

Suivi de la colonie d'Hirondelles de fenêtre (*Delichon urbicum*) à Louvain-la-Neuve, Belgique : tendances de population et utilisation des nids artificiels comme refuge nocturne



Nuyt Manon

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme
de Master en Biologie des Organismes et Ecologie

Promotrice : Renate Wesselingh (UCLouvain)

Année 2022-2023

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont soutenue durant ces 2 années de travail.

Tout particulièrement, ma promotrice de mémoire, Madame Renate Wesselingh, qui m'a proposé un sujet lié à mon intérêt pour les oiseaux puis m'a soutenue, aidée et aiguillée tout au long de ce dernier. Je remercie également son mari, Jacob Vogel, qui nous a apporté son aide pour réaliser les observations et son aide sur le terrain.

Merci à mon fiancé, Nathan De Leener, pour son soutien au quotidien durant les 2 années de réalisation de ce travail, pour les observations de terrain, la récolte de données et la prise de photos.

Merci à ma maman, Isabelle Collart, qui m'a aidée jusqu'aux derniers instants pour les relectures, corrections et pour le soutien moral.

Merci également à ma belle-mère, Bénédicte Ledoux, pour les relectures, corrections et traductions.

Merci à ma sœur et mon beau-frère, Laura Nuyt et Raphaël Higuët, pour l'aide dans les relectures, la mise en page et les traductions.

Merci à mon papa, Vincent Nuyt, pour son soutien et tous les bons petits plats.

Merci à l'ensemble de ma famille en général qui m'a soutenue tout du long.

Merci à toutes les personnes du bureau C114 pour l'ambiance incroyable.

Suivi de la colonie d'Hirondelles de fenêtre (*Delichon urbicum*) à Louvain-la-Neuve, Belgique: tendances de population et utilisation des nids artificiels comme refuge nocturne.

Résumé

Les populations hirondelles de fenêtre sont en déclin en Europe. La colonie de Louvain-la-Neuve a été suivie en 2009, puis entre 2018 et 2021 suite à l'installation de 218 nids artificiels.

En 2022, le suivi de la colonie a été fait sur base d'observations pendant l'entièreté de la saison de reproduction. Pour séparer les premières et deuxièmes pontes, la saison a été divisée en deux périodes, la seconde débutant mi-juillet. Au cours de cette saison, 102 nichées ont été recensées (47 dans des nids artificiels et 55 dans des nids naturels) et 81 nids ont été occupés (38 artificiels et 43 naturels). Le taux d'occupation des nids artificiels était de 17%. Les estimations indiquent un taux de seconde ponte de 26% basé sur le nombre de nids occupés deux fois et 40% basé sur le nombre de nichées durant la seconde période. Ce taux est inférieur aux valeurs attendues en Europe du Nord-Ouest. L'ensemble des indicateurs révèlent une baisse de la population globale entre 2009 et 2022 (réduction de 35% du nombre de nids et de 42% du nombre de nichées). Bien qu'il y ait eu une augmentation de l'effectif global entre 2018 et 2020, le déclin a repris plus rapidement entre 2020 et 2022. La colonie semble également souffrir d'une pénurie de boue, apparente par la diminution de l'utilisation des nids naturels. Les réparations ont été réalisées avec une boue retrouvée dans les corniches. Ce matériau friable a entraîné des réparations incomplètes pour la moitié des cas, se solvant par un échec de reproduction dans ces nids.

De plus, il n'est pas rare d'observer des hirondelles dormir dans un nid vide le temps d'une nuit. Un deuxième volet de l'étude s'est intéressé à ce comportement à savoir, la fréquence, le lieu et la période de ces occupations nocturnes. Pour ce faire, 30 nids artificiels ont été équipés de capteurs thermiques. Leur température interne a été mesurée sur l'ensemble de la saison. Sur les 32 nids étudiés (dont 2 sans capteurs), 28 ont été occupés pendant au moins une nuit et 14 ont été utilisés pour la nidification. La majorité de ces occupations éphémères ont eu lieu avant la nidification et après l'envol des jeunes. Les raisons de tels comportements peuvent être multiples et seront à investiguer dans des études ultérieures. Le nombre de nids occupés pendant au moins une nuit était deux fois supérieur à celui des nids effectivement utilisés pour la nidification. Il est donc primordial de fournir un nombre de nids artificiel en excès de celui des nids visiblement utilisés.

Les nids artificiels sont une bonne mesure de conservation et sont bien utilisés à Louvain-la-Neuve. Cependant, la population est en baisse malgré leur présence. Pour améliorer la condition des Hirondelles de fenêtre, il faudrait augmenter la disponibilité en boue en installant des bacs de boue et améliorer la condition des insectes en optimisant la gestion des espaces verts.

Monitoring the colony of House Martins (*Delichon urbicum*) in Louvain-la-Neuve, Belgium: population trends and use of artificial nests as a night-time shelter.

Abstract

Common house martins (*Delichon urbicum*) populations are declining in Europe. The colony of Louvain-la-Neuve was first monitored in 2009, then again between 2018 and 2021 following the installation of 218 artificial nests. In 2022, it was monitored on the basis of observations during the entire breeding season. To separate the first and second egg-laying, the season was divided into two periods, with the second one starting mid-July.

During this season, 102 broods were identified (47 in artificial nests and 55 in natural nests) and 81 nests were occupied (38 artificial and 43 natural). The occupancy rate of artificial nests was 17%. Estimates indicate a second laying rate of 26% based on the number of nests occupied twice and 40% based on the number of broods during the second breeding period. This rate is clearly lower than expected in North-West Europe. All indicators reveal a decline in the overall population between 2009 and 2022 (35% reduction in the number of nests and 42% reduction in the number of broods). Although there was an overall increase in numbers between 2018 and 2020 in result of the installation of artificial nests, the decline resumed quicker between 2020 and 2022. The colony also appears to suffer from a shortage of mud, apparent by the decrease in the use of natural nests. The repairs were carried out with mud found in the ledges. This rather weak material led to incomplete repairs in half of the cases, leading to reproductive failure in these nests.

In addition, it is not uncommon to observe swallows sleeping in empty nests for one night. The second part of the study focused on that behaviour and more particularly on the frequency, the place and the period of these nocturnal occupations. To do so, 30 artificial nests were equipped with thermal sensors. Their internal temperature was measured throughout the season. Out of the 32 nests that were studied (including 2 without sensors), 28 were occupied for at least one night and 14 were used for nesting. The majority of these ephemeral occupations occurred during the period after the young ones had flown away and before nesting. The reasons for such behaviours can be numerous and this should be investigated in future studies. The number of nests occupied for at least one night was twice higher than the nests actually used for nesting. This proves that it is essential to provide more artificial nests than what we could expect by just looking at the nests actually used.

Artificial nests are a good conservation measure and are well used in Louvain-la-Neuve. However, the population is declining despite their presence. To improve the condition of House martins, we must continue our efforts and provide mud bins to increase its availability as well as boosting insects by optimising the management of green spaces.

Table des matières

Introduction	7
1. Contexte de l'étude	7
1.1. La situation des oiseaux	7
1.2. Le statut des Hirondelles de fenêtre	9
2. La nidification.....	10
2.1. Les différents types de nids	10
2.2. Nicher avec l'aide de l'Homme.....	11
3. La vie en colonie.....	12
4. Hirondelle de fenêtre (<i>Delichon urbicum</i>) – Tour d'horizon de l'espèce	14
4.1. La famille des Hirundinidae	14
4.2. Description de l'espèce <i>Delichon urbicum</i>	14
4.3. La migration.....	16
4.4. La reproduction	18
4.5. État des populations et menaces	20
4.6. Préférences pour la nidification.....	22
5. Le travail des dernières années à Louvain-la-Neuve	24
6. Objectifs, questions de recherche et hypothèses.....	25
6.1. Objectifs.....	25
6.2. Questions de recherche.....	25
6.3. Hypothèses.....	26
Matériel et Méthodes	27
1. Suivi de la population d'Hirondelles de fenêtre à Louvain-la-Neuve.....	27
1.1. Objectifs.....	27
1.2. Collecte des données	27
1.3. Analyse des données	37
2. État des nids naturels.....	40
2.1. Collecte des données	40
2.2. Analyse des données	41
3. Occupations nocturnes des nids artificiels.....	42
3.1. Collecte des données	42
3.2. Analyse des données	46
Résultats	49
1. État de la population d'Hirondelles de fenêtre de Louvain-la-Neuve.....	49
1.1. Résultats de l'année 2022.....	49
1.2. Tendances de population.....	60

2.	État des nids	66
2.1.	Évolution de l'état des nids en 2022.....	66
2.2.	Réparations	67
3.	Analyse des données thermiques.....	68
	Discussion.....	72
1.	Quel est l'état de la population d'Hirondelles de fenêtre à Louvain-la-Neuve ?	72
1.1.	Comment s'est déroulée la saison de reproduction en 2022 ?	72
1.2.	Les nids artificiels sont-ils une bonne mesure de conservation à Louvain-la-Neuve ?	75
1.3.	La colonie de Louvain-la-Neuve souffre-t-elle du manque de boue ?	77
1.4.	Comment évolue la population d'Hirondelles de fenêtre à Louvain-la-Neuve ?	78
2.	Combien de nids artificiels sont réellement utilisés pendant la saison et quelles sont leurs fonctions ?.....	82
2.1.	Quelles sont les fonctions principales des nids artificiels ?	82
2.2.	Combien de nids sont utilisés pendant la saison ?	83
2.3.	Y a-t-il suffisamment de nids artificiels à Louvain-la-Neuve ?	84
3.	Perspectives d'amélioration	85
3.1.	Suivi de population	85
3.2.	Étude des occupations nocturnes – données thermiques.....	86
	Conclusion.....	88
	Perspectives	89
	Bibliographie	90
	Annexes	96
	Annexe 1 : Liste des nids équipés avec un capteur thermique.....	96
	Annexe 2 : Détail des nids nettoyés en 2022.....	97
	Annexe 3 : Récapitulatif des nids et nichées de l'année 2021.	97
	Annexe 4 : Courbes des températures collectées avec les données thermiques, regroupées par groupes de nids voisins.	98
	Groupe 1	98
	Groupe 2	98
	Groupe 4	99
	Groupe 5	99
	Groupe 6	100
	Groupe 7	100
	Groupe 8	101

Introduction

1. Contexte de l'étude

La chute des effectifs au sein de nombreuses espèces sur Terre est un constat sans appel : nous vivons une crise de la biodiversité. Nous sommes actuellement au cœur du sixième épisode d'extinction de masse, qui est le premier causé par les actions d'une seule espèce : l'Homme.

Ce mémoire est ciblé sur l'état des populations d'une espèce en particulier : l'Hirondelle de fenêtre, *Delichon urbicum*. Cependant, dans le contexte de la crise de la biodiversité, il semble important de situer cette espèce dans un cadre plus large et de regarder l'état des oiseaux en général.

1.1. La situation des oiseaux

Depuis 1988, la situation des oiseaux dans le monde se détériore. On compte actuellement 11121 espèces d'oiseaux, dont plus de 40% voient leurs populations diminuer. Ces chutes de populations sont extrêmes pour 1 469 espèces, soit 13% du total qui sont menacées d'extinction à l'échelle mondiale (BirdLife International, 2018).

Ce déclin des populations d'oiseaux ne concerne pas uniquement des espèces isolées. En effet, de nombreuses espèces communes voient également leurs effectifs diminuer. En Wallonie par exemple, entre 1990 et 2018, la majorité des 81 espèces communes étudiées par DEROUAUX ET PAQUET, était en déclin. Parmi ces espèces, les effectifs décroissent en moyenne de 1% par an depuis 28 ans et cette diminution s'accélère depuis 10 ans (Derouaux & Paquet, 2018).

Ce constat alarmant sur l'état de l'avifaune invite à se questionner sur les causes d'un tel déclin et les actions à mener pour préserver les oiseaux.

La première cause de la disparition des oiseaux est l'altération des habitats (fragmentation, réduction et destruction). Cette dernière est principalement causée par l'expansion agricole, l'exploitation forestière et l'urbanisation. Les espèces migratrices sont particulièrement affectées par la destruction des habitats car leur conservation nécessite la préservation d'au moins deux types d'habitat, les zones où elles passent l'hiver et celles où elles se reproduisent en été (BirdLife International, 2018).

Une deuxième menace pour la biodiversité est les espèces exotiques envahissantes. Sur les 500 dernières années, les espèces envahissantes comme les rongeurs et les chats ont été responsables de l'extinction d'au moins 112 espèces d'oiseaux. Ce qui en fait le facteur responsable d'extinction des oiseaux le plus fréquent (BirdLife International, 2018).

Une troisième menace sur les populations d'oiseaux est l'usage excessif de pesticides. Ces derniers réduisent drastiquement la quantité d'insectes, engendrant une pénurie de nourriture pour les insectivores (BirdLife International, 2018).

Le changement climatique est également une des principales menaces pour la biodiversité. L'augmentation des températures du globe entraîne des changements dans la distribution des espèces, dans les cycles de reproduction et de migration entraînant le déclin des populations. (BirdLife International, 2018 ; IPBES, 2019)

La biodiversité souffre également de la pollution sous toutes ses formes, entraînant la mort de nombreux individus (BirdLife International, 2018).

Finalement, la surexploitation des ressources affecte les populations d'oiseaux notamment à travers la chasse non durable, le piégeage pour le commerce et les prises accidentelles dans la pêche (BirdLife International, 2018).

Face à ces menaces de grande ampleur, il est urgent d'agir pour protéger la biodiversité.

Les premières actions efficaces sont les projets de conservation. En effet, au cours des 100 dernières années, au moins 25 espèces d'oiseaux au bord de l'extinction ont été sauvées grâce à des projets de conservation. Une conservation efficace commence par cibler des ressources à protéger. En Europe, en vue notamment de protéger les oiseaux, la Directive Oiseaux de 1979 et la Directive Habitats de 1992 ont permis la mise en place d'un réseau d'aires protégées à travers les 27 pays de l'Union Européenne, le réseau Natura 2000. Ce réseau s'étend sur plus de 18% des surfaces terrestres et 8% du territoire maritime d'Europe (European Commission, n.d.). Les sites Natura 2000 assurent une protection juridique des espèces et des habitats importants.

En plus de la conservation des habitats, d'autres actions sont à entreprendre comme la restauration de paysages détériorés, l'éradication et la lutte contre les espèces exotiques envahissantes et le rétablissement d'espèces grâce notamment à l'élevage en captivité et la réintroduction des espèces dont les effectifs sont particulièrement réduits (BirdLife International, 2018).

1.2. Le statut des Hirondelles de fenêtre

Les Hirondelles de fenêtre sont actuellement classées dans la catégorie *Least Concern* (LC) de IUCN. Cette classification signifie, qu'à l'échelle mondiale, son aire de répartition est très vaste ($> 20\,000\text{ km}^2$), les tendances de population sont en baisse, mais lente ($< 30\%$ de déclin sur dix ans ou trois générations), et la taille des populations est très importante, largement supérieure au seuil de la catégorie *Vulnérable* ($< 10\,000$ individus matures avec un déclin continu estimé à $> 10\%$ en dix ans ou trois générations, ou avec une structure de population spécifiée) (BirdLife International, 2023).

Cependant, les populations d'Hirondelles de fenêtre sont en déclin dans beaucoup de pays d'Europe de l'Ouest (Michler et al., 2018). Si bien qu'au Royaume-Uni par exemple, l'espèce a intégré la liste rouge depuis 2015, soit le plus haut statut de conservation (Harris et al., 2021).

En effet, à l'échelle mondiale, entre 1980 et 2019, on a constaté une diminution des effectifs de 26% soit 1,66% par an (PECBMS, n.d.).

De nombreux projets de conservation pour cette espèce sont donc mis en place en Europe, principalement en milieu urbain, qui semble être l'habitat où le déclin le plus important est observé (Paquet & Fouarge, 2006). Pour favoriser le maintien des populations et fournir davantage de sites de nidification, la mesure de conservation la plus courante pour cette espèce est l'installation de nids artificiels (BirdLife International, 2023).

Outre leur fonction principale pour la nidification, ces nids artificiels apportent de nombreux avantages pour les colonies d'Hirondelles de fenêtre. Ils peuvent par exemple avoir un effet attractif, offrir un large choix de nids, être utilisés comme dortoir pour les jeunes après l'envol, ou encore servir de refuge nocturne pour les adultes. C'est pourquoi il est recommandé d'installer un grand nombre de nichoirs à la fois (Weiserbs et al., 2004 ; Carels, 2015).

Ce mémoire est orienté spécifiquement sur la colonie d'Hirondelles de fenêtre de la ville de Louvain-la-Neuve en Belgique. Cette colonie niche au sein de nids naturels et artificiels.

Cette étude a pour objectif de déterminer l'état de cette colonie en 2022 et d'en interpréter les tendances de population en comparant les données avec celles d'années antérieures.

De plus, les occupations nocturnes des nids artificiels seront étudiées pour tenter de comprendre l'utilisation de ces nids et de déterminer le nombre de nichoirs nécessaires pour la bonne conservation de cette colonie.

Dans ce document, une introduction de l'Hirondelle de fenêtre est d'abord présentée. Ensuite, l'étude réalisée à Louvain-la-Neuve en 2022 est détaillée en trois parties : matériel et méthodes, présentation des résultats et discussion. Le rapport se termine par une conclusion et propose des perspectives d'évolution pour de futures études sur le sujet.

2. La nidification

2.1. Les différents types de nids

Les passereaux sont le groupe d'oiseaux qui ont développé les nids les plus élaborés. Trois grands types de nidification sont retrouvés dans ce groupe. Les nids au sein de cavités, les nids ouverts en forme de coupelle et finalement, les nids fermés qui possèdent un toit construit par l'oiseau. Ces différents types de nids se retrouvent soit au sol, soit en hauteur (Collias, 1997).

Au sein de la famille des Hirundinidés (famille à laquelle appartient l'Hirondelle de fenêtre), on retrouve une grande variété de types de construction de nids. Ceux-ci couvrent la plupart des grands types de nidification des passereaux cités ci-dessus.

Le mode de nidification primitif de cette famille est la nidification dans des terriers auto-excavés. Ce type de nid est encore utilisé par de nombreuses espèces, comme l'Hirondelle de rivage (*Riparia riparia*) (Winkler & Sheldon, 1993).

Ensuite, certaines espèces d'hirondelles nichent dans les cavités naturelles d'arbres ou de rochers. Ce type de nidification est retrouvé chez 27 espèces, toutes exclusivement localisées en Amérique du Nord et du Sud (Olios, 2020).

Finalement, les hirondelles peuvent aussi construire des nids en boue, fixés à des surfaces verticales. On retrouve plusieurs types de nids en boue : les coupelles ouvertes comme le nid de l'Hirondelle rustique (*Hirundo rustica*), les nids fermés comme celui de l'Hirondelle de fenêtre, et finalement les nids fermés avec un tunnel d'entrée comme le font les Hirondelles rousselines.

Il semblerait que de la construction en boue soit apparue en Afrique, avant de s'étendre au continent Eurasiatique. De plus, ce type de construction en boue est uniquement retrouvé chez les hirondelles, parmi toutes les espèces d'oiseaux (Winkler & Sheldon, 1993).



Figure 1: Photographie de nids naturels d'Hirondelle de fenêtre, construits à partir de milliers de boulettes de boue. Louvain-la-Neuve, 2023.

2.2. Nicher avec l'aide de l'Homme

Les projets de conservation des oiseaux impliquent régulièrement l'installation de nichoirs. De manière à mener à bien ce type de mesure, il est primordial de remplir certains critères afin d'évaluer si ceux-ci sont indispensables dans l'environnement.

Selon DULISZ ET AL. (2022), ces derniers sont les suivants :

- 1) Disponibilité du matériau de construction des nids (en cas de nidification dans des cavités)
- 2) Corrélation positive entre les conditions environnementales locales et la biologie de la reproduction de l'espèce cible
- 3) Localisation et distribution des nichoirs correspondant à des habitats appropriés et à des distances optimales pour des interactions intra- et interspécifiques

En général, lorsque les nichoirs sont implantés dans un habitat adéquat – accès à de la nourriture, abri des prédateurs et des conditions météorologiques défavorables – ils sont une bonne mesure de conservation. En particulier pour les espèces nichant sur les bâtiments qui peuvent souffrir d'un manque de sites de nidification à la suite de travaux de restauration.

Finalement, l'utilisation de nichoirs favorise généralement l'augmentation des populations locales plus ou moins rapidement en fonction des espèces et de leur tendance à utiliser les nichoirs (Dulisz *et al.*, 2022).

3. La vie en colonie

Les Hirondelles de fenêtre sont des oiseaux sociaux qui nichent en colonie. Chez cette espèce, les nids sont réutilisés chaque année, mais rarement par les deux mêmes individus (RSPB, n.d.). Les colonies peuvent être composées de plusieurs centaines de nids, mais en général, leur taille n'excède pas quelques dizaines de nids (Olios, 2020). En théorie, les colonies d'oiseaux sont des assemblages visibles de nids, dans une zone restreinte (Møller, 1987). Sur le terrain, une colonie peut être définie comme l'ensemble des nids situés dans un rayon de 50 mètres autour de la concentration principale de nids (Murgui, 2002).

La vie en colonie n'est pourtant pas un mode de vie courant chez les oiseaux puisqu'elle n'est observée que chez 13% d'entre eux (Causey & Kharitonov, 1990). On peut alors se questionner sur l'origine de ce mode de vie particulier et ses avantages et inconvénients.

La reproduction au sein d'une colonie est apparue plusieurs fois au cours de l'évolution. Ce comportement est fréquemment retrouvé chez les oiseaux marins (98% des espèces), mais peu chez les passereaux (16% des sous-familles). En effet, la majeure partie des espèces de passereaux est solitaire, la nidification en colonie n'est stricte que chez deux familles, les Corvidae et les Hirundinidae (Causey & Kharitonov, 1990).

Certains facteurs ont été identifiés comme importants dans la formation d'une colonie.

D'abord, il faut pouvoir retrouver une abondance de nourriture en dehors du site de nidification pour limiter la compétition intraspécifique pour les ressources (Causey & Kharitonov, 1990).

Ensuite, il était commun de penser qu'une colonie se crée en réponse à une pénurie de sites de nidification (Causey & Kharitonov, 1990). Ce critère est cependant décrié assez rapidement face à la présence de sites de nidification favorables restant inutilisés à proximité de sites occupés (Danchin & Wagner, 1997 ; Hoogland & Sherman, 1976).

Enfin, une colonie peut être créée en réponse au besoin de défense des nids contre les prédateurs (Causey & Kharitonov, 1990). La défense collective des prédateurs par harcèlement de groupe est effectivement courante au sein de colonies d'oiseaux (Møller, 1987 ; Hoogland & Sherman, 1976). Cependant, de grands groupes d'oiseaux ont également tendance à attirer les prédateurs (Danchin & Wagner, 1997).

Les avantages de la nidification en colonie sont multiples :

- Réduction du risque de prédation par effet de dilution (Møller, 1987 ; Hoogland & Sherman, 1976).
- Facilitation de la recherche de nourriture (Møller, 1987).
- Augmentation du succès reproducteur (Møller, 1987).

Cependant, nicher en colonie entraîne également de nombreux désavantages :

- Augmentation de la compétition pour les partenaires sexuels, la nourriture et l'espace (Møller, 1987 ; Hoogland & Sherman, 1976).
- Augmentation des risques de prédation par l'effet attractif du groupe (Møller, 1987).
- Augmentation de la transmission de maladie et d'ectoparasites (Murgui, 2002 ; Hoogland & Sherman, 1976).
- Augmentation du parasitisme intraspécifique des nids et infanticides (Møller, 1987).

Les éléments cités ci-dessus ne sont que partiellement convaincant pour justifier une nidification groupée en colonie, car aucun ne semble suffisamment bénéfique face aux désavantages d'une colonie. D'autres facteurs sont alors à investiguer selon DANCHIN & WAGNER (1997) comme des préférences de caractéristiques physiques et biologiques pour un habitat favorable ou encore la présence de conspécifiques, leur succès reproducteur ou même des caractéristiques de partenaires potentiels.

