer des études réalisées en Finlande, en Turquie, en Espagne, au Royaume-Uni, etc. L'objectif de notre intervention dans ce projet était d'effectuer des tests mesurant les capacités cognitives (l'innovation) et de recueillir les données de succès reproducteur d'une population de mésange charbonnière à Olomouc en République Tchèque. La réalisation d'une même manipulation sur un large échantillon permet d'obtenir des données sur des oiseaux vivants en milieu naturel, mais soumis à des conditions environnementales différentes. Les résultats collectés pourraient permettre de relier les variations des capacités cognitives et leurs conséquences évolutives à plusieurs caractéristiques environnementales comme la latitude, la longitude, l'altitude, le climat ou encore l'urbanisation, variables d'une population à une autre.



Figure 1 : Carte de l'Europe représentant la répartition des 24 sites d'études. Source : Laure Cauchard.

⁷ Source : anr.fr

1.3 Zone d'étude.

Nos recherches ont été menées dans une zone d'étude située République Tchèque à côté de la ville d'Olomouc, à cheval entre la région d'Olomoucky et la région de Moravskoslezsky (Figure 4). La population d'oiseaux était localisée dans le parc naturel de Sovinecko aux alentours de Dlouhá Loučka (49° 49' 12'' N – 17° 12' 36'' E). Notre site d'étude a été créé en 1973, Le site est géré par le département de zoologie et le laboratoire d'ornithologie de la faculté des sciences, Palacky University, à Olomouc, aujourd'hui sous la direction de Peter Adamik et Miroslav Kral. Il s'étend sur une superficie de 120 hectares. Cette zone d'étude regroupe environ 500 nichoirs et nous pouvons y observer différentes espèces d'oiseaux comme des : mésanges charbonnières (Figure 2), mésanges bleues (Figure 3), *Cyanistes caeruleus*, gobe-mouches à collier, *Ficedula albicollis*, sittelles torchepots, *Sitta europaea*, moineaux friquets, *Passer montanus*, mésanges noires, *Periparus ater*, mésanges nonnettes, *Poecile palustris*, et gobe-mouches pies, *Ficedula westermanni*. On y retrouve principalement des forêts à prédominance de feuillus avec des mélanges de conifères. De façon plus précise, on peut apercevoir des chênes, *Quercus*, hêtres, *Fagus*, charmes, *Carpinus*, tilleuls, *Tilia*, épicéas, *Picea*, et sapins, *Abies*. Les recherches menées annuellement sur ces oiseaux concernent essentiellement leurs reproductions et la prédation existante. Des données sont collectées concernant la date de ponte, la taille des couvées, la date d'éclosion, le nombre d'oiseaux éclos et le nombre d'oiseaux envolés⁸.



Figure 3 : Photo d'une mésange charbonnière. Source : lemagdesanimaux.ouest-france.fr.



Figure 2 : Photo d'une mésange bleue. Source : wiki.tripleperformance.fr

⁸ Source : nioo.knaw.nl

Carte de la localisation du site d'étude.

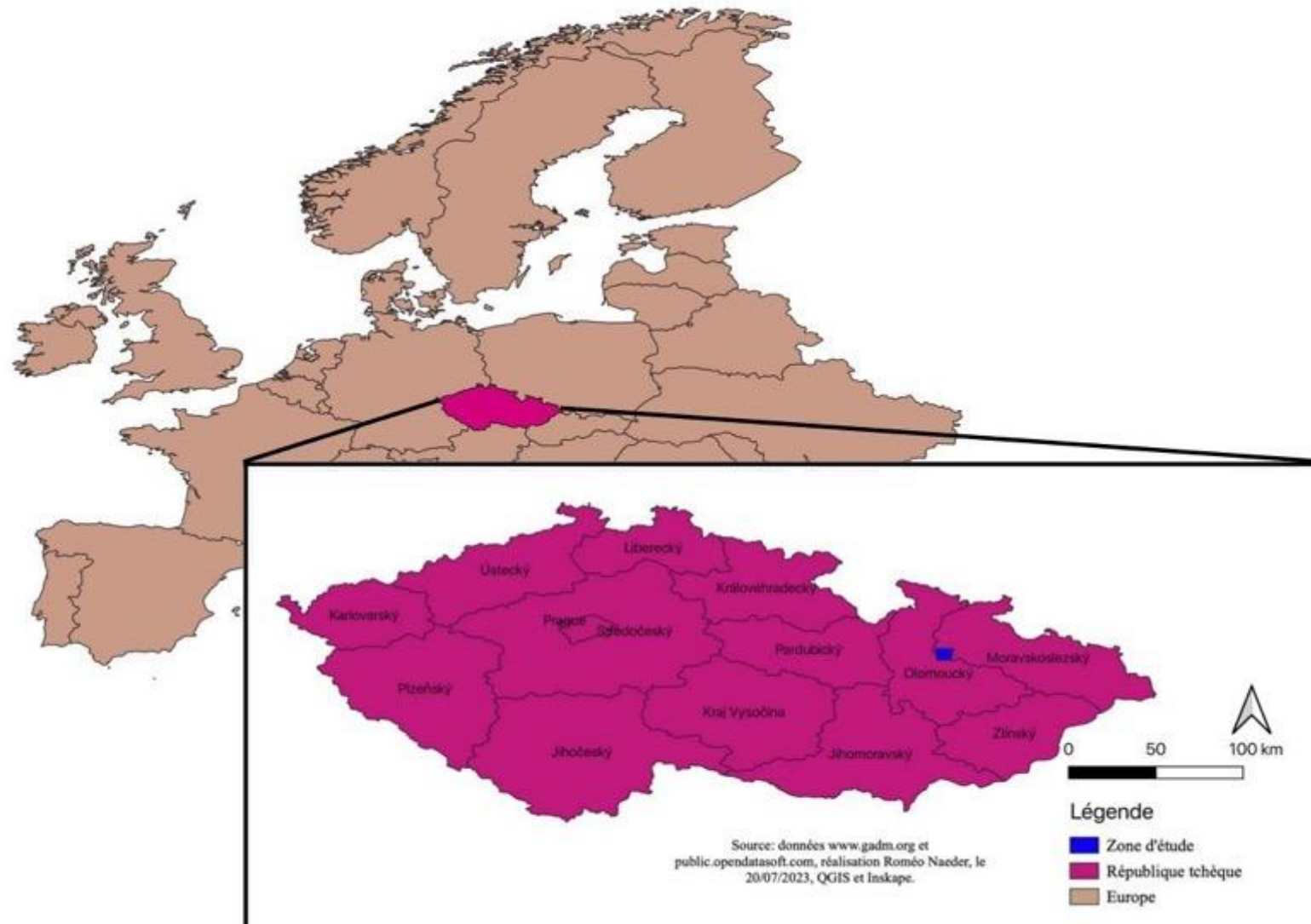


Figure 4 : Carte représentant la localisation du site d'étude en République Tchèque. Source : données www.gadm.org et public.opendatasoft.com, réalisation Roméo Naeder.

Carte présentant la couverture du sol de la zone d'étude.

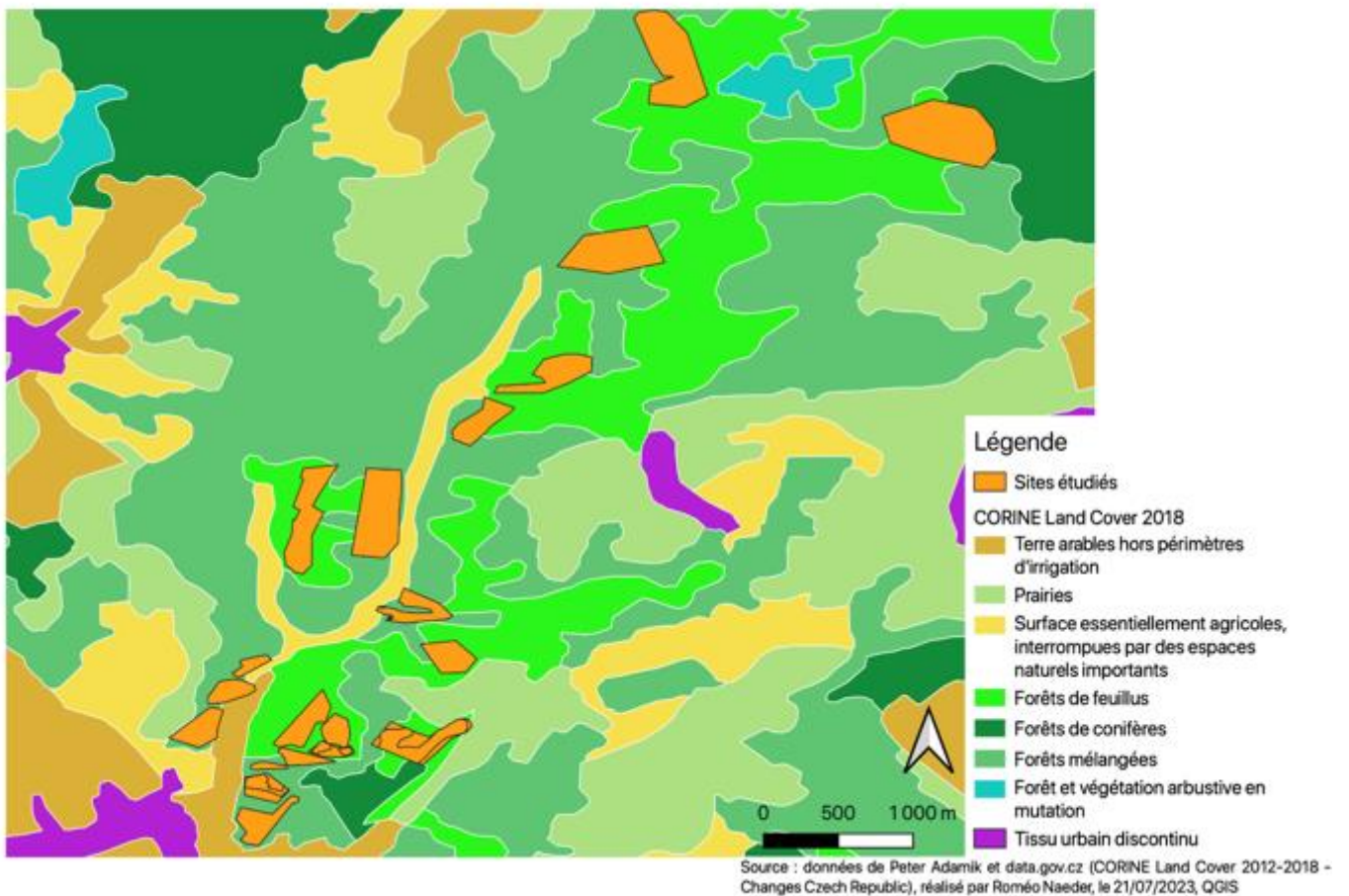


Figure 5 : Carte représentant la couverture végétale du sol de la zone d'étude. Source : données Adamik Peter et data.gov.cz (CORINE Land Cover 2012-2018 - Changes Czech Republic), Réalisation Roméo Naeder.

Il est important de noter que notre zone d'étude est installée sur une zone classée Natura 2000 et associée aux directives habitats et oiseaux (Figure 6). Le réseau Natura 2000 est un complexe européen de sites naturels destiné à protéger des espèces et des habitats remarquables tout en maintenant des activités socio-économiques. Il s'étend sur 18 % de la superficie terrestre de l'UE et plus de 8 % de son territoire marin en touchant 27 pays. Les zones mises en place dans le cadre de la Directive oiseaux sont des territoires désignés permettant d'assurer le bon état de conservation d'espèces d'oiseaux menacées, vulnérables ou rares⁹. Environ 500 espèces d'oiseaux sont domiciliées en Europe, et plus d'un tiers serait menacé ou en mauvais état de conservation. Cette directive vise à enrayer le déclin ou la disparition de ces dernières et ainsi permettre un rétablissement et une prospérité. Ce texte législatif environnemental, adopté par l'UE en 1979, est accompagné de consignes et de règles à faire appliquer par chaque État membre permettant de protéger toutes les espèces d'oiseaux sauvages et de protéger/restaurer

⁹ Source geoportail.gouv.fr

leurs habitats¹⁰. Adoptée en 1992, la Directive habitat vise à protéger les espèces et les types d'habitat inscrits dans le programme de la même façon que la Directive oiseau. Une petite partie de notre zone d'étude se trouve sur le géoparc Krajina břidlice (Figure 6). Ce géoparc est officialisé par UNESCO. Il est associé à une zone géographique qui abrite des sites et des paysages géologiques particuliers et importants¹¹. On peut retrouver à Krajina břidlice plusieurs carrières et mines d'ardoises, le stratovolcan Velký Roudný, une ancienne source de galène, et autres sites paléontologiques remarquables¹².

Carte des sites protégés associés à notre zone d'étude.

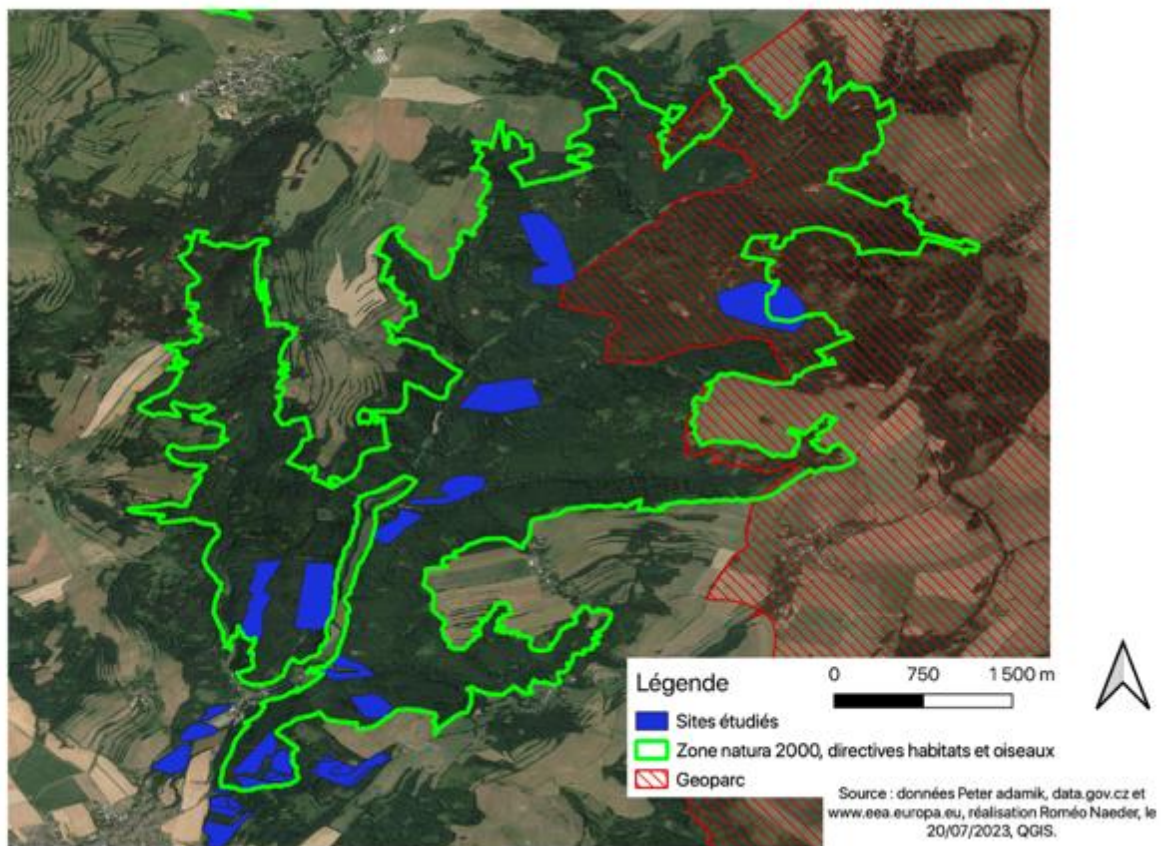


Figure 6 : Carte des sites protégés associés à notre zone d'étude. Source : données Adamik Peter, data.gov.cz et www.eea.europa.eu, réalisation Roméo Naeder.

Ce site présente des caractéristiques spécifiques qui ne se retrouvent pas dans les autres sites étudiés dans le cadre du projet Evol-Cog. Nous sommes en présence d'un environnement montagneux et forestier localisé en partie continentale à l'est de l'Europe. Ces caractéristiques

¹⁰ Source environment.ec.europa.eu

¹¹ Source fr.unesco.org

¹² Source www.krajinabredlice.cz

(longitude, latitude, altitude, environnement forestier protégé) vont pouvoir être comparés aux autres sites d'étude et ainsi être associés aux sujets de recherche (variations inter-individuelles des capacités cognitives et liens avec le succès reproducteurs).

1.4 Missions réalisées

Cette expérience professionnelle s'inscrit dans le cadre du projet Evol-cog. Nous avons ainsi réalisé des tests afin de mesurer les capacités cognitives des mésanges charbonnières et effectué des mesures de leur succès reproducteur. Elsa et moi avons également été sollicités pour participer à d'autres missions destinées à servir les recherches entreprises par Peter Adamik.

1.4.1 Le suivi de population :

L'objectif de cette tâche est de suivre l'évolution des espèces présentes sur la zone d'étude, afin de contrôler, par exemple, l'état de santé des individus, le déroulement de la reproduction. Suivant le sujet de recherche, elle peut être réalisée sur une courte période (Exemple : étude de la reproduction), ou sur une plus longue période (Exemple : observation de l'introduction d'une espèce dans un nouvel environnement). Cette mission nous a servi de base pour toutes les autres tâches et observations que nous avons réalisées durant notre stage. Le suivi de population nous a ainsi permis de savoir quand et où nous allions réaliser les tests et mesures rattachés au projet Evol-cog et aux recherches menées par P. Adamik, puisque les diverses expériences étaient réalisées à des périodes clés de la reproduction. Concrètement, nous nous sommes rendus pendant deux mois sur le site d'étude pour réaliser cette mission. Nous étions responsables d'une petite centaine de nichoirs répartis sur quatre sites (Figure 7). Nous devions plusieurs fois par semaine nous rendre sur les zones d'études afin de contrôler les nichoirs. Nous avions pour mission de noter tous les événements observables, construction de nids, date du premier œuf, nombre d'œufs pondus, état des œufs, espèce installée dans le nichoir, nombre d'oisillons, événement anormal (mort, prédation, maladie...) (Figure 8). Ces manipulations ont pour but de récolter des données globales sur l'évolution des espèces, leurs survies, leurs succès reproducteurs, à travers le temps. Ces observations permettent ainsi d'observer le déclin d'une espèce ou au contraire sa croissance et les facteurs observables qui y sont associés, changement climatique, urbanisation, risque naturel

Carte de la répartition des différents sites étudiés.

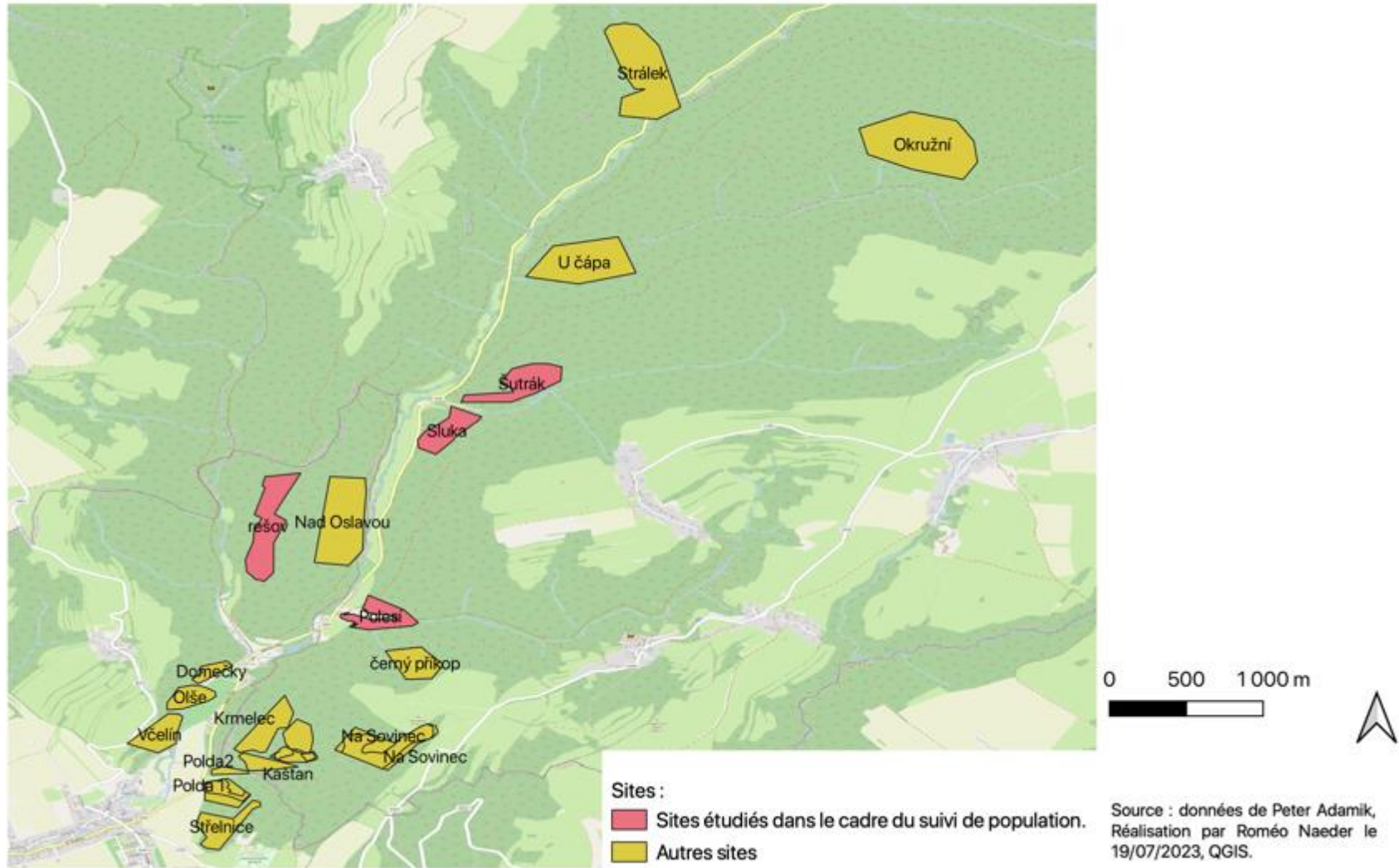


Figure 7 : Carte de la répartition des différents sites étudiés, en rouge sont représentés les sites étudiés dans le cadre du suivi de population. Source : données Adamik Peter, réalisation Roméo Naeder.



Figure 8 : Photo d'un loir, Gliridae, dans un nichoir, principal prédateur des oiseaux étudiés. Source Elsa Daniaud.

1.4.2 Missions sur des gobe-mouches à collier pour les recherches de P. Adamik.

Peter Adamik réalise des recherches en biologie spécialisées sur l'évolution des gobe-mouches à collier. Dans le cadre de ses travaux, nous avons été amenés à l'aider dans différentes manipulations. Pour cela, nous avons été formés à la capture d'oiseaux adultes (cette étape est réalisée à l'aide de trappe que nous plaçons dans le nid) et à diverses mesures morphologiques (non décrites dans ce rapport car elles ne faisaient pas partie de ma mission principale). Le but de ces missions est de pouvoir collecter des informations morphologiques et physiques sur les individus, poids, taille du tarse, de l'aile, des caractéristiques du plumage, et ainsi tirer des conclusions à partir des échantillonnages récoltés. En ornithologie, ces manipulations permettent d'évaluer la condition physique de l'individu à un instant T ou de suivre sa croissance et son évolution à plus long terme. Ainsi, notre tuteur a déjà pu obtenir des informations sur les habitats, la reproduction ou le cycle migratoire de cette espèce (Adamík & Bureš, 2007; Briedis et al., 2018).

Pour suivre un individu, le bagage de ce dernier est nécessaire afin de l'identifier. À l'échelle d'une population, nous pouvons ainsi observer les mouvements réalisés et évolution démographique. Pour les oiseaux migratoires, nous pouvons étudier leurs zones de nidifications

et d'hivernage. Cela a aussi un intérêt individuel, nous pouvons suivre l'évolution comportementale et physique d'un oiseau sur le long terme et dans son environnement naturel. La plupart des parents capturés étaient déjà bagués, il fallait alors relever son numéro afin d'associer les mesures réalisées à l'individu. Dans le cas où l'individu ne serait pas bagué, la manipulation était nécessaire. Pour cela, nous avons des bagues à notre disposition (différentes tailles sont disponibles et adaptées à chaque espèce) et une pince (pour serrer la bague). Nous avons aussi réalisé cette manipulation sur des oisillons.

1.4.3 Missions sur des mésanges charbonnières dans le cadre du projet Evol-cog.

La majorité des missions réalisées le long de mon stage répondait au programme Evol-cog, et concernait une population de mésanges charbonnières. La première tâche majeure était la réalisation de tests comportementaux mesurant les capacités cognitives (détaillée dans la partie méthode). Nous devions filmer durant une heure (cela deux jours de suite) la réaction des parents face à un problème posé à l'entrée du nid. Les oiseaux devaient essayer d'ouvrir une trappe en tirant sur une ficelle afin de pouvoir entrer dans leur nichoir dans lequel les oisillons attendent d'être nourris. L'objectif était de tester les aptitudes innovantes de ces individus durant la période d'approvisionnement de la nichée. Les tests sont réalisés entre le sixième jour et le dixième jour des oisillons (date définie par les observations du suivi de population) afin d'avoir un potentiel de résultat élevé de la part des parents, cette période correspondant au pic de nourrissage des poussins.

La seconde tâche concerne la mesure du succès de reproduction. Le succès reproducteur des parents peut être mesuré de différentes façons : taille de la nichée, condition physique des oisillons, nombre d'oiseaux à l'envol. Nous avons été missionnés de réaliser des mesures associées à la forme physique des oisillons.

Enfin, j'ai également personnellement pu participer à une dernière mission : le traitement des données, présentées dans ce devoir. J'ai pu analyser les vidéos des tests de cognitions à l'aide du logiciel Boris, et j'ai présenté les données collectées grâce au logiciel RStudio. Ces tâches sont expliquées en détail plus loin dans la partie méthode.

2 Cadre théorique

2.1 Un nouvel environnement, l'urbanisation.

Un nouvel environnement peut être défini comme étant un espace différent de l'environnement naturel et géographique de l'espèce (Sol et al., 2005). Lorsqu'un animal décide de coloniser ou est contraint de faire face à un tel site, il est amené à découvrir de nouvelles ressources, de nouveaux prédateurs, à s'adapter à de nouvelles contraintes physiques et sociales (Sol et al., 2005).

Aujourd'hui, l'urbanisation est la forme la plus rapide de transformation d'un environnement. La croissance démographique accentue ce phénomène (Newport et al., 2014). Elle convertit soudainement le paysage naturel en structures artificielles accompagnées d'un afflux d'humains qui confrontent la faune à d'innombrables nouvelles menaces (Griffin et al., 2017) ou nouveaux avantages (Sarkar & Bhadra, 2022). La perte des habitats naturels associée aux perturbations des activités humaines est le problème majeur concernant la conservation de la biodiversité (Lowry et al., 2013; Sarkar & Bhadra, 2022). Malgré cela, des études présentent des opportunités que peuvent apporter les zones urbaines. Il est proposé que ces environnements constituent des habitats plus stables sur tout le long de l'année en termes d'approvisionnement en nourriture, présentant dans certains cas une alimentation plus riche notamment en termes de plantes, de lipide et de glucide qu'un environnement rural (Griffin et al., 2017). Les conditions environnementales facilitent la survie de certaines espèces, les températures atmosphériques sont plus prévisibles et plus chaudes (jusqu'à 10° de plus que dans les zones rurales environnantes) (Griffin et al., 2017). Mais ces informations sont nuancées par d'autres scientifiques, qui expliquent que l'approvisionnement en nourriture est surabondant, distribué de manière imprévisible et responsable d'une grande concurrence (Griffin et al., 2017). On s'aperçoit que l'urbanisation peut se présenter de façon positive ou négative face à l'introduction d'une espèce (Sarkar & Bhadra, 2022). Certaines espèces sont bien adaptées à l'environnement urbain, mais deviennent dépendantes directement ou indirectement à l'humain pour se nourrir et s'abriter, certaines sont capables d'exploiter les humains à leur propre avantage (Sarkar & Bhadra, 2022).

Des chercheurs ont étudié l'adaptation (succès reproducteur, survie) de deux populations d'une même espèce présentes en milieu urbain et rural. Thornton Michael a comparé avec son équipe

deux populations d'Épervier d'Europe, *Accipiter nisus*. La première est installée dans une zone rurale et la seconde se trouve dans un environnement urbain en Écosse. Ces résultats montrent un taux du succès reproducteur plus important chez la seconde. Il explique cela principalement par une forte désertion des nids aux stades d'œuf et d'oisillon dans les populations rurales (Thornton et al., 2017). Un article traitant des mésanges bleues a étudié deux populations, l'une est issue d'une forêt de feuillus matures et l'autre d'un parc urbain en Pologne. Il est montré qu'il y a eu plus de naissances et un plus grand nombre d'oisillons à l'envol dans la population installée dans le milieu forestier. Il est suggéré que la disponibilité de la nourriture est l'un des principaux moteurs des différences dans le succès reproducteur des mésanges bleues entre les deux habitats étudiés (Gładalski et al., 2017). Cependant, l'environnement rural n'est pas toujours l'environnement le plus favorable. Clémentine Fritsch et son équipe ont décidé de s'intéresser à l'impact du plomb (Pb) sur une population de merle européen, *Turdus merula*. Le Pb est une substance fortement présente dans les zones urbaines. Les résultats montrent que le succès reproducteur des femelles avait diminué, mais que la durée de vie et les probabilités de survie des merles avaient augmentées avec la contamination au Pb (Fritsch et al., 2019). Une étude sur les rapaces, menée par Kettel Esther F., présente que le Faucon Pèlerin, *Falco peregrinus*, prédateur d'oiseaux, a montré une réponse positive à l'urbanisation et une performance de reproduction plus importante. Le faucon crécerelle, *Falco tinnunculus*, prédateur de petits mammifères, a présenté lui moins de jeune à l'envol dans le milieu urbain que dans son environnement naturel. Cet article met en évidence la disponibilité des proies comme l'un des paramètres les plus importants quant à la survie des rapaces (Kettel et al., 2018). Ces études nous montrent que la réponse des espèces confrontées à un milieu urbain n'est pas homogène. Certaines s'adaptent très mal et voient leurs espérances de vie diminuer, d'autres sont capables de coloniser et de prospérer dans ces nouveaux environnements créés par l'homme (Kettel et al., 2018).

La survie et plus globalement l'ajustement d'un individu face à un nouvel environnement réside dans l'adoption de nouveaux comportements répondant aux nouvelles caractéristiques de ce milieu (Sol et al., 2005). Les individus qui peuvent ajuster leurs comportements aux nouvelles pressions de sélection présentées par les villes devraient avoir plus de succès dans les habitats urbains (Lowry et al., 2013). Naturellement, les espèces qui sont abondantes dans les zones urbaines devraient être caractérisées par des traits comportementaux et physiologiques qui

augmentent leurs capacités à survivre et à se reproduire dans de tels environnements (Audet et al., 2016).

2.2 La cognition

Aujourd'hui, l'urbanisation et le changement climatique entraînent de grands changements dans les habitats naturels d'espèces animales. L'étude de leurs réponses et de leurs comportements manifestés face à ces changements est nécessaire pour appréhender leurs survies. La cognition se définit au sens large comme « l'ensemble des processus sensoriels, neurologiques, de mémoire et de décision utilisée par les individus lorsqu'ils interagissent avec leur environnement » (Shettleworth, 2010). Le terme est expliqué dans l'article de Julie Morand-Ferron comme étant le processus par lequel les animaux collectent, retiennent et utilisent les informations de leur environnement pour guider leur comportement (Shettleworth, 2010). L'étude de ces comportements est importante, car elle peut nous permettre de comprendre comment un animal interagit avec son environnement, se déplace, accède et gère ces ressources (Cole et al., 2011). En particulier, la flexibilité comportementale, définie comme le contrôle comportemental d'un animal visant à répondre directement et à ajuster son comportement aux stimuli environnementaux (Coppens et al., 2010), pourrait permettre à un individu de s'ajuster à des nouvelles conditions, comme de la prédation, un nouvel habitat avec de nouvelles ressources et au maintien de ses relations sociales (Cole et al., 2011). La cognition est observable dans plusieurs comportements qu'adopte un individu. L'apprentissage, défini comme « l'acquisition d'une représentation neuronale de nouvelles informations », permet aux animaux de mieux exploiter les caractéristiques environnementales propres à certains moments et à certains endroits (Dukas, 2013). Cela peut par exemple aider un individu à accéder à la configuration spatiale de son environnement (Morand-Ferron et al., 2016). La mémoire spatiale permet à l'individu de stocker des informations de position sur des objets importants, comme la nourriture, les partenaires et les prédateurs (Morand-Ferron et al., 2016).

Les aptitudes cognitives sont propres à chacun, un individu aura une flexibilité comportementale différente de son voisin. Plusieurs facteurs pourraient être à l'origine de ces différences et définiraient ainsi les aptitudes cognitives d'un animal. Certains prouvent qu'elles sont déterminées par les caractéristiques du système neuronal et particulièrement la taille du cerveau (relative avec la masse corporelle de l'individu) (Sol et al., 2005). Plusieurs facteurs

peuvent affecter les aptitudes cognitives d'un individu, chaque espèce possède des biais perceptifs et moteurs différents. Par exemple, la vision des couleurs peut être différente, biologiquement ou à cause d'une maladie, cette dissimilitude va entraîner une nouvelle perception de l'environnement pouvant impacter les performances cognitives de l'individu (Morand-Ferron et al., 2016).

L'article de Laure Cauchard suppose que la motivation d'un individu peut diriger son comportement cognitif (Cauchard et al., 2013). La personnalité d'un animal est un facteur qui peut aussi engendrer des différences dans la performance cognitive (Morand-Ferron et al., 2016). D'autres facteurs environnementaux peuvent être liés aux performances cognitives. Les études de Kathryn E Arnold et de Julie Morand-Ferron montrent que la source de nourriture peut influencer et déterminer les performances cognitives (Arnold et al., 2007; Morand-Ferron et al., 2016). Ella F. Cole explique que les liens sociaux peuvent être déterminants, les subordonnées ont souvent des performances cognitives plus élevées. Ce même article montre que la disponibilité en nourriture d'un habitat peut influencer les aptitudes d'un individu. Un individu qui vit dans un environnement dans lequel la nourriture est rare présente une plus grande flexibilité qu'un individu vivant où la nourriture est abondante (Cole et al., 2011). Il faut donc faire attention lorsque l'on étudie les traits cognitifs à tous ces différents paramètres pouvant aiguiller notre sujet d'étude (Morand-Ferron et al., 2016).

Chez une population de guêpes parasitoïdes, *Biosteres arisanus*, les capacités cognitives d'apprentissage et d'expérience ont été mises en évidence et associées au succès reproducteur de ces dernières (Dukas, 2013). L'apprentissage est vu comme un facteur pouvant amener à l'évolution d'une espèce, notamment en améliorant sa robustesse, son innovation et son taux de spéciation (Dukas, 2013).

2.3 L'innovation

La capacité d'adopter un comportement innovant, défini comme l'utilisation de comportements nouveaux ou l'adaptation avec souplesse de comportements établis (Cauchard et al., 2017), permettrait aux individus de traiter et d'utiliser les sources d'information de manière optimale (Morinay et al., 2020). L'article de Daniel Sol montre que l'innovation a des effets sur la survie et la forme physique d'un individu. Il lie cela à la réponse d'un animal face à un nouveau

prédateur, à trouver de nouvelles ressources de nourriture et au comportement reproducteur (Sol et al., 2005). L'innovation peut influencer la condition physique d'un individu de différentes façons. En exploitant une nouvelle source de nourriture, il pourra sans aucun doute optimiser sa survie et augmenter son succès reproducteur (Cauchard et al., 2017). Dans des environnements spatio-temporels variables, les individus en période de reproduction doivent utiliser l'information afin de prendre des décisions concernant le lieu et le moment de reproduction. L'innovation associée à l'apprentissage et à la mémoire permettrait aux individus de traiter et d'utiliser au mieux ces sources d'information (Morinay et al., 2020).

L'innovation peut avoir qu'un faible impact sur l'évolution s'il disparaît avec l'individu, mais dans les populations adoptant l'apprentissage social, elle peut perdurer et aider à l'évolution de l'espèce de manière durable (Dukas, 2013). Par exemple, l'évolution du rat noir, *rattus rattus*, lui a permis d'adopter un nouvel habitat en Israël. En 1948, il y a eu une massive reforestation de pin, *pinus halepensis*, et les rats ont réussi à s'adapter aux nouvelles conditions que cela impliquait, nouvelles sources de nourritures (ouverture de pommes de pin). Ils ont dû faire preuve d'innovation par apprentissage et grâce à l'apprentissage social, ils ont adopté ce nouveau comportement et ont ouvert un nouvel habitat à exploiter pour les descendants (Dukas, 2013). L'innovation est un comportement nécessaire aux individus voulant faire face à un environnement nouveau ou changeant (changement climatique, urbanisation...) (Cauchard et al., 2017). Des études ont montré que des mammifères, des amphibiens et des reptiles qui peuvent adapter leur comportement à des situations nouvelles, comme le fait un individu innovant, sont plus à même de survivre et de se reproduire dans un nouvel environnement par rapport à des espèces qui ne présentent pas cette même flexibilité (Lefebvre et al., 2013). L'étude des comportements cognitifs et des aptitudes innovantes d'une espèce peut nous aider pour appréhender sa survie et son succès reproducteur face à l'urbanisation (Sarkar & Bhadra, 2022).