4. Hirondelle de fenêtre (*Delichon urbicum*) – Tour d’horizon de l’espèce

4.1. La famille des Hirundinidae

L’Hirondelle de fenêtre est un passereau appartenant à la famille des Hirundinidae.

Les représentants de cette famille peuvent être distingués par leur corps aérodynamique, au cou court et aux ailes longues et pointues. Les hirondelles ont les pattes très courtes aux muscles peu développés, signe d’un mode de vie principalement aérien. Sur leur corps, les parties nues sont en général noires (bec, pattes, yeux). Certaines espèces ont la queue fourchue, avec ou sans les rectrices externes allongées (filets) (Svensson et al., 2009 ; Olioso, 2020).

Cette famille contient 19 genres et 88 espèces réparties sur tous les continents, mais dont la majeure partie niche en Afrique et en Amérique (Olioso, 2020).

Cinq espèces d’hirondelles, migratrices pour la plupart, sont nicheuses en Europe. Il s’agit de l’Hirondelle rustique (*Hirundo rustica*), l’Hirondelle de fenêtre (*Delichon urbicum*), l’Hirondelle rousseline (*Cecropis daurica*), l’Hirondelle de rivage (*Riparia Daria*) et l’Hirondelle des rochers (*Ptyonoprogne rupestris*) (Svensson et al., 2009).

4.2. Description de l’espèce *Delichon urbicum*

L’espèce *Delichon urbicum* (Hirondelle de fenêtre) a été décrite par Linné en 1758.

Les Hirondelles de fenêtre ont une taille de 13,5 à 15 cm (Svensson et al., 2009), pour une envergure de 26 à 29 cm (RSPB, n.d.). Elles pèsent entre 15 et 23 grammes (Olioso, 2020).

Le dessus de l’oiseau est noir, sauf le croupion qui est blanc. La calotte, le dos et les épaules ont un reflet bleu luisant. Sur le dessous, le plumage est entièrement blanc. Les pattes sont également couvertes de plumes blanches. La queue est courte, noire et moyennement fourchue. Les adultes sont identiques et les jeunes sont plus ternes sur les parties noires et d’une apparence « sale » sur les parties blanches. (Svensson et al., 2009)



Figure 2 Illustration d'une Hirondelle de fenêtre (*Delichon urbicum*), (RSPB, n.d.).

Les Hirondelles de fenêtre volent de façon voletante, fréquemment en vol plané, les ailes étendues et en suivant souvent une trajectoire circulaire (Svensson et al., 2009).

Cette espèce est strictement insectivore. Elle chasse les insectes volants généralement à une vingtaine de mètres d'altitude et capture des proies mesurant entre 2 et 8 mm. Elle se nourrit principalement d'hyménoptères, de coléoptères, d'hémiptères et de diptères (Daoudi et al., 2002).

En Europe cette espèce est abondante. Malgré la diminution des effectifs, on y retrouve entre 22,4 et 47,2 millions d'individus matures. À l'échelle mondiale, on estime la population entre 10 et 500 millions d'individus matures (BirdLife International, 2023). En Belgique, la population a été estimée entre 35 et 70 milles couples en 1992 (Olios, 2020).

L'aire de répartition des Hirondelles de fenêtre est vaste (30,8 à 43,5 millions de km²). Elles nichent principalement dans le Paléarctique occidental, cependant elles ne sont en Europe qu'entre avril et octobre, pour la reproduction. C'est une espèce migratrice qui passe l'hiver sur le continent Africain (Svensson et al., 2009).

L'espèce se distingue en deux sous-espèces. La première, *Delichon urbicum urbicum* retrouvée dans la majeure partie de l'aire de répartition, soit des côtes atlantiques de l'Europe occidentale à la Sibérie. La deuxième, *Delichon urbicum meridionale* se reproduit uniquement dans le sud de l'Europe, au Maghreb, en Iran et dans le nord de l'Inde.

L'Hirondelle de fenêtre est une espèce sociale qui niche en colonie. De plus, elle fait partie des espèces ayant pu profiter des constructions humaines puisqu'elles ont rapidement remplacé la nidification sur les parois rocheuses par l'installation de leurs colonies sur les habitations humaines (Oliosio, 2020).

4.3. La migration

Les Hirondelles de fenêtre sont visibles tout l'été en Europe. Cependant, leurs aires d'hivernage sont longtemps restées un mystère pour les scientifiques. En effet, ces oiseaux ne sont pratiquement jamais observés en Afrique puisqu'ils vont rester en vol, au-dessus des forêts tropicales pendant tout l'hiver.

À force de nombreuses captures à la sortie du nid et d'effort d'échantillonnage, plusieurs centaines de milliers d'Hirondelles de fenêtre ont été baguées en Europe et les aires d'hivernage ont pu être déterminées. Des chercheurs néerlandais ont réussi à estimer, grâce à une analyse multi-isotopique de plumes et des données de retour de bagues basées sur la longitude, que les Hirondelles de fenêtre étudiées aux Pays-Bas ont passé l'hiver en Afrique de l'Ouest (Hobson et al., 2012).

Les Hirondelles de fenêtre commencent leur migration vers l'Afrique entre les mois d'août et octobre en fonction des régions et traversent la mer Méditerranée et le désert du Sahara sur un large front, sans emprunter les voies migratoires classiques (côtes et détroits). Ce type de route peut être expliqué grâce à leur capacité de dormir dans les airs et leur habilité à voler à haute altitude. De plus, aucun comportement d'engraissement, pour se constituer des réserves lipidiques, n'a pu être mis en évidence avant le départ. On estime donc qu'elles vont chasser du plancton aérien pendant leur voyage (Hobson et al, 2012).

Les aires de reproduction et d'hivernages des Hirondelles de fenêtre sont représentées à la *figure 3*.

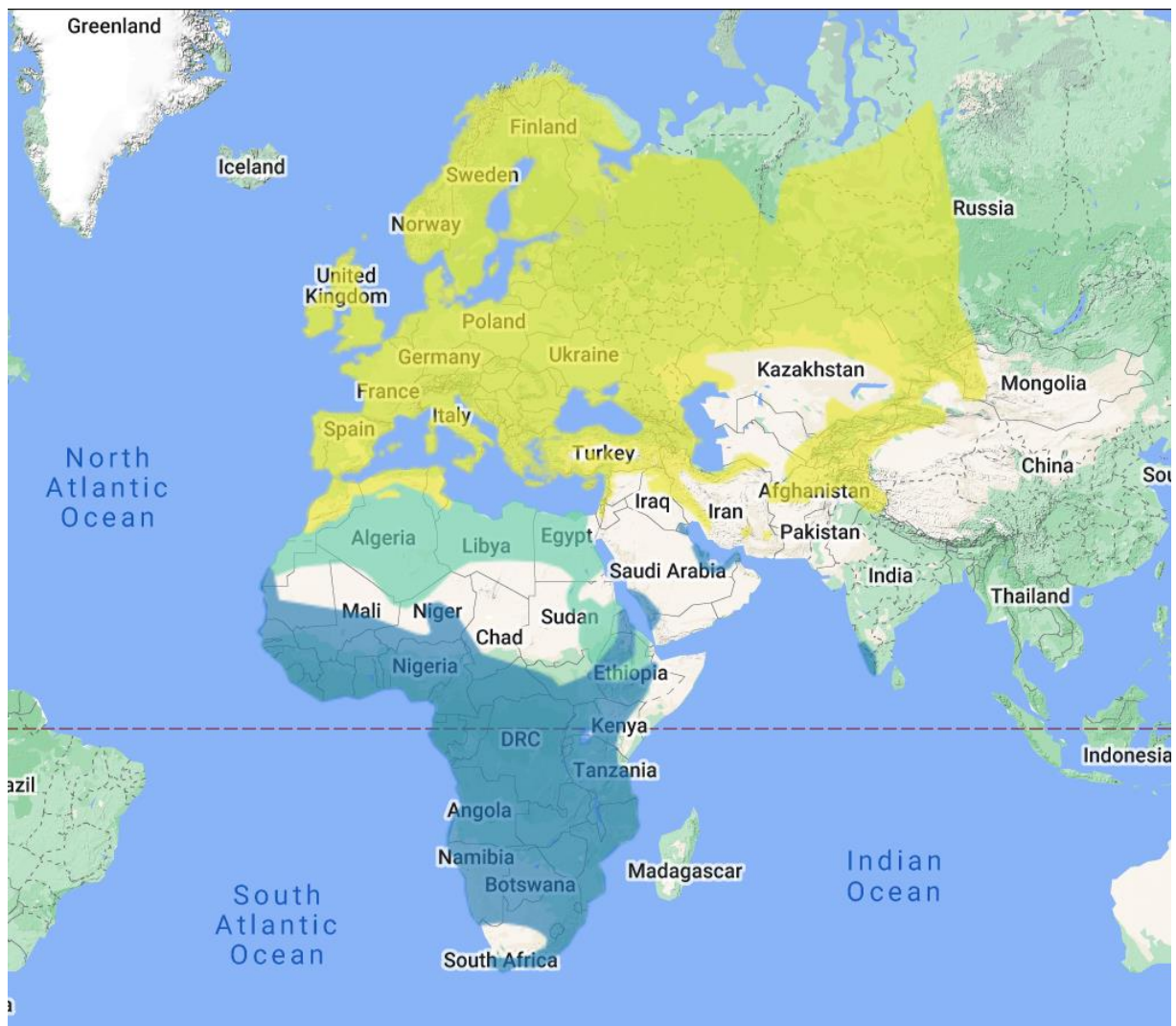


Figure 3: Aire de répartition de l'Hirondelle de fenêtre. La zone d'hivernage est représentée en bleu, la zone estivale en jaune et l'espèce peut se retrouver dans la zone verte lors de la migration (BirdLife International, 2022).

4.4. La reproduction

Les Hirondelles de fenêtre arrivent en Belgique à partir de la fin du mois d'avril, pour se reproduire.

Les individus les plus âgés et expérimentés arrivent généralement en premier.

Les hirondelles ne constituent pas des couples fidèles d'une année à l'autre. À l'arrivée sur le site de nidification, les couples vont donc se former. Pour attirer une femelle, le mâle entre dans un nid vide d'une année précédente et chante, il répétera l'opération dans plusieurs nids.

Lorsque le couple est formé, les deux oiseaux vont soit entreprendre la construction d'un nouveau nid en boue, soit occuper un nid déjà existant. Cette dernière option est largement préférée puisqu'elle diminue fortement les dépenses énergétiques liées à la construction du nid. Les premiers oiseaux qui arrivent, occupent généralement les meilleures places au sein de la colonie.

S'il n'y a plus de nid en bon état, le couple va alors entreprendre soit la construction d'un nouveau nid, soit la réparation d'un ancien nid détérioré. La construction d'un nid en boue est réalisée par les deux membres du couple et nécessite le transport de plusieurs milliers de boulettes de boue (McNeil & Clarck, 1977). Au total, la construction complète d'un nid dure entre 12 et 14 jours. Au vu de la difficulté croissante à trouver de la boue en milieu urbain, les hirondelles vont également occuper les nichoirs installés par l'homme, lorsqu'ils sont disponibles. Ils sont toutefois moins appréciés que les nids naturels. Après la construction du nid, le couple le remplit de plumes et de duvet végétal afin de le préparer à accueillir les œufs.

Les hirondelles se reproduisent à partir de l'âge de 1 an (BirdLife International, 2023). La copulation se passe à l'intérieur du nid.

Les dates de pontes sont très étalées à travers le continent européen. En Belgique, les premiers œufs sont généralement pondus dans le courant du mois de mai, de manière asynchrone (1œuf/jour). En moyenne, la taille de la première couvée est de 4 à 5 œufs, mais certains couples peuvent pondre jusqu'à 7 œufs. Certains individus vont également réaliser une deuxième ponte vers le mois de juillet pour la Belgique. Cette dernière est généralement plus petite que la première, avec une moyenne de 3 à 4 œufs par nid (Møller, 1984). Le nombre de couples qui effectuent deux pontes est variable. Il est assez faible au Nord du continent en raison de la durée de leur migration. En Europe du Nord-Ouest, le taux de seconde ponte atteint généralement les 60 à 90% (Møller, 1984). Le taux de deuxième ponte est probablement lié aux bonnes conditions météorologiques et à l'âge de la femelle. Les femelles de plus d'un an

ont davantage tendance à pondre deux fois (Bryant, 1979 ; Hund & Prinzinger 1985 ; Piersma, 2013). De plus ; les nids contenant deux pontes démarrent également plus tôt dans l'année que ceux qui n'en contiennent qu'une (Bryant, 1975 ; Piersma, 2013).

Après la ponte, le couple se relaye pour couvrir les œufs pendant 11 à 19 jours, la femelle couve deux fois plus de temps que le mâle. Lorsque les poussins ont éclos, de manière désynchronisée, ils ne sont pas encore capables de réguler leur propre température corporelle. Les parents vont alors continuer de couvrir les jeunes pendant environ une semaine. Le succès de l'éclosion (soit le nombre d'œufs éclos/le nombre d'œufs pondus) est assez élevé, il varie entre 79 et 86% (Møller, 1984).

Les jeunes sont nourris au nid par leurs parents pendant trois semaines à un mois en fonction des conditions météorologiques et de la disponibilité en insectes. Entre 63 et 94% des poussins (œufs éclos) sont élevés jusqu'à l'envol. On estime le succès reproducteur des hirondelles entre 56 et 80%, à savoir : $\frac{\text{nombre de poussins élevés jusqu'à l'envol}}{\text{nombre d'oeufs pondus}}$ (Møller, 1984).

L'éclosion des œufs peut échouer pour plusieurs raisons : infertilité, abandon du nid par les parents pour faute de mauvais temps prolongé, destruction par un intrus, destruction du nid par la pluie, etc.

La cause de la mort des poussins est principalement le manque de nourriture (Oliso, 2020).

Après l'envol, les jeunes continuent d'être nourris par leurs parents pendant environ deux semaines, de moins en moins régulièrement. À cet âge, les jeunes reviennent dormir chaque nuit au sein de leur nid ou un autre nid de la colonie (Weiserbs et al., 2004).

En Belgique, les hirondelles entament la migration d'automne à partir du mois d'août pour ceux qui ne pondent qu'une fois, et les derniers individus quittent le territoire début octobre (Oliso, 2020).

4.5. État des populations et menaces

Comme précisé plus haut, les populations d'Hirondelles de fenêtre sont en déclin plus ou moins rapide en Europe.

En Belgique, beaucoup d'espèces d'oiseaux voient leurs populations diminuer, mais les oiseaux migrateurs transsahariens sont ceux qui chutent le plus rapidement (Derouaux & Paquet, 2018). Les Hirondelles de fenêtre n'y font pas exception. À Bruxelles, entre 1982 et 2004, le nombre de couples nicheurs a drastiquement chuté, passant de plus de 500 couples à seulement 54. Soit une diminution de près de 90% de la population (Weiserbs et al., 2004). Bruxelles est un cas extrême, mais des tendances en baisse ont également été retrouvées à Namur puisqu'une diminution de 27,7% de la population a été observée en 15 ans (1990-2005), (Paquet & Fouarge, 2006). Ce déclin ralentit depuis la fin des années 1990 et entre 2010 et 2019, on peut même constater une augmentation des effectifs de 0,96% par an à l'échelle mondiale (PECBMS, n.d.).

Les principales menaces pesant sur les Hirondelles de fenêtre sont les suivantes :

- Des conditions météorologiques défavorables (Saether *et al*, 2004 ; Harris *et al*., 2021), accentuées par les changements climatiques et l'augmentation de la fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes (BirdLife International, 2023).
- La diminution de la disponibilité en proies (pesticides, destruction des milieux humides et des habitats naturels) (Woodhouse *et al*, 2005).
- La destruction des nids par les humains dérangés par la saleté (fientes au sol et traces sur les murs) ou lors de la restauration de bâtiments (Michler et al., 2018).
- Diminution de la disponibilité en boue suite à l'intensification de la bétonisation (Michler et al., 2018).
- La compétition avec le moineau domestique pour les nids (BirdLife International, 2023).
- Les accidents entraînant le décès des individus (circulation routière, percussions contre les baies vitrées d'immeubles) (Oliosio, 2020).

Pour faire face à de telles menaces, des actions pour protéger cette espèce doivent être entreprises.

D'abord, à l'échelle globale, il est urgent de réduire l'utilisation de pesticides. En effet, une étude expérimentale menée en Camargue a montré que la démoustification, entraînant une réduction de 78% des moustiques sur les sites étudiés, a entraîné une baisse du succès

reproducteur et une diminution de la taille de la colonie de 33% par rapport aux sites témoins. (Poulin et al., 2011).

Ensuite, à l'échelle locale, la mise en place de nids artificiels s'avère généralement efficace. Finalement, face à la bétonisation intensive des villes, des bacs de boue peuvent également être implémentées pour augmenter la disponibilité du matériau de construction des nids. En effet, en ville, on peut constater que les hirondelles réparent leur nid avec une sorte de « boue » récoltée dans les corniches. Mais ce matériau se désagrège rapidement en séchant et n'est donc pas assez solide pour la construction d'un nid (Weiserbs et al., 2004).



Figure 4: Photographie d'une Hirondelle de fenêtre réparant un nid naturels avec un matériaux noir provenant des corniches. Louvain-la-Neuve, 2023.

4.6. Préférences pour la nidification

En vue de développer des projets de conservation efficaces, il est intéressant de comprendre les facteurs déterminants dans le choix du site de nidification par les hirondelles.

4.6.1. Choix du site de nidification

Plusieurs études ont été menées afin d'identifier les critères déterminants dans le choix du site de nidification des Hirondelles de fenêtre. Parmi celles-ci, une étude menée à Valence sur 1399 nids (Murgui, 2002) a permis de confirmer des tendances déjà suspectées dans des études antérieures (Tatner, 1978 ; Turner, 1982 ; Gauthier & Thomas, 1993).

D'abord, le site est choisi en fonction de l'offre en nourriture. Les hirondelles étant insectivores, elles seront plus présentes à proximité des zones périurbaines (estimées plus riches en insectes) que des centres urbains (Murgui, 2002 ; Tatner, 1978).

Ensuite, les colonies sont localisées à proximité des espaces ouverts et végétalisés, offrant une plus grande abondance d'insectes également (Murgui, 2002 ; Turner, 1982).

De plus, les hirondelles vont choisir leur site de nidification à proximité d'une source de boue, matériau de construction principal de leur nid (étendues de terre nue ou zones proches de points d'eau) (Tatner, 1978 ; Murgui, 2002 ; Gauthier & Thomas, 1993).

Finalement, elles ont une préférence pour la nidification sur les bâtiments anciens par rapport aux nouvelles constructions. Ce choix est probablement davantage lié à l'aspect colonial de l'espèce. Les hirondelles ont une forte tendance à revenir nicher au même endroit d'une année à l'autre. La proximité d'autres nids est même suspectée d'être le critère prédominant dans le choix de site de nidification de cette espèce (Murgui, 2002 ; Piersma, 2013).

4.6.2. Préférences pour l'emplacement du nid

En plus des facteurs généraux comme la proximité de la nourriture et de la boue, les préférences pour l'emplacement du nid sur le bâtiment ont également été analysées.

Premièrement, les hirondelles ont tendance à construire leur nid sous un débord de toit (Bell, 1983 ; Murgui, 2002), le rebord ou l'intérieur d'un balcon (Murgui, 2002), sous les génoises des avant-toits (Oliosio, 2020) ou dans les ouvertures de fenêtres (Bell, 1983 ; Oliosio, 2020).

Deuxièmement, les hirondelles ont tendance à construire leur nid à l'abri du vent et des prédateurs terrestres et favoriser les sites en hauteur sur les bâtiments (Bell, 1983).

Troisièmement, les Hirondelles de fenêtre vont généralement préférer venir nicher dans un ancien nid que d'en construire un nouveau. La présence d'anciens nids, le contact avec d'autres

nids et la proximité avec d'autres colonies sont des facteurs qui influencent l'emplacement d'un nouveau nid (Murgui, 2002 ; Piersma, 2012). La présence d'ectoparasites dans les nids aurait pu être un facteur dissuasif de la nidification dans un ancien nid, mais aucun impact de leur présence n'a été mis en évidence en ce qui concerne le choix du nid (Piersma, 2012). La socialité est donc un élément important pour la nidification des Hirondelles de fenêtre.

4.6.3. Les nichoirs pour Hirondelles de fenêtre

Les nichoirs pour Hirondelles de fenêtre sont constitués d'une coupelle en quart de sphère, généralement en béton de bois et fixée sur deux planches formant un angle. Ils sont spécialement conçus pour cette espèce car ils reproduisent la forme et les dimensions des nids naturels (*figure 5*), (Ornithomedia, 2022).



Figure 5 : Photographie d'un nid artificiel (A132), utilisé pour la nidification en 2022 à Louvain-la-Neuve.

Ce type de nichoir est relativement bien accepté par les hirondelles. En effet, après leur installation, on peut observer des taux importants de réussite, s'ils sont bien placés. En Suisse par exemple, le taux d'occupation varie entre 35 et 100% à Zurich (Oliosio, 2020), et était de 40,5% dans le canton de Genève en 2021 (Gremion & Gavillet, 2021). De plus, ce taux augmente avec la proximité de nids naturels.

Les nichoirs ont un taux d'occupation élevé en ville (Rheinwald, 1975, 1979 ; Hund & Prinzinger, 1985), alors qu'en milieu rural, ces derniers sont très peu utilisés (Piersma, 2013).

En effet, il est probable que l'utilisation des nichoirs soit directement liée à la disponibilité en boue, très réduite en ville alors que plus abondante en périphérie (Piersma, 2013).

Cependant les hirondelles ont tendance à préférer les nids naturels aux nichoirs artificiels. En effet, même la présence de parasites dans les nids semble ne pas les déranger. Elles préfèrent réoccuper un ancien nid en boue ou en construire un nouveau plutôt qu'un nid artificiel propre. Cette préférence flagrante pour les nids en boue est suspectée être un critère de sélection sexuelle et influençant le choix de site de nidification (Piersma, 2013).

5. Le travail des dernières années à Louvain-la-Neuve

La colonie d'Hirondelles de fenêtre de Louvain-la-Neuve est suivie depuis plusieurs années.

En 2009, un inventaire des nids, le suivi de la population et une tentative de détermination des préférences du site de nidification ont été réalisés dans le cadre d'un mémoire (Sophie Blangy, 2009)

En 2018, 218 nids artificiels ont été installés dans le Centre-Ville. À la suite de cette installation, le suivi de la colonie a été réalisé en 2018 et 2019 par des bénévoles. Lors de ces deux années, le suivi s'est davantage focalisé sur les activités dans les nids artificiels et seules des données d'occupation étaient disponibles.

En 2020 et 2021, deux étudiantes ont réalisé leur mémoire sur le suivi de cette colonie. Pour ces deux années, des données précises sur l'occupation des nids, issues d'un suivi régulier, sont disponibles (Mathilde Bylicki, 2020 ; Carina Ammoun-Bourdela, 2021). De plus, en 2021, les occupations nocturnes ont été étudiées grâce à la pose de capteurs thermiques au sein de 20 nids artificiels.

6. Objectifs, questions de recherche et hypothèses

Dans cette section, les objectifs, questions de recherche et hypothèses de ce mémoire sont explicités.

6.1. Objectifs

1. Déterminer les tendances de la population grâce au suivi régulier des nids le long de la période de nidification (fin avril-début octobre).
2. Déterminer si l'action de conservation des nichoirs est nécessaire, efficace et suffisante.
3. Evaluer si les hirondelles souffrent d'un manque de boue pour la construction de leur nid en regardant l'évolution de l'état des nids naturels sur la saison et le matériau utilisé.
4. Déterminer le nombre de nids artificiels réellement utilisés par un couple et sa progéniture pendant la saison de reproduction, en évaluant quels individus réalisent les occupations nocturnes, à quel moment et pour quelle raison, grâce à l'installation de capteurs thermiques dans les nichoirs et un suivi avec une caméra thermique.
5. Interpréter le nombre de nids artificiels minimal nécessaire pour être une mesure de conservation efficace.