2.4 Urbanisation et le comportement cognitif

Les interactions entre les comportements cognitifs des animaux et l'urbanisation suscitent un intérêt croissant dans la littérature scientifique depuis quelques années. Nous présentons dans cette section une synthèse issue de recherches bibliographiques qui explorent le lien potentiel entre les comportements cognitifs, en particulier l'innovation, face à l'urbanisation. Les études scientifiques s'accordent généralement sur le fait que les animaux vivant dans des zones fortement perturbées par l'activité humaine doivent faire face à de nouveaux défis (Barrett et al., 2019). Ainsi, les animaux doivent adapter leurs réactions aux nouveaux obstacles, notamment grâce à la flexibilité cognitive (Barrett et al., 2019). Selon Griffin et son équipe, trois catégories de comportements au sein d'une espèce sont essentielles pour adopter de nouvelles opportunités écologiques (adaptation dans un nouvel environnement). Cela concerne (1) l'équilibre entre attraction et évitement face à la nouveauté (néophilie et néophobie), (2) l'aptitude à inventer de nouveaux comportements, à utiliser des comportements préexistants dans des nouvelles circonstances (capacité d'innovation) (Biondi et al., 2022), (3) l'apprentissage (Griffin et al., 2017).

L'utilité du comportement innovant face à l'urbanisation est surtout observée lors des premières phases d'introduction d'une espèce, lorsque les environnements sont nouveaux. Cette capacité cognitive est aussi largement associée à la recherche de nourriture, notamment dans le contexte de conditions climatiques difficiles et de pénurie de nourriture. Des chercheurs ont observé que pour une même espèce, une population vivant dans des hautes latitudes présentait plus facilement ce dernier comportement. Au sein d'une même population, ce comportement a tendance à être plus observé en hiver qu'en été. De façon générale, la complexité environnementale (définie comme le nombre de stimuli distincts qu'un individu rencontre au cours de sa vie) favorise l'évolution de l'apprentissage (Mettke-Hofmann, 2014). Cependant, les recherches écologiques actuelles en ornithologie suggèrent que les environnements urbains sont moins difficiles en termes de climat et d'abondance de nourriture, ce qui réduit le besoin d'innovations en matière de recherche de nourriture chez les oiseaux urbains établis (Griffin et al., 2017). Cependant, des études menées à Berlin rapportent que les espèces plus urbanisées ont tendance à avoir des taux d'innovation élevés (Ducatez et al., 2017). Néanmoins, aucune étude ne montre de schéma clair de l'urbanisation d'une espèce associé à sa flexibilité comportementale, telle que l'innovation et l'apprentissage (Griffin et al., 2017). L'article de

Simon Ducatez, Joanne Clavel et Louis Lefebvre évoque que la vie en milieu urbain pourrait être améliorée par des capacités cognitives et qu'inversement, la vie urbaine pourrait favoriser l'évolution des capacités cognitives. D'autres résultats expliquent la survie d'une espèce par la chance ou l'opportunisme qu'elle peut développer (Ducatez et al., 2017). Laura Marina Biondi et son équipe expliquent que l'environnement urbain module la réponse d'un animal à la nouveauté en modifiant son comportement cognitif et d'autres traits comportementaux non-cognitifs, agissant en corrélations pour augmenter les chances de résoudre rapidement les nouveaux problèmes (Biondi et al., 2022).

De façon générale, les études soulignent les avantages que les capacités cognitives apportent en contexte urbain. Elles permettent à un animal de s'adapter efficacement en utilisant les réponses et les stratégies existantes à la variation d'un environnement, sans être contraint par un comportement instinctif et fixe (Sarkar & Bhadra, 2022). Un exemple classique illustre l'utilisation de comportements innovants et exploratoires chez des mésanges charbonnières et bleues au Royaume-Uni, qui ont adopté des bouteilles de lait comme source de nourriture en trouvant le moyen d'ouvrir les bouchons en cire des bouteilles pour accéder au lait à l'intérieur (Sarkar & Bhadra, 2022). Un autre exemple concerne des corbeaux, *Corvus corax*, pour lesquels des études montrent qu'ils ont appris à utiliser les voitures comme casse-noix. Il a été observé qu'ils plaçaient les noix aux endroits où les voitures étaient les plus susceptibles de les écraser ou devant des voitures arrêtées (Sarkar & Bhadra, 2022). Jusqu'à présent, l'innovation et plus généralement les aptitudes cognitives ont seulement été liées à des comportements positifs adoptés par les animaux, tels que la recherche de nourriture, le succès de reproduction et l'adoption de nouveaux habitats. Cependant, dans le contexte urbain, le comportement innovant d'un individu peut être associé au développement de sa néophilie et à la manifestation de mouvements dits « risqués » (Griffin et al., 2017). L'utilisation de tels comportements peut être dangereuse et pousser un individu dans des situations périlleuses. Certains articles mettent en lien les capacités cognitives et l'aptitude d'une espèce à devenir envahissante et nuisible (Barrett et al., 2019). Ces phénomènes donnent naissance à des conflits entre la société et la faune.

Le projet Evol-cog a pour objectif de comprendre comment le comportement cognitif des mésanges charbonnières est modulé par l'urbanisation et en quoi l'innovation peut les aider à

s'adapter à ce nouvel environnement. C'est grâce aux données relevées, puis comparées, récoltées sur les 24 zones d'études que l'équipe du programme pourra produire des conclusions.

2.5 Objectifs et hypothèses.

Dans ce devoir nous souhaitons comprendre comment est influencé le comportement cognitif et en quoi l'innovation d'un individu peut-elle l'aider dans son succès reproducteur et dans sa survie face à l'urbanisation. Pour obtenir des réponses à ce sujet, nous avons dans un premier temps réalisé des tests de cognition mesurant les aptitudes innovatrices d'une population de mésange charbonnière. Ensuite, des données ont été récoltées afin d'évaluer le succès de reproduction des oiseaux testés (taille de couvée, nombre d'œufs éclos, nombre à l'envol et condition physique des oisillons). Nous allons essayer de déterminer comment le comportement cognitif est dirigé. Pour cela, nous évaluerons la motivation des individus grâce aux piailllements des oisillons. Les données collectées nous permettront de savoir si les individus ayant montré un comportement innovant lors du test ont eu un succès reproducteur plus important que les individus n'ayant pas montré de telles capacités.

Laure Cauchard et son équipe ont conclu que la motivation d'un individu n'avait pas d'impacts sur les aptitudes de cognition et de résolution de problème d'un individu (Cauchard et al., 2017). Ici, nous émettons l'hypothèse qu'un lien peut être mis en avant en fonction du stimulus étudié. Pour cela, nous allons essayer de savoir si la motivation dirigée par les piailllements des oisillons peut avoir un lien avec performances de résolution de problème des oiseaux. Si notre hypothèse est vraie, les nichoirs présentant le plus de sollicitation des oisillons seront associés aux parents ayant les meilleures capacités de résolution de problème. Si les résultats ne sont pas significatifs, cela voudra dire que les piailllements des oisillons ne sont pas forcément une sources de motivation pour les parents ou que cette motivation n'impacte pas les capacités cognitives de l'individu dans le cadre de l'approvisionnement en nourriture.

Pour évaluer le succès reproducteur des parents, nous allons, dans un premier temps, étudier la période de reproduction des individus à travers les dates d'éclosion des nichées. Nous émettons l'hypothèse que la période de reproduction des parents innovants est une précise que celles des autres parents, correspondant à la période optimale pour la survie et l'approvisionnement des poussins. Dans le passé, des études ont montré que les aptitudes cognitives d'un animal et ses

capacités innovatrices pouvaient être déterminantes dans sa recherche de nourriture et de nouvelles sources de nourriture (Morand-Ferron et al., 2016). Comme notre étude est réalisée durant la période d’approvisionnement des oisillons, nous pouvons supposer que les individus qui réussissent à résoudre le problème, et qui présentent de meilleures aptitudes à l’innovation, arriveront à collecter plus de nourriture. Les oisillons présenteront alors des indices de masse plus importants que les oisillons des portées où les parents n’ont pas résolu le problème. De la même façon, les parents innovants devraient présenter un indice d’envol et d’éclosion de leurs oisillons plus importants, en supposant que l’innovation permet aux adultes d’adopter des comportements favorisant la survie des petits.

Aucune manipulation, qui aborde le sujet de la cognition en milieu urbain, n’a pu être réalisée dans le cadre de ces recherches. Les mesures portant sur ce dernier ont été réalisées par d’autres groupes du projet Evol-cog. Une synthèse concernant les liens entre le comportement innovant d’un individu et sa capacité à s’adapter à un milieu urbain a été réalisée précédemment. Des conclusions sont tirées et des hypothèses sont faites en dernière partie de ce rapport. L’équipe du programme Evol-cog a pour objectif de comprendre comment le comportement cognitif des mésanges charbonnières est modulé par l’urbanisation et en quoi l’innovation peut les aider à s’adapter à ce nouvel environnement. C’est grâce aux données relevées puis comparées, récoltées sur les 24 zones d’études, que l’équipe du projet pourra produire des conclusions.

3 Méthodes :

3.1 Choix des manipulations et du sujet d'étude.

Dans le cadre de ce mémoire, plusieurs manipulations et recherches ont été mises en place afin d'approfondir le sujet. Les étapes méthodologiques décrites par la suite se consacrent à l'analyse de deux choses. L'examen des facteurs pouvant influencer la cognition et des liens entre le succès reproducteur et les capacités innovantes associées, en employant des tests, des manipulations et des mesures. Les résultats ont pu être présentés et achevés grâce à une analyse des données recueillies.

L'ensemble des expérimentations visant à examiner les comportements cognitifs et leur relation avec le succès reproducteur a été mené au sein d'une population reproductrice de mésanges charbonnières, localisée près de Dlouha Loucka en République Tchèque, pendant la période de mai à juin 2023. Les mésanges charbonnières, petits passereaux dotés de comportements sociaux monogames, ont été choisies comme espèce d'étude. Leur capacité à se reproduire intentionnellement dans des nichoirs facilite grandement leur observation (Cauchard et al., 2017). Cet oiseau est connu pour être innovant, il l'a déjà montré en utilisant de nouvelles sources de nourriture dans des environnements urbains et de façon générale, en possédant un large régime alimentaire (Cauchard et al., 2013). Cette espèce se déploie dans divers environnements, qu'ils soient urbains, ruraux ou forestiers, offrant ainsi un vaste champ de recherche. De plus, les oiseaux représentent le groupe taxonomique le plus étudié en contexte urbain (Griffin et al., 2017). Le choix de cette espèce s'avère optimal pour la portée du présent travail de recherche.

Le principe de test de résolution de problèmes a déjà été pratiqué pour mesurer la capacité innovante des mésanges charbonnières. La pratique de tests dirigés par l'approvisionnement en nourriture est une technique assez répandue, mais des observations d'abandons de nid à cause de la perturbation humaine ont déjà été observées (Cauchard et al., 2017). Ici, nous avons décidé de tester l'innovation des oiseaux pendant la période d'approvisionnement de la nichée. La mesure des comportements cognitifs et du succès reproducteur durant cette période est d'autant plus intéressante que la survie des jeunes est fortement associée à leur croissance et à leur masse corporelle au moment de l'envol. Ces paramètres dépendent principalement de l'approvisionnement des parents (Cauchard et al., 2013).

3.2 Test cognitif :

3.2.1 Identification des nichoirs à tester :

Dans le cadre de la réalisation des tests de cognition, un protocole détaillé a été mis en place (Annexe 1). La première étape consiste à identifier les nids à tester, en lien direct avec le suivi de population que nous avons entrepris depuis le début de la saison de reproduction. Les tests se déroulent sur deux jours consécutifs, avec deux sessions d'une heure chacune (peut être séparée d'un jour en cas de conditions météorologiques défavorables). Le premier test cible des poussins âgés de 6 jours, avec des variations possibles entre 6 et 10 jours dans certains cas. Cette plage d'âge permet de se situer au pic d'approvisionnement en nourriture des poussins et assure la participation des parents. Cependant, il est recommandé de ne pas réaliser ces tests sur les premiers couples reproducteurs et les pontes trop tardives de la saison, afin de ne pas ajouter de stress aux parents et d'éviter toute désertion.

3.2.2 Organisation d'une journée de test :

Après avoir identifié les nids à tester (Figure 9) et déterminé les dates des tests, la fenêtre temporelle pour les manipulations est relativement courte. Organiser efficacement notre emploi du temps est essentiel pour tester tous les oiseaux. Environ 40 nichoirs doivent être testés en l'espace de 15 jours. Les tests doivent être réalisés idéalement le matin, entre 6 heures et 14 heures, c'est la période où les parents sont les plus actifs pour l'approvisionnement du nid. Étant équipé de deux caméras, il est possible de mener simultanément deux tests. Nous avons produit un calendrier journalier qui nous a permis de coordonner les tests (Annexe 2).

Carte de la répartition des nichoirs testés dans le cadre du projet Evol-Cog.

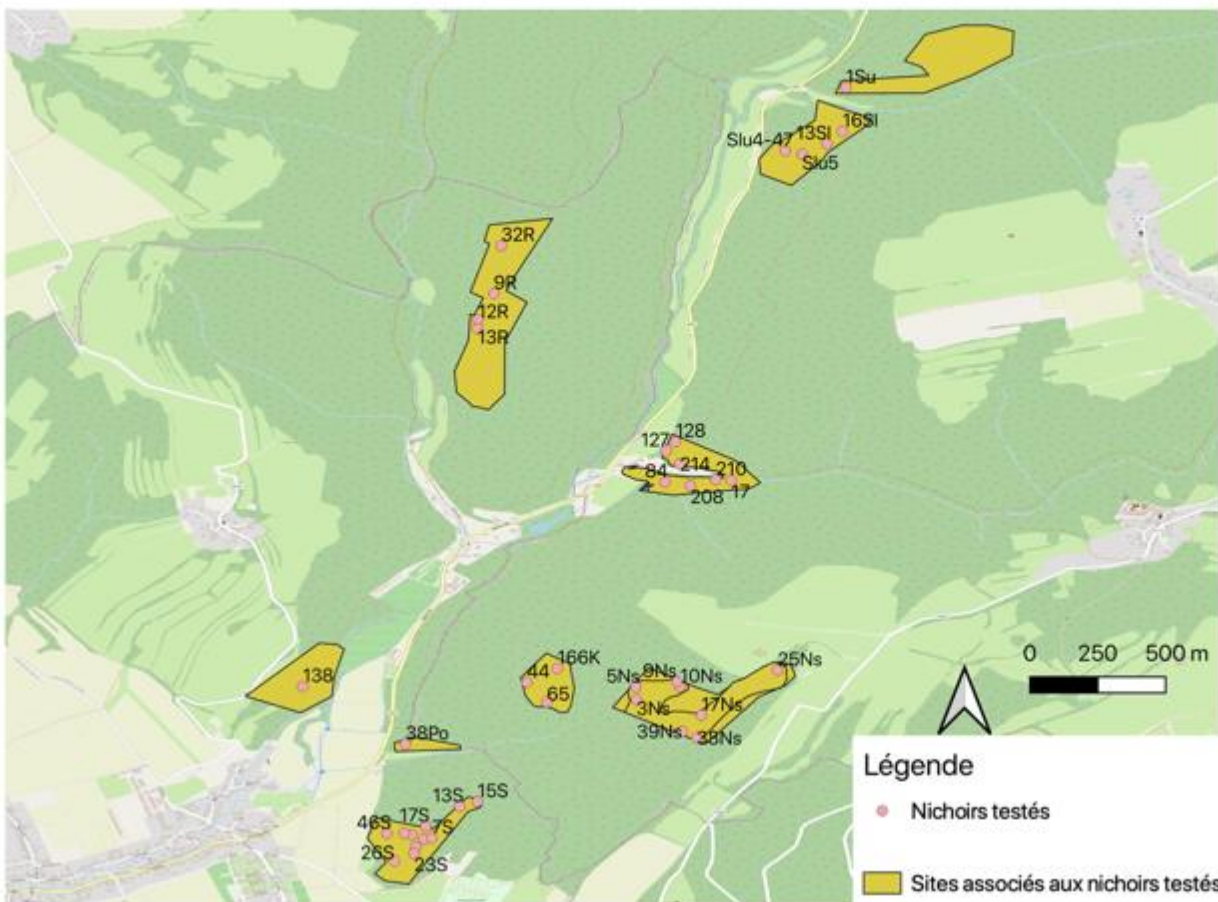


Figure 9 : Carte de la répartition des nichoirs testés dans le cadre du projet Evol-Cog et du mémoire. Source : données Adamik Peter, réalisation Roméo Naeder

3.2.3 Mise en place du test de résolution de problème

L'étape préliminaire pour chaque test implique l'analyse minutieuse du nid. Si un adulte est présent, nous attendons qu'il s'en aille avant de procéder au test. Si l'oiseau ne quitte pas le nid de lui-même, il est préférable de refermer le nid et de revenir ultérieurement pour éviter de stresser l'oiseau. Ensuite, si les poussins présentent une mauvaise condition (par exemple, infesté de parasites), le test doit être annulé. Un dernier paramètre crucial à évaluer est le nombre de poussins et leur niveau de satiété. Les niveaux vont de 0 (nichée endormie) à 3 (tous les poussins quémangent fortement). Si le niveau est de 3, il est risqué de réaliser un test, car

les poussins déjà affamés pourraient être privés de nourriture pendant une heure, nécessitant ainsi un report du test.

Une fois les conditions favorables réunies, nous procédons à la mise en place de la tâche de résolution de problème (Figure 10). Cela implique de fixer solidement le dispositif sur la face du nid à l'aide de ruban adhésif double-face, en alignant l'ouverture de la trappe avec l'entrée du nid pour permettre une entrée aisée des oiseaux une fois la porte ouverte. Il est primordial de s'assurer que le nid ne penche pas en avant, car cela pourrait entraîner la fausse ouverture de la porte. Ensuite, nous attachons solidement la ficelle, vérifiant que le mécanisme s'ouvre et se referme aisément.



Figure 10 : Photo de la mise en place de la tâche de résolution de problème.

Une fois la trappe en place, nous installons le matériel d'enregistrement vidéo. Cela nécessite un trépied, une caméra et un filet de camouflage. L'installation est positionnée face au nid, à une distance d'environ 5 à 8 mètres pour éviter de perturber les oiseaux. Après avoir effectué les ajustements nécessaires pour garantir un enregistrement optimal (éviter les branches, les feuilles ou le contre-jour), nous calibrons la caméra sur le nid (Figure 11). L'enregistrement débute avec l'annonce de la date, de l'heure, de l'identité du nid et du type de test (jour 1 ou jour 2). Ces informations sont essentielles pour le traitement ultérieur des vidéos. Après

l'enregistrement, nous récupérons le matériel et notons le niveau de satiété des poussins (cette mesure va nous servir à évaluer si la motivation des parents à résoudre le problème peut être dirigée par les piaillements de la nichée). Les données sont ensuite retranscrites dans un tableau Excel et les vidéos sont sauvegardées sur un disque dur externe.