6.2. Questions de recherche

1. Quel est l'état de la colonie d'Hirondelles de fenêtre à Louvain-la-Neuve ?
 - a. Comment s'est déroulée la saison de 2022 ?
 - b. Les nids artificiels sont-ils une bonne mesure de conservation à Louvain-la-Neuve ?
 - c. La colonie souffre-t-elle du manque de boue ?
 - d. Comment évolue la population d'Hirondelles de fenêtre à Louvain-la-Neuve depuis 2009 ?
2. Combien de nids artificiels sont réellement utilisés pendant la saison et quelles sont leurs fonctions ?
 - a. Quelles sont les fonctions principales des nids artificiels ?
 - b. Combien de nids sont utilisés pendant la saison ?
 - c. Y a-t-il suffisamment de nids artificiels à Louvain-la-Neuve ?

6.3. Hypothèses

1. Au vu de la situation climatique actuelle et des événements extrêmes se répétant les dernières années (pluies provoquant des inondations en 2021, canicule en 2022), la première hypothèse est que la population de Louvain-la-Neuve voit ses effectifs diminuer et donc une tendance en baisse.
2. La deuxième hypothèse est que le taux d'occupation des nichoirs continue d'augmenter à Louvain-la-Neuve, tendance qui se dessine depuis leur installation en 2018. Les nichoirs seraient alors considérés comme une bonne mesure de conservation.
3. Concernant le manque hypothétique de boue, on peut s'attendre à valider ce constat si de nombreux nids sont en réparation, avec de la « boue » des corniches mais ne sont pas achevés ou cassent.
4. Concernant les occupations nocturnes éphémères des nids artificiels, elles peuvent être effectuées par plusieurs types d'individus et pour plusieurs fonctions. L'hypothèse principale est que les nids artificiels seront majoritairement utilisés avant la nidification, lors du choix du nid par les mâles et après l'envol des jeunes, par les juvéniles en tant que dortoir. Certains nids seront peut-être également utilisés par des adultes pendant la nidification. Ces événements peuvent avoir plusieurs origines comme le manque de place, l'hyperthermie ou la présence excessive de parasites. On peut cependant s'attendre à ce que l'utilisation de plusieurs nids par un couple et sa progéniture ne soit pas indispensable et que ce comportement reste occasionnel.

Matériel et Méthodes

Cette section est divisée en trois parties. La première concerne le suivi de la colonie d'Hirondelles de fenêtre à Louvain-la-Neuve. Elle contient le détail de la collecte et de l'analyse des données de 2022 et leur comparaison avec des données antérieures permettant de mettre en évidence les tendances de cette population. La seconde partie traite de l'état des nids naturels et des réparations afin d'évaluer la qualité et la disponibilité en matériau de construction (boue) sur le site. Finalement, la troisième partie s'intéresse au comportement exploratoire des hirondelles, représenté par des visites ponctuelles de nids non occupés pour la nidification. Ceci a été étudié grâce à l'installation de capteurs thermiques au sein de plusieurs nids artificiels durant l'intégralité de la saison de la reproduction.

1. Suivi de la population d'Hirondelles de fenêtre à Louvain-la-Neuve

1.1. Objectifs

Le suivi de la colonie d'Hirondelles de fenêtre a pour but de présenter un état des lieux de cette colonie à Louvain-la-Neuve en 2022 et déterminer les tendances de population de cette espèce depuis l'installation des nids artificiels en 2018 et avec 2009 comme année de référence, étant la première année de collecte de données pour Louvain-la-Neuve. Ainsi, ces tendances pourront permettre d'interpréter l'efficacité des mesures de conservation et si ces mesures sont suffisantes.

1.2. Collecte des données

1.2.1. Localisation des emplacements et numérotation des nids

La colonie d'Hirondelles de fenêtre étudiée niche dans la ville de Louvain-la-Neuve située dans la province du Brabant Wallon en Belgique. Cette ville nouvelle a été créée en 1971 initialement pour y accueillir les étudiants francophones de l'Université Catholique de Louvain. Sur son territoire de 10 km², se succèdent, entre autres, des surfaces largement bétonnées, des espaces verts intra-urbains, un lac de 7 hectares et le bois de Lauzelle d'une superficie de 198 hectares (OLLN, 2019). Le centre urbain de cette ville universitaire a été construit sur une dalle de 14,5 hectares et est entièrement piétonnier. C'est principalement cette partie piétonne qui fait l'objet du suivi de la colonie d'hirondelles. Dans cette ville, de nombreux nids naturels d'Hirondelles de fenêtre sont présents depuis des dizaines d'années et 218 nids artificiels ont été installés en 2018.

Afin de structurer les observations, les nids ont été classés en fonction de leur localisation. Les regroupements de nids ou sous-colonies sont répartis dans la ville de Louvain-la-Neuve. La ville a été découpée en 27 zones, réparties dans quatre secteurs. Le découpage en zones et en secteurs suit celui des années antérieures, pour favoriser la conformité des données. Au sein des zones, des emplacements ont été définis et numérotés. La position de chaque nid naturel a été détaillée dans l'emplacement.

Les cartes des *figures 6 à 10* représentent la zone d'étude et illustrent la position des sous-colonies (zones et secteurs) dans la ville. Le *tableau 1* résume les secteurs, les zones et leur numéro ainsi que le nombre d'emplacements et de nids par zone. Ce tableau peut être utilisé comme légende pour les cartes suivantes.

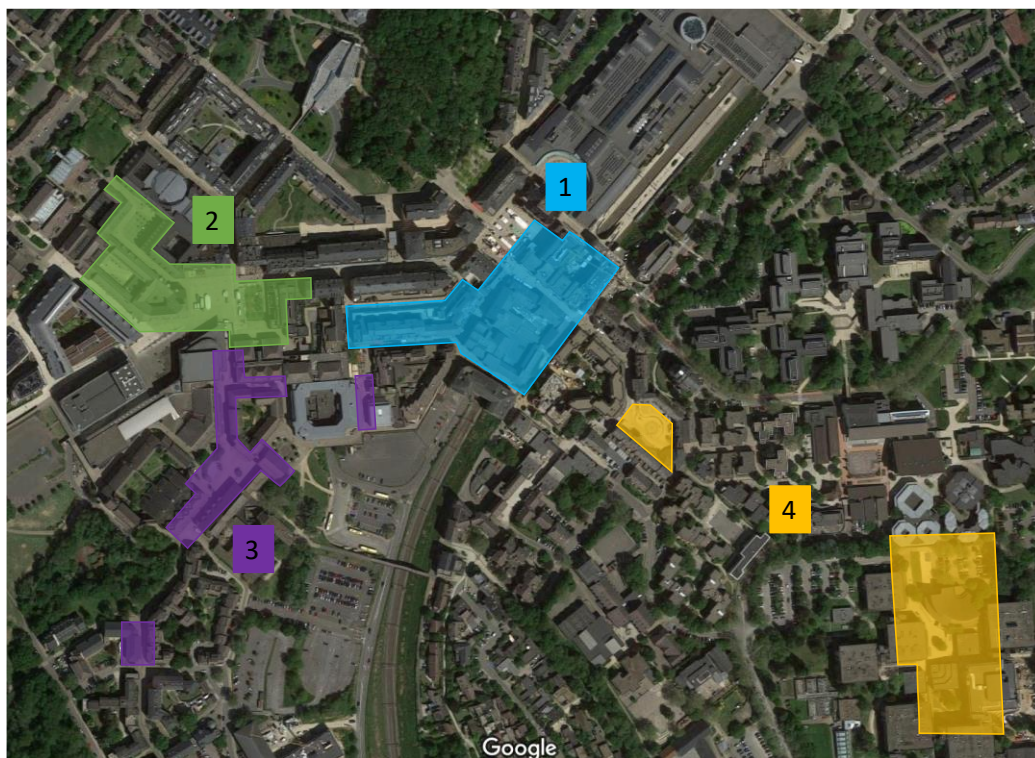


Figure 6 : Carte représentant la zone d'étude complète, centre urbain de Louvain-la-Neuve. Les quatre secteurs sont représentés en couleur. Le numéro 1 (bleu) correspond au secteur Centre-ville, le numéro 2 (vert) correspond au secteur PCM (Place Cardinal Mercier), le numéro 3 (mauve) correspond au secteur Place Montesquieu, le numéro 4 (jaune) correspond au secteur Croix du Sud. Fond de carte : Google Maps.

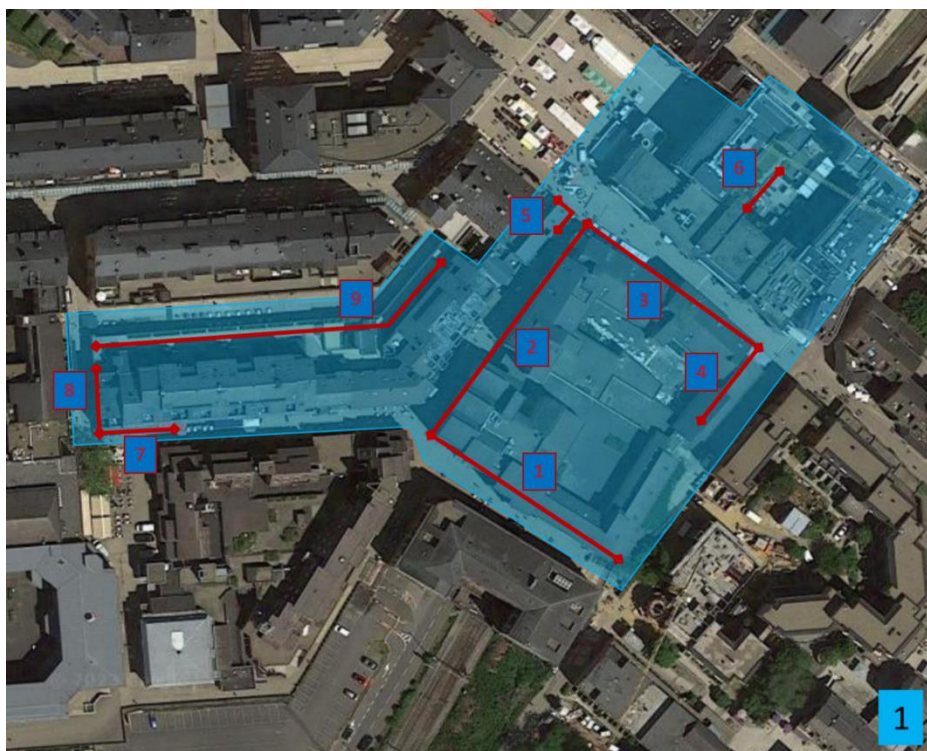


Figure 7 : Carte représentant le secteur 1 (Centre-ville). Les zones faisant partie de ce secteur sont numérotées selon le tableau 1 et sont représentées par les lignes rouges sur la carte. Fond de carte : Google Maps.

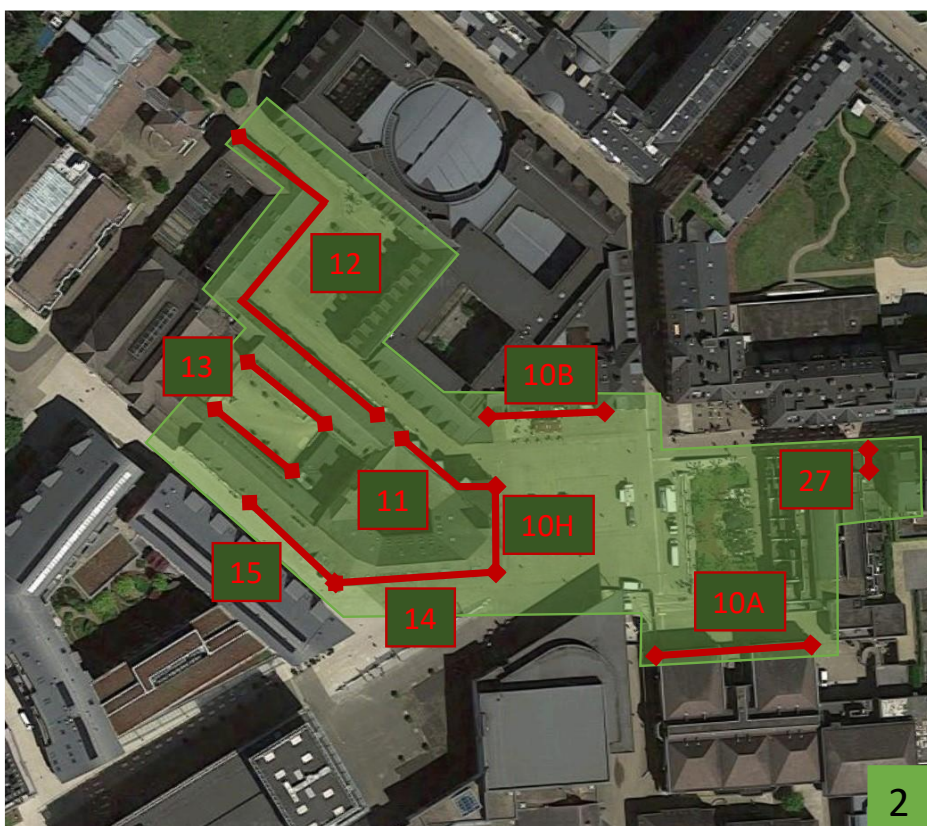


Figure 8 : Carte représentant le secteur 2 (PCM). Les zones faisant partie de ce secteur sont numérotées selon le tableau 1 et sont représentées par les lignes rouges sur la carte. Fond de carte : Google Maps.

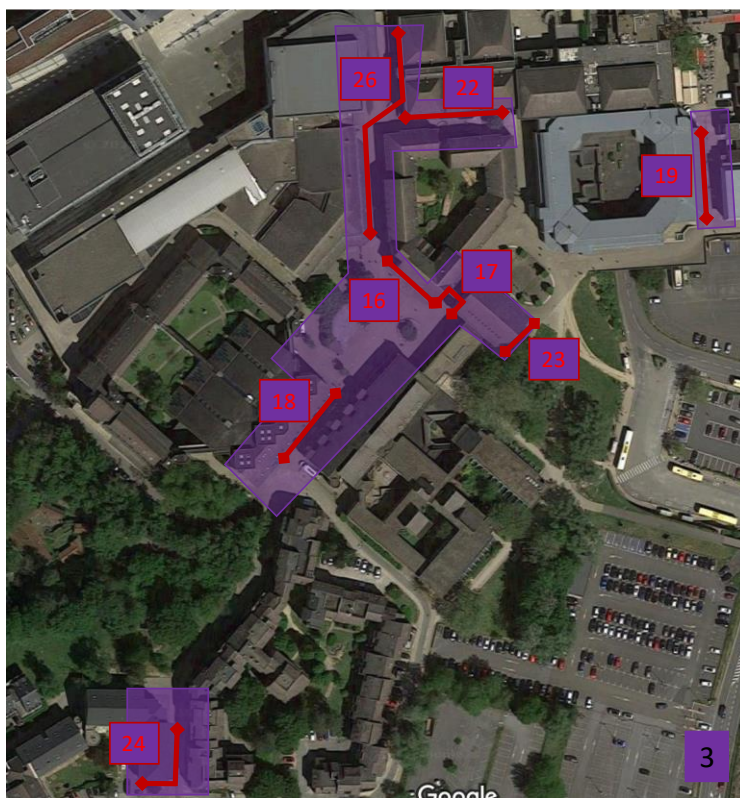


Figure 9 : Carte représentant le secteur 3 (Place Montesquieu). Les zones faisant partie de ce secteur sont numérotées selon le tableau 1 et sont représentées par les lignes rouges sur la carte. Fond de carte : Google Maps.

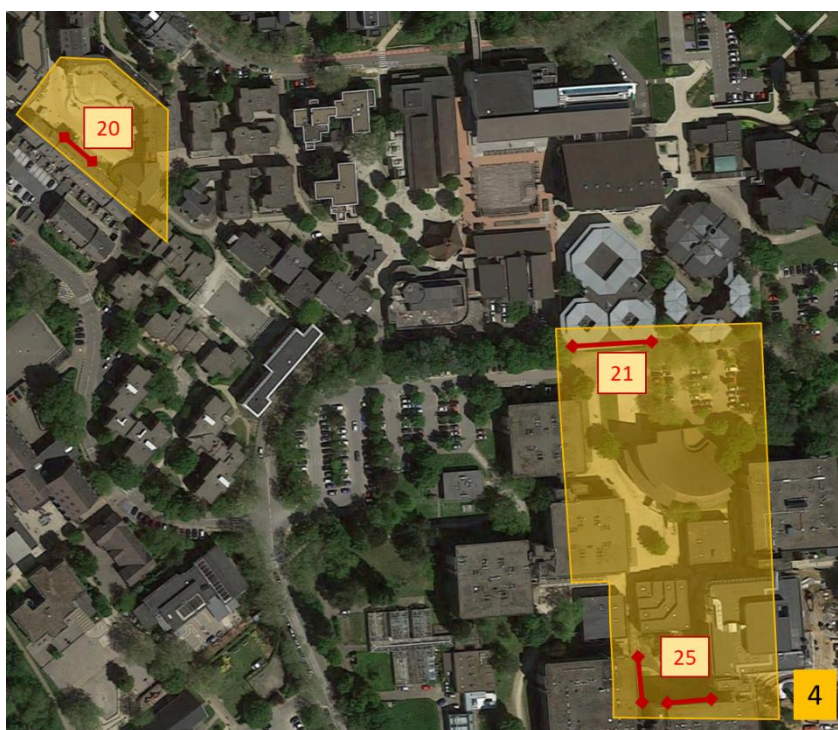


Figure 10 : Carte représentant le secteur 4 (Croix du Sud). Les zones faisant partie de ce secteur sont numérotées selon le tableau 1 et sont représentées par les lignes rouges sur la carte. Fond de carte : Google Maps.

Tableau 1 : Nombres d'emplacements et de nids totaux à Louvain-la-Neuve, détaillés en fonction du secteur et de la zone du site d'étude. Les emplacements sont des sous-divisions visibles retrouvées dans chaque zone. Les nids recensés sont de tous les types soit artificiels et naturels (entiers, cassés et traces).

Secteurs Zones	Nombre d'emplacements	Nombre de nids
Centre-ville	19	39
1. Galerie Saint Hubert - Esope	4	11
2. Galerie Saint Hubert - Grand Rue	4	6
3. Rue des Wallons	2	5
4. Voie Roman Pays	1	1
5. Grand Rue - Place de l'université	2	5
6. Halles universitaires	2	4
7. Grand Rue - Galoute	1	2
8. Rue Rabelais	1	3
9. Passage Ergot	2	2
Croix du Sud	4	66
20. Place des Wallons	1	1
21. Bâtiment Pythagore	1	60
25. Croix du sud	2	5
PCM	27	139
10. Grand Place (A, B, Horloge)	9	20
11. Rue Cardinal Mercier	3	13
12. Place Cardinal Mercier	6	86
13. Place Blaise Pascal	2	5
14. Becketts	4	7
15. Rue de l'Hocaille - Martin's	2	6
27. Rue Charlemagne	1	2
Place Montesquieu	20	101
16. Collège Leon Dupriez	2	7
17. Passerelle place Montesquieu	3	25
18. Bâtiment More	5	20
19. Couloir Rue Rabelais	4	21
22. Ruelle Lanterne Magique	2	2
23. Décanat ESPO	1	6
24. Cercle de droit/ Rue des Bruyères	1	18
26. Rue Montesquieu	2	2
Total	70	345

Pour faciliter leur identification, les nids naturels ont été numérotés selon un code contenant quatre chiffres. Les deux premiers indiquent le numéro du secteur, le troisième fait référence à l'emplacement et le dernier est l'identifiant unique au nid, attribué de gauche à droite au sein d'un emplacement. Un exemple est illustré à la *figure 11*.

En parallèle de cela, les nids artificiels ont été numérotés différemment puisqu'ils possédaient déjà un numéro d'identification unique allant de 1 à 220. Afin d'éviter une confusion entre les nids naturels des deux premiers secteurs (ayant un identifiant entre 100 et 299), la lettre « A » a été ajoutée devant les numéros de tous les nids artificiels. Un exemple est illustré à la *figure 12*.



Figure 11 : Illustration de la numérotation des nids naturels. Sur l'image est détaillé le nid 1113. Le 11 orange indique le secteur (secteur 11 : Rues Cardinal Mercier), le 1 bleu indique l'emplacement (emplacement 1 : sous le premier débord de toit triangulaire) et le 3 noir indique qu'il s'agit du troisième nid en partant de la gauche.



Figure 12 : Illustration de la numérotation des nids artificiels. Sur l'image le nid artificiel porte le numéro A132, où le A orange indique qu'il s'agit d'un nid artificiel.

1.2.2. Observations

Pour collecter les données relatives à la population d'Hirondelles de fenêtre de Louvain-la-Neuve, des observations ont été effectuées durant la durée complète de leur présence sur le site. À Louvain-la-Neuve, Les premiers individus ont été observés dans la deuxième moitié du mois d'avril, les observations ont alors débuté le 27 avril 2022. Finalement, les derniers individus ont été observés à la fin du mois de septembre, les observations se sont terminées le 28 septembre 2022.

Les observations se sont concentrées sur l'ensemble des nids naturels et artificiels connus du centre-ville de Louvain-la-Neuve. Ces nids ont été recensés préalablement en 2020 et 2021 et des prospections aux alentours des nids en vue de repérer de nouvelles constructions ont également été réalisées ponctuellement. Durant cinq mois, les nids en activité ont été observés deux à trois fois par semaine à l'aide d'une paire de jumelles. Les nids sont majoritairement regroupés par sous-colonies, permettant d'observer une série de nids simultanément. Chaque sous-colonie était observée pendant dix minutes et le tour complet d'observation durait en moyenne quatre heures.

Les hirondelles étant plus actives le matin et en début de soirée, ces périodes ont été préférées pour les observations. Cependant, toutes les tranches horaires entre 5h00 et 23h00 ont été testées au moins une fois.

Durant les séances d'observation, le comportement des adultes et la présence de jeunes ont été notés. En effet, les comportements des parents permettent d'interpréter l'occupation du nid et l'étape de la nidification. Par exemple, la couvaison peut être indiquée par des individus restant dans le nid et faisant des entrées et sorties rapides pour relayer le partenaire qui couve les œufs. Ensuite, l'éclosion est distinguable par les adultes évacuant des sacs fécaux, le début de l'accumulation de ces sacs fécaux au sol et les premiers gazouillis des jeunes. Lorsque les premiers jeunes sont visibles à l'entrée du nid, ils sont considérés comme *petits* dans cette étude et sont à la moitié de leur croissance (environ 10-12 jours). Finalement, le nourrissage des jeunes par les parents et la présence de jeunes à l'entrée du nid permettent de valider son occupation et qu'une reproduction a bien eu lieu. Lors de cette dernière étape les jeunes sont considérés comme *moyens* et *grands* et sont nourris pendant environ deux semaines (Piersma, 2013). Lors de chaque passage, les informations détaillées dans le *tableau 2* ont été notées.

Tableau 2 : Signification des différentes annotations prises lors des séances d'observation. Ces annotations concernent les comportements et indicateurs du moment de la nidification.