Figure 11 : Photo de l'installation du matériel d'enregistrement.

3.3 Analyse vidéo :

Une fois que toutes les vidéos des tests cognitifs ont été réalisées, nous avons commencé à analyser et à extraire les données et les résultats. Les deux tests réalisés par nichoir seront analysés en même temps, et cela sera considéré comme une seule et même étude. Pour ce faire, nous avons utilisé le logiciel BORIS (Behavioural Observation Research Interactive Software) qui est utilisé pour l'enregistrement d'événement, le codage vidéo/audio et les observations en direct. Concrètement, cet outil nous permet de traduire tous les comportements et mouvements observés sur la vidéo (mouvements de l'oiseau sur le nichoir, temps d'observation de la tâche,

succès à la résolution du problème...) en des données analysables qui peuvent être présentées sous forme de tableaux et par la suite de graphiques. Pour cela, le logiciel doit être programmé en adéquation avec notre observation. Ainsi, nous entrons un éthogramme (Figure 12) dans le logiciel, ce qui va nous permettre d'associer tous les comportements que nous souhaitons traiter à un raccourci clavier. Cela permet de traduire les mouvements réalisés par les oiseaux durant la vidéo en données écrites.

Ethogramme			
Raccourci Clavier	Code	Description	Type
S	Démarrer l'enregistrement (Test 1)	Début de l'enregistrement du test 1, attendre que l'observateur soit parti.	Évènement ponctuel
M	Début du Test 2	Fin du test 1 et début de la vidéo du test 2, correspond au milieu de l'analyse.	Évènement ponctuel
E	Fin de l'enregistrement (Test 2)	Fin de l'enregistrement, le test 2 est terminé.	Évènement ponctuel
d	Porte coincée ouverte et arrêt de l'enregistrement	Dans certains cas la porte de la tache reste ouverte (problème mécanique, la ficelle est coincé...), l'expérience testant les capacité est endommagé, il est alors compliqué d'interpréter la résolution de problème de l'oiseau.	Évènement ponctuel
g	Tâche	L'oiseau interagit et touche la tâche.	Évènement d'état
h	Ficelle	L'oiseau interagit et touche la ficelle.	Évènement ponctuel
j	Bec	Parfois, l'oiseau ouvre la porte avec son bec, il ne s'agit alors pas du même processus cognitif car il fait pas d'association entre la ficelle et l'ouverture de la porte.	Évènement ponctuel
o	Toit	L'oiseau se tient debout ou marche sur le toit de du nichoir. (figure)	Évènement d'état
r	Coin droit	L'oiseau est perché dans le coin droit du nichoir.	Évènement d'état
I	Coin gauche	L'oiseau est perché sur le coin gauche du nichoir.	Évènement d'état
R	Côté droit	L'oiseau est perché sur le côté droit du nichoir.	Évènement d'état
L	Côté gauche	L'oiseau est perché sur le coté gauche du nichoir.	Évènement d'état
F	Face avant	L'oiseau est perché sur la face avant du nichoir.	Évènement d'état
e	Entrée et sortie	L'oiseau entre et sort de la boîte, il a alors résolu le problème proposé.	Évènement d'état
A	Fausse entrée et sortie	Dans certains cas l'oiseau peut arriver à entrer dans le nichoir sans avoir à résoudre le problème, si la porte est bloquée en position ouverte. Si l'oiseau ouvre la porte avec le bec cela est aussi une fausse entrée.	Évènement d'état
U	Observation insolite	Observation inhabituelle telle que la venue d'une prédateur dans la boite, ou un problème avec le matériel ...	Évènement ponctuel

Figure 12 : Tableau décrivant l'éthogramme utilisé.

La plupart des observations analysées dans les vidéos doivent être associées à un sujet. Pour ce faire, nous identifions les individus potentiels pouvant réaliser des actions (tableau 2). Ces individus, tout comme les actions précédentes, sont reliés à des raccourcis clavier dans le but de faciliter l'encodage.

Une fois cette procédure terminée, nous disposons d'un tableau pour chaque test et chaque nichoir, qui est analysable et qui résume toutes les activités que les parents ont entreprises et leur succès au test.

Sujets potentiels		
Raccourcie clavier	sujet	description
m	Mâle	Mâle adulte associé au nid présent dans le nichoir.
f	Femelle	Femelle adulte associée au nid présent dans le nichoir.
a	ID 1	Individu 1. Il est parfois difficile de différencier le mâle et la femelle chez les mésanges charbonnières.
b	ID 2	Individu 2.
x	Troisième mésange non identifiée	Présence d'une troisième mésange adulte ne faisant manifestement pas partie de la famille associée au nid étudié.
z	Troisième oiseau d'une autre espèce.	Présence d'un oiseau autre qu'une mésange charbonnière, (exemple: gobemouche à collier, mésange bleue) qui visite le nichoir.

Figure 13 : Tableau qui répertorie les individus pouvant intervenir dans les tests.

3.4 Mesure du succès reproducteur :

L'évaluation du succès reproducteur peut être abordée et quantifiée selon différentes perspectives. Dans le cadre de notre étude, nous avons choisi pour une approche qui englobe plusieurs paramètres. Nous avons décidé de mesurer le nombre d'œufs présents dans la couvée, le nombre d'œufs éclos, la condition physique des oisillons au douzième jour et le nombre d'oiseaux prenant leur envol. Certaines de ces mesures ont pu être obtenues grâce au suivi de population que nous avons mis en place pendant la période de reproduction.

Pour les mesures de la condition physique (poids et la taille du tarse), nous avons organisé la manipulation en fonction de la date d'éclosion des œufs. Une fois les dates établies, nous avons planifié la réalisation des mesures (Annexe 3). La procédure commence par la capture délicate

des oisillons, que nous plaçons dans des sacs pour minimiser les perturbations. Ensuite, nous avons réalisé des mesures individuelles du poids à l'aide d'une balance précise et d'un sac, ainsi que des mesures du tarse à l'aide d'un équipement spécifique (Figure 14 ; Figure 15). Toutes ces données sont consignées dans des tableaux (Annexe 4 ; Annexe 5).



Figure 14 : Photo de la mesure du poids d'un oisillon.



Figure 15 : photo de la mesure du tarse d'un oisillons.

3.5 Présentation des résultats :

La présentation des résultats s'est faite à partir des tableaux dressés préalablement. Nous avons ainsi élaboré des graphiques (qui seront présentés et exposés dans la section des résultats) dans le but de comprendre comment la cognition peut être dirigée et influencée, ainsi que pour établir les liens entre les aptitudes innovantes des parents et leur succès reproducteur.

Ces graphiques et analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel Rstudio. Ce dernier, basé sur un langage de programmation, permet d'effectuer des analyses statistiques et de traiter des données. Pour ce travail, nous avons décidé de présenter cinq graphiques distincts. Les scripts utilisés pour les générer sont fournis en Annexe 6 et Annexe 7.

4 Résultats

4.1 Examen des facteurs pouvant influencer la cognition :

Dans le but de mieux comprendre les mécanismes de la cognition animale, nous avons conduit des tests visant à mesurer les capacités d'innovation chez quarante-et-un couples de mésanges charbonnières. La réussite du test de résolution du problème a été considérée comme valide « solver » lorsque au moins un des deux parents a réussi le test, et comme échec « non-solver » lorsqu'aucun des oiseaux n'a réussi le test. Nous considérons que si un des parents possède un comportement innovant alors tout le nichoir sera avantagé. Les résultats issus de nos manipulations révèlent que neuf familles ont réussi le test, tandis que trente-deux familles n'ont pas réussi (Figure 16). Cela équivaut à un taux de réussite de 22 % pour les « solver » et à un taux d'échec de 78 % pour les « non-solver ».

Répartition de solver et non-solver

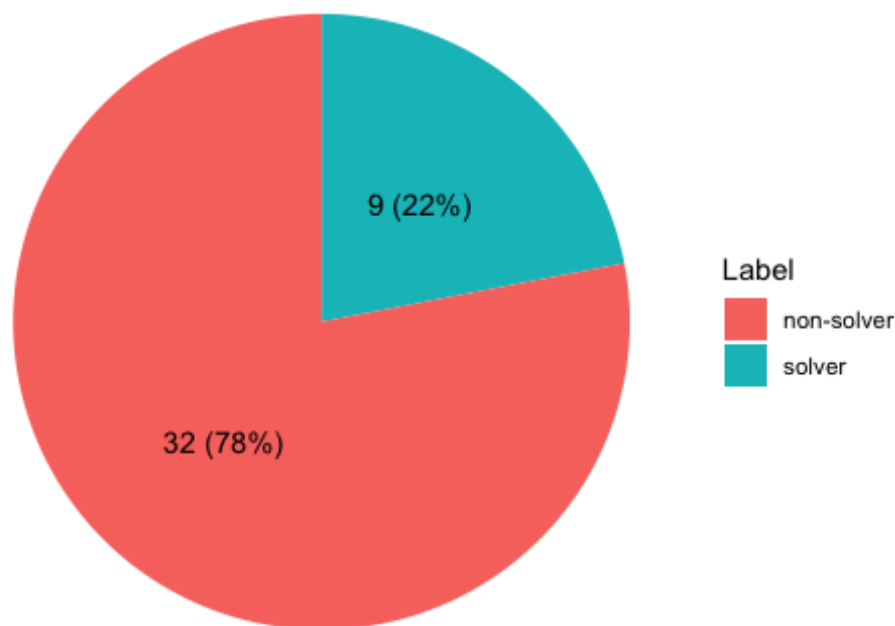


Figure 16 : Graphique de la répartition des couples de mésanges charbonnières ayant réussi, en bleu (solver), et échoué, en rouge (non-solver), le test de cognition visant à évaluer leurs aptitudes innovantes.

Source : Roméo Naeder, 12/08/2023, Rstudio, données annexe 4 et annexe 5.

Afin de mieux appréhender la manière dont la motivation des oiseaux testés à influencé leur résolution de problème, nous avons mesuré et enregistré le taux de piaillage des oisillons au début de chaque test, en l'associant à un score. (0) signifie qu'aucun piaillage n'a été observé. (1) indique que certains oisillons ont ouvert le bec, mais aucun son n'a été émis. (2) correspond à plusieurs oisillons piaillant simultanément. Les résultats mettent en évidence que les oisillons dont les parents étaient classés comme « non-solver » présentaient un taux moyen de piaillage de 0,47. En revanche, les nichées liées aux parents « solver » affichaient un taux moyen de piaillage de 1,33 (Figure 17). Par ailleurs, les écart-types montrent que la variation des mesures de piaillage pour les premiers est plus restreinte que les seconds. Étant donné que chaque analyse implique en réalité deux tests (jours 1 et jours 2), nous avons pris la décision de travailler en prenant en compte le piaillage le plus intense parmi les deux pour chaque nid.

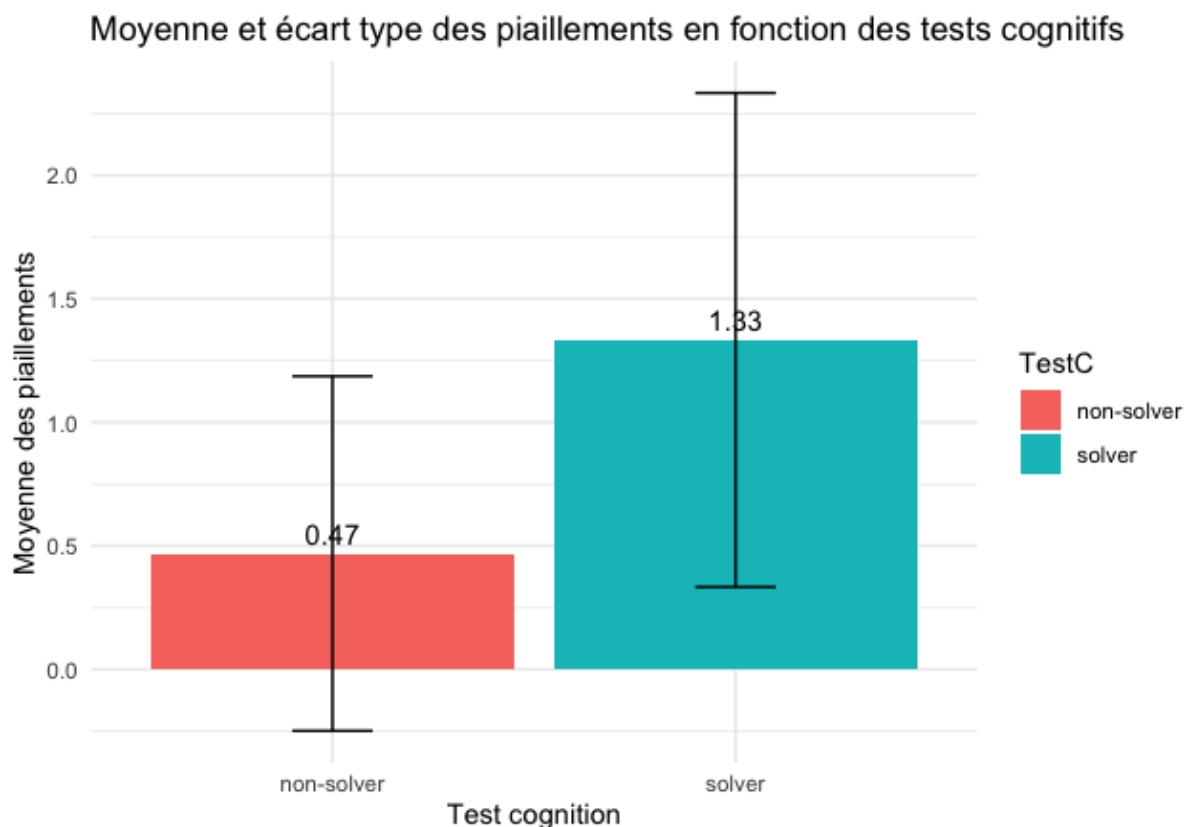


Figure 17 : Graphique des moyennes des piailllements des oisillons en fonction des résultats des tests de cognition des parents. En rouge, est représenté le piaillage moyen des familles « non-solver » et en bleu le piaillage moyen des familles « solver ». Source : Roméo Naeder données annexe 4 et annexe 5.

(Figure 19). La deuxième analyse concerne l'Indice de Masse (IM = poids/longueur du tarse) des oisillons au douzième jour de leur vie. En moyenne, les oisillons issus des familles « non-solver » présentaient un IM de 0,72, tandis que les oisillons des parents « solver » présentaient un IM de 0,73 (Figure 20). Enfin, nous avons également examiné l'Indice d'Envol (IE = nombre d'oisillons envolés/nombre d'oisillons éclos) en relation avec la capacité de résolution de problème des parents. Les résultats indiquent que les nichoirs associés aux familles « solver » présentent une moyenne IE de 0,71, tandis que les familles « non-solver » présentent une moyenne IE de 0,69 (Figure 21).

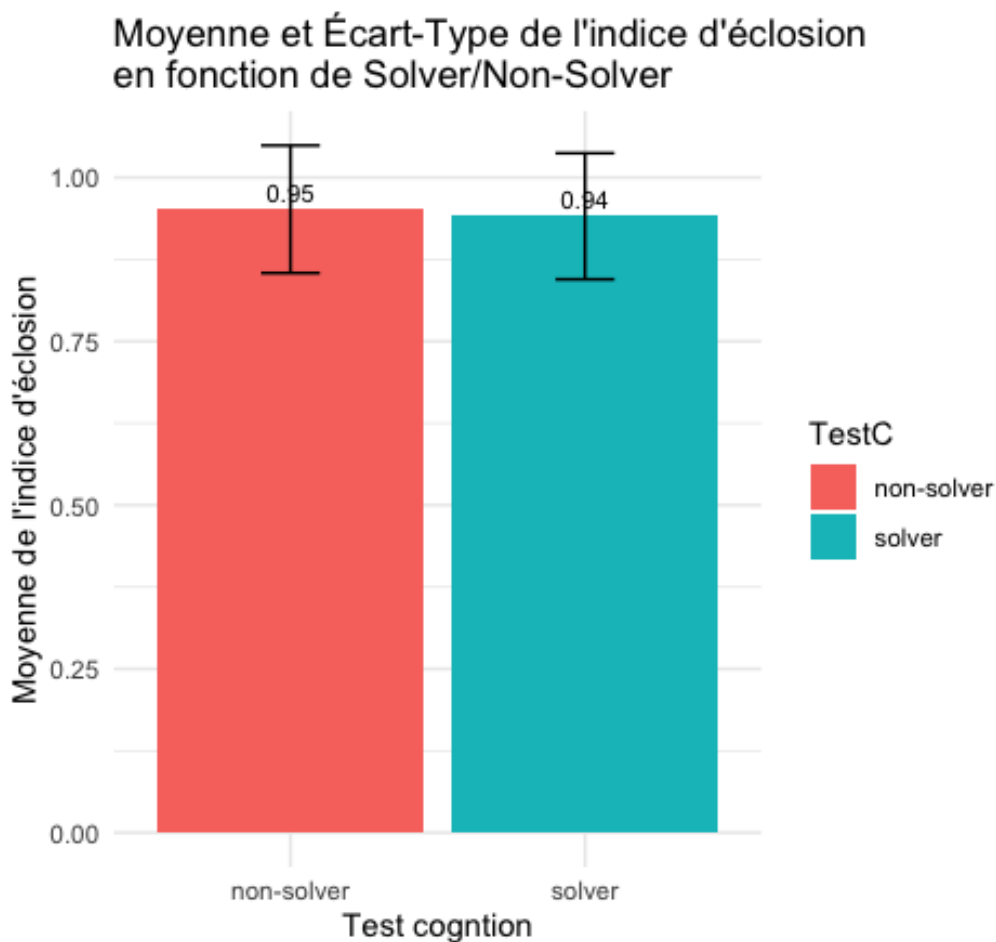


Figure 19 : Graphique de la Moyennes de l'indice d'éclosion (IEC) des nichées en fonction des résultats des tests de cognition des parents. En rouge, est représenté l'IEC moyen des familles « non-solver » et en bleu l'IEC moyen des familles « solver ». Source : Roméo Naeder, 12/08/2023, Rstudio, données annexe 4 et annexe 5.