Annotation	Signification
Occ	Occupation - observation de passages réguliers d'adultes ou présence d'un individu dans le nid
E/S	Entrée/Sortie – un individu entre et sort du nid en quelques secondes
IN	IN - un ou plusieurs individus sont présents à l'intérieur du nid
N	Nourrissage - comportement de nourrissage d'un jeune présent à l'entrée du nid par un adulte
YS	Jeunes petits - présence de jeunes <i>petits</i> (plumage diffus illustré à la <i>figure 15</i>) dans le nid, rarement visibles à l'entrée du nid, principalement repérable au son
YM	Jeunes moyens – présence de jeunes <i>moyens</i> à l'entrée du nid, leur plumage bicolore couvre l'entièreté de leur tête.
YL	Jeunes larges – présence de jeunes <i>larges</i> à l'entrée du nid ou en dehors, la tête et une partie du corps sont sorties du nid, les oisillons ont déjà ou sont sur le point de prendre leur premier envol.
Yout	Jeune out – jeune sortant du nid, capable de voler

Après l'envol des jeunes de la première couvée, les comportements des adultes sont plus complexes à identifier car il est difficile de différencier les jeunes volants des adultes. En effet, les premiers jeunes continuent de fréquenter leur nid, malgré la présence de la deuxième nichée. Par conséquent, pour cette dernière, les observations se sont principalement focalisées sur la présence de jeunes à l'entrée du nid et les comportements ont été notés mais interprétés avec prudence.

Les sous-colonies, ne présentant aucune activité avant le mois de juin, n'ont pas été intégrées aux tours hebdomadaires mais ont été observées plus ponctuellement.

Au total, 127 nids naturels et 218 nids artificiels ont été suivis sur la durée de la présence des Hirondelles de fenêtre en Belgique.

1.2.3. Difficultés d'observation

Des travaux de rénovation des bâtiments ont empêché l'accès à la place Blaise Pascal et aux Halles universitaires. Par conséquent, les nids de ces deux zones n'ont pas pu être prospectés avec autant d'assiduité que les autres. Ces zones ont été observées ponctuellement, lorsqu'un passage dans les travaux était accessible.

De plus, quatre nids de la Ruelle de la Lanterne Magique ont été découverts après la période d'observation de terrain. Ces nids n'ont pas été pris en compte dans les résultats pour l'année 2022, ne disposant d'aucunes données quant à l'occupation et l'état de ces nids.

1.2.4. *Baguage des hirondelles*

Sortant du sujet principal de ce mémoire, trois séances de baguage d'hirondelles ont été réalisées à la fin du mois d'août et au début du mois de septembre 2022. Durant ces séances, monsieur Alexis Dall'Asta, bagueur certifié, a bagué des juvéniles âgés d'environ dix jours, directement dans leur nid, ainsi que des adultes et jeunes capturés en vol, à la sortie du nid avec un filet.

Les juvéniles bagués au nid provenaient exclusivement de nids artificiels encore occupés, qui sont alors facilement décrochables du mur.

Durant ces séances, les adultes ont été pesés, mesurés et leur sexe a été déterminé en regardant la plaque incubatrice (Bryant, 1975). Finalement, tous les individus (adultes et jeunes) ont été équipés d'une bague. Les *figures 13* et *14* illustrent les séances de baguage.

Réaliser des séances de baguage chaque année, permettra de collecter des données de suivi d'individus qui pourront être utilisées lors de prochaines études sur cette colonie d'hirondelles.

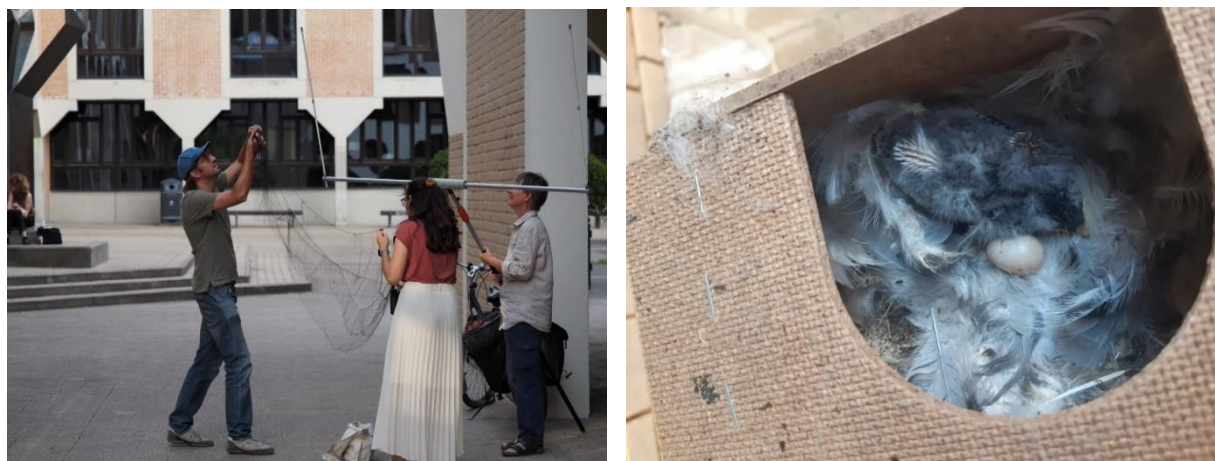


Figure 13 : Photographies prises pendant les séances de baguage à Louvain-la-Neuve représentant les deux méthodes de capture des hirondelles. A gauche, le filet pour attraper les individus volants est en train d'être installé. A droite, un nid artificiel a été décroché du mur pour baguer les jeunes au nid. Il contient un jeune âgé d'une dizaine de jours et un œuf non éclos.



Figure 14 : Photographies prises pendant les séances de baguage à Louvain-la-Neuve représentant les données collectées pour les adultes et le baguage des individus. En haut à gauche, un individu est mesuré. En haut à droite, un individu est placé dans le pot orange et est pesé. En bas à gauche, le bagueur place une bague à identifiant unique autour de la patte d'une Hironnelle de fenêtre. En bas à droite, la bague peut être vue sur la patte droite de l'individu.

1.2.5. Caractérisation des événements particuliers

Durant les sessions d'observation, de nettoyage des nids ou de bagage des hirondelles, les événements particuliers de la saison ont également été notés. Ces derniers concernent des échecs de reproduction comme la mort d'individus ou encore des œufs non éclos.

1.3. Analyse des données

1.3.1. *Analyse de l'année 2022*

1.3.1.1. Phénologie

Pour étudier la phénologie de la reproduction des Hirondelles de fenêtre à Louvain-la-Neuve en 2022, les données d'observation ont d'abord été analysées pour déterminer l'occupation effective des nids et le moment où ils ont été occupés. En effet, différencier deux périodes de nidification est pertinent chez cette espèce puisqu'il n'est pas rare qu'un couple pondre deux fois sur une saison. La saison de présence des hirondelles en Belgique s'étend du mois d'avril au mois d'octobre. Pour diviser cette saison en deux périodes de reproduction, la césure a été choisie sur base des observations et de la littérature scientifique. En effet, il a été constaté que la période où il semblait y avoir le moins d'activités des hirondelles se passait pendant les deux dernières semaines du mois de juillet (entre le 17 et le 31). Pendant cette période transitoire, les jeunes de la première nichée sont pour la majorité capables de voler et les adultes sont occupés à préparer le nid et à couvrir les œufs de la seconde ponte. Cependant, les Hirondelles de fenêtre se reproduisant de manière asynchrone, certains nids accueillaient des poussins pendant cette période. Par conséquent, il a été choisi que les nids dont les jeunes étaient visibles à l'entrée du nid, principalement après le 1^{er} août, étaient considérés comme appartenant à la deuxième période de nidification. Cette date, marquant la transition entre les poussins de la première et deuxième nichée, a également été mise en évidence aux Pays-Bas (Piersma, 2013).

Ensuite, les données d'observation ont permis de déterminer visuellement quels nids ont été occupés pendant la saison et à quelle période. Un nid a été considéré comme occupé avec certitude lorsque des activités ont été recensées de manière régulière et que des jeunes incapables de voler ont été aperçus à l'entrée du nid. Dans certains cas, un doute quant à l'utilisation effective du nid persistait. Ces nids ont alors été classés comme « doute de nidification ». Ces cas concernaient les nids pour lesquels les jeunes n'ont été observés qu'une seule fois ou qui présentaient beaucoup d'activités mais sans jeunes visibles à l'entrée.

Pour chaque nid occupé, les dates liées aux différentes étapes et comportements observés le long de la période de reproduction ont été notées pour chacune des deux pontes. Ces étapes sont les suivantes :

- Première activité visible
- Premiers comportements d'entrées et sorties rapides du nid
- Premiers comportements de nourrissage

- Premiers jeunes visibles à l'entrée du nid
- Premier envol observé de jeunes
- Dernière activité visible

De plus, afin de prendre une marge d'erreur quant aux premières et dernières activités au sein des nids, qui dépendent des dates d'observation, les moments où le nid était encore vide avant la première activité et après la dernière activité ont également été pris en compte.

Finalement, ces comportements ont permis d'estimer les dates clés de la reproduction des hirondelles, à savoir, le début et la fin de l'occupation du nid ainsi que les dates de pontes et d'éclosions des œufs. La méthode utilisée pour calculer ces dates est basée sur la durée moyenne de la présence des jeunes au nid. En effet, la couvaison des œufs dure en moyenne 14 jours et le nourrissage des jeunes au nid dure en moyenne 21 jours entre l'éclosion et le premier envol des jeunes (Dupérat, 2002). Ainsi, pour calculer la date d'éclosion des œufs, 21 jours ont été retirés à la date d'observation du premier envol de jeunes ou de la dernière activité visible si l'envol n'a pas pu être détecté. Ensuite, 14 jours ont été soustraits à la date d'éclosion pour déterminer la date de ponte des œufs. Cette méthode a été également utilisée dans le mémoire sur cette colonie d'Hirondelles de fenêtre publié en 2020 (Bylicki, 2020). Cependant, lorsque ces dates calculées ne concordaient pas avec les observations de terrain, une correction a été appliquée. Ce cas de figure pouvait se produire lorsque la présence de jeunes a été détectée avant la date d'éclosion calculée (déjections au sol, jeunes visibles à l'entrée du nid, gazouillis entendus dans le nid). Ayant pu observer des jeunes d'environ 10 à 12 jours lors des séances de baguage, il a été interprété que les jeunes commençaient à pouvoir être aperçus à l'entrée du nid vers cet âge-là (voir *figure 15*). Douze jours ont été soustraits à la date des premiers jeunes visibles pour estimer la date d'éclosion. Finalement, ces dates ont à nouveau été comparées avec les observations de terrain. Il est important de noter que ces dates restent des estimations.



Figure 15 : Photographies prises pendant les tours d'observation (à gauche) et une séance de baguage (à droite) à Louvain-la-Neuve. Ces images représentent des jeunes d'une dizaine de jours, visibles à l'entrée du nid (à gauche) et en entier (à droite). A ce stade, les jeunes ont encore un plumage diffus sur les côtés de la tête.

Pour faciliter les analyses comparatives avec le logiciel *RStudio* (version 2022.07.02 +576), un système de numérotation unitaire a été mis en place. Ainsi, un numéro a été attribué à chaque date. Cette méthode a également été utilisée par Mathilde Bylicki en 2020 (Bylicki, 2020) sur base d'une étude algérienne (Lahlah et al., 2006). Le numéro 1 correspond au 27 avril 2022, date des premières observations sur le terrain. Les dates clés de la phénologie des nids ont alors été représentées avec des boxplots et comparées en fonction des secteurs et des types de nids (naturel ou artificiel).

1.3.1.2. Résumé de 2022

Le résumé de l'année 2022 a été scindé en trois parties. D'abord le nombre total de nichées a été comparé en fonction de la période, du secteur et du type de nid. Ensuite, les données d'occupation des nids ont permis de calculer les taux d'occupation selon les types de nids. Finalement, ces données ont permis d'estimer le nombre total d'individus présents sur le site. Tous les graphes et analyses ont été réalisés avec le logiciel *Excel* (version 2307).

1.3.2. Tendances de population

En comparant les données de l'année 2022 avec celles des années précédentes, des tendances de population ont pu être estimées. Les données les plus complètes sont celles de 2009 et 2020, collectées lors de précédents mémoires avec une précision similaire aux données de 2022. Pour ces deux années, les nombres de nids occupés (une ou deux fois), de nichées, de nids artificiels et naturels ainsi que leur état en début de saison sont connus. En 2018 et 2019, seuls les nombres de nids occupés (artificiels et naturels) et de nids artificiels disponibles sont connus. Les données d'occupation sont probablement sous estimées pour ces deux années. Finalement, pour l'année 2021, les données d'observation brutes étaient disponibles et ont été interprétées de la

même manière que les données de 2022 dans le cadre de ce mémoire. Pour cette année, les nombres de nids occupés (une ou deux fois) et de nichées sont connus. Les données sur l'état des nids naturels en début de saison étant incomplètes, elles ne sont pas exploitables dans cette étude.

En fonction des données disponibles par année, les estimations de l'évolution du nombre de nichées, de nids occupés (une fois, deux fois, total), des taux d'occupation des nids naturels et artificiels et du nombre d'individus ont permis de mettre en évidence les tendances de la population d'Hirondelles de fenêtre de Louvain-la-Neuve depuis 2009.

2. État des nids naturels

2.1. Collecte des données

L'état des nids naturels a été relevé à plusieurs reprises au cours de la saison de reproduction. Ces données ont permis d'interpréter le nombre de nids naturels disponibles en début de saison, le nombre de nids ayant été réparés partiellement et complètement, le nombre de nids dont l'état s'est détérioré et de comparer ces chiffres aux données des années précédentes.

D'abord, un premier tour a été effectué en début de saison, lors de la deuxième moitié du mois d'avril avant l'arrivée des premières hirondelles pour déterminer l'état initial des nids.

Lors de ce tour, les nids ont été classés en trois catégories illustrées à la *figure 16* :

- Entier : nid complet pouvant être utilisé tel quel, sans réparation nécessaire
- Cassé : nid cassé nécessitant une réparation (légère ou importante) pour être utilisé
- Trace : trace circulaire présente sur le mur permettant de voir l'endroit où un nid d'une année précédente était situé avant sa chute



Figure 16 : Photographie prise pendant un tour d'observation à Louvain-la-Neuve. Cette image représente les trois catégories d'état des nids naturels. De gauche à droite, les deux premiers nids sont entiers, le troisième est une trace et le dernier est cassé.

Ensuite, tout au long de la saison, les événements entraînant un changement dans l'état d'un nid ont été notés. Par exemple, une réparation partielle ou totale, la chute d'un nid ou encore une détérioration.

Finalement, un dernier tour en fin de saison, après le départ des dernières hirondelles, a permis de noter l'état final des nids naturels.

2.2. Analyse des données

En comparant les états des nids naturels entre le début et la fin de la saison, les changements d'état et l'évolution du nombre de nids de chaque catégorie ont été mis en évidence.

De plus, afin de déterminer le succès des réparations et par conséquent interpréter la qualité et la disponibilité en matériau de construction, tous les nids présentant des réparations ont été recensés. Parmi ces événements de réparation, l'analyse s'est portée sur la comparaison entre les nombres de nids ayant été réparés (complètement ou partiellement) et ceux ayant abrité une ou plusieurs nichées.

Les données de l'état des nids ont été analysées et représentées graphiquement avec *Excel* (version 2307).

3. Occupations nocturnes des nids artificiels

3.1. Collecte des données

Dans cette étude, les occupations nocturnes sont traduites par des utilisations éphémères de nids non occupés pour la nidification. Les objectifs et acteurs de ces occupations nocturnes varient en fonction du moment de la nidification d'un nid voisin. En effet, avant la première nidification, les occupations sont essentiellement réalisées par des adultes lors de la sélection d'un nid. Ensuite, pendant la nidification et avant l'envol des premiers jeunes, ce sont principalement les adultes qui dorment dans un nid voisin, pour différentes raisons. Finalement, après l'envol des premiers jeunes, les occupations peuvent être réalisées par les adultes et par les jeunes, en tant que dortoir par exemple.

Afin d'étudier ces comportements, des données thermiques ont été collectées sur l'intégralité de la saison. Deux outils ont permis d'obtenir les données : des capteurs thermiques (*iButton*) et une caméra thermique (*Seek Thermal Compact XR – Xtra Range – Android USB-C*).

3.1.1. Capteurs thermiques

Le 15 avril 2022, 30 capteurs thermiques *iButton* ont été installés au sein de 30 nids artificiels de la colonie. Ces capteurs ont enregistré la température à intervalle régulier et les données ont été disponibles à la fin de la saison, lors de la récupération des capteurs le 18 octobre 2022.

En 2021, 20 capteurs thermiques enregistrant la température toutes les deux heures avaient été installés dans des nids artificiels et récupérés en fin de saison. Pour l'année 2022, deux types de capteurs ont été utilisés pour équiper 30 nids artificiels ; les 20 premiers capteurs (*Capt2h*) ainsi que 10 capteurs supplémentaires enregistrant la température toutes les 30 minutes (*Capt30'*). Les températures n'étant pas enregistrées en continu, seules les occupations de plusieurs heures (par exemple une nuit complète) ont pu être étudiées ici.

3.1.1.1. Critères de sélection des nids à équiper

Plusieurs critères ont permis de choisir les nids à équiper avec les capteurs thermiques.

D'abord, les capteurs ont été installés préférentiellement dans des nids occupés en 2021 ou une année antérieure. En effet, il est assez fréquent chez les Hirondelles de fenêtre de venir occuper le même nid ou un nid voisin d'une année à l'autre.

Ensuite, des capteurs ont également été installés dans les nids accolés aux nids occupés en 2021, le but de l'étude étant d'analyser le comportement d'exploration des nids. Les nids

artificiels étant pour la plupart installés par série de deux, quatre ou six, l'ensemble du bloc de nids voisins a été équipé de capteurs dans la mesure du possible.

Finalement, en raison de limitations techniques, seuls les nids situés à une hauteur inférieure à six mètres et accessibles avec une échelle ont été équipés.

Ces critères ont permis de sélectionner 30 nids, localisés sur la place Montesquieu et la place Cardinal Mercier, répartis en huit groupes de nids accolés.

Le *tableau 11* disponible en *annexe 1* reprend les nids équipés de capteurs thermiques en 2022.

3.1.1.2. Protocole d'installation des capteurs

Pour installer les capteurs thermiques dans les nids artificiels, plusieurs étapes ont été suivies. D'abord, il a été nécessaire de décrocher le nid sélectionné avec précaution, en allant le chercher avec une échelle. Ensuite, le nid a été nettoyé à l'aide d'une brosse, enlevant tout résidu provenant d'une précédente nichée, afin de fournir un environnement propre pour les futures hirondelles. Une fois le nid propre, le capteur thermique a été positionné sur la paroi intérieure lisse du nid, accolée au mur extérieur. Le capteur a été sécurisé en place à l'aide de ruban adhésif gris métallisé pour éviter qu'il ne tombe. Cette position permet de minimiser les perturbations pour les hirondelles, tout en assurant une mesure précise de la température. Finalement, le nid équipé du capteur thermique est remis en place. Ces étapes sont illustrées à la *figure 17*.

Le même processus a été répété en octobre, lors de la récupération des capteurs.



Figure 17 : Photographies prises pendant l'installation des capteurs thermiques dans les nids artificiels d'Hirondelles de fenêtre à Louvain-la-Neuve. L'image de gauche illustre comment les nids sont décrochés à l'aide d'une échelle. Sur l'image du centre un capteur thermique iButton est montré. L'image de droite illustre la méthode de fixation et la position des capteurs dans les nids.

3.1.1.3. Récupération des capteurs et nettoyage des nids

Au mois d'octobre 2022, lors de la récupération des capteurs thermiques, tous les nids artificiels accessibles à l'échelle ont été décrochés et nettoyés de leur contenu à l'aide d'une brosse avant d'être remis en place. Le contenu de chacun de ces nids a été déversé dans un sac plastique individuel. Ces derniers sont conservés au congélateur dans le but d'être utilisés pour une prochaine étude.

Nettoyer les nids artificiels, en fin de saison de reproduction, est essentiel afin de procurer un environnement propre et d'éliminer un maximum de parasites pour qu'un futur couple d'hirondelle s'y installe. La *figure 18* illustre les étapes du nettoyage des nids et de récupération des capteurs.

En 2022, 57 nids artificiels ont été nettoyés. La liste de ces nids est disponible au *tableau 12* en *annexe 2*.



Figure 18 : Photographies prises pendant la récupération des capteurs thermiques et le nettoyage des nids artificiels d'Hirondelles de fenêtre à Louvain-la-Neuve. Sur les deux images du haut, on peut voir deux nids ayant été utilisés pendant la saison. Un capteur thermique est encore présent dans le nid 107 et le nid 147 n'avait pas été équipé de capteur. L'image en bas à gauche montre un nid vidé de son contenu. L'image en bas à droite illustre le nettoyage des capteurs thermiques. Le capteur de gauche est propre alors que celui de droite est en l'état du moment de la récupération.

3.1.2. Caméra thermique

En complément des capteurs thermiques, une caméra thermique (*Seek Thermal Compact XR Range – Android USB-C*) a été utilisée ponctuellement lors de cinq tours d'observation pour détecter la présence d'individus dans un nid pour la nuit, en mesurant la température des nids naturels et artificiels non équipés de capteurs. Cette caméra a principalement été utilisée le soir, pour réduire l'effet de la lumière directe du soleil sur la température externe des nids. La caméra permettait principalement de détecter les différences de température entre des nids voisins (*figure 19*) et donc d'interpréter visuellement si un nid était occupé pendant la nuit ou non. En effet, il est important de souligner que la comparaison directe des températures entre l'ensemble des nids peut être trompeuse. En raison de l'exposition variable au soleil et à d'autres facteurs environnementaux, chaque nid peut accumuler de la chaleur de manière différente au cours de la journée, ce qui entraîne des variations dans les températures externes. Pour réduire cet effet de l'environnement, il aurait été préférable d'utiliser la caméra thermique tôt le matin, avant la sortie des oiseaux.

Dans cette étude, les données de la caméra thermique ont uniquement été utilisées pour déterminer l'occupation nocturne de quelques nids, mais ne pourront pas être utilisées pour répondre aux hypothèses concernant le comportement exploratoire des hirondelles. En effet, le nombre d'utilisations de la caméra et la précision de détection de la température au-delà d'une distance de quelques mètres sont insuffisants pour cette étude.

Cependant, cette méthode a un potentiel élevé pour étudier ce comportement. Pour les prochaines études, il serait préférable d'utiliser une caméra thermique plus performante, plusieurs fois par semaine et tôt le matin, avant la sortie des oiseaux pour être capable d'augmenter la quantité et la qualité des données.

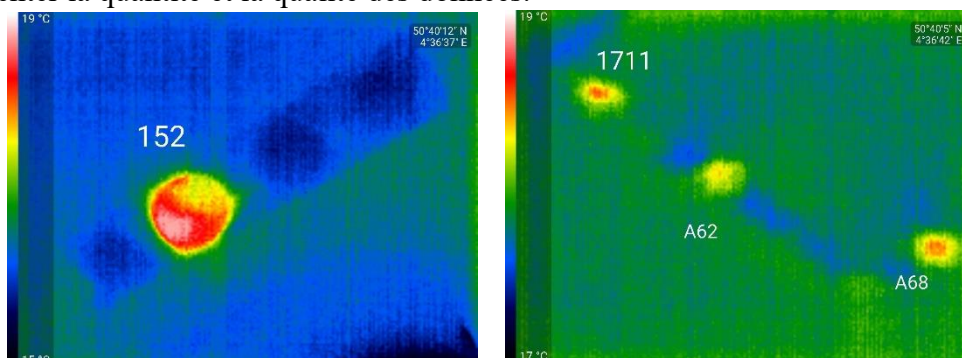


Figure 19 : Photographies prises avec la caméra thermique (*Seek Thermal*) lors d'un tour d'observation nocturne à Louvain-la-Neuve. Ces images illustrent les différences de température entre des nids voisins. Plus la couleur est rouge, plus le nid est chaud. Sur l'image de gauche, le nid A152 est visiblement plus chaud que ses voisins. Sur l'image de droite, le nid naturel 1711 et les nids A62 et A68 sont plus chauds que leurs voisins. Les quatre nids chauds sur les deux images sont considérés comme occupés et leurs voisins vides.