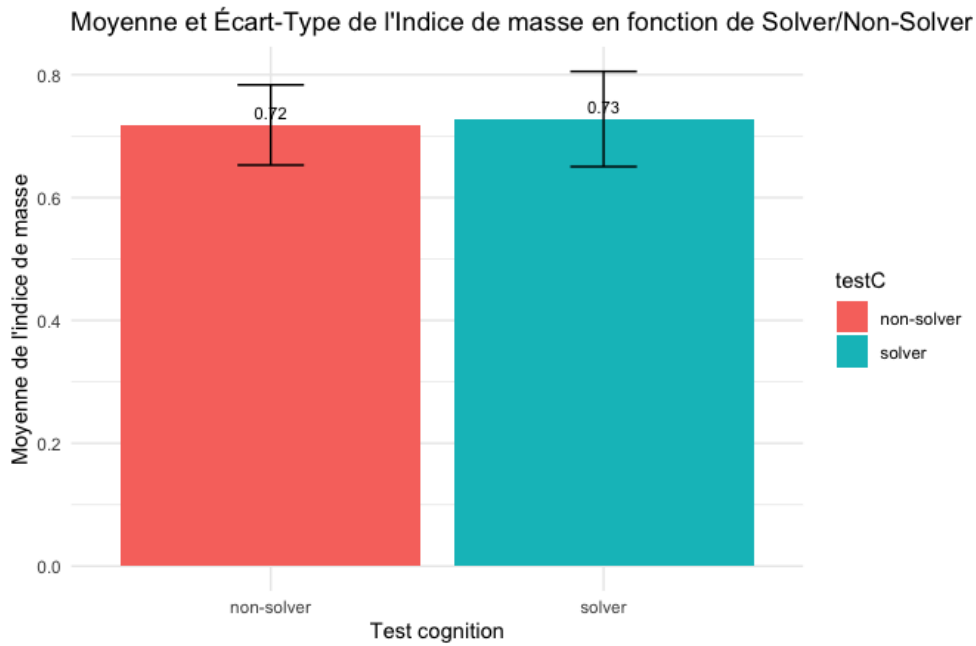


Figure 20 : Graphique des moyennes de l'indice de masse (IM) des oisillons en fonction des résultats des tests de cognition des parents. Les données ont été collectées au douzième jour de vie de la nichée. En rouge, est représenté l'IM moyen des familles « non-solver » et en bleu l'IM des familles « solver », Source : Roméo Naeder, 12/08/2023, Rstudio, données : annexe 4 et annexe 5.

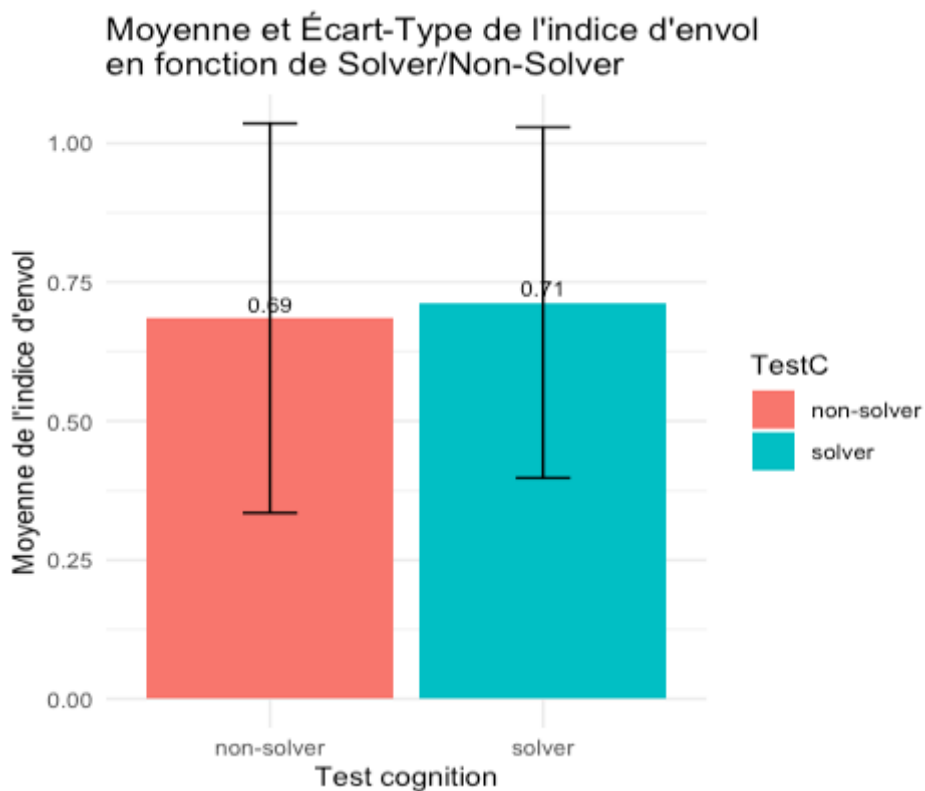


Figure 21 : Graphique des moyennes de l'indice d'envol (IE) des nichées en fonction des résultats des tests de cognition des parents. En rouge, est représenté l'IE moyen des familles « non-solver », en bleu l'IE moyen des familles des « solver ». Source : Roméo Naeder, 12/08/2023, Rstudio, données annexe 4 et annexe 5.

5 Discussion

5.1 Discussion des résultats :

5.1.1 Discussion des facteurs pouvant influencer la cognition :

Dans l'ensemble, les tests de cognition que nous avons menés ont révélé que neuf couples des quarante-et-une paires de mésanges ont réussi à résoudre le problème. Cependant, plusieurs paramètres externes et individuels ont pu influencer les performances mesurées lors des tests. Des facteurs tels que la personnalité individuelle (y compris la néophobie, c'est-à-dire la peur de la nouveauté (Cole et al., 2011)) et l'expérience personnelle ont pu jouer un rôle dans la réaction de chaque individu au test (Dukas, 2013). Par exemple, la néophobie pourrait limiter la capacité d'un individu à aborder le test, indépendamment de ses compétences cognitives. Un individu moins innovant mais plus curieux pourrait montrer plus d'engagement dans la recherche de solutions (par exemple plus d'agressivité (Cole et al., 2011)) qu'un individu peureux.

Ensuite, il est important de porter un avis critique sur la mise en place du test. Bien que nous ayons cherché à standardiser au maximum l'expérience pour chaque nichoir, mais des variations sont inévitables. Par exemple, la complexité de l'installation du matériel pourrait entraîner des temps d'installation variables, ce qui pourrait perturber les oiseaux et les empêcher de résoudre le problème. L'environnement lui-même doit être pris en compte. La météo diffère d'un jour à l'autre et donc d'un test à l'autre. Ces variations peuvent avoir des conséquences, car les oiseaux sont moins actifs par temps venteux et pluvieux que par temps ensoleillé. De plus, l'heure de réalisation du test peut également influencer l'intérêt des oiseaux. Étant donné que les parents sont généralement plus actifs le matin pour nourrir leurs oisillons, les tests réalisés entre 6 et 14 heures pourraient avoir été affectés négativement s'ils étaient effectués en fin de plage horaire.

De plus, nous avons exploré si la motivation pouvait influencer la performance de résolution de problème. De ce fait, nous avons étudié les piaillements des oisillons au début des tests de résolution de problème. Nous avons émis l'hypothèse que les parents « solver » étaient motivés par les piaillements des oisillons. Les résultats indiquent que les nichées des parents « solver » produisaient en moyenne des piaillements plus forts que celles des parents « non-solver ». Il est

plausible que ces piaillements aient motivé les parents à résoudre le problème. Cependant, il est important de nuancer ces résultats. Comme les nichées des parents « solver » étaient généralement plus nombreuses, il est logique que les piaillements enregistrés soient plus importants que chez les « non-solver ». En effet, les parents ne peuvent pas nourrir aussi rapidement dix poussins que six, malgré leurs capacités cognitives supérieures.

5.1.2 Discussion des liens entre les résultats des tests de cognition et le succès reproducteur.

Nous avons souhaité examiner les possibles liens entre la résolution de tests cognitifs, qui visent à évaluer les aptitudes innovantes, et les variables phénologiques associées à la nichée. Dans un premier temps, nous avons émis l'hypothèse que la période d'éclosion des nichées « solver » serait différente de celle des autres nichées. Les résultats montrent que les nichées des parents « solver » éclosent plus tôt dans la saison que celles des parents « non-solver ». Cette différence dans le calendrier reproductif implique une avance similaire dans les phases suivantes de la reproduction, telles que la construction des nids, la période de ponte et l'envol des oisillons. Les oiseaux ayant démontré des comportements innovants semblent entamer intentionnellement leur période de reproduction plus tôt. Il est possible que cette période choisie par ces oiseaux corresponde des conditions environnementales plus favorables, comme la température et la météo, pour la reproduction et la survie des petits, ou bien à une période moins compétitive car le gros de la population n'a pas encore commencé sa reproduction.

Nous avons également émis l'hypothèse que les oiseaux capables de résoudre le problème proposé auraient de meilleures aptitudes reproductrices. Pour explorer cette idée, nous avons comparé trois mesures de succès reproducteur de notre population de mésanges charbonnières avec les résultats des tests de cognition. Tout d'abord, nous avons examiné l'indice d'éclosion (IEC). Nous avons supposé que les parents innovants pourraient garantir une meilleure survie des oisillons de la période de ponte à celle de l'éclosion. Cependant, nos résultats n'ont pas démontré de grandes différences en fonction des capacités des parents à résoudre les tests de cognition. Les écart-types et les moyennes sont pratiquement identiques. Il est possible que l'innovation n'ait pas d'influence significative sur le comportement de couvain, qui est très ancré dans l'instinct de l'espèce et peu susceptible de changer. Néanmoins, notre mesure ne prend pas en compte le nombre total d'œufs présents dans la couvée. Il est envisageable d'une analyse prenant en compte ce facteur puisse fournir des résultats différents et plus instructifs.

En second lieu, nous avons formulé l'hypothèse que les nichées associées aux parents « solver » auraient un indice de masse (IM) plus élevé que les nichées des parents "non-solver", car un comportement innovant aide les parents dans la recherche de nourriture. Cependant, les résultats indiquent que les oisillons des nichées « non-solver » ont en moyenne un IM pratiquement identique à celui des oisillons des nichées « solver », les résultats sont similaires lorsque l'on regarde les écart-types. Ainsi, aucune différence significative ne peut être mise en évidence entre les oiseaux ayant réussi le test et ceux qui l'ont échoué, en ce qui concerne la condition physique des poussins. Ce résultat peut être interprété de différentes manières. Il est possible que le comportement innovant ne confère pas d'avantages significatifs dans le contexte d'approvisionnement en nourriture pour les oisillons dans cet environnement forestier. On pourrait envisager que la disponibilité suffisante de nourriture permet aux parents moins innovants de subvenir aux besoins de leur nichée de manière adéquate, ce qui expliquerait la similitude des IM moyens. De plus, il convient de noter qu'une nichée plus nombreuse présentera généralement des IM plus bas, car les oisillons d'une nichée plus petite partageront la nourriture avec moins d'individus. Cette dynamique peut influencer les IM indépendamment des capacités innovantes des parents. Logiquement, un individu qui a mangé plus de nourriture présentera un IM plus élevé. Notre mesure IM ne prend pas en compte le nombre d'oisillons dans la nichée. Une nouvelle analyse prenant en compte ce facteur pourrait nous permettre d'accéder à des résultats significatifs.

Dans une troisième mesure, nous avons recueilli des données sur le nombre d'oisillons éclos et envolés afin de vérifier si les parents innovants présentaient un indice d'envol plus élevé pour leurs oisillons que les autres oiseaux. Les résultats ont révélé que l'IE moyen des familles « solver » était légèrement supérieur à celui des familles « non-solver ». En tenant compte du nombre moyen d'oisillons envolés dans les nichées « solver » et « non-solver » (annexes 6) nous observons un nombre plus élevé pour les premières (6,34 oisillons envolés pour les « non-solver » et 6,67 oisillons envolés pour les « solver »). L'indice d'envol, basé sur le nombre d'oisillons éclos, suggère les parents dits « solver » parviennent en moyenne à mener un plus grand nombre d'oisillons de l'éclosion jusqu'à l'envol. Cela indique que les oisillons issus des familles "solver" ont statistiquement plus de chances de survie entre l'éclosion et l'envol que les oiseaux issus des familles "non-solver". La capacité d'innovation des parents semble aider à répondre aux besoins des oisillons pendant cette période, entraînant ainsi une survie plus élevée des petits. Cependant, la survie des oisillons de l'éclosion à l'envol peut également dépendre d'autres facteurs indépendants des dispositions innovantes des parents. Par exemple, les conditions environnementales ou la prédation peuvent aussi avoir un impact direct sur les petits. De plus, si l'un des parents décède pendant cette période, l'approvisionnement en nourriture

devra être assuré par un seul individu, ce qui compromettrait l'avenir des oisillons. Lorsque l'on compare ces chiffres à la précédente mesure (IM), nous pouvons affirmer que les parents "solver" ont plus d'oisillons à nourrir jusqu'à l'envol, donc un IM peu différent de l'IM des « non-solver » est compréhensible.

Il a déjà été prouvé que de nombreux paramètres peuvent avoir un impact sur le comportement cognitif des animaux. Laure Cauchard explique, avec son équipe, que l'âge, le stress, la motivation, peuvent affecter la performance de résolution de problème et le succès reproducteur indépendamment (Cauchard et al., 2017). Les études et mesures doivent être répétées sur des échelles temporelles plus importantes et des environnements différents afin de consolider la base de connaissance établie et de la compléter.

5.2 Discussion du stage :

5.2.1 Retour d'expérience : apports et limites du stage.

D'un point de vue général, cette expérience fut extrêmement enrichissante sur le plan professionnel. En amont de ce stage, j'avais l'objectif de découvrir le monde de la recherche et de d'effectuer cette expérience à l'étranger afin d'améliorer mes compétences linguistiques. En effet, après l'achèvement de mon master, j'espère continuer mes études par un doctorat pour me diriger vers le domaine l'enseignement et de la recherche. Ces deux aspects ont été plus que réalisés, grâce à Peter Adamik et Laure Cauchard. J'ai saisi les enjeux de cette profession et pu constater la passion qui les anime. J'ai participé à une étude dans sa quasi-totalité, en commençant par une recherche bibliographique pour définir un sujet d'étude, des pistes de recherches, des hypothèses. Puis, la partie manipulation et collecte des données, période souvent très intense qui requiert une certaine condition physique. Enfin, l'analyse et la présentation des résultats exigeant des compétences différentes, telles que la réflexion, la manipulation de logiciels, l'autocritique de ses résultats. Personnellement, les mois passés en République Tchèque ont été fantastiques. Voyager, vivre, s'intégrer seul à une nouvelle ville a été une très belle expérience. J'ai pu interagir avec des étudiants et des professeurs et comprendre les différences de politiques, de cultures et d'enseignements qu'il pouvait y avoir entre la France et ce pays. En revanche, le contexte du stage ne m'a pas permis de travailler en équipe. Les missions que nous avions à réaliser nous permettaient d'être très autonome. Cependant, je pense que la collaboration aurait été très enrichissante. Selon moi, le partage

d'opinions, d'idées et la capacité d'écoute et de discussion en équipe sont des qualités nécessaires pour nos futures carrières. Il est important d'aborder le sujet du stage qui aborde la transition environnementale d'un tout autre angle que mon parcours académique. Cela m'a empêché d'appliquer en contexte professionnel certaines compétences acquises à l'université, mais j'ai acquis de nouvelles connaissances et méthodes qui seront certainement un atout pour mon avenir.

5.2.2 Compétences académiques utilisés, manquantes et acquises.

J'ai constaté que malgré le sujet de stage, mes compétences universitaires m'ont été très utiles. L'analyse d'un nouveau sujet d'étude, associée à l'examen de la littérature, demande une rigueur scientifique qui m'était familière. Mon point de vue sur la transition environnementale et notamment la prise en compte des enjeux sociétaux a constitué une perspective précieuse dans l'analyse des résultats et l'ouverture à de nouveaux domaines d'étude. En résumé, mes compétences m'ont mis à l'aise et ont été utiles dans la revue de la littérature, la compréhension du sujet, l'analyse et la présentation des résultats. Incontestablement, une maîtrise de l'anglais a été essentielle tout au long du stage. Je pense que mes lacunes en biologie et particulièrement en ornithologie m'ont restreint dans la réalisation de certaines missions. Certaines mesures sur les oiseaux exigeaient une grande précision et des manipulations pour lesquelles je ne me sentais pas compétent sans risquer de mettre en danger l'animal ou de compromettre la qualité des mesures. Ce stage m'a permis de développer de nouvelles compétences. Tout d'abord, de manière générale, j'ai acquis des connaissances en biologie et en ornithologie, notamment l'importance de l'étude de la faune et la flore pour la conservation et la protection. J'ai élaboré une méthodologie de recherche et de collecte de données qui requiert une planification minutieuse, et j'ai appris à faire face à l'imprévu, comme les problèmes de matériel, de conditions météorologiques ou de transport, susceptibles de mettre en péril l'ensemble de l'étude. D'un point de vue plus académique, j'ai appris à utiliser (ou à renforcer mes connaissances) de nouveaux logiciels, tels Rstudio et Boris. Mes compétences linguistiques se sont nettement améliorées au cours de cette période, aussi bien en termes de vocabulaire spécifique au sujet du stage que dans le langage courant.

Conclusion :

À partir des manipulations et des recherches entreprises dans ce mémoire, nous en concluons que des liens existent entre le comportement innovant adopté une mésange charbonnière et son succès reproducteur. Tout d'abord, les oisillons associés à des parents innovants éclosent plus tôt que ceux associés à des parents qui n'ont pas manifesté cette capacité. De plus, en relation avec l'IE et le nombre moyen d'oisillons s'envolant, l'IM des oisillons montre que le comportement innovant des parents les aide à prendre soin de leurs petits, de l'éclosion à l'envol. En revanche, aucun lien n'a pu être établi entre les parents innovants et l'IEC. Nous espérons que de nouvelles prenant en compte le nombre d'œufs et d'oisillons pour les mêmes paramètres pourront produire de nouveaux résultats et peut-être étayer nos conclusions. Par ailleurs, nous avons montré que les individus présentant un comportement innovant pouvaient être davantage motivés par les piailllements des oisillons. De futures études pourront soit confirmer nos résultats et appuyer nos hypothèses, soit les contredire et ainsi ouvrir une discussion et de nouvelles hypothèses sur ce phénomène. Pour approfondir notre compréhension du comportement animal, il serait intéressant de comparer le succès reproducteur des oiseaux en milieu urbain et rural en relation avec leurs aptitudes en résolution de problèmes. Ainsi, nous pourrions déterminer si l'urbanisation influence la reproduction de l'espèce malgré ses capacités d'innovation.

Les animaux présentant des capacités innovantes semblent s'adapter de manière positive aux environnements urbains. Ce contexte stimule le développement et encourage l'utilisation de ce comportement chez les individus, car ils font face à des défis plus complexes dus à l'activité humaine. Néanmoins, la survie et le succès reproducteur d'une espèce dans ce contexte ne dépendent pas uniquement de ses aptitudes cognitives. La personnalité, le type d'environnement urbain (avec des espaces verts, des zones commerciales, des immeubles, des pavillons, etc.) et les besoins spécifiques de chaque espèce jouent également un rôle déterminant. Toutefois, étant donné les résultats précédents suggérant que l'urbanisation encourage l'expression du comportement innovant, les individus adaptés à l'environnement urbain pourraient afficher un taux de résolution de problèmes supérieur à ceux adaptés à la forêt. En ce qui concerne le succès reproducteur, il est possible d'imaginer que les animaux obtiendront de meilleurs résultats en milieu urbain qu'en milieu naturel grâce au développement

de leur comportement. Néanmoins, de nouveaux paramètres entreront en jeu, tels que la pollution sonore, la pollution lumineuse et les déchets, et devront être étudiés afin de limiter les impacts. En multipliant les études sur le comportement animal et de son évolution, nous pourrions mieux appréhender quelles espèces réussiront à s'établir dans les villes et quelles espèces pourraient être exclues ou en danger face à l'urbanisation croissante (Lowry et al., 2013).