3.2. Analyse des données

Les données collectées par les capteurs thermiques du 15 avril au 1^{er} octobre 2022 ont permis de détecter l'occupation des nids. Des passages plus brefs d'une ou plusieurs nuits sont alors considérés comme des occupations éphémères nocturnes et des occupations de longue durée sont indicatrices que le nid abrite une ou plusieurs nichées. L'analyse et l'interprétation de ces occupations éphémères nocturnes permettent de commencer une réflexion quant à l'utilisation des nids par les Hirondelles de fenêtre, à savoir quand, à quelle fréquence et pendant combien de temps ont lieu les occupations nocturnes des nids inoccupés pour la nidification, et par conséquent interpréter qui (adultes ou jeunes volants) dort au sein des nids voisins.

L'occupation d'un nid peut être détectée en comparant sa température avec celle de ses voisins. Les capteurs thermiques ont enregistré des variations de températures internes liées à l'environnement et à la présence d'oiseaux. On peut interpréter qu'un nid est occupé lorsque sa température ne suit plus la même courbe que ses voisins inoccupés dont la variation environnementale est la seule composante influençant la température interne. Pour détecter ces variations, un graphe de la température en fonction du temps a été créé et analysé visuellement pour chaque groupe de nids voisins.

Pour ce faire, chaque capteur a été associé au numéro du nid dans lequel il était installé et les données de température ont été regroupées selon les huit groupes de nids voisins. Pour représenter ces températures en un graphe par groupe, toutes les données doivent avoir la même échelle de temps. Cependant, deux types de capteurs ont été utilisés dans cette étude et les *Capt30'* ont fourni quatre fois plus de données que les *Capt2h*. Par conséquent, une moyenne journalière des températures mesurées a été appliquée, permettant ainsi de rétablir une échelle de temps unique pour tous les capteurs et créer les graphes.

En analysant visuellement les courbes de température, les nids occupés par une nichée ont été détectés rapidement et ces données ont été vérifiées par les données d'observation de terrain. Ensuite, une lettre a été attribuée à chaque nid en fonction de sa proximité avec le nid occupé le plus proche. Ainsi, les nids occupés étaient classés avec la lettre A, leurs premiers voisins accolés se sont vu attribuer la lettre B et ainsi de suite. La *figure 20* permet d'illustrer ce classement avec un exemple concret.

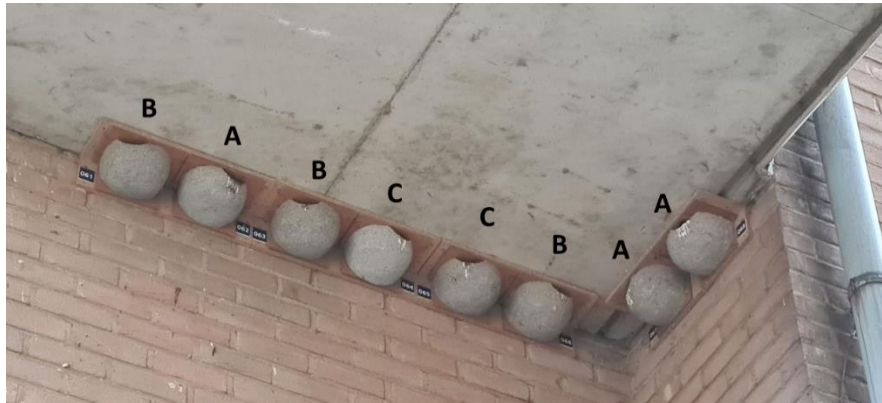


Figure 20 : Photographie prise lors d'un tour d'observation à Louvain-la-Neuve. Sur cette image est illustré le système de classification des nids voisins en fonction du nid occupé du groupe 1. La lettre A a été attribuée aux nids occupés (A62, A67 et A68), la lettre B a été attribuée à leurs voisins directes et la lettre C aux nids suivants.

Ensuite, chaque événement où température d'un nid était plus élevée que les autres nids a été relevé. La durée de chaque événement (indiquées par le nombre de jours consécutifs avec une température moyenne élevée) et les dates de début et de fin ont été notées. Sur les courbes, les utilisations éphémères s'apparentent à des pics de plus ou moins courte durée (*figure 21, 5*). Un nid sera interprété comme occupé pour la reproduction lorsque les températures diffèrent des nids voisins pendant une longue période et que sa courbe ne suit plus exactement les mêmes fluctuations liées à l'environnement (*figure 21*, courbes grise et bleue). Sur la *figure 21*, le point 1 indique le début de l'occupation du nid. Ensuite, la courbe se stabilise en un premier plateau (*figure 21, 2*), indicateur de la couvaison. Après cela, la température augmente, indiquant l'éclosion des jeunes et leurs premiers jours de vie. La courbe se stabilise en un deuxième plateau pendant la période où les jeunes sont nourri au nid (*figure 21, 3*). Après ce plateau, l'envol des jeunes est interprété comme le moment où la température diminue et semble suivre à nouveau les fluctuations liées l'environnement (*figure 21, 4*). Les dates d'occupation des nids et d'envol des jeunes ont également été confirmées avec les observations de terrain. Les différents éléments décrit ci-dessus sont illustrés sur la *figure 21*.

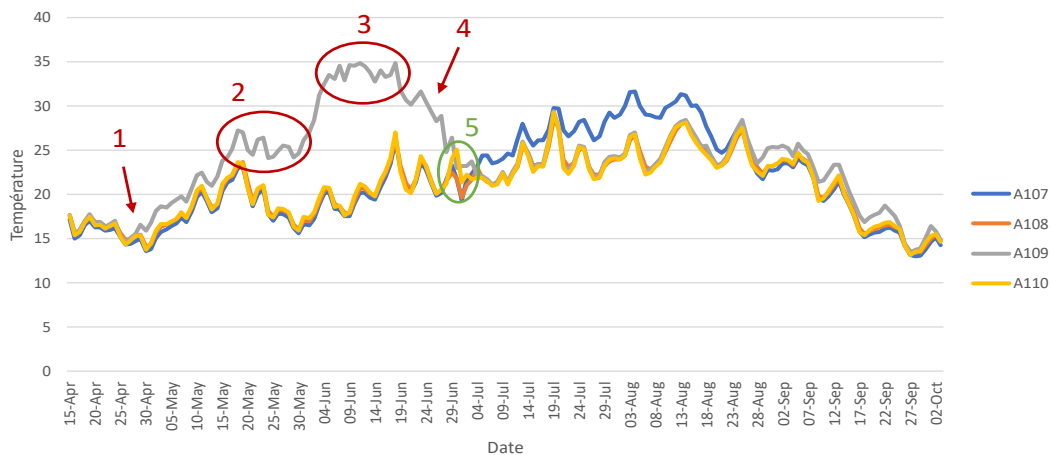


Figure 21 : Graphe linéaire de la température moyenne journalière les nids du groupe 6 en fonction du temps. Les nids A109 et A107 ont été utilisés pour la nidification en 2022. Sur cette figure, le numéro 1 rouge pointe l'endroit où la courbe grise diffère des autres courbes. Ce point marque le début de l'occupation du nid. Le numéro 2 rouge représente le premier plateau sur la courbe grise, correspondant à la couvaie. Le numéro 3 rouge représente le second plateau sur la courbe grise, correspondant à la période de nourrissage des jeunes au nid. Le point 4 rouge pointe la courbe grise lorsque la température décroît et rejoint les courbes basales des nids vides. Cette chute de température est interprétée comme l'envol des jeunes. Le cercle vert portant le numéro 5 met en évidence un pic de température de la courbe jaune qui ne suit plus les courbes de température des nids vides. Ce pic est interprété comme une utilisation ponctuelle du nid A110.

Il est important de noter que les plateaux de la *figure 16* ne sont pas toujours aussi marqués et que ces éléments sont souvent plus visibles pour la première nichée. On constate en effet que la courbe bleue, ne suit pas le même pattern et ce nid a été occupé pendant la seconde période de nidification

Chaque utilisation éphémère a été classée dans une parmi trois catégories selon le moment de la nidification du nid occupé le plus proche. Elles permettront ensuite d'interpréter quels individus ont occupé le nid. Les catégories sont les suivantes :

- Avant la nichée
- Pendant la nichée
- Après l'envol des premiers jeunes

Finalement, pour résumer les données d'exploration des nids, les durées moyennes des occupations nocturnes et le nombre de ces occupations ont été représentés graphiquement en fonction de la position du nid et du moment de la nidification. Les analyses ont été effectuées avec *Excel* et *RStudio*.

Résultats

Les résultats de cette étude sont scindés en trois parties distinctes. D'abord les chiffres concernant l'état des lieux de la colonie d'Hirondelles de fenêtre à Louvain-la-Neuve sont présentés. Ensuite, la seconde partie concerne l'évolution de l'état des nids naturels et des réparations. Et finalement les données collectées grâce aux capteurs thermiques seront résumées permettant d'étudier les comportements exploratoires.

1. État de la population d'Hirondelles de fenêtre de Louvain-la-Neuve

1.1. Résultats de l'année 2022

1.1.1. Phénologie

En 2022, les premières hirondelles ont été aperçues dès la deuxième quinzaine du mois d'avril. Les premières visites de nids artificiels enregistrées avec les capteurs thermiques ont eu lieu à partir du 24 avril, ou du 16 avril avec plus d'incertitude. En fin de saison, les dernières hirondelles ont été vues aux alentours du 21 septembre, cependant, les dernières visites enregistrées avec les capteurs thermiques ont eu lieu le 1^{er} octobre.

Les nids utilisés pour étudier la phénologie sont uniquement ceux dont suffisamment de données étaient disponibles pour estimer les dates clés de la reproduction. Par conséquent, les nids de la place Blaise Pascal entre autres ont été retirés pour l'analyse.

La distribution des dates de pontes calculées est présentée à la *figure 22*.

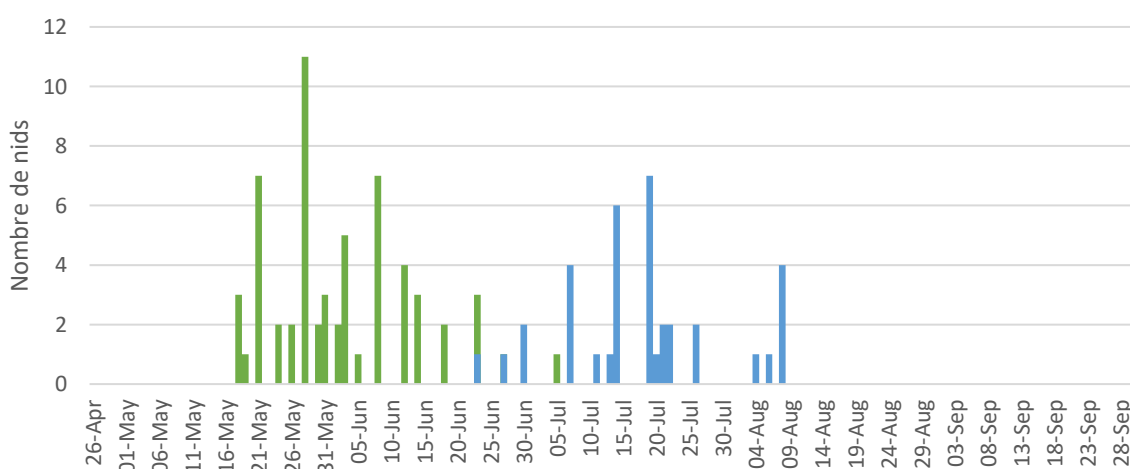


Figure 22 : Timing des pontes pendant la première période (en vert) et la deuxième période (en bleu) de nidification des hirondelles de fenêtre à Louvain-la-Neuve en 2022. Les observations sont basées sur 318 nids disponibles (naturels et artificiels). L'échantillon d'analyse est de 60 nids pour la première période et de 36 nids pour la seconde période. Pour le détail du calcul des dates de pontes, se référer à la section matériel et méthodes.

La *figure 22* permet de montrer que les pontes se font de manière asynchrone dans la colonie d'hirondelles.

Toutefois, les premières pontes semblent être réparties en deux phases : le premier pic de pontes se situe entre le 21 et le 28 mai et le second entre le 3 et le 12 juin.

Pour la seconde période, trois phases intéressantes se démarquent.

D'abord une première phase de secondes pontes se situe entre le 23 juin et le 7 juillet. Ces pontes sont considérées comme précoces pour la deuxième période.

Ensuite, la deuxième phase où l'on observe le pic le plus important de pontes se déroule aux alentours de la mi-juillet (entre le 13 et le 20 juillet). Ce pic correspond à la majorité des secondes pontes dont les jeunes commencent à être aperçus début août.

Finalement, un troisième pic de pontes plus tardives a eu lieu aux alentours du 4 au 8 août. Dans ces nids, les jeunes ont été les derniers encore visibles jusqu'en septembre

Les pontes du début du mois de juillet ont été plus difficiles à classer. Pendant cette période transitoire, il est complexe de distinguer une première ponte tardive d'une seconde ponte précoce. Les pontes localisées dans un nid qui n'a pas encore été occupé, ni son plus proche voisin ont été estimées comme étant des premières pontes tardives de la première période de nidification. Tandis qu'elles ont été classées comme deuxième ponte lorsque le nid ou son voisin le plus proche avait déjà été occupé pour une première nichée et que les observations laissent à croire que le couple a changé de nid pour la seconde période.

Quatre dates clés de la reproduction, à savoir la première activité visible, la première ponte, la deuxième ponte et la dernière activité visible, ont été comparées en fonction des secteurs à la *figure 23* et des types de nids à la *figure 24*.

Pour analyser ces dates clés, les jours ont été exprimés par des nombres entiers. A titre de référence, le numéro 5 correspond au 1^{er} mai, le 36 au 1^{er} juin, le 66 au 1^{er} juillet, le 97 au 1^{er} août, le 128 au 1^{er} septembre et le 158 au 1^{er} octobre.

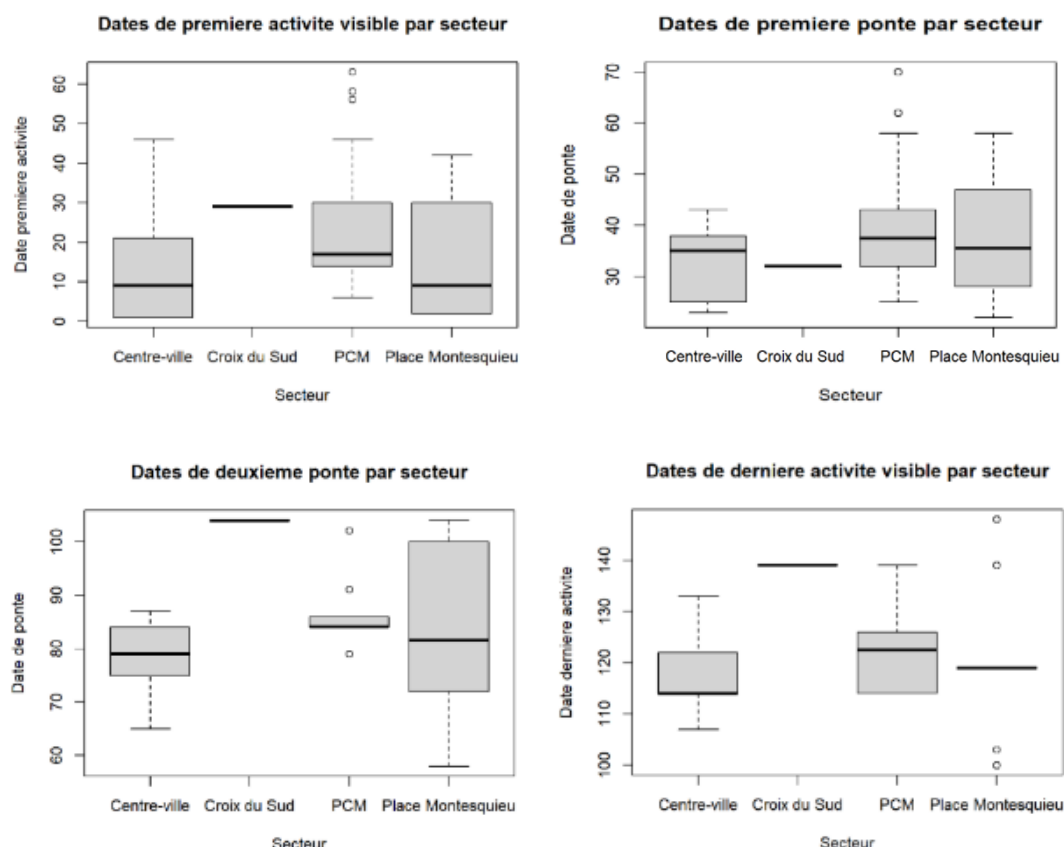


Figure 23 : Comparaison des dates clés de la reproduction des hirondelles de fenêtre en fonction des secteurs à Louvain-la-Neuve en 2022. Quatre dates sont représentées : la première activité visible (en haut à gauche), la première ponte (en haut à droite), la seconde ponte (en bas à gauche) et la dernière activité visible (en bas à droite). Les dates sont exprimées par des nombres entiers entre 1 et 158, où le 1 correspond au 27 avril et le 158 au 1^{er} octobre 2022. Le secteur Croix du sud ne contient qu'un seul nid actif par période.

Les premières hirondelles ont d'abord été aperçues dès la fin du mois d'avril dans les secteurs Centre-ville et Place Montesquieu. Ensuite, une dizaine de jours plus tard au secteur PCM et sont finalement arrivées dans un nid du secteur Croix du Sud un mois après.

Aucun décalage important entre les secteurs n'a été détecté concernant les dates des premières pontes. Elles se sont réalisées autour du jour 35, soit vers la fin du mois de mai. Cependant, ces dates ont une plus grande variabilité pour la place Montesquieu et une variabilité plus faible au sein du secteur PCM, malgré deux événements de premières pontes plus tardives sur la place Cardinal Mercier.

Les dates de secondes pontes sont similaires pour les trois secteurs principaux. La Croix du Sud est considérée comme un extrême ici et ne peut être analysée en tant que secteur à part entière, ne contenant qu'une seule ponte pour cette période. On retrouve une variabilité dans les dates de secondes pontes très importante pour la place Montesquieu et plus faible pour le secteur PCM, contenant toutefois trois événements extrêmes.

Les dernières activités ont été observées au sein de deux nids de la place Montesquieu, un nid du secteur PCM et le nid de la Croix du Sud. Le secteur Centre-ville est celui qui est déserté le plus tôt, avant le mois de septembre. Ensuite, pour les secteurs place Montesquieu et PCM, les dates de départ sont assez similaires, soit principalement vers la fin du mois d'août et début septembre.

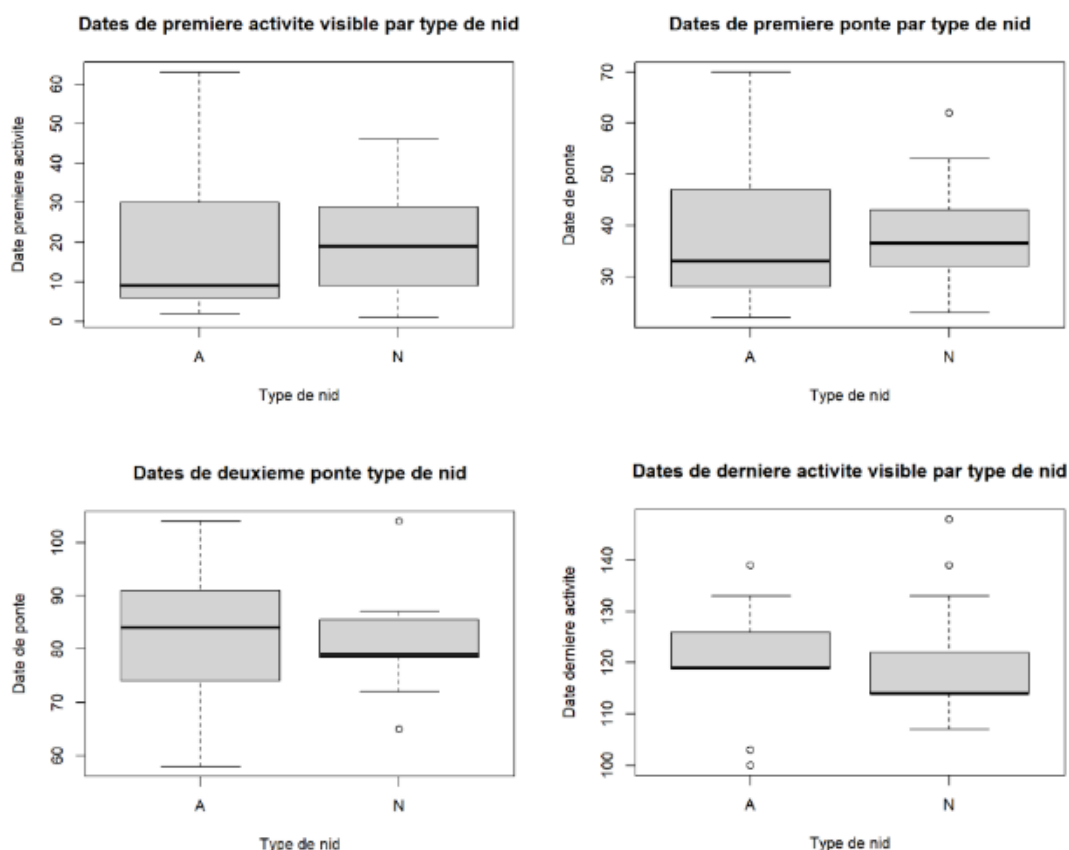


Figure 24 : Comparaison des dates clés de la reproduction des hirondelles de fenêtre en fonction des types de nids à Louvain-la-Neuve en 2022. Le A correspond aux nids artificiels et le N aux nids naturels. Quatre dates sont représentées : la première activité visible (en haut à gauche), la première ponte (en haut à droite), la seconde ponte (en bas à gauche) et la dernière activité visible (en bas à droite). Les dates sont exprimées par des nombres entiers entre 1 et 158, où le 1 correspond au 27 avril et le 158 au 1^{er} octobre 2022.

À la figure 24, les dates clés sont comparées en fonction du type de nid. Globalement, peu de différences sont marquées entre les deux types. Concernant les premières activités, il semble qu'il y ait plus d'arrivées tardives dans les nids artificiels mais la majorité des premières activités sont visibles sur le même intervalle de temps, indifféremment du type de nid.

Les premières pontes se passent pendant la même période pour les deux types de nids, bien qu'il y ait plus de variabilité pour les pontes tardives au sein des nids artificiels.

Les deuxièmes pontes semblent se passer légèrement plus tôt dans les nids naturels et l'intervalle de temps de ces pontes est plus important pour les nids artificiels.

Finalement, les dernières activités visibles indiquent un départ plus précoce pour les nids naturels et quelques départs tardifs à la fin du mois de septembre pour les deux types de nids.

1.1.2. Nombre de nichées

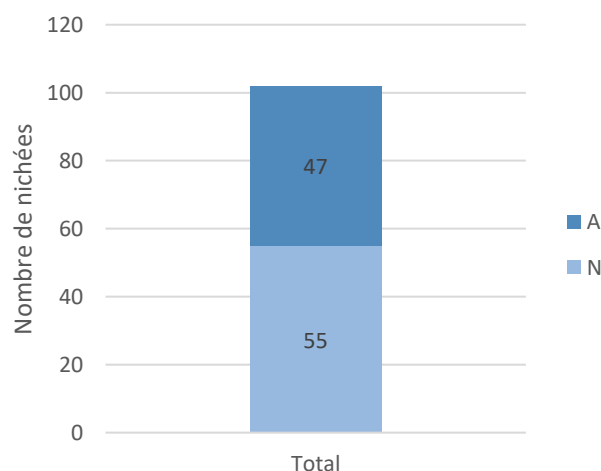


Figure 25 : Nombre de nichées totales d’hirondelles de fenêtre en fonction du type de nid à Louvain-la-Neuve en 2022. La lettre A correspond aux nids artificiels et la lettre N aux nids naturels.