Au-delà de notre étude, les recherches en écologie animale peuvent nous permettre d'établir des plans visant à améliorer la conservation et la gestion des espèces, qui ne sont pas en mesure de s'adapter à l'urbanisation actuelle, de la manière la plus adaptée possible (Kettel et al., 2018). Les plans d'urbanisation et d'aménagement doivent prendre en compte les recherches qui lient les changements environnementaux actuels tels que le changement climatique et l'urbanisation, avec la biodiversité, afin d'éviter les risques futurs pesant sur la faune, la flore et la société. Des études interdisciplinaires sont essentielles pour comprendre ces enjeux. Par exemple, Jenny Newport et son équipe évoquent que l'utilisation de la télédétection et de la modélisation pourrait être très utile dans certains cas, comme étudier la pollution lumineuse et sonore (identifiée comme paramètre pouvant limiter la survie d'une espèce en milieu urbain) (Newport et al., 2014). Pour résoudre le problème des espèces envahissantes, nous devons comprendre les facteurs qui permettent aux humains et aux animaux de coexister harmonieusement, afin de mettre en place des politiques et des aménagements adéquats. Cela nécessite une collaboration de plusieurs professions, notamment des écologistes, des professionnels du bâtiment, des architectes et des décideurs politiques. L'idée d'inclure la population dans les recherches scientifiques peut ouvrir de nouvelles opportunités, car elle constitue un paramètre non négligeable dans un contexte urbain. L'engagement et l'éducation du public semblent être des options pour atténuer et comprendre les conflits entre les humains et les animaux. En raison de notre développement, nous contraignons les animaux à partager nos ressources et nos espaces. Nous avons donc la responsabilité de rendre nos villes durables pour assurer leur survie (Sarkar & Bhadra, 2022).

Bibliographie

- Adamík, P., & Bureš, S. (2007). Experimental evidence for species-specific habitat preferences in two flycatcher species in their hybrid zone. *Naturwissenschaften*, *94*(10), 859-863. <https://doi.org/10.1007/s00114-007-0266-7>
- Arnold, K. E., Ramsay, S. L., Donaldson, C., & Adam, A. (2007). Parental prey selection affects risk-taking behaviour and spatial learning in avian offspring. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *274*(1625), 2563-2569. <https://doi.org/10.1098/rspb.2007.0687>
- Audet, J.-N., Ducatez, S., & Lefebvre, L. (2016). The town bird and the country bird : Problem solving and immunocompetence vary with urbanization. *Behavioral Ecology*, *27*(2), 637-644. <https://doi.org/10.1093/beheco/arv201>
- Barrett, L. P., Stanton, L. A., & Benson-Amram, S. (2019). The cognition of ‘nuisance’ species. *Animal Behaviour*, *147*, 167-177. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2018.05.005>
- Biondi, L. M., Fuentes, G., & Susana, M. (2022). Behavioural factors underlying innovative problem-solving differences in an avian predator from two contrasting habitats. *Animal Cognition*, *25*(3), 529-543. <https://doi.org/10.1007/s10071-021-01569-2>
- Briedis, M., Krist, M., Král, M., Voigt, C. C., & Adamík, P. (2018). Linking events throughout the annual cycle in a migratory bird—Non-breeding period buffers accumulation of carry-over effects. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, *72*(6), 93. <https://doi.org/10.1007/s00265-018-2509-3>
- Cauchard, L., Angers, B., Boogert, N. J., Lenarth, M., Bize, P., & Doligez, B. (2017). An Experimental Test of a Causal Link between Problem-Solving Performance and Reproductive Success in Wild Great Tits. *Frontiers in Ecology and Evolution*, *5*, 107. <https://doi.org/10.3389/fevo.2017.00107>
- Cauchard, L., Boogert, N. J., Lefebvre, L., Dubois, F., & Doligez, B. (2013). Problem-solving performance is correlated with reproductive success in a wild bird population. *Animal Behaviour*, *85*(1), 19-26. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2012.10.005>
- Cole, E. F., Cram, D. L., & Quinn, J. L. (2011). Individual variation in spontaneous problem-solving performance among wild great tits. *Animal Behaviour*, *81*(2), 491-498.

<https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2010.11.025>

Coppens, C. M., de Boer, S. F., & Koolhaas, J. M. (2010). Coping styles and behavioural flexibility : Towards underlying mechanisms. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1560), 4021-4028. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0217>

Ducatez, S., Audet, J.-N., Rodriguez, J. R., Kayello, L., & Lefebvre, L. (2017). Innovativeness and the effects of urbanization on risk-taking behaviors in wild Barbados birds. *Animal Cognition*, 20(1), 33-42. <https://doi.org/10.1007/s10071-016-1007-0>

Dukas, R. (2013). Effects of learning on evolution : Robustness, innovation and speciation. *Animal Behaviour*, 85(5), 1023-1030. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2012.12.030>

Fritsch, C., Jankowiak, Ł., & Wysocki, D. (2019). Exposure to Pb impairs breeding success and is associated with longer lifespan in urban European blackbirds. *Scientific Reports*, 9(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36463-4>

Gładalski, M., Bańbura, M., Kaliński, A., Markowski, M., Skwarska, J., Wawrzyniak, J., Zieliński, P., Cyżewska, I., & Bańbura, J. (2017). Differences in the Breeding Success of Blue Tits *Cyanistes caeruleus* between a Forest and an Urban Area : A Long-Term Study. *Acta Ornithologica*, 52(1), 59-68. <https://doi.org/10.3161/00016454AO2017.52.1.006>

Griffin, A. S., Netto, K., & Peneaux, C. (2017). Neophilia, innovation and learning in an urbanized world : A critical evaluation of mixed findings. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 16, 15-22. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2017.01.004>

Kettel, E. F., Gentle, L. K., Quinn, J. L., & Yarnell, R. W. (2018). The breeding performance of raptors in urban landscapes : A review and meta-analysis. *Journal of Ornithology*, 159(1), 1-18. <https://doi.org/10.1007/s10336-017-1497-9>

Lefebvre, L., Reader, S., & Sol, D. (2013). Innovating Innovation Rate and Its Relationship with Brains, Ecology and General Intelligence. *Brain, behavior and evolution*, 81. <https://doi.org/10.1159/000348485>

Lowry, H., Lill, A., & Wong, B. B. M. (2013). Behavioural responses of wildlife to urban environments. *Biological Reviews*, 88(3), 537-549. <https://doi.org/10.1111/brv.12012>

Mettke-Hofmann, C. (2014). Cognitive ecology : Ecological factors, life-styles, and cognition. *WIREs Cognitive Science*, 5(3), 345-360. <https://doi.org/10.1002/wcs.1289>

Morand-Ferron, J., Cole, E. F., & Quinn, J. L. (2016). Studying the evolutionary ecology of

cognition in the wild : A review of practical and conceptual challenges. *Biological Reviews*, 91(2), 367-389. <https://doi.org/10.1111/brv.12174>

Morinay, J., Cauchard, L., Bize, P., & Doligez, B. (2020). The Role of Cognition in Social Information Use for Breeding Site Selection : Experimental Evidence in a Wild Passerine Population. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8, 559690. <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.559690>

Newport, J., Shorthouse, D. J., & Manning, A. D. (2014). The effects of light and noise from urban development on biodiversity : Implications for protected areas in Australia. *Ecological Management & Restoration*, 15(3), 204-214. <https://doi.org/10.1111/emr.12120>

Sarkar, R., & Bhadra, A. (2022). How do animals navigate the urban jungle? A review of cognition in urban-adapted animals. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 46, 101177. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2022.101177>

Shettleworth, S. J. (2010). *Cognition, evolution, and behavior*, 2nd ed (p. xiii, 700). Oxford University Press.

Sol, D., Duncan, R. P., Blackburn, T. M., Cassey, P., & Lefebvre, L. (2005). Big brains, enhanced cognition, and response of birds to novel environments. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(15), 5460-5465. <https://doi.org/10.1073/pnas.0408145102>

Thornton, M., Todd, I., & Roos, S. (2017). Breeding success and productivity of urban and rural Eurasian sparrowhawks *Accipiter nisus* in Scotland. *Écoscience*, 24(3-4), 115-126. <https://doi.org/10.1080/11956860.2017.1374322>

Annexes

Cognition in a changing world: exploring the evolutionary potential of cognitive performances in the wild

A multi-population study of factors shaping variation in problem-solving performance in great tits

ANR Evol-Cog coordinator: **Dr. Blandine Doligez** (CNRS - Univ. Lyon 1, France)

Co-coordinator: **Dr. Laure Cauchard** (Swiss Ornithological Institute, Switzerland)

General advice for implementing the problem-solving test

1- Choosing the nests to test:

- The first day of test is when nestlings are 6 days old (but this can be adjusted to your own protocols by varying nestling age from 6 to 10 days old, to stay in the peak of provisioning and ensure participation, however **parents must NOT be caught before** or they might be suspicious and not approach the test)

In Gotland, we count d0 = day of hatching

- Tests are performed **two days in a row** (but this can be adjusted to your own protocols again by adding 1 day off between two tests, but not more as we don't know the effect of short memory on this performance)
- **Avoid testing on the first breeding pairs and the second laying too late in the season** (to not add a stress to the parents and cause desertion)

When you are ready to start with your first nests of the season, we recommend starting by 1 or 2 nests at a time, and continue recording for 30min after the 1h10 test and removing the task, to check if the parents are coming back to feed the chicks. This will ensure that the test is not causing desertion and if so, it would be only on 1 or 2 nests and no more...

2- Organizing a day of tests:

- The task can be installed **between 06:00 AM to 02:00 PM**, mainly in the morning if possible
- 1 person with 2 cameras is able to test 2 nests at the same time if nests are not too far
- Installing the task and the video recording material **must be done as fast as possible** (to ideally avoid parents seeing the experimenter, it can be done under 5 minutes once the protocol is well known)
- Prepare a daily list of nests to be tested with 1-2 supplementary nests to replace nests where test had to be cancelled for x reason in the field (keep in mind that tests Innovation 1 done the day before will be on the list again for a second day of test for Innovation 2)

To organise a day, count 1h30 or 2h per "wave" of 1 test or 2 test(s) done simultaneously: thus, if we start to test at 06:00 AM, 1 person is able to test up to 6 nests a day (with 1 camera at a time) or 8-10 nests a day (with 2 cameras at a time)

To print and take to the field

Problem-solving test protocol

1- Open the nestbox:

- If a bird is inside > leave it opened, move away and wait for the bird to fly away > if the bird stays inside, close and come back later
- If chicks are in bad condition (e.g., too skinny, infested with parasites, about to die... > cancel the test
- **Count the number of chicks and estimate satiety level** (0 = no begging, 1 = a few chicks open the beak but no sound, 2 = some of the chicks begging, 3 = all chicks are begging intensively)
- If the satiety level is 3 > close and come back later

2- Attach the problem-solving task:

- Use thumbtacks or screws (to attach the task on the front of the flat nestbox) or elastics (to go around Schwegler nestboxes)
- The trap must be **aligned with the entrance hole** of the nestbox (birds can easily enter once the door is opened)
- The nest box must be **straight** so that the door is not staying opened > if needed and possible, straighten the nest box > if not possible, cancel the test
- Ensure the task is **firmly fixed** so that the task will not move or fall during the test
- **Pull the string several times to ensure the door opens well and nothing blocks the mechanism**

3- Install video recording material:

- Tripod/Recorder/camouflaged net must be installed **in front of the nest box** (as much as possible), away for birds' interest (in forest, between **5 to 8m** is ok but in urban area, closer should be ok as they are used to movements and 'human' things on the way)



- **Clean the field of view of the recorder** so that branch or leaf will not obstruct the view > do not forget that wind can move branch or even the camouflaged net so fix it too
- Do not place the recorder under the sunlight to avoid backlight on screen > do not forget that wind can move things and the sun will slightly move during the test...
- **Use the zoom and center the nestbox in the middle of the screen**, as illustrated on the left, to ensure a good view of all the parts of the nest and on the bird coming
- Check that the **focus** of the recorder is directed on the nest box and that there is enough **battery** for the test

4- Start recording and say out loud:

- **Date and time**
- **ID of the nest box** (area and number)
- **Type of test** (Innovation 1 or 2)

5- **Leave the area** enough to not be visible from the tested birds (birds can see far from on the top of the trees!) and **fill the Test Form** (Excel table to print) with the information needed. In urban area, you might have to stay around to keep an eye on the materials to avoid disturbance or theft.

6- Come back after 1h05 -10 min:

- Remove the task/camouflaged net/tripod/recorder
- **Estimate satiety level** again and fill the form together with the last information

At the end of the day:

- Enter and save the information from the Test Form on the Excel form
- **Save videos** on the hard drive and **rename** them as follow:
GT_ID of the nest_date^(AAAAAMJJ)_type of test (e.g. GT_GR27A_20210618_innovation1)

13-mai	14-mai	15-mai	16-mai	17-mai	18-mai	19-mai	20-mai
Strelnice : 1inov 15 + 46	Strelnice : 2inov 15 + 46	Polda : 2inov 38	Krizovatk : 1inov 166 + 65		Krizovatk : 2inov 65 + 166		
	Vcelin : 2inov 138			PLUI	NS : 2INOV 38 + 9		
Vcelin : 1inov 138						Polesi : 2inov 17 + 127 + 84+210	
	Polda : 1inov 38				Resov : 2inov 12 + 9		Sluka 2inov 5 1inov 47-6 +16
		NS : 1inov 3 + 5					
	NS : 1inov : 10 + 17		Resov : 1inov 12 + 9		Polesi : 1inov 210 + 17 + 127 + 84	Sluka 1inov 5	Sutrak 2inov 1
						Sutrak 1inov 1	
							Strenice 2inov 30 + 17 1inov 33 + 20
			NS : 2inov 3 + 5+10+17 1Innov 9 + 38			Strelnice 1inov 30+17	

21-mai	22-mai	23-mai	24-mai	25-mai	26-mai	27-mai	28-mai
	Resov 1inov 13 + 32	Resov 2inov 13 + 32					
			Strelnice 1inov 13 + 31	Strelnice 2inov 13 + 31			
		strelnice 2inov 26 - 44 + 23					
Sluka 2inov 47-6 +16	Strelnice 2inov 22+7 1INOV 26-44 + 23	Sluka 1inov 13	Sluka 2inov 13			Ns 1INOV 39	Ns 2INOV 39
Strelnice 1inov 22+7	Krizovalska 2inov 44						
Strenice 2INOV 33 +20				NS 2INOV 25			
	Polesi 1INOV 214 + 128	Polesi 2INOV 214 + 128 1inov 208	Polesi 2inov 208				
Krizovalska 1inov 44			NS 1INOV 25				

Annexe 2 : Agenda journalier des tests de cognition à réaliser. Première ligne est associée à la date. On peut voir sur les autres cases, le nom de site + 1inov ou 2inov (premier ou second test) + numéro du nichoir.

tchèque - date mesures

17/5	18/5	19/5	20/5	21/5	22/5	23/5	24/5	25/5	26/5	27/5	28/5	29/5
Strelnice15		Strelnice46	Polda38	krizovatka 166	krizovatka65	Polesi84		Resov13	Polesi214	Polesi128	NS28	NS25
Vcelin138				NS3	NS9	Resov23		strelnice17		strelnice22	NS35	Polesi208
				NS5	NS38	Sluka47		Résov 32	strelnice17	strelnice7	strelnice23	Sluka13
					Polesi17	Sluka5			strelnice20	strelnice24		strelnice13
					Polesi127	Sluka16			strelnice30	Krisolvatk44		strelnice31
					Resov12	Sutrak1			Strelnice33			
					Resov9							

Annexe 3 : calendrier des mesures des oisillons au douzième jour

Nestbox	Hatchingdate	Numberofeggs	Hatchingnumber	Indexhatching	Fledged	Indexfledged	TestC	Begg
Strelnice46	07/05/2023	10	10	1	9	0,9	non-solver	2
Strelnice15	05/05/2023	9	9	1	7	0,777777777777778	solver	0
Vcelin138	05/05/2023	11	11	1	11	1	non-solver	1
Poids38	08/05/2023	8	8	1	7	0,875	solver	2
NS17	08/05/2023	8	6	0,75	0	0	solver	1
NS10	08/05/2023	10	10	1	0	0	non-solver	0
NS3	09/05/2023	9	9	1	0	0	non-solver	0
NS5	09/05/2023	10	8	0,8	0	0	non-solver	0
NS9	10/05/2023	8	8	1	8	1	non-solver	0
NS38	10/05/2023	10	10	1	3	0,3	non-solver	0
NS25	17/05/2023	11	11	1	9	0,818181818181818	non-solver	1
Krisovatk65	10/05/2023	9	9	1	8	0,888888888888889	non-solver	2
Krisovatk166	09/05/2023	11	9	0,818181818181818	7	0,777777777777778	solver	2
Resov9	10/05/2023	10	10	1	6	0,6	non-solver	1
Resov12	10/05/2023	10	10	1	6	0,6	non-solver	1
Polesi127	10/05/2023	9	9	1	7	0,777777777777778	non-solver	0
Polesi17	10/05/2023	9	9	1	5	0,555555555555556	non-solver	0
Polesi84	11/05/2023	9	9	1	8	0,888888888888889	solver	1
Polesi210	10/05/2023	11	10	0,909090909090909	0	0	non-solver	0
Sluka5	11/05/2023	7	7	1	7	1	non-solver	0
Sutrak1	11/05/2023	10	10	1	5	0,5	solver	2
Sluka47	11/05/2023	11	11	1	9	0,818181818181818	non-solver	0
Sluka16	11/05/2023	10	8	0,8	8	1	non-solver	0
Strelnice20	14/05/2023	10	9	0,9	9	1	non-solver	1
Strelnice30	14/05/2023	9	5	0,555555555555556	5	1	non-solver	0
Strelnice33	14/05/2023	9	8	0,888888888888889	6	0,75	non-solver	0
Strelnice17	13/05/2023	10	10	1	6	0,6	solver	1
Strelnice22	15/05/2023	10	8	0,8	7	0,875	non-solver	0
Strelnice7	15/05/2023	10	9	0,9	9	1	solver	3
krisovatk44	15/05/2023	11	11	1	11	1	solver	0
Resov32	13/05/2023	12	12	1	7	0,583333333333333	non-solver	0
Polesi214	14/05/2023	10	10	1	10	1	non-solver	0
Polesi128	15/05/2023	9	9	1	8	0,888888888888889	non-solver	0
Strelnice44	15/05/2023	11	10	0,909090909090909	8	0,8	non-solver	0
Strelnice23	16/05/2023	10	10	1	9	0,9	non-solver	1
Resov13	13/05/2023	8	8	1	7	0,875	non-solver	1
Sluka13	17/05/2023	9	8	0,888888888888889	7	0,875	non-solver	0
Polesi208	17/05/2023	9	9	1	3	0,333333333333333	non-solver	2
Strelnice31	17/05/2023	10	10	1	0	0	non-solver	0
Strelnice13	17/05/2023	14	14	1	11	0,785714285714286	non-solver	2
NS39	18/05/2023	10	10	1	10	1	non-solver	0

Annexe 4 : tableau des données évaluant le succès reproducteur.