En 2022, 102 nichées ont été recensées à Louvain-la-Neuve. Parmi celles-ci, 55 ont été réalisées dans des nids naturels et 47 au sein de nids artificiels. Quatre ans après leur installation en 2018, les nids artificiels accueillent désormais 46% des nichées.

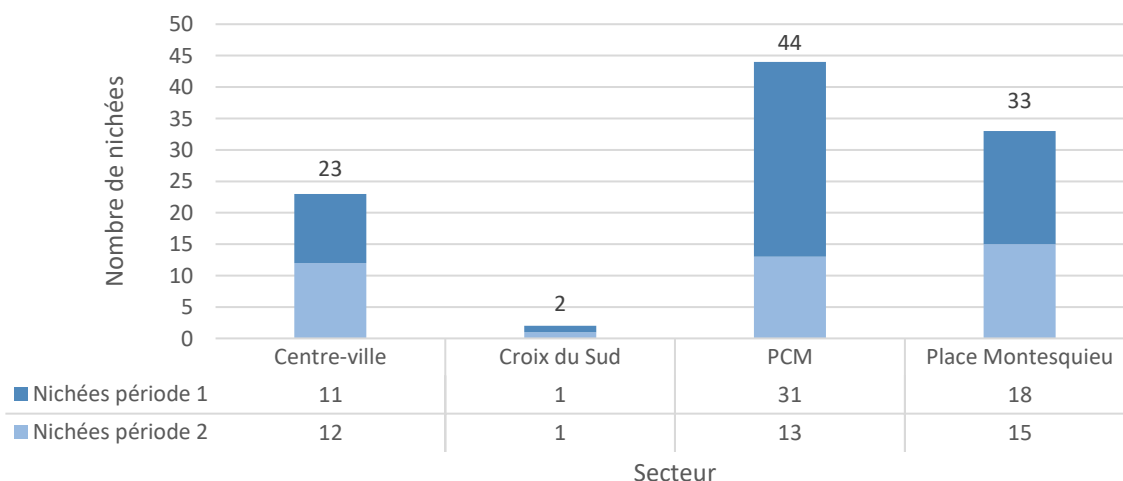


Figure 26 : Nombre de nichées d’hirondelles de fenêtre par période en fonction du secteur à Louvain-la-Neuve en 2022.

La quasi-totalité des nichées, soit 100 sur les 102, se sont déroulées dans les secteurs Centre-ville, place Cardinal Mercier et place Montesquieu. Seules deux nichées ont eu lieu dans le secteur Croix du Sud. Ce secteur a abrité sa première nichée au sein d’un des 60 nids artificiels installés sur le bâtiment Pythagore. Mis à part les nids artificiels, ce secteur contient très peu

de nids naturels. Seulement deux nids naturels étaient disponibles, dont un seul encore entier au début de la saison.

Sur les 102 nichées, 61 se sont déroulées pendant la première période de nidification soit 60% des nichées totales. Mis à part dans le secteur de la place Cardinal Mercier, le nombre de nichées entre la première et la deuxième période était quasiment équivalent. En effet, au centre-ville, 48% des nichées ont eu lieu pendant la deuxième période contre 52% pendant la première. Dans le secteur Croix du Sud, une nichée par période a été enregistrée. Concernant le secteur de la place Montesquieu, la balance est de 55% des nichées pour la première période, contre 45% pour la seconde période. Finalement cet équilibre n'est pas observé dans le secteur PCM, dans lequel 70% des nichées ont eu lieu pendant la première période contre 30% pour la seconde période.

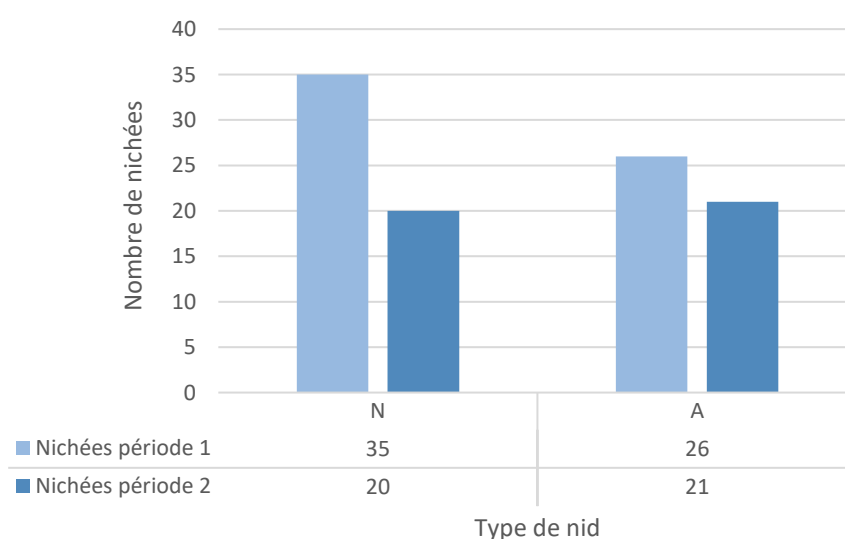


Figure 27 : Nombre de nichées d'hirondelles de fenêtre par période en fonction du type de nid à Louvain-la-Neuve en 2022. La lettre A correspond aux nids artificiels et la lettre N aux nids naturels.

Lors de la première période de nidification, les nichées se retrouvent davantage dans les nids naturels que dans les nids artificiels. Lors de cette période, 57% des nichées sont dans des nids naturels. Ce déséquilibre n'est cependant pas retrouvé lors de la deuxième période de nidification où les deux types de nids abritent un nombre équivalent de nichées.

1.1.3. Occupation des nids

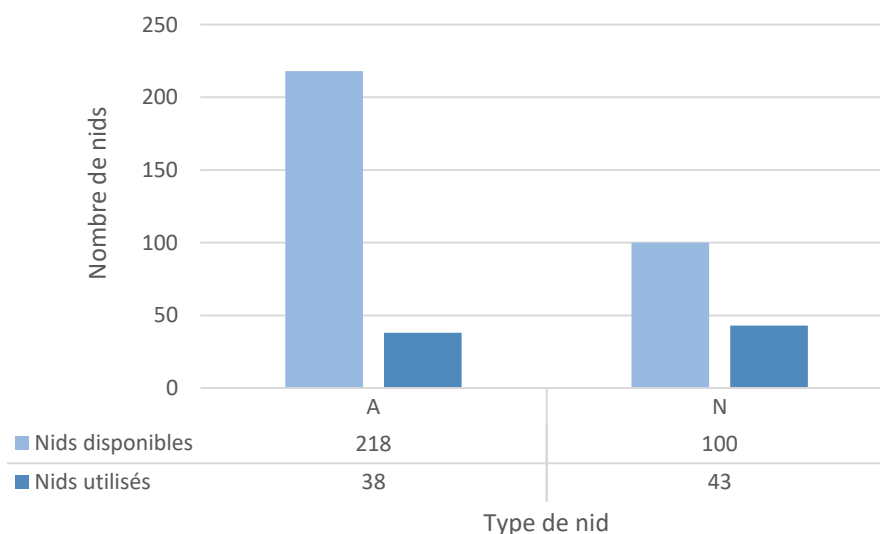


Figure 28 : Nombre de nids d’hirondelles de fenêtre utilisés et disponibles en fonction du type de nid à Louvain-la-Neuve en 2022. La lettre A correspond aux nids artificiels et la lettre N aux nids naturels.

En 2022, 318 nids ont été considérés comme disponibles pour la nidification des hirondelles. Parmi ceux-ci, 218 sont des nids artificiels et 100 sont des nids naturels classés comme *entier* ou *cassé*.

Au total, 81 nids ont été utilisés sur les 318 nids disponibles, soit un taux d’occupation de 25%.

En ce qui concerne les nids naturels, 43 nids ont été occupés par au moins une nichée soit un taux d’occupation de 43% des nids naturels disponibles.

Finalement, 38 nids artificiels ont été occupés, ce qui équivaut à un taux d’occupation de 17% des 218 nids artificiels disponibles sur le site.

Sur les 81 nids utilisés, 43 sont naturels, soit 53% contre 38 artificiels, soit 47%.

1.1.4. Récapitulatif de l’année 2022

Dans le *tableau 3*, un récapitulatif de la saison de reproduction à Louvain-la-Neuve en 2022 est présenté. Dans celui-ci, deux types d’indicateurs sont estimés : le nombre de nids utilisés et le nombre de nichées. Différencier les deux, permet d’identifier séparément l’occupation des nids et le nombre d’individus potentiellement présents sur le site. Dans ce tableau, deux nombres sont indiqués pour chaque catégorie. En effet, après l’analyse des données, une certaine incertitude persistait quant à l’occupation effective de certains nids par un couple

d’hirondelles. De ce fait, les nombres grisés sont les nids et les nichées identifiés avec certitude alors que les nombres en noir y ajoutent les doutes de nidification. Afin de ne pas sous-estimer ces données, les nombres contenant les incertitudes ont été conservés pour les analyses. Cela a été décidé car les incertitudes concernaient majoritairement les deuxièmes pontes et occupations pendant la deuxième période de nidification. Cette période a été plus difficile à analyser à la suite de deux facteurs : la présence des jeunes de la première période a complexifié les observations et le nombre plus faible de visites de terrain au mois d’août 2022 a considérablement réduit le nombre de données permettant de valider l’occupation des nids.

En 2022, 21 nids ont été occupés deux fois ce qui correspond à un taux de deuxième ponte de 26% du total des nids utilisés. En décomposant en fonction du type de nid, le taux de deuxième ponte au sein des nids naturels est de 28% et de 24% pour les nids artificiels. Cependant, si on estime le taux de seconde ponte avec le nombre de nichées pendant la deuxième période de nidification alors, ce taux est de 40% par rapport au nombre de nichées totales, soit 41 nichées sur les 102 observées. Cette différence vient du fait que 20 nids ont été nouvellement utilisés pendant la seconde période de nidification, (8 naturels et 12 artificiels). Ces nouveaux nids ont été occupés soit par un couple ayant démarré sa reproduction tardivement, soit par un couple ayant changé de nid pour se reproduire une seconde fois. Ces deux hypothèses n’étant pas vérifiables avec cette étude, il a été estimé que le nombre de couples présents sur le site équivaut au nombre de nids utilisés. Cette simplification risque cependant de surestimer le nombre de couples présents d’une vingtaine de couple, représentant alors 40 individus et de sous-estimer le taux de seconde ponte, déterminé par le nombre de nids occupés deux fois.

Tableau 3 : Résumé du nombre de nids utilisés et du nombre de nichées d'Hirondelles de fenêtre recensés à Louvain-la-Neuve en 2022. Ces totaux sont détaillés en fonction du nombre d'utilisation des nids, de la période durant laquelle les jeunes sont nés et du type de nid. Les nombres grisés correspondent aux nombres de nids ou de nichées identifiés avec certitude et les nombres en noir sont les totaux estimés en conservant les incertitudes.

	Nids utilisés			Nichées		
	1x	2x	Total	Période 1	Période 2	Total
Naturels	32-31	6-12	38-43	34-35	10-20	44-55
Artificiels	29-29	7-9	36-38	24-26	19-21	43-47
Total	61-60	13-21	74-81	58-61	29-41	87-102

Grâce aux données d’occupation des nids et du nombre de nichées, le nombre d’individus présents à Louvain-la-Neuve en 2022 a été estimé dans le *tableau 4*. Pour réaliser ce calcul, le nombre de couples et donc d’adultes ont été évalués grâce au nombre de nids utilisés, comme justifié plus haut.

Ensuite, le nombre de nichées a permis de déterminer le nombre théorique de jeunes nés en 2022. Pour ce faire, les moyennes de jeunes par nichées pour la Belgique ont été estimées en fonction de la moyenne européenne détaillée dans le livre de *Olios* (2020) sur base d'articles scientifiques de plusieurs pays d'Europe. Il a été montré que les premières pontes contiennent entre 4 et 5 œufs, moyenné ici à 4,5 alors que les deuxièmes en contiennent entre 3 et 4, moyenné à 3,5. Le nombre de jeunes élevés jusqu'à l'envol par rapport au nombre d'œufs pondus varie fortement selon les études et n'a pas été pris en compte dans ce calcul. La taille de cette population est un indicateur théorique et sera comparé aux années antérieures pour cette colonie, sur base du même calcul et donc avec ce même biais.

En 2022, la population totale d'Hirondelles de fenêtre à Louvain-la-Neuve est estimée à 580 individus, dont 162 adultes et 418 jeunes.

Tableau 4 : Estimation du nombre d'Hirondelles de fenêtre présentes à Louvain-la-Neuve en 2022.

	Couples	Adultes
Nids utilisés	81	162

	Période 1	Période 2
Nichées	61	41
Moyenne de jeunes/nichée	4,5	3,5
Nombre de juvéniles	274,5	143,5
Nombre de juvéniles total	418	

Nombre d'individus total estimé	580
---------------------------------	-----

1.1.5. Bagueage

Lors des trois séances de bagueage ayant eu lieu les 23 et 30 août et le 6 septembre 2022, 36 individus ont été bagués. Soit directement au nid en décrochant les nids artificiels pour les juvéniles, soit au filet pour les volants. Parmi ces individus, 23 étaient des poussins nés pendant la deuxième période de nidification. Les 13 restants étaient des individus volants, soit 12 adultes et un juvénile de la première période de nidification. De plus, un jeune déjà bagué le 23 août a été attrapé une deuxième fois le 30 août.

1.1.6. Événements particuliers

1.1.6.1. Échecs de reproduction

Lors des séances de baguages et de nettoyage, 7 œufs non éclos ou non fécondés ont été retrouvés dans des nids artificiels (A94, A62, A92, A147, A159).

De plus, deux individus ont été retrouvés morts. Le premier était un jeune provenant du nid naturel 1213, tombé du nid et retrouvé au sol. Le second a été retrouvé au sein du nid artificiel A139 pendant la séance de nettoyage en octobre.

Finalement, le nid naturel 1911 était visiblement occupé au début de la saison, entre le 2 mai et le 16 juin 2022. Des individus entrant dans le nid et quelques déjections présentes au sol font penser qu'il était occupé pendant cette période. Cependant, aucun jeune n'a pu être observé dans ce nid et après les premières traces de déjections au sol le 16 juin, plus aucune activité n'a été observée.

1.1.6.2. Place Blaise Pascal et Halles universitaires

À la suite de travaux de rénovation des bâtiments, deux zones (la place Blaise Pascal et les Halles universitaires) n'ont pas pu être observées pendant l'ensemble de la saison de reproduction. Seules quelques visites ont permis de constater qu'au moins 3 nids de la place Blaise Pascal ont probablement été occupés puisque des jeunes ont été observés au nid le 14 août. Concernant les nids des Halles universitaires aucun jeune n'a été observé, seules quelques nouvelles traces de déjections à l'entrée d'un nid ont été décelées, mais cela n'est pas suffisant pour interpréter l'occupation effective du nid.

1.1.6.3. Bâtiment Pythagore

Du mois de mai au mois d'août, des chants d'Hirondelles de fenêtre ont été diffusés au niveau des 60 nids artificiels du bâtiment Pythagore. Cette initiative avait pour objectif d'attirer des hirondelles vers ces nids, dans lesquels aucune nichée n'avait encore eu lieu depuis leur installation en 2018. Finalement, un couple s'est installé dans le nid A31 vers la fin du mois d'août et des jeunes y ont été observés pour la première fois le 6 septembre 2022.

1.2. Tendances de population

Dans cette section, les tendances de population sont élaborées sur base de plusieurs indicateurs ; le nombre de nichées, le nombre de nids occupés, les taux d'occupation et la population totale théorique. Ces variables ont été déterminées lors de précédentes études pour les années 2009, 2018, 2019 et 2020. Alors que les données brutes disponibles pour l'année 2021 ont été analysées dans le cadre de ce mémoire et un tableau récapitulatif (*tableau 13*) se trouve en *annexe 3*.

1.2.1. Nombre de nichées

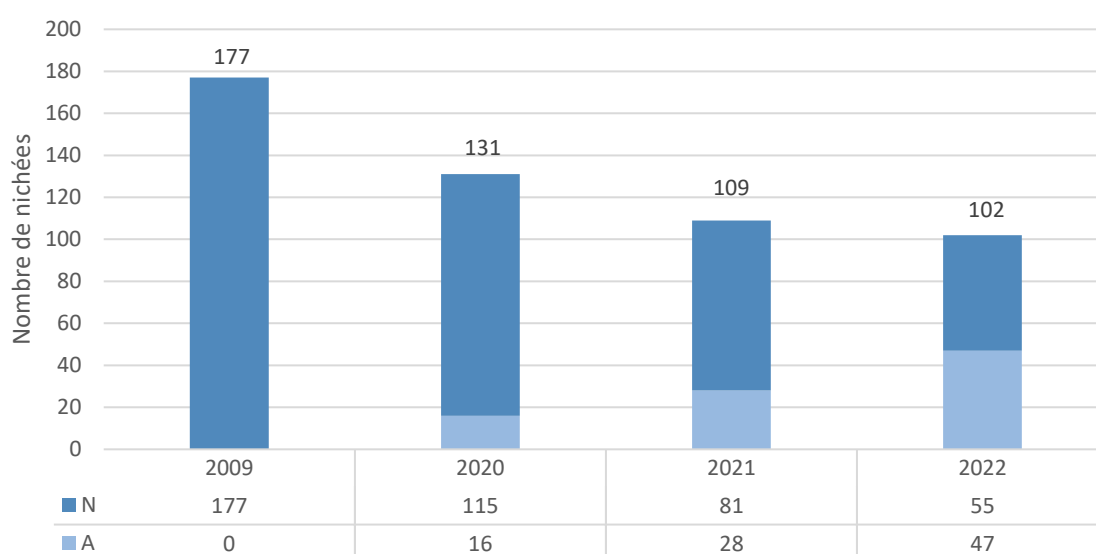


Figure 29 : Nombre de nichées d'Hirondelles de fenêtre par année en fonction du type de nid à Louvain-la-Neuve pour les années 2009, 2020, 2021 et 2022. La lettre A correspond aux nids artificiels et la lettre N aux nids naturels.

Le nombre de nichées recensées à Louvain-la-Neuve semble être en diminution continue depuis 2009.

Entre 2009 et 2020, on constate une réduction de 46 nichées soit une moyenne 4,18 nichées par an pendant 11 ans. Ceci équivaut à une chute moyenne annuelle de 2% du total des nichées de 2009. Plus récemment, entre 2020 et 2021, le nombre de nichées passe de 131 à 109, soit une chute annuelle de 17% de la population de 2020. Finalement, entre 2021 et 2022, on retrouve une diminution de 7 nichées, soit une chute annuelle de 6% de la population de 2021.

La décroissance de la population est plus prononcée entre 2020 et 2021 qu'entre 2009 et 2020. Cette tendance semble toutefois s'être adoucie entre 2021 et 2022.

En plus de cette tendance pour la population totale, la *figure 29* illustre que le nombre de nichées dans des nids naturels diminue en faveur des nids artificiels. En effet, la nidification au sein des nids artificiels augmente considérablement depuis 2020. En deux ans, les nichées dans les nids artificiels sont passées de 16 à 47, soit de 12% à 46% du total des nichées.

1.2.2. Occupation des nids

1.2.2.1. Tendances globales



Figure 30 : Évolution de l'utilisation des nids naturels et artificiels d'Hirondelles de fenêtre à Louvain-la-Neuve pour les années 2009, 2018, 2019, 2020, 2021 et 2022.

D'abord, entre 2009 et 2018, le nombre de nids utilisés passe de 125 à 62, soit une diminution de 50% par rapport à l'année 2009. En interpolant sur les neuf ans de données manquantes, on retrouve une diminution de 7 nids par an pendant neuf ans, soit une diminution annuelle de 6% par rapport au nombre de nids utilisés en 2009.

Ensuite, entre 2018 et 2020, le nombre de nids utilisés augmente de 32% de 2018 à 2019 et de 9% de 2019 à 2020.

Finalement, le nombre de nids totaux utilisés diminue depuis 2020. Il passe de 89 à 86, soit une diminution de 3% entre 2020 et 2021 et de 86 à 81, soit une diminution de 6% entre 2021 et 2022.

Cette chute du nombre de nids utilisés est plus marquée lorsque l'on regarde uniquement les nids naturels. En effet, entre 2009 et 2022, le nombre de nids naturels utilisés est passé de 125 à 43, soit une réduction de 66% par rapport à l'année 2009 ce qui équivaut à une moyenne annuelle de 5% des nids naturels. Cependant, cette tendance s'accélère depuis 2020, avec une diminution de 14% entre 2020 et 2021 et de 33% entre 2021 et 2022.

Par opposition, l'utilisation des nids artificiels ne fait qu'augmenter depuis leur installation en 2018. Bien qu'aucun nid n'ait été utilisé la première année, sept occupations sont recensées en

2019. Ensuite, on observe une augmentation de l'utilisation des nids artificiels de 53% entre 2019 et 2020, de 32% entre 2020 et 2021 et finalement de 73% entre 2021 et 2022.

1.2.2.2. Nombre d'occupation des nids

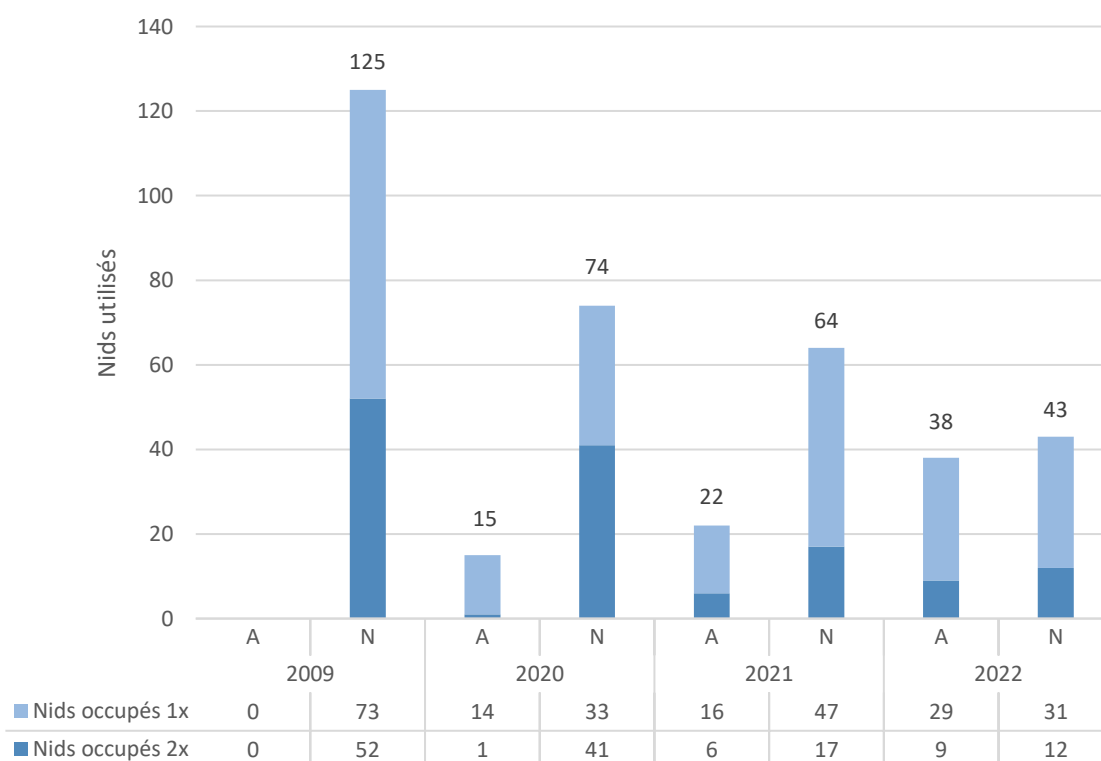


Figure 31 : Nombre de nids d'Hirondelles de fenêtre utilisés à une ou deux reprises en fonction du type de nid à Louvain-la-Neuve, pour les années 2009, 2020, 2021 et 2022. La lettre A correspond aux nids artificiels et la lettre N aux nids naturels.

En 2009, 42% des nids occupés ont été utilisés deux fois.

En 2020, 55% des nids naturels utilisés ont été occupés deux fois et 7% des nids artificiels utilisés ont été occupés deux fois. Au total, 47% des nids utilisés ont été occupés deux fois.

En 2021, 27% des nids naturels, artificiels et totaux utilisés ont été occupés deux fois.

En 2022, 28% des nids naturels utilisés ont été occupés deux fois et 24% des nids artificiels utilisés ont été occupés deux fois. Au total, 26% des nids utilisés ont été occupés deux fois.

Ces chiffres permettent de mettre en évidence une diminution du nombre de nids utilisés deux fois et par conséquent du taux de deuxième ponte. Il y a également une augmentation de l'utilisation des nids artificiels, particulièrement du nombre de secondes pontes au sein de ces derniers, qui équivaut environ au taux de secondes pontes des nids naturels à partir de 2021.

De plus, parmi l'ensemble des nids utilisés pour deux nichées, la part des nids artificiels passe de 2% en 2020 à 43% en 2022.

1.2.3. Taux d'occupation

Les *tables 5, 6 et 7* présentent l'évolution des taux d'occupation des nids naturels, artificiels et totaux respectivement, pour les années dont les données sont disponibles. Pour calculer ces taux d'occupation, le nombre de nids utilisés a été rapporté au nombre de nids disponibles sur le site. Ces nids concernent l'ensemble des nids artificiels implémentés en 2018 et les nids naturels dans un état *entier* ou *cassé* au début de la saison de reproduction. En 2018, 2019 et 2021, l'état des nids naturels en début de saison n'est pas connu et par conséquent, seuls les taux d'occupation des nids artificiels ont été estimés pour ces années.

Le *tableau 5* permet de constater que le nombre de nids naturels disponibles diminue depuis 2009. Entre 2009 et 2020, 61 nids en moins sont disponibles pour la reproduction des hirondelles en onze ans. Cela équivaut à une pente de -6 nids par an. Et entre 2020 et 2022, ce nombre se réduit encore de 42 nids en deux ans, soit une moyenne annuelle de 21 nids.

De plus, la réduction du nombre de nids disponibles s'accompagne d'une diminution du nombre de nids utilisés. Ce nombre diminue de 51 nids entre 2009 et 2020, soit entre 4 et 5 nids par an, et de 31 nids entre 2020 et 2022, soit 15,5 nids par an. On constate que la disponibilité en nids naturels diminue plus rapidement que l'utilisation de ces nids.

En regroupant ces deux variables en une, le taux d'occupation des nids naturels peut également être analysé. Celui-ci, passe de 61,5% en 2009 à 52% en 2020. Ce taux a baissé de 9,5% en onze ans, ce qui représente une diminution annuelle légèrement inférieure à 1%. Cependant, entre 2020 et 2022, ce taux chute plus drastiquement de 52% à 43%, soit une diminution annuelle de 4,5%. Cette réduction plus prononcée du taux d'occupation des nids naturels coïncide également avec le début de l'utilisation des nids artificiels par les hirondelles.

Tableau 5 : Taux d'occupation des nids naturels d'Hirondelles de fenêtre à Louvain-la-Neuve en 2009, 2020 et 2022.

	2009	2020	2022
Nids disponibles	203	142	100
Nids utilisés	125	74	43
Taux d'occupation	61,58%	52,11%	43,00%

Le tableau 6 présente l'occupation des nids artificiels depuis 2018. Le taux d'occupation augmente chaque année ; il est multiplié par 2,14 entre 2019 et 2020, par 1,47 entre 2020 et 2021 et finalement par 1,73 entre 2021 et 2022.

Tableau 6 : Taux d'occupation des nids artificiels d'Hirondelles de fenêtre à Louvain-la-Neuve de 2018 à 2022.

	2018	2019	2020	2021	2022
Nids disponibles	218	218	218	218	218
Nids utilisés	0	7	15	22	38
Taux d'occupation	0%	3%	7%	10%	17%

Pour finir le tableau 7 fournit les taux d'occupation globaux pour le site de l'étude, comprenant l'ensemble des nids disponibles (naturels et artificiels).

En 2009, lorsque tous les nids disponibles étaient naturels, le taux d'occupation total avoisinait les 62%. Cependant, depuis l'installation des nids artificiels, le nombre de nids disponibles a considérablement augmenté et ce taux avoisine davantage les 25% d'occupation en 2020 et 2022.

Tableau 7 : Taux d'occupation totaux des nids d'Hirondelles de fenêtre à Louvain-la-Neuve en 2009, 2020 et 2022.

	2009	2020	2022
Nids disponible totaux	203	360	318
Nids utilisés totaux	125	89	81
Taux d'occupation total	62%	25%	25%

1.2.4. Estimation des populations totales

Dans les *tableaux 8, 9 et 10*, le nombre de couples et de jeunes présents sur le site a été calculé pour les années 2009, 2020 et 2021 en suivant le même procédé utilisé pour l'année 2022, détaillé à la section 1.1.4 des résultats.

Avec ces estimations annuelles du nombre total d'individus présents dans la colonie d'Hirondelles de fenêtre de Louvain-la-Neuve, on constate également une tendance à la baisse depuis 2009.

Entre 2009 et 2020, la population totale a diminué de 26%, soit une réduction moyenne annuelle de 2,5% de la population de 2009 pendant 11 ans. Cependant, cette tendance fluctue selon les années. La chute de la population semble s'accélérer entre 2020 et 2021, mais s'adoucir entre 2021 et 2022. En effet, de 2020 à 2021, on observe une réduction de 14% de la population et entre 2021 et 2022, la population diminue de 7%.

Tableau 8 : Estimation du nombre de couples et d'adultes présents au sein de la colonie d'Hirondelles de fenêtre de Louvain-la-Neuve en 2009, 2020, 2021 et 2022.

	2009	2020	2021	2022
Nids utilisés	125	89	86	81
Couples	125	89	86	81
Adultes	250	178	172	162

Tableau 9 : Estimation du nombre de juvéniles nés au sein de la colonie d'Hirondelles de fenêtre de Louvain-la-Neuve en 2009, 2020, 2021 et 2022. Les nombres décimaux ont été arrondis à l'unité inférieure pour présenter un nombre entier d'individus.

	2009		2020		2021		2022	
	Période 1	Période 2	Période 1	Période 2	Période 1	Période 2	Période 1	Période 2
Nichées	114	63	89	42	73	36	61	41
Moyenne de jeunes/nichée	4,5	3,5	4,5	3,5	4,5	3,5	4,5	3,5
Nombre de juvéniles	513	220,5	400,5	147	328,5	126	274,5	143,5
Nombre de juvéniles total	733		547		454		418	

Tableau 10 : Estimation du nombre total d'individus présents au sein de la colonie d'Hirondelles de fenêtre de Louvain-la-Neuve en 2009, 2020, 2021 et 2022.

	2009	2020	2021	2022
Nombre d'individus	983	725	626	580

2. État des nids

2.1. Évolution de l'état des nids en 2022

La figure 32 représente le nombre de nids naturels présents sur le site et leurs changements d'état entre avril et octobre 2022.

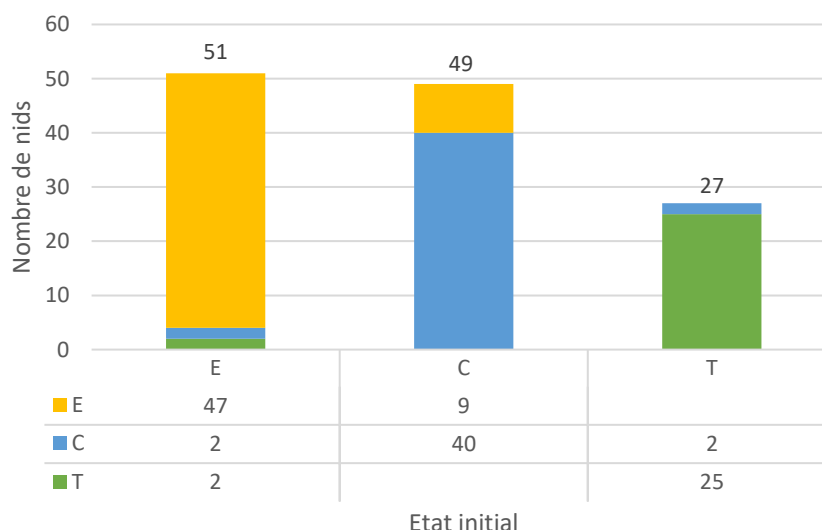


Figure 32 : Histogramme du nombre de nids naturels d'Hirondelles de fenêtre en fonction de leur état à Louvain-la-Neuve en 2022. L'axe horizontal représente l'état initial des nids et les colonnes sont colorées en fonction de leur état final. Les nombres inscrits au-dessus des colonnes correspondent au nombre de nids initial au sein de chaque catégorie et la table de valeurs résume les états finaux de ces nids. Les nids classés E sont entiers, C sont cassés et T sont des traces.

Au début de la saison de reproduction, 127 nids naturels ont été recensés. Parmi ceux-ci, 51 étaient entiers, 49 étaient cassés et 27 n'étaient plus que des traces au mur.

Parmi les nids entiers, deux se sont cassés et deux autres sont tombés et devenus des traces pendant la saison.

Les nids dont l'état s'est amélioré grâce à des réparations sont 9 nids cassés devenus entiers et deux traces devenues des nids cassés et dont les réparations n'ont pas été menées à terme.

Au total, 15 sur les 127 nids naturels présents ont changé d'état entre le début et la fin de la saison de reproduction, soit 12%.

Cependant, certains nids ont été réparés et n'ont pas été terminés, le changement d'état ne se voit alors pas dans ces chiffres puisque ces nids sont restés cassés.

En reprenant les nids réparés et non aboutis, 22 nids ont changé d'état entre avril et octobre 2022, soit 17% des nids naturels. Parmi ceux-ci, 18 ont bénéficié de réparations et quatre se sont détériorés.

2.2. Réparations

Le détail des réparations est illustré à la *figure 33*.

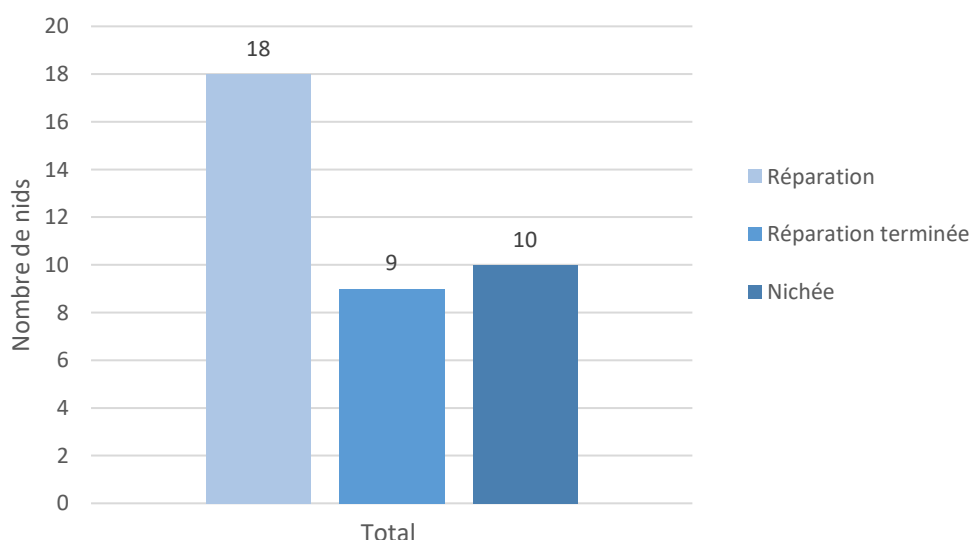


Figure 33 : Nombre de nids naturels d'Hirondelles de fenêtre partiellement ou totalement réparés pendant la saison de reproduction, ainsi que le nombre de nids réparés ayant abrité au moins une nichée, à Louvain-la-Neuve en 2022.

Parmi les 18 nids réparés, seules neuf réparations ont été abouties, soit 50%. Dix nids ont accueilli au moins une nichée ; les neuf complétés et un partiellement réparé. Parmi ceux-ci, un nid réparé a abrité deux nichées sur la saison.

Au total, 11 nichées ont été effectuées dans des nids réparés, ce qui équivaut à 11% des nichées totales et 20% des nichées au sein des nids naturels.

En 2020, 24 nids ont été réparés, 16 n'ont pas été achevés et 8 ont abrité une nichée.

En comparant les deux années, on constate un nombre plus faible de réparations entreprises en 2022 par rapport à 2020, mais le nombre de succès reste faible, c'est-à-dire inférieur ou égal à 50% des réparations commencées.

3. Analyse des données thermiques

Sur les 30 capteurs installés dans des nids artificiels, 5 n'ont pas été retrouvés en fin de saison. Les nids ont été répartis en huit groupes, cependant seuls sept groupes ont été analysés. En effet, les données du groupe 3 n'ont pas pu être exploitées car ce groupe est composé du nid A81 qui a été occupé pendant la saison et du nid A82, non occupé mais dont le capteur a disparu. Les informations concernant les visites dans un nid non occupé, voisin d'un nid occupé ne sont alors pas disponibles pour ce groupe et détecter des visites ponctuelles au sein du nid A81 n'est pas réaliste. En effet, il n'y a pas de données contrôles d'un nid vide permettant de distinguer les variations de température liées à l'environnement local des variations liées à la visite réelle d'un oiseau. La répartition des nids au sein des 8 groupes, leur position et leur occupation sont disponibles en *annexe 1*.

Les données de 24 capteurs thermiques ont donc été utilisées pour cette analyse. Parmi les nids étudiés, 12 ont abrité au moins une nichée dont 7 ont été occupés une fois et 5 deux fois. Sur les 12 nids non utilisés pour la nidification, 8 ont été utilisés ponctuellement au moins une fois et dans les quatre restants, aucune activité n'a été décelée pendant la saison. Au total, 37 utilisations éphémères ont été recensées grâce aux analyses visuelles des courbes de température disponibles en *annexe 4*.

De plus, deux nids non équipés de capteurs mais qui ont été occupés pendant la saison, les A67 et A68, ont été utilisés dans l'analyse pour étudier les visites au sein de leurs voisins inoccupés et équipés de capteurs. Ces nids ont été ajoutés aux 6 nids du groupe 1.

Dans cette étude, une utilisation éphémère correspond à la présence pendant plusieurs heures d'un ou plusieurs oiseaux dans un nid. Cette occupation a duré suffisamment longtemps pour faire augmenter la température moyenne journalière du nid et être détectée sur les graphes (*annexe 4*). Une telle utilisation est alors interprétée comme une occupation nocturne d'oiseaux venant passer la nuit dans un nid vide.

Le nombre et la durée des utilisations (soit le nombre d'occupation nocturne consécutive) en fonction du moment de la nidification et de la position du nid sont représentées aux *figures 34, 35 et 36*.

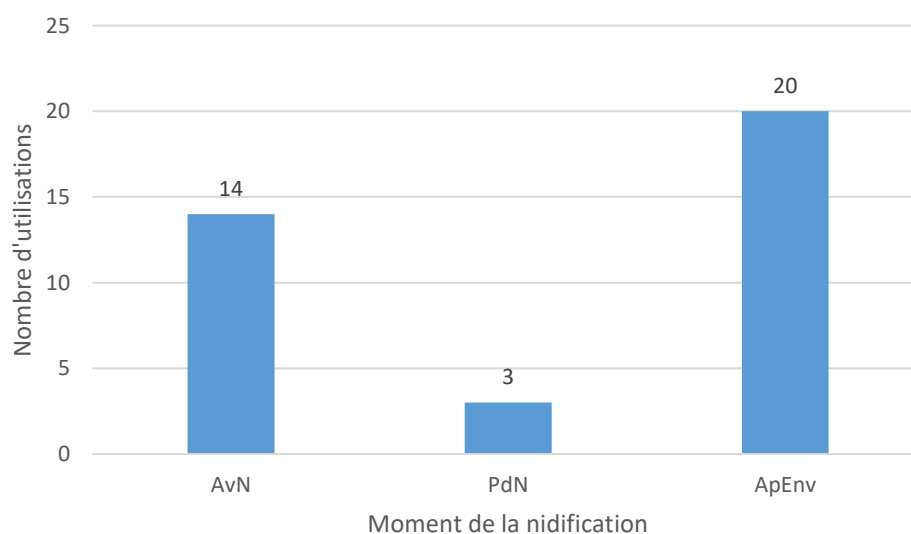


Figure 34 : Nombre d'utilisations éphémères des nids artificiels d'Hirondelles de fenêtre équipés de capteurs thermiques, en fonction du moment de la nidification à Louvain-la-Neuve en 2022. Les catégories sont les suivantes : AvN – avant la nidification, PdN – pendant la nidification et avant l'envol des jeunes, ApEnv – après l'envol des premiers jeunes. Pour chaque nid les utilisations éphémères sont catégorisées en fonction de la nidification du nid occupé le plus proche.

Grâce à la *figure 34*, on constate qu'il y a plus d'utilisations éphémères après l'envol des jeunes que lors des autres moments de la nidification. 54% de ces épisodes se sont déroulés pendant cette période.

Ensuite, 38% des épisodes ont eu lieu avant la nidification (soit 14 utilisations éphémères).

Finalement, seules 3 utilisations éphémères ont été détectées lorsque les jeunes étaient encore au nid. Pendant cette période, seuls les nids non occupés ont été analysés.

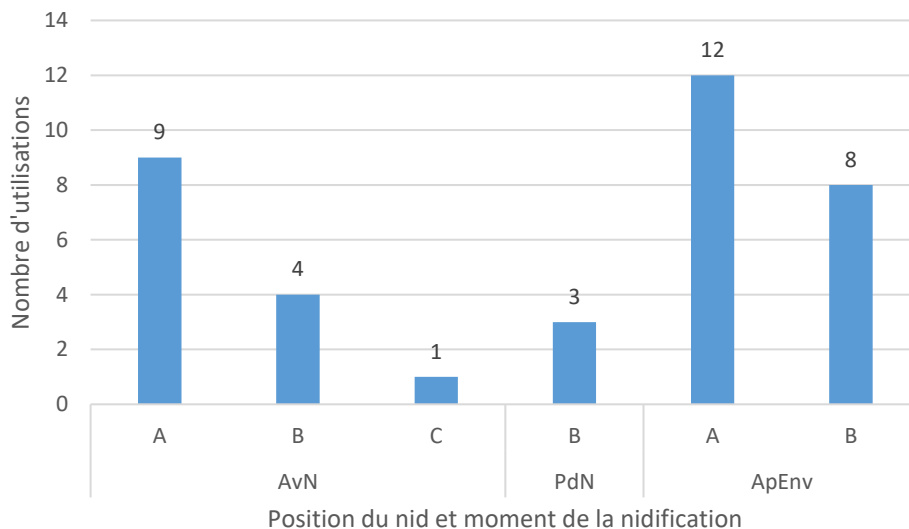


Figure 35 : Nombre d'utilisations éphémères des nids artificiels d'Hirondelles de fenêtre équipés de capteurs thermiques, en fonction du moment de la nidification et de la position du nid par rapport à un nid voisin occupé, à Louvain-la-Neuve en 2022. Les catégories sont les suivantes : AvN – avant la nidification, PdN – pendant la nidification et avant l'envol des jeunes, ApEnv – après l'envol des premiers jeunes. Pour chaque nid, les utilisations sont catégorisées en fonction de la nidification du nid occupé le plus proche. Les lettres indiquent la position des nids par rapport au nid occupé, nommé A.

La figure 35 permet de constater que les nids les plus utilisés sont les nids qui ont accueilli une nichée (nids A). 57% des utilisations éphémères y sont recensées.

Ensuite, les nids B sont les plus utilisés. On y recense 15 utilisations éphémères soit plus de 40% du total de ces événements. Parmi ceux-ci, le plus grand nombre a été enregistré après l'envol des jeunes (plus de 50% des utilisations des nids B). Les nids B ont également été utilisés régulièrement avant la nichée. Le plus faible nombre d'utilisations éphémères a été décelé lorsque les jeunes étaient encore incapables de voler.

Finalement, une seule utilisation d'un nid C a été enregistrée, avant la nidification.

Au total, en comparant les nids utilisés et disponibles, le taux d'utilisation est de 7 nids sur 8 pour les nids B, 1 nid sur 3 pour les nids C et 0 nids sur 1 pour les nids D.

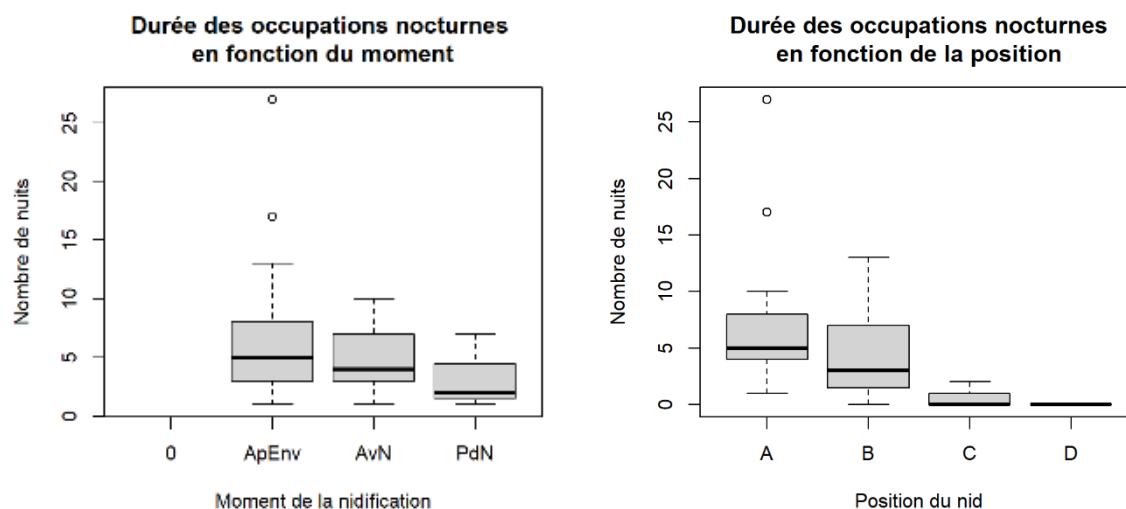


Figure 36 : Comparaison de la durée des occupations nocturnes des nids artificiels d'Hirondelles de fenêtre équipés de capteurs thermiques en fonction du moment de la nidification (à gauche) et de la position du nid par rapport à un nid voisin occupé (à droite), à Louvain-la-Neuve en 2022. Les catégories sont les suivantes : AvN – avant la nidification, PdN – pendant la nidification et avant l'envol des jeunes, ApEnv – après l'envol des premiers jeunes. Pour chaque nid, les occupations nocturnes sont catégorisées en fonction de la nidification du nid occupé le plus proche. Les lettres indiquent la position des nids par rapport au nid occupé, nommé A.

La figure 36 illustre que les nids étudiés ont en général été utilisés pendant quelques nuits consécutives. Les utilisations les plus courtes étaient d'une nuit et la plus longue a duré 27 nuits.

Les utilisations avant la nidification (AvN) et après l'envol des jeunes (ApEnv) ont duré entre 3 et 7 nuits consécutives. Cependant la variabilité de la durée des utilisations est plus grande après l'envol des jeunes. Les utilisations les plus courtes se sont déroulées pendant la période de nidification (PdN), soit lorsque les jeunes sont encore au nid.

On retrouve quelques extrêmes particulièrement longs, par exemple une utilisation de 27 nuits consécutives et une autre de 17 nuits pendant la période après l'envol des premiers jeunes. Ces utilisations de longue durée ont eu lieu dans les nids A, donc ayant été occupés pour la reproduction.