POIDS3

Nestbox	Weight	Tarse	indicemasse	testC		
Strelnice 46	17,2	21,9	0,8	non-solver		
Strelnice 46	16,00	21,77	0,73	non-solver		
Strelnice 46	16,50	22,07	0,75	non-solver		
Strelnice 46	17,50	22,37	0,78	non-solver		
Strelnice 46	15,00	20,88	0,72	non-solver		
Strelnice 46	15,40	21,51	0,72	non-solver		
Strelnice 46	15,90	21,43	0,74	non-solver		
Strelnice 46	14,10	20,07	0,70	non-solver		
Strelnice 46	14,50	20,58	0,70	non-solver		
Strelnice 15	17,70	20,62	0,86	solver		
Strelnice 15	11,30	19,21	0,59	solver		
Strelnice 15	18,20	21,11	0,86	solver		
Strelnice 15	15,10	19,97	0,76	solver		
Strelnice 15	18,00	20,88	0,86	solver		
Strelnice 15	20,00	21,23	0,94	solver		
Strelnice 15	16,90	21,20	0,80	solver		
Vcelin 138	16,40	21,93	0,75	non-solver		
Vcelin 138	15,30	20,99	0,73	non-solver		
Vcelin 138	14,10	20,60	0,68	non-solver		
Vcelin 138	16,30	21,33	0,76	non-solver		
Vcelin 138	15,80	21,21	0,74	non-solver		
Vcelin 138	15,40	21,11	0,73	non-solver		
Vcelin 138	13,80	19,88	0,69	non-solver		
Vcelin 138	14,30	20,83	0,69	non-solver		
Vcelin 138	15,40	21,17	0,73	non-solver		
Vcelin 138	15,40	21,22	0,73	non-solver		
Vcelin 138	16,00	21,12	0,76	non-solver		
Polda 38	17,50	22,33	0,78	solver		
Polda 38	17,30	22,94	0,75	solver		
Polda 38	16,20	21,97	0,74	solver		
Polda 38	15,00	21,40	0,70	solver		
Polda 38	15,30	21,84	0,70	solver		

Annexe 5: Tableau de la condition physique des oisillons.

Polda 38	14,40	21,59	0,67	solver		
Polda 38	16,40	22,85	0,72	solver		
NS 5	13,90	21,07	0,66	non-solver		
NS 5	14,30	21,13	0,68	non-solver		
NS 5	11,50	20,07	0,57	non-solver		
NS 5	13,70	21,66	0,63	non-solver		
NS 5	12,60	20,34	0,62	non-solver		
NS 5	11,20	20,70	0,54	non-solver		
NS 5	15,10	21,72	0,70	non-solver		
NS 5	15,50	22,56	0,69	non-solver		
NS 9	15,00	22,19	0,68	non-solver		
NS 9	14,50	22,10	0,66	non-solver		
NS 9	14,40	21,78	0,66	non-solver		
NS 9	15,10	22,43	0,67	non-solver		
NS 9	15,80	22,63	0,70	non-solver		
NS 9	15,30	22,18	0,69	non-solver		
NS 9	12,50	20,86	0,60	non-solver		
NS 9	15,20	21,43	0,71	non-solver		
NS 38	16,40	22,50	0,73	non-solver		
NS 38	15,20	21,28	0,71	non-solver		
NS 38	14,50	21,77	0,67	non-solver		
NS 38	16,20	22,40	0,72	non-solver		
NS 38	15,30	21,42	0,71	non-solver		
NS 38	15,40	21,28	0,72	non-solver		
NS 38	13,10	19,55	0,67	non-solver		
NS 38	14,20	20,83	0,68	non-solver		
NS 25	13,50	20,09	0,67	non-solver		
NS 25	10,60	18,05	0,59	non-solver		
NS 25	13,10	21,98	0,60	non-solver		
NS 25	14,20	20,45	0,69	non-solver		
NS 25	14,50	21,57	0,67	non-solver		
NS 25	13,40	20,51	0,65	non-solver		
NS 25	13,20	20,62	0,64	non-solver		
NS 25	14,80	21,80	0,68	non-solver		

NS 25	15,10	20,78	0,73	non-solver		
Krisovatk 65	16,20	22,08	0,73	non-solver		
Krisovatk 65	14,20	21,39	0,66	non-solver		
Krisovatk 65	14,90	21,78	0,68	non-solver		
Krisovatk 65	14,10	21,18	0,67	non-solver		
Krisovatk 65	15,80	21,72	0,73	non-solver		
Krisovatk 65	16,40	22,32	0,73	non-solver		
Krisovatk 65	16,10	22,40	0,72	non-solver		
Krisovatk 65	15,60	22,09	0,71	non-solver		
Krisovatk 16	14,10	21,04	0,67	solver		
Krisovatk 16	14,70	22,15	0,66	solver		
Krisovatk 16	13,90	20,89	0,67	solver		
Krisovatk 16	12,40	20,07	0,62	solver		
Krisovatk 16	9,01	17,44	0,52	solver		
Krisovatk 16	13,70	20,23	0,68	solver		
Krisovatk 16	13,90	19,56	0,71	solver		
Krisovatk 16	14,70	20,03	0,73	solver		
Resov 9	16,10	21,24	0,76	non-solver		
Resov 9	16,20	20,95	0,77	non-solver		
Resov 9	16,10	21,14	0,76	non-solver		
Resov 9	16,90	22,04	0,77	non-solver		
Resov 9	15,00	21,84	0,69	non-solver		
Resov 9	13,20	19,69	0,67	non-solver		
Resov 12	11,50	20,11	0,57	non-solver		
Resov 12	16,50	22,52	0,73	non-solver		
Resov 12	11,10	20,48	0,54	non-solver		
Resov 12	11,90	20,13	0,59	non-solver		
Resov 12	16,40	21,62	0,76	non-solver		
Resov 12	12,00	20,21	0,59	non-solver		
Resov 12	14,50	20,72	0,70	non-solver		
Polesi 127	15,20	21,71	0,70	non-solver		
Polesi 127	16,50	22,83	0,72	non-solver		
Polesi 127	15,80	22,38	0,71	non-solver		
Polesi 127	15,80	22,11	0,71	non-solver		

Polesi 127	17,00	22,98	0,74	non-solver		
Polesi 127	17,80	23,05	0,77	non-solver		
Polesi 127	15,10	21,77	0,69	non-solver		
Polesi 17	15,50	21,63	0,72	non-solver		
Polesi 17	16,70	22,35	0,75	non-solver		
Polesi 17	15,60	21,89	0,71	non-solver		
Polesi 17	14,10	21,75	0,65	non-solver		
Polesi 17	14,90	22,39	0,67	non-solver		
Polesi 17	12,20	20,68	0,59	non-solver		
Polesi 17	15,40	21,80	0,71	non-solver		
Polesi 17	15,70	21,59	0,73	non-solver		
Polesi 84	14,10	20,74	0,68	solver		
Polesi 84	13,20	19,38	0,68	solver		
Polesi 84	15,30	20,77	0,74	solver		
Polesi 84	14,40	20,42	0,71	solver		
Polesi 84	16,10	21,33	0,75	solver		
Polesi 84	13,80	20,40	0,68	solver		
Polesi 84	16,50	21,63	0,76	solver		
Polesi 84	15,40	20,94	0,74	solver		
Polesi 84	14,90	21,39	0,70	solver		
Sluka 5	15,10	21,80	0,69	non-solver		
Sluka 5	14,90	21,80	0,68	non-solver		
Sluka 5	15,60	22,80	0,68	non-solver		
Sluka 5	12,90	19,82	0,65	non-solver		
Sluka 5	12,70	19,50	0,65	non-solver		
Sluka 5	15,50	21,00	0,74	non-solver		
Sluka 5	15,40	21,91	0,70	non-solver		
Sutrak 1	13,20	20,58	0,64	solver		
Sutrak 1	12,50	21,06	0,59	solver		
Sutrak 1	16,00	21,75	0,74	solver		
Sutrak 1	15,20	21,56	0,71	solver		
Sutrak 1	12,50	19,69	0,63	solver		
Sutrak 1	14,10	20,21	0,70	solver		
Sutrak 1	17,10	20,29	0,84	solver		

Sluka 47	14,20	21,45	0,66	non-solver		
Sluka 47	14,90	20,50	0,73	non-solver		
Sluka 47	11,90	19,72	0,60	non-solver		
Sluka 47	15,90	22,00	0,72	non-solver		
Sluka 47	12,30	21,28	0,58	non-solver		
Sluka 47	14,60	21,39	0,68	non-solver		
Sluka 47	12,60	21,04	0,60	non-solver		
Sluka 47	13,80	21,34	0,65	non-solver		
Sluka 47	14,10	21,61	0,65	non-solver		
Sluka 16	15,10	22,02	0,69	non-solver		
Sluka 16	14,60	22,57	0,65	non-solver		
Sluka 16	12,30	20,95	0,59	non-solver		
Sluka 16	13,90	22,18	0,63	non-solver		
Sluka 16	13,60	21,50	0,63	non-solver		
Sluka 16	10,10	18,61	0,54	non-solver		
Sluka 16	12,80	21,23	0,60	non-solver		
Sluka 16	12,40	21,01	0,59	non-solver		
Strelnice 20	16,80	20,88	0,80	non-solver		
Strelnice 20	17,10	21,83	0,78	non-solver		
Strelnice 20	17,20	21,99	0,78	non-solver		
Strelnice 20	17,40	22,11	0,79	non-solver		
Strelnice 20	16,90	20,87	0,81	non-solver		
Strelnice 20	17,60	21,49	0,82	non-solver		
Strelnice 20	13,40	19,92	0,67	non-solver		
Strelnice 20	16,10	20,18	0,80	non-solver		
Strelnice 20	17,50	21,77	0,80	non-solver		
Strelnice 30	16,40	21,21	0,77	non-solver		
Strelnice 30	17,00	22,30	0,76	non-solver		
Strelnice 30	15,20	20,88	0,73	non-solver		
Strelnice 30	17,80	22,06	0,81	non-solver		
Strelnice 30	16,50	21,56	0,77	non-solver		
Strelnice 33	16,50	21,37	0,77	non-solver		
Strelnice 33	16,30	21,29	0,77	non-solver		
Strelnice 33	16,20	20,55	0,79	non-solver		

Strelnice 33	16,10	20,93	0,77	non-solver		
Strelnice 33	15,50	20,00	0,78	non-solver		
Strelnice 33	15,60	20,34	0,77	non-solver		
Strelnice 17	17,00	21,77	0,78	solver		
Strelnice 17	16,90	21,39	0,79	solver		
Strelnice 17	17,90	22,32	0,80	solver		
Strelnice 17	17,40	21,60	0,81	solver		
Strelnice 17	17,00	21,65	0,79	solver		
Strelnice 17	16,40	21,55	0,76	solver		
Strelnice 17	18,00	22,44	0,80	solver		
Strelnice 17	17,20	21,47	0,80	solver		
Strelnice 17	16,00	21,01	0,76	solver		
Strelnice 17	13,50	20,84	0,65	solver		
Strelnice 22	16,10	20,47	0,79	non-solver		
Strelnice 22	15,40	19,44	0,79	non-solver		
Strelnice 22	15,60	19,48	0,80	non-solver		
Strelnice 22	18,20	21,06	0,86	non-solver		
Strelnice 22	15,90	20,62	0,77	non-solver		
Strelnice 22	18,10	21,80	0,83	non-solver		
Strelnice 22	17,00	21,32	0,80	non-solver		
Strelnice 7	17,06	21,98	0,78	solver		
Strelnice 7	18,02	21,62	0,83	solver		
Strelnice 7	17,04	21,23	0,80	solver		
Strelnice 7	15,01	20,80	0,72	solver		
Strelnice 7	16,09	21,92	0,73	solver		
Strelnice 7	17,90	21,83	0,82	solver		
Strelnice 7	14,00	21,00	0,67	solver		
Strelnice 7	18,10	21,97	0,82	solver		
Strelnice 7	19,40	22,60	0,86	solver		
Krisovatk 44	12,80	20,20	0,63	solver		
Krisovatk 44	13,70	20,51	0,67	solver		
Krisovatk 44	13,90	20,77	0,67	solver		
Krisovatk 44	14,50	21,05	0,69	solver		
Krisovatk 44	15,90	21,18	0,75	solver		

Krisovatk 44	14,50	21,20	0,68	solver		
Krisovatk 44	12,50	20,27	0,62	solver		
Krisovatk 44	15,00	21,49	0,70	solver		
Krisovatk 44	13,30	20,65	0,64	solver		
Krisovatk 44	15,90	21,71	0,73	solver		
Krisovatk 44	14,00	21,10	0,66	solver		
Resov 32	14,60	20,32	0,72	non-solver		
Resov 32	13,60	19,28	0,71	non-solver		
Resov 32	17,10	21,32	0,80	non-solver		
Resov 32	15,00	20,59	0,73	non-solver		
Resov 32	15,90	21,07	0,75	non-solver		
Resov 32	13,80	20,53	0,67	non-solver		
Resov 32	9,50	17,29	0,55	non-solver		
Resov 32	14,50	20,26	0,72	non-solver		
Polesi 214	17,40	22,61	0,77	non-solver		
Polesi 214	17,80	22,52	0,79	non-solver		
Polesi 214	17,00	22,66	0,75	non-solver		
Polesi 214	15,90	21,38	0,74	non-solver		
Polesi 214	13,40	20,76	0,65	non-solver		
Polesi 214	16,90	21,49	0,79	non-solver		
Polesi 214	17,00	21,62	0,79	non-solver		
Polesi 214	17,10	22,24	0,77	non-solver		
Polesi 214	18,00	22,43	0,80	non-solver		
Polesi 214	16,50	22,81	0,72	non-solver		
Polesi 128	15,90	21,57	0,74	non-solver		
Polesi 128	15,90	22,01	0,72	non-solver		
Polesi 128	15,80	21,63	0,73	non-solver		
Polesi 128	15,20	21,21	0,72	non-solver		
Polesi 128	16,50	22,44	0,74	non-solver		
Polesi 128	17,00	22,26	0,76	non-solver		
Polesi 128	15,00	21,12	0,71	non-solver		
Polesi 128	15,10	21,33	0,71	non-solver		
Strelnice 44	15,50	21,47	0,72	non-solver		
Strelnice 44	15,00	21,22	0,71	non-solver		

Strelnice 44	15,10	21,27	0,71	non-solver		
Strelnice 44	17,10	22,12	0,77	non-solver		
Strelnice 44	15,50	21,54	0,72	non-solver		
Strelnice 44	14,80	21,07	0,70	non-solver		
Strelnice 44	15,30	21,40	0,71	non-solver		
Strelnice 44	14,50	20,88	0,69	non-solver		
Strelnice 23	15,60	20,59	0,76	non-solver		
Strelnice 23	17,50	21,53	0,81	non-solver		
Strelnice 23	17,00	21,34	0,80	non-solver		
Strelnice 23	15,40	20,17	0,76	non-solver		
Strelnice 23	16,30	21,16	0,77	non-solver		
Strelnice 23	17,10	21,38	0,80	non-solver		
Strelnice 23	17,10	21,14	0,81	non-solver		
Strelnice 23	13,90	20,19	0,69	non-solver		
Strelnice 23	15,80	19,63	0,80	non-solver		
Resov 13	15,90	22,58	0,70	non-solver		
Resov 13	15,40	22,14	0,70	non-solver		
Resov 13	15,50	21,95	0,71	non-solver		
Resov 13	15,90	21,90	0,73	non-solver		
Resov 13	15,20	22,01	0,69	non-solver		
Resov 13	17,00	22,12	0,77	non-solver		
Resov 13	11,60	19,25	0,60	non-solver		
Sluka 13	17,10	21,45	0,80	non-solver		
Sluka 13	13,50	20,77	0,65	non-solver		
Sluka 13	17,90	22,36	0,80	non-solver		
Sluka 13	17,00	21,61	0,79	non-solver		
Sluka 13	17,50	21,56	0,81	non-solver		
Sluka 13	16,00	21,00	0,76	non-solver		
Sluka 13	16,50	20,87	0,79	non-solver		
Polesi 208	12,90	19,67	0,66	non-solver		
Polesi 208	16,60	21,38	0,78	non-solver		
Polesi 208	11,40	19,01	0,60	non-solver		
Polesi 208	11,50	19,12	0,60	non-solver		
Polesi 208	15,80	20,69	0,76	non-solver		

Polesi 208	12,20	19,23	0,63	non-solver		
Polesi 208	17,50	21,26	0,82	non-solver		
Polesi 208	14,00	19,99	0,70	non-solver		
Polesi 208	16,10	20,83	0,77	non-solver		
Strelnice 31	16,00	21,23	0,75	non-solver		
Strelnice 31	18,00	20,81	0,86	non-solver		
Strelnice 31	17,10	21,75	0,79	non-solver		
Strelnice 31	17,30	20,66	0,84	non-solver		
Strelnice 31	17,90	21,64	0,83	non-solver		
Strelnice 31	17,90	21,98	0,81	non-solver		
Strelnice 31	16,40	20,95	0,78	non-solver		
Strelnice 31	16,10	21,26	0,76	non-solver		
Strelnice 31	17,00	21,68	0,78	non-solver		
Strelnice 13	15,60	21,03	0,74	non-solver		
Strelnice 13	14,50	20,82	0,70	non-solver		
Strelnice 13	15,80	21,13	0,75	non-solver		
Strelnice 13	17,10	21,75	0,79	non-solver		
Strelnice 13	15,20	20,15	0,75	non-solver		
Strelnice 13	16,80	21,32	0,79	non-solver		
Strelnice 13	15,90	21,08	0,75	non-solver		
Strelnice 13	14,50	20,59	0,70	non-solver		
Strelnice 13	15,00	20,32	0,74	non-solver		
Strelnice 13	16,80	20,89	0,80	non-solver		
Strelnice 13	15,90	21,15	0,75	non-solver		
NS 39	15,30	22,05	0,69	non-solver		
NS 39	17,00	22,16	0,77	non-solver		
NS 39	15,50	21,98	0,71	non-solver		
NS 39	15,50	22,35	0,69	non-solver		
NS 39	15,90	22,30	0,71	non-solver		
NS 39	17,90	22,46	0,80	non-solver		
NS 39	17,00	22,22	0,77	non-solver		
NS 39	15,50	22,38	0,69	non-solver		
NS 39	15,40	22,18	0,69	non-solver		
NS 39	12,00	19,85	0,60	non-solver		

```

#installation packages
install.packages("ggplot2")
install.packages("dplyr")
library(ggplot2)
library(dplyr)

#importation tableau CSV (POIDS3.csv)
POIDS3 <- read.csv2("~/Desktop/POIDS3.csv")

#calcul moyenne indice de masse et ecart type des "solver" et "non-
solver"
indices_stats <- POIDS3 %>%
+   group_by(testC) %>%
+   summarize(Moyenne = mean(indicemasse),
+             EcartType = sd(indicemasse))

#graphique
ggplot(indices_stats, aes(x = testC, y = Moyenne, fill = testC)) +
+   geom_bar(stat = "identity", position = "dodge") +
+   geom_errorbar(aes(ymin = Moyenne - EcartType, ymax = Moyenne +
EcartType),
+                 position = position_dodge(width = 0.9), width =
0.2) +
+   geom_text(aes(label = sprintf("%.2f", Moyenne)),
+             position = position_dodge(width = 0.9), vjust =
-0.5, size = 3) +
+   labs(x = "Test cognition", y = "Moyenne de l'indice de masse",
+        title = "Moyenne et Écart-Type de l'Indice de masse en
fonction de Solver/Non-Solver") +
+   theme_minimal() +
+   theme(legend.position = "right")

```

Annexe 6 : script du graphique de l'indice de masse des oisillons en fonction de la résolution de problème des parents

```

#installation packages
install.packages("ggplot2")
install.packages("dplyr")
library(ggplot2)
library(dplyr)

#importation tableau de donnée
mesure1 <- read.csv2("~/Desktop/mesure1.csv")

#calcul moyenne et ecart type pour les begs des oisillons en
fonction des "solver" et "non-solver"
begg_stats <- mesure1 %>%
+   group_by(TestC) %>%
+   summarize(Moyenne = mean(Begg),
+             EcartType = sd(Begg))

#graphique associé
ggplot(begg_stats, aes(x = TestC, y = Moyenne, fill = TestC)) +
+   geom_bar(stat = "identity", position = "dodge") +
+   geom_errorbar(aes(ymin = Moyenne - EcartType, ymax = Moyenne +
EcartType),
+                 position = position_dodge(width = 0.9), width =
0.2) +
+   geom_text(aes(label = sprintf("%.2f", Moyenne)),
+             position = position_dodge(width = 0.9), vjust =
-0.5, size = 3) +
+   labs(x = "Test cognition", y = "Moyenne des piailllements",
+        title = "Moyenne et Écart Type des piailllements en
fonction des tests cognitifs") +
+   theme_minimal() +
+   theme(legend.position = "right")

#calcul moyenne et ecart type pour l'indice d'éclosion en fonction
des "solver" et "non-solver"
indexhatching_stats <- mesure1 %>%
+   group_by(TestC) %>%
+   summarize(Moyenne = mean(Indexhatching),
+             EcartType = sd(Indexhatching))

#graphique associé
ggplot(indexhatching_stats, aes(x = TestC, y = Moyenne, fill =
TestC)) +
+   geom_bar(stat = "identity", position = "dodge") +
+   geom_errorbar(aes(ymin = Moyenne - EcartType, ymax = Moyenne +
EcartType),
+                 position = position_dodge(width = 0.9), width =
0.2) +
+   geom_text(aes(label = sprintf("%.2f", Moyenne)),
+             position = position_dodge(width = 0.9), vjust =
-0.5, size = 3) +
+   labs(x = "Test cogntion", y = "Moyenne de l'indice
d'éclosion",

```

Annexe 7 : scripts des graphiques associés au succès reproducteur des parents et la résolution des tests de cognition.

```

+         title = "Moyenne et Écart-Type de l'indice d'éclosion\nen
fonction de Solver/Non-Solver") +
+     theme_minimal() +
+     theme(legend.position = "right")

#calcul moyenne et ecart type pour l'indice d'envol en fonction des
"solver" et "non-solver"
indexfledged_stats <- mesure1 %>%
+   group_by(TestC) %>%
+   summarize(Moyenne = mean(Indexfledged),
+             EcartType = sd(Indexfledged))

#graphique associé
ggplot(indexfledged_stats, aes(x = TestC, y = Moyenne, fill =
TestC)) +
+   geom_bar(stat = "identity", position = "dodge") +
+   geom_errorbar(aes(ymin = Moyenne - EcartType, ymax = Moyenne +
EcartType),
+                 position = position_dodge(width = 0.9), width =
0.2) +
+   geom_text(aes(label = sprintf("%.2f", Moyenne)),
+             position = position_dodge(width = 0.9), vjust =
-0.5, size = 3) +
+   labs(x = "Test cognition", y = "Moyenne de l'indice d'envol",
+        title = "Moyenne et Écart-Type de l'indice d'envol\nen
fonction de Solver/Non-Solver") +
+   theme_minimal() +
+   theme(legend.position = "right")

#graphique pourcentage de solver et non-solver
#nombre total de ligne dans le tableau
lignes <- nrow(succ2)

#nombre de "solver" et "non-solver"
nombre_solver <- sum(succ2$TestC == "solver")
nombre_non_solver <- sum(succ2$TestC == "non-solver")

#tableau
tableau_nombre <- data.frame(Label = c("solver", "non-solver"),
+                             Count = c(nombre_solver,
nombre_non_solver))

#calcul poucentage
tableau_nombre$Percentage <- tableau_nombre$Count / total_rows * 100

#graphique associé
ggplot(tableau_nombre, aes(x = "", y = Count, fill = Label)) +
+   geom_bar(stat = "identity", width = 1) +
+   coord_polar(theta = "y") +
+   labs(fill = "Label", title = "Répartition de solver et non-
solver") +
+   geom_text(aes(label = paste(Count, " (", round(Percentage, 1),

```

```

"%)", sep = "")),
+   position = position_stack(vjust = 0.5)) +
+   theme_void() +
+   theme(legend.position = "right")

#graphique du jours d'éclosion en fonction de "solver" et "non-
solver"
succ2$Hatchingdate <- as.Date(succ2$Hatchingdate, format = "%d/%m/
%Y")
ggplot(succ2, aes(x = Hatchingdate, y = TestC, color = TestC)) +
+   geom_point(position = position_jitter(width = 0.2), size = 3)
+
+   scale_x_date(date_labels = "%Y-%m-%d", date_breaks = "days") +
+   labs(x = "Date d'éclosion", y = "Test cognition", title =
"Graphique du jours d'éclosion des oisillons en fonction de solver/
non-solver") +
+   theme_minimal() +
+   theme(axis.text.x = element_text(angle = 90, hjust = 1))

```

Certificat de stage



MASTER 1 GAED / TRENTE : Territorial and Environmental Transitions

Certificate to be sent to the Master's GAED/TRENTE secretariat, Department of Geography, Planning and Environment, Toulouse II University

Céline Marcia : celine.marcia@univ-tlse2.fr

INTERNSHIP CERTIFICATE

I, the undersigned: Peter Adamík, researcher

Organization: Palacký University in Olomouc, Faculty of Science, Department of Zoology. tř. 17. Listopadu 50, 771 46 Olomouc, Czech Republic

certifies that: Roméo Naeder

completed an internship: from 1/05/2023 to 31/7/2023

as part of the Master TRENTE: Territorial and Environmental Transitions

On the following theme/topic:

Research on cognition in Great tit population

The missions of the internship consisted of:

To perform cognitive tests on problem solving in the breeding populations as a part of a large-scale pan-European project. Participation in field work on monitoring breeding biology of cavity-nesting birds with a particular focus on the great tit *Parus major* biology. This included organization of field work, recording biometric data, performing field experiments, data processing and analysis.

Date

15/07/2023

Signature

Internship supervisor's report

Topics to assess	Insufficient	Satisfying	Excellent
Quality of the work carried out, involvement, response to the request of the structure			X
Understanding of the subject, method, ability to synthesize			X
Level of knowledge and technical skills			X
Understanding of the environment and professional actors			X
Integration in the service, relationships with partners			X
Autonomy: ability to take initiative, writing skills, organization of work			X
Professionalism			X

	Easy	Medium	Difficult	Very difficult
Difficulties of the duties			X	

Overall opinion on the internship :

I greatly appreciated the assistance of Roméo in my field work scheme. He worked fully independently, with substantial enthusiasm, reliability, and precision. Field work was at some points very difficult, and he managed data collection even in these harsh conditions. The internship was of great help to me, to my research agenda, and at the same time for Roméo as he learned a substantial amount of new information on field research in ornithology.

Grade proposition (on 20 points) :

17

Thank you for your interest in this report and for welcoming our students.

For the teaching team of the Master 1 GAED/ TRENT

Lea Sebastien and Philippe Béringuier

Table des figures

Figure 1 : Carte de l'Europe représentant la répartition des 24 sites d'études. Source : Laure Caurchard.	10
Figure 2 : Photo d'une mésange bleue. Source : wiki.tripleperformance.fr	11
Figure 3 : Photo d'une mésange charbonnière. Source : lemagdesanimaux.ouest-france.fr. ...	11
Figure 4 : Carte représentant la localisation du site d'étude en République Tchèque. Source : données www.gadm.org et public.opendatasoft.com, réalisation Roméo Naeder.	12
Figure 5 : Carte représentant la couverture végétale du sol de la zone d'étude. Source : données Adamik Peter et data.gov.cz (CORINE Land Cover 2012-2018 - Changes Czech Republic), Réalisation Roméo Naeder.	13
Figure 6 : Carte des sites protégés associés à notre zone d'étude. Source : données Adamik Peter, data.gov.cz et www.eea.europa.eu, réalisation Roméo Naeder.	14
Figure 7 : Carte de la répartition des différents sites étudiés, en rouge sont représentés les sites étudiés dans le cadre du suivi de population. Source : données Adamik Peter, réalisation Roméo Naeder.	16
Figure 8 : Photo d'un loir, Gliridae, dans un nichoir, principal prédateur des oiseaux étudiés. Source Elsa Daniaud.	17
Figure 9 : Carte de la répartition des nichoirs testés dans le cadre du projet Evol-Cog et du mémoire. Source : données Adamik Peter, réalisation Roméo Naeder	30
Figure 10 : Photo de la mise en place de la tâche de résolution de problème.	31
Figure 11 : Photo de l'installation du matériel d'enregistrement.	32
Figure 12 : Tableau décrivant l'éthogramme utilisé.	33
Figure 13 : Tableau qui répertorie les individus pouvant intervenir dans les tests.	34
Figure 14 : Photo de la mesure du poids d'un oisillon.	35
Figure 15 : photo de la mesure du tarse d'un oisillons.	35
Figure 16 : Graphique de la répartition des couples de mésanges charbonnières ayant réussi, en bleu (solver), et échoué, en rouge (non-solver), le test de cognition visant à évaluer leurs	

aptitudes innovantes. Source : Roméo Naeder, 12/08/2023, Rstudio, données annexe 4 et annexe 5.....	36
Figure 17 : Graphique des moyennes des piailllements des oisillons en fonction des résultats des tests de cognition des parents. En rouge, est représenté le piaillage moyen des familles « non-solver » et en bleu le piaillage moyen des familles « solver ». Source : Roméo Naeder données annexe 4 et annexe 5.	37
Figure 18 : Graphique des résultats des tests de cognition en fonction des dates d'éclosion des différentes nichées associées. Les points rouges représentent des familles « non-solver » et les points bleus les familles « solver ». Source : Roméo Naeder, 12/08/2023, Rstudio, données : annexe 4 et annexe 5.	38
Figure 19 : Graphique de la Moyennes de l'indice d'éclosion (IEC) des nichées en fonction des résultats des tests de cognition des parents. En rouge, est représenté l'IEC moyen des familles « non-solver » et en bleu l'IEC moyen des familles « solver ». Source : Roméo Naeder, 12/08/2023, Rstudio, données annexe 4 et annexe 5.....	39
Figure 20 : Graphique des moyennes de l'indice de masse (IM) des oisillons en fonction des résultats des tests de cognition des parents. Les données ont été collectées au douzième jour de vie de la nichée. En rouge, est représenté l'IM moyen des familles « non-solver » et en bleu l'IM des familles « solver », Source : Roméo Naeder, 12/08/2023, Rstudio, données : annexe 4 et annexe 5.....	40
Figure 21 : Graphique des moyennes de l'indice d'envol (IE) des nichées en fonction des résultats des tests de cognition des parents. En rouge, est représenté l'IE moyen des familles « non-solver », en bleu l'IE moyen des familles des « solver ». Source : Roméo Naeder, 12/08/2023, Rstudio, données annexe 4 et annexe 5.....	40

Table des annexes

Annexe 1 : Protocole test cognition.	51
Annexe 2 : Agenda journalier des tests de cognition à réaliser. Première ligne est associée à la date. On peut voir sur les autres cases, le nom de site + 1inov ou 2inov (premier ou second test) + numéro du nichoir.	53
Annexe 3 : calendrier des mesures des oisillons au douzième jour	54
Annexe 4 : tableau des données évaluant le succès reproducteur.	55
Annexe 5: Tableau de la condition physique des oisillons.	56
Annexe 6 : script du graphique de l'indice de masse des oisillons en fonction de la résolution de problème des parents	65
Annexe 7 : scripts des graphiques associés au succès reproducteur des parents et la résolution des tests de cognition.....	66

Table des matières :

Résumé	2
Abstract	3
Remerciements	4
Sommaire	5
Introduction	6
1 Cadre du stage	8
1.1 Structure d'accueil.	8
1.2 Contexte du stage.	9
1.3 Zone d'étude.....	11
1.4 Missions réalisées	15
1.4.1 Le suivi de population :	15
1.4.2 Missions sur des gobe-mouches à collier pour les recherches de P. Adamik.....	17
1.4.3 Missions sur des mésanges charbonnières dans le cadre du projet Evol-cog.....	18
2 Cadre théorique	19
2.1 Un nouvel environnement, l'urbanisation.....	19
2.2 La cognition	21
2.3 L'innovation	22
2.4 Urbanisation et le comportement cognitif	24
2.5 Objectifs et hypothèses.	26
3 Méthodes :	28
3.1 Choix des manipulations et du sujet d'étude.	28
3.2 Test cognitif :	29
3.2.1 Identification des nichoirs à tester :	29
3.2.2 Organisation d'une journée de test :	29
3.2.3 Mise en place du test de résolution de problème	30

3.3	Analyse vidéo :	32
3.4	Mesure du succès reproducteur :	34
3.5	Présentation des résultats :	35
4	Résultats	36
4.1	Examen des facteurs pouvant influencer la cognition :.....	36
4.2	Examen des liens entre les tests de cognition et le succès reproducteur.	38
5	Discussion	41
5.1	Discussion des résultats :	41
5.1.1	Discussion des facteurs pouvant influencer la cognition :	41
5.1.2	Discussion des liens entre les résultats des tests de cognition et le succès reproducteur. 42	
5.2	Discussion du stage :	44
5.2.1	Retour d'expérience : apports et limites du stage.	44
5.2.2	Compétences académiques utilisés, manquantes et acquises.	45
	Conclusion :	46
	Bibliographie	48
	Annexes	51
	Certificat de stage	69
	70
	Table des figures	71
	Table des annexes	73
	Table des matières :	74

Résumé :

Aujourd'hui, nos territoires sont de plus en plus façonnés par l'urbanisation. En parallèle, nous assistons à la destruction des habitats naturels, qui est la principale cause de la disparition de la faune. La cognition animale regroupe l'ensemble des mécanismes qui aident un individu à interagir avec son environnement. L'innovation leur permet d'adopter des comportements nouveaux ou de modifier un comportement existant face à une nouveauté. Dans ce présent devoir, nous nous intéressons aux facteurs pouvant influencer la cognition et aux liens existant entre l'innovation, le succès reproducteur et l'adaptation d'une espèce à un milieu urbain. Pour cela, nous avons réalisé une synthèse des littératures qui traitent et associent le comportement innovant à un contexte urbain. Dans un second temps, nous avons réalisé des tests de cognition visant à mesurer les aptitudes innovantes d'une population de mésanges charbonnières, en période d'approvisionnement des oisillons, en nous intéressant d'abord aux mécanismes de la cognition, puis aux variations phénologiques des nichées associées aux résultats des tests. Nos résultats montrent que 22 % des parents testés ont réussi le test. Nous pensons que les oiseaux ont été motivés par les piaillements des petits. D'autres facteurs semblent jouer sur la résolution des tests, la personnalité de l'individu, l'environnement (météo, température), indépendamment des capacités innovantes. Nos mesures ont ensuite révélé que les parents qui avaient résolu le problème arrivaient à garder plus d'oisillons jusqu'à l'envol. Mais aucun lien direct n'a été trouvé entre l'indice d'éclosion, l'indice de masse des oisillons et les aptitudes cognitives des parents. Tout de même, notre interprétation croisée de l'indice de masse et du nombre d'oisillons à l'envol tend à montrer que l'innovation aide les parents à approvisionner le nid de l'éclosion à l'envol et ainsi permet la survie des petits. La littérature met en évidence la survie et l'adaptation des animaux innovants en contexte urbain. Ils présentent des facilités pour adopter de nouvelles sources de nourriture, de nouveaux habitats. Cependant, des observations lient certaines espèces invasives et les comportements « risqués » de certains individus à leur aptitude à l'innovation.

Mots clés : Comportement animal ; Innovation ; Urbanisation ; Succès reproducteur ; Écologie.

Abstract:

Currently, our territories are being sculpted more and more by urbanisation. At the same time, we are seeing the destruction of natural habitats, the main cause of the extinction of animal species. Animal cognition brings together all the mechanisms that help an individual to interact with its environment. Innovation enables them to adopt new behaviours or modify existing behaviours in response to something new. In this paper we are interested in the influences on cognition and the links between innovation, reproductive success and the adaptation of a species to the urban environment. To do this, we produced a synthesis of the literature that deals with and links innovative behaviour to an urban context. Secondly, we carried out cognitive tests aimed at measuring the innovative abilities of a population of great tits during the chick provisioning period, by looking first at the cognitive mechanism and then at the phenological variations in clutches associated with the test results. Our results show that 22% of the parents tested passed the test. We think that the birds were motivated by the chirping of their young. Other factors seem to play a role in solving the test: the individual's personality, the environment (weather, temperature), independently of innovative abilities. Our measurements showed that parents who had solved the problem were able to keep more chicks until they fledged. But no direct link was found between the hatching index, the chick mass index and the parent's cognitive skills. Nevertheless, our cross-interpretation of the mass index and the number of chicks fledged suggests that innovation helps the parents to provide the nest with food from hatching to fledging and consequently enables the chicks to survive. The literature highlights the survival and adaptation of innovative animals in an urban context. They are able to adopt new food sources and new habitats. However, the observation of invasive species and individuals exhibiting 'risky' behaviour are associated with a high rate of innovation.

Keywords: Animal behaviour; Innovation; Urbanisation; Reproductive success; Ecology.