Concernant la position des nids, les nids A sont ceux qui abritent les plus longues utilisations, suivis de près par leur voisins directs des nids B, dont la variabilité est toutefois plus élevée. Le nid en position C a quant à lui été utilisé moins longtemps et aucune visite n'a été détectée dans le nid D, soit à trois emplacements de distance d'un nid occupé.

Discussion

La discussion s'articule en deux parties. La première concerne l'état des lieux de la population d'Hirondelles de fenêtre à Louvain-la-Neuve et la seconde porte sur les occupations nocturnes des nids artificiels et leurs fonctions multiples.

1. Quel est l'état de la population d'Hirondelles de fenêtre à Louvain-la-Neuve ?

1.1. Comment s'est déroulée la saison de reproduction en 2022 ?

1.1.1. *Phénologie*

En 2022, la phénologie des hirondelles, étudiée par leur arrivée sur le site, les dates des premières et deuxième pontes et leur départ pour la migration d'automne, est similaire aux autres colonies étudiées en Europe du Nord-Ouest. Les premiers individus arrivent vers la mi-avril et les derniers repartent début octobre. Les premières pontes ont lieu principalement aux alentours du 2 juin, avec le pic le plus important le 28 mai. Alors que le pic des secondes pontes s'observe à la mi-juillet. Ce timing a également été observé à travers les années en Angleterre et aux Pays-Bas par exemple (Bryant, 1975 ; Piersma, 2013). Aux alentours du début du mois de juin, la quantité d'insectes et plus précisément de pucerons volants, atteint un plateau stable jusqu'en septembre. Le pic des premières pontes coïncide avec le début de l'abondance en proies qui est probablement un facteur déterminant pour le début de la reproduction des Hirondelles (Bryant 1975, 1979 ; Waugh, 1978).

En 2020, la date moyenne de première ponte pour la colonie de Louvain-la-Neuve était le 23 juin (Bylicki, 2020). Ce qui représente un décalage de près de trois semaines avec 2022. Cependant, lors de l'étude de 2020, les premières pontes ont été moyennées en fonction du nombre d'occupation des nids, et non en fonction de la période de nidification, qui est la méthode choisie en 2022. Cette moyenne se rapproche alors de ce qui a été observé par Bryant en 1975, pour les couples qui n'ont pondu qu'une seule fois. Ne sachant pas le nombre de couvées élevées par un couple, puisqu'un nombre non négligeable de couples change de nids pour la deuxième ponte (Bryant, 1975), séparer les occupations en fonction de deux périodes, semble être la méthode permettant au mieux de réduire l'influence des extrêmes sur les dates moyennes de pontes.

Deux vagues de premières pontes ont été décelées en 2022. D'abord entre le 21 et le 28 mai, et ensuite entre le 3 et le 14 juin. Ceci a également été détecté aux Pays-Bas où Piersma (2013) décrit l'apparition des premiers jeunes en deux vagues également. Cette différence peut être indicatrice d'un décalage des pontes entre les couples qui vont réaliser deux pontes et ceux qui n'en réalisent qu'une. Il a, en effet, été observé que les couples qui élèvent deux nichées, commencent leur reproduction environ un mois plus tôt dans l'année que les autres (Bryant, 1975).

En ce qui concerne les deux types de nids étudiés à Louvain-la-Neuve, aucune préférence pour les nids naturels n'a été détectée en 2022. En effet, des études antérieures ont établi que les Hirondelles de fenêtre plus expérimentées arrivent sur le site de nidification en premier et ont tendance à préférer des nids naturels entiers ou même cassés plutôt que des nids artificiels. Ces derniers sont alors généralement occupés plus tard dans la saison, par les individus inexpérimentés (Møller, 1984 ; Carels, 2015). Bien que ce comportement n'ait pas été observé en début de saison à Louvain-la-Neuve en 2022, les analyses ont tout de même montré plusieurs points : il y a plus d'arrivées tardives dans les nids artificiels, les deuxièmes pontes se passent légèrement plus tôt dans les nids naturels et les derniers individus à partir ont occupé des nids artificiels. Ceci laisse donc penser que les hirondelles les plus jeunes, qui arrivent en général plus tard et qui sont plus amenées à ne pondre qu'une seule fois (Bryant, 1975), occupent davantage les nids artificiels. Peut-être par manque de temps pour réparer un nid cassé, par manque de nids naturels disponibles ou par préférence pour un nid artificiel. La tendance à préférer les nids naturels est peut-être en train de s'inverser en raison du manque de boue et des efforts supplémentaires que cela engendre pour la réparation d'un nid naturel. À Bruxelles par exemple, il a été observé que les couples occupant un nid artificiel ont élevé leurs jeunes légèrement plus tôt que leurs voisins en nid naturel (Weiserbs et al., 2004).

Afin de déterminer les dates clés de la reproduction des Hirondelles de fenêtre, les calculs des dates de ponte et d'éclosion se sont basés sur une moyenne entre 19 et 22 jours entre l'éclosion et l'envol des jeunes (Dupérat, 2002). Ces moyennes, également utilisées en 2020 pour la colonie de Louvain-la-Neuve (Bylicki, 2020), restent toutefois des estimations et n'ont pas été observées partout. Par exemple, en Angleterre, les jeunes restaient en moyenne 30 jours au nid et aucun jeune de moins de 25 jours n'a survécu à l'envol (Bryant, 1975). Pour perfectionner les estimations, les comportements des parents et l'estimation de l'âge des jeunes ont également été pris en compte. Les jeunes de 10 à 12 jours étant reconnaissables par leur plumage diffus sur les côtés de leur tête (Piersma, 2013 ; Alexis Dall' Asta, com. pers.). Afin de limiter les

incertitudes liées aux estimations des dates, l'étude de la phénologie des nids aurait pu être faite en comparant les dates de visibilité des jeunes en fonction de leur âge comme l'a fait Piersma aux Pays-Bas (2013). Cette méthode d'analyse n'a pas été utilisée ici car l'estimation de l'âge des jeunes est difficile lorsque le plumage est complet, c'est-à-dire après 15 jours de vie (Bryant, 1975). De plus, la majorité des jeunes commence seulement à être visible à ce stade.

1.1.2. Sélection du site de nidification

Les secteurs les plus prisés par les hirondelles en 2022 sont les mêmes qu'en 2020, à savoir la Place Cardinal Mercier, la Place Montesquieu et le Centre-ville. Cette préférence peut être expliquée par plusieurs éléments.

D'abord, ces trois secteurs se situent à proximité du lac de Louvain-la-Neuve. De précédentes études ont révélé que les hirondelles vont préférer s'installer proche de points d'eau ou d'espaces verts ouverts (Bryant, 1975 ; Murgui, 2002). Ces milieux offrent une plus grande abondance de proies et favorisent la présence de boue pour construire leur nid. Nicher à proximité du lac permettrait de minimiser les coûts énergétiques liés à la construction du nid et à la recherche de nourriture (Tatner, 1975 ; Murgui, 2002).

Ensuite, ces secteurs étaient déjà privilégiés lors des années précédentes et les hirondelles ont tendance à revenir nicher à l'endroit où elles sont nées. Ces oiseaux nichent également en colonie, et favorisent la proximité de nids voisins actifs (Carels, 2015). Cette préférence risque alors de s'accroître d'année en année.

De plus, ces secteurs comptent le plus de nids naturels encore en bon état ce qui attire les hirondelles qui préfèrent réutiliser un ancien nid plutôt que d'en construire un nouveau ou d'occuper un nichoir (Piersma, 2013).

Finalement, contrairement à la Croix du Sud, les secteurs les plus peuplés sont ceux qui contiennent la plus grande quantité de nids artificiels à proximité de nids naturels encore en activité. Ce critère favorise grandement leur utilisation par les hirondelles (Gremion et Gavillet, 2021 ; Carels, 2015)

1.1.3. Le succès de la diffusion de chants

Les 60 nids artificiels installés au Bâtiment Pythagore en 2018 ont accueilli leur premier couple au mois d'août 2022. Ceci a été possible grâce à la diffusion de chants d'hirondelles pendant trois mois. Cette technique a déjà été utilisée à plusieurs reprises, notamment à Bruxelles et

offre souvent d'excellents résultats pour attirer les hirondelles au sein de nids artificiels éloignés de nids naturels en activité. Les résultats peuvent être immédiats ou prendre plusieurs années (Carels, 2015). Cet événement représente une belle réussite pour les nids artificiels du secteur Croix du Sud qui ont le potentiel d'accueillir plus de couples et de constituer une nouvelle sous-colonie dans les années à venir.

1.2. Les nids artificiels sont-ils une bonne mesure de conservation à Louvain-la-Neuve ?

1.2.1. *Taux d'occupation*

Les nids artificiels sont considérés comme une bonne mesure de conservation pour les Hirondelles de fenêtre car ils sont généralement bien acceptés et utilisés par ces dernières. En ce qui concerne la colonie de Louvain-la-Neuve, sur l'ensemble des nids occupés, la part des nids artificiels représente 47%, quatre ans après leur installation. Cette proportion est atteinte rapidement et est assez élevée. En comparaison, à Bruxelles, en neuf ans de présence de nichoirs, ces derniers représentent entre 7 et 27% des nids utilisés, mise à part une année à 37% (Weiserbs et al., 2004). Cependant, sur les neuf colonies étudiées dans cette étude, seules trois disposaient de nichoirs. Parmi elles, deux voyaient la majorité de leurs effectifs nicher dans les nichoirs entre 2001 et 2004.

Cette proportion élevée dépend peut-être de la période étudiée. En effet, plus récemment, en Suisse en 2021, 50% des nids utilisés sont artificiels, et ce taux est atteint seulement sept ans après leur installation (Gremion et Gavillet, 2021). Il semble donc que l'occupation des nids artificiels s'accélère encore plus récemment. En parallèle de cela, en Suisse et à Louvain-la-Neuve, moins de 50% des nids naturels disponibles sont utilisés pour la nidification. Ceci peut appuyer l'hypothèse du manque de boue pour la réparation des nids naturels, particulièrement en milieu urbain. En effet, bien qu'ils soient souvent occupés, les nids artificiels sont très peu utilisés lorsque la boue est disponible en suffisance (Piersma, 2013).

En plus de leur utilisation directe, la présence des nids artificiels peut attirer des couples à recoloniser certains endroits. A Bruxelles par exemple, l'ajout de 60 nids artificiels a permis de repeupler une colonie, passant de 1 couple en 2006 à 43 couples en 2013 (Carels, 2015).

1.2.2. Taux de deuxième ponte

Le taux de seconde ponte est exprimé différemment en fonction des études. Certaines considèrent uniquement les nids occupés deux fois et d'autres considèrent les occupations durant la deuxième période de nidification. Il est en effet difficile d'identifier exactement les secondes pontes car il n'est pas rare qu'un couple change de nid pour la seconde période (Bryant, 1975). Dans cette étude, les deux indicateurs ont été estimés et sont comparés avec d'autres études.

Le taux de seconde ponte estimé par le nombre de nids occupés deux fois (26%) ou le nombre de nichées pendant la seconde période (40%) à Louvain-la-Neuve est inférieur à la moyenne en Europe (entre 60 et 90% pour l'Europe du Nord-Ouest (Møller, 1984)). Cependant, ce taux semble diminuer d'année en année, atteignant 49% en Pologne en 2001 (Górska, 2001), et 38,5% aux Pays-Bas entre 2004 et 2011 (Piersma, 2013). La réduction du nombre de secondes pontes induit une diminution du nombre de jeunes par couple et par conséquent risque d'avoir un impact important sur le maintien des populations d'hirondelles.

Cette tendance peut être expliquée par l'augmentation de la fréquence des événements climatiques extrêmes liée aux changements climatiques (IPCC, 2023). En effet, il a été montré que le pourcentage de deuxième ponte est corrélé positivement avec des bonnes conditions météorologiques en juillet (Møller, 2002). Or, lors des dernières années, les mois de juillet en Belgique ont vu s'enchaîner des périodes de pluies intenses provoquant des inondations et des épisodes de canicules.

En comparant les nids occupés pendant la deuxième période de nidification et le nombre de nids utilisés deux fois, on constate que les nids artificiels sont légèrement moins utilisés à deux reprises que les nids naturels. Cependant, pendant la deuxième période, on observe environ le même nombre de nichées pour les deux types de nids (une de plus pour les artificiels). Par conséquent, il y a davantage de nids nouvellement occupés pendant la seconde période parmi les nids artificiels que parmi les nids naturels. On peut également interpréter qu'il y a plus de changement de nids entre les deux nichées au sein des nids artificiels qu'au sein des nids naturels. Les nids artificiels nouvellement occupés pendant la deuxième période peuvent abriter soit la deuxième ponte d'un couple ayant déjà niché dans un nid artificiel, soit un couple réalisant une première ponte tardivement dans la saison, soit un couple venant d'un nid naturel et changeant de type de nid pour sa seconde ponte. Un tel changement de type de nid pourrait s'expliquer par la fragilité des nids naturels faute d'une boue de qualité.

1.3. La colonie de Louvain-la-Neuve souffre-t-elle du manque de boue ?

Les nids réparés complètement ont permis la reproduction d'hirondelles en abritant au moins une nichée sur la saison. Cependant la moitié des réparations n'ont pas été terminées et ont mené à un échec de reproduction au sein de ces nids. Certaines nichées ont également été observées dans des nids incomplets, faute de matériel résistant pour la réparation des nids.

En plus de ces nids qui n'ont jamais su être terminés, plusieurs nids sont tombés ou se sont cassés en cours de saison. Concernant ces derniers, aucune réparation aboutie n'a été observée.

La raison de ces échecs, provient du matériau de construction utilisés par les hirondelles. Faute de boue de qualité, l'ensemble des réparations en 2022 a été effectué avec une matière organique noire retrouvée dans les corniches des toits. Cette boue des corniches est très friable lorsqu'elle sèche et peut entraîner la chute du nid avec le poids des jeunes. De plus, ces nids nécessitent des réparations en continu durant l'intégralité de la saison qui ne tiennent pas d'une année à l'autre (illustré à la *figure 37*). Tous ces efforts sont alors à recommencer.



Figure 37 : Photographie des cinq nids du troisième débord triangulaire de la Rue Cardinal Mercier à Louvain-la-Neuve, le 30 mai 2022 (à gauche) et le 13 juillet 2023 (à droite). Un an sépare ces photos. Les trois nids complets, réparés avec de la boue des corniches en 2022 sont tous cassés en 2023 et n'ont été ni réparés ni utilisés cette saison.

L'utilisation de cette matière n'est pas nouvelle. Ce cas de figure est fréquemment observé dans des études en milieu urbain où la disponibilité en boue est très limitée depuis plusieurs dizaines d'années (Rappe, 1978 ; Weiserbs et al., 2004 ; Carels, 2015). Avec la bétonisation des villes et la raréfaction des flaques de boue ce phénomène semble s'intensifier et se généraliser.

Pourtant, en 2022, 43% des nids naturels disponibles ont encore été utilisés pour la nidification. Une proportion du même ordre de grandeur a également été observée en Suisse en 2021 (Gremion et Gavillet, 2021). Cela signifie que les hirondelles continuent encore d'utiliser les nids naturels malgré leur raréfaction. En comparant l'évolution du nombre de nids disponibles avec le nombre de nids naturels utilisés depuis 2009 à Louvain-la-Neuve, on constate que les nids se détériorent plus vite qu'ils ne se construisent et que la disponibilité diminue plus rapidement que l'utilisation. Cela signifie que les hirondelles continuent de dépenser beaucoup d'énergie à reconstruire des nids qui ne tiennent pas. Ces efforts en vain ont même mené à un décalage de la nidification à Bruxelles (Carels, 2015). Un décalage de la reproduction réduit la possibilité de réaliser une deuxième ponte et par conséquent, a un impact important sur le maintien de la population d'Hirondelles de fenêtre.

Pour remédier à ce problème de disponibilité en boue, une solution pourrait être d'installer des bacs de boue à proximité des colonies actives. Cela permettrait d'augmenter la solidité des nids en fournissant un matériau de qualité ainsi que de réduire la distance à parcourir et les efforts pour se procurer de la boue.

Cependant, faut-il encore que les hirondelles utilisent les bacs mis à leur disposition. En effet, cette solution quoi que parfois couronnée de succès a déjà essuyé des échecs. À Bruxelles, par exemple, aucun bac placé au sol n'a été utilisé. Cependant, dans cette même étude, un bac placé sur un toit plat a été directement adopté par une colonie (Carels, 2015). Pour installer les bacs de boue, il serait donc probablement judicieux d'évaluer les endroits où les placer, et d'en installer plusieurs par colonie en diversifiant les conditions (au sol et sur les toits) pour maximiser les chances qu'ils soient utilisés par les hirondelles.

1.4. Comment évolue la population d'Hirondelles de fenêtre à Louvain-la-Neuve ?

Partout en Europe, les populations d'Hirondelles de fenêtre sont en diminution (BirdLife international, 2023). Ces tendances sont particulièrement retrouvées en Europe occidentale comme en Suisse (Keller, 2010), en France (Olios, 2020) et en Angleterre (Robinson et al., 2016). La Wallonie n'y fait pas exception puisque ses populations chutent également drastiquement depuis plus de 30 ans (Weiserbs et al., 2004 ; Carels, 2015 ; Aves Natagora, 2021).

A Louvain-la-Neuve, on constate un déclin majeur de la population d'Hirondelles de fenêtre depuis 2009. En effet, entre 2009 et 2018, on observe une diminution du nombre de nids utilisés de 50,4%. La population a ensuite légèrement augmenté jusqu'en 2020 puis diminué à nouveau. En 2022, on atteint une diminution de la population de 35,2% par rapport à 2009. Lorsque l'on compare l'effectif global estimé en prenant en compte le nombre de nichées, on observe une diminution de la population de 40% entre 2009 et 2022.

Ne disposant pas des données sur l'occupation des nids entre 2009 et 2018, des éventuelles fluctuations dans les effectifs entre ces deux dates ne peuvent pas être mises en évidence.

Entre 2018 et 2022 cependant, on constate des fluctuations. La population augmente entre 2018 et 2020 et diminue ensuite entre 2020 et 2022. De telles variations peuvent avoir plusieurs origines.

D'abord, des fluctuations locales dans les populations d'Hirondelles de fenêtre peuvent être naturellement observées comme à Bruxelles par exemple où l'effectif global a chuté en 2002, qui n'était pourtant pas une mauvaise année à Namur (Weiserbs et al., 2004).

Ensuite, l'augmentation de la population entre 2018 et 2020 est probablement liée à l'installation des nids artificiels. De tels effets ont également été observés à Bruxelles (Carels, 2015) et à Namur où les effectifs qui ont chuté jusqu'en 2016, ont augmenté à nouveau entre 2016 et 2021 suite à l'amélioration des mesures de conservation (Aves, 2021).

Mises à part les fluctuations naturelles, les variations observées pour le nombre de nids occupés entre 2018 et 2022 peuvent également être causées par un biais de l'observateur. En effet, chaque année les nids sont observés par des personnes différentes. Entraînant ainsi, une interprétation plus ou moins stricte de l'occupation d'un nid, des visites à des fréquences différentes et à intervalles plus ou moins réguliers.

Finalement, la diminution marquée entre 2020 et 2022 peut également être liée à la destruction de nids naturels lors de la restauration de bâtiments (place Blaise Pascal, Place Cardinal Mercier) ou encore aux conditions climatiques des deux dernières années (succession de pluies abondantes et de canicules).

En analysant la situation à Louvain-la-Neuve, on constate une diminution du nombre de nids naturels utilisés et une augmentation de l'occupation des nids artificiels. Cependant au total, on retrouve une diminution du nombre de nids occupés, de nichées et donc de l'effectif global

sur le site. Ce qui laisse penser que l'installation des nids artificiels n'est pas suffisante comme mesure de conservation à Louvain-la-Neuve.

Un tel déclin peut être lié à plusieurs causes comme le manque de boue et la qualité du matériau de construction utilisé (Weiserbs et al., 2004), la diminution des ressources alimentaires liée à l'utilisation d'insecticides (Bryant, 1075 ; Johnston, 1993 ; Benton et al, 2002 ; Woodhouse *et al*, 2005), les conditions climatiques défavorables entre mai et juillet, sur le site d'hivernage et pendant la migration (Møller, 2002 ; Weiserbs et al., 2004 ; Saether *et al*, 2004) et la destruction des nids naturels.

Mesures de conservation

Pour conserver les Hirondelles de fenêtre, plusieurs mesures peuvent être mises en place.

La plus efficace semble être l'installation de nids artificiels. On constate que cela peut adoucir le déclin et même voir des populations augmenter comme à Bruxelles et à Namur (Carels, 2015 ; Aves, 2021).

L'installation de ces nids apporte de nombreux avantages.

D'abord, ces nids sont directement disponibles dès le retour de la migration. Ainsi, ils permettent de faciliter la nidification en supprimant l'effort de construction et apportent un gain de temps et d'énergie. Cela peut entraîner des reproductions plus précoces et par conséquent un plus grand nombre de secondes pontes. Cette facilitation peut permettre de produire plus de jeunes et donc de favoriser le maintien des effectifs.

Ensuite, les nichoirs étant plus solides que les nids naturels, ils permettent de supprimer les accidents d'effondrement des nids.

De plus, poser les nids artificiels peut avoir un effet attractif pour les couples d'hirondelles. En effet, ces oiseaux grégaires préfèrent nicher en colonies et se retrouvent rarement seuls. La pose de nids artificiels peut alors agir comme un leurre d'une colonie nombreuse et attirer de nouveaux couples. Finalement, les nids artificiels sont généralement plus appréciés par les habitants dérangés par les traces de déjections. La quantité de fientes sur les murs est réduite grâce à l'ouverture des nids artificiels qui n'est pas accolée au mur. Les déjections au sol peuvent être limitées par la pose de planchette anti-fientes (Weiserbs et al., 2004 ; Carels, 2015 ; Gremion et Gavillet, 2021).

Pour faciliter les réparations et les nouvelles constructions de nids naturels, des bacs de boue peuvent être efficaces s'ils sont installés aux bons endroits. Ces derniers pourraient aider à remédier au problème de disponibilité en boue à Louvain-la-Neuve.

Concernant la disponibilité en proies, il est indispensable d'agir à plus grande échelle pour contrer le déclin majeur des insectes. La condition des insectes aériens peut être améliorée en réduisant l'utilisation des pesticides chimiques, en maintenant les paysages de polyculture-élevage (Woodhouse et al., 2005) et en recréant des mosaïques d'espaces naturels (Dubois, 2023).

Finalement, pour réduire la destruction locale des nids, la sensibilisation, l'instruction et l'implication du public est une mesure généralement efficace (Carels, 2015 ; Aves, 2021 ; Dubois, 2023).

2. Combien de nids artificiels sont réellement utilisés pendant la saison et quelles sont leurs fonctions ?

Il est connu que les nids artificiels peuvent être utilisés pour plusieurs fonctions : pour la nidification, uniquement pour une seconde nichée, comme abri nocturne pour des individus non appariés ou comme dortoir pour les jeunes fraîchement envolés (Weiserbs et al., 2004 ; Carels, 2015). Pour ces multiples raisons, il est important de fournir un nombre de nids artificiels supérieur à ceux qui seront réellement utilisés.

L'étude réalisée avec les capteurs thermiques à Louvain-la-Neuve s'est intéressée à ces différentes fonctions en analysant quels nids ont été utilisés et quand. Ces informations permettent alors de déterminer quels individus (adultes ou jeunes) occupent ces nids artificiels pendant la nuit et pour quelles raisons, dans le but d'interpréter le nombre de nids nécessaires par couple.

2.1. Quelles sont les fonctions principales des nids artificiels ?

La majorité des occupations nocturnes hors nidification ont eu lieu après l'envol des jeunes et avant le choix du nid. Seules trois utilisations éphémères se sont déroulées pendant la couvaison et la période de nourrissage des jeunes. En général, ces occupations ont duré plusieurs nuits consécutives. Les plus courtes ont eu lieu pendant la période de nourrissage et les plus longues, après l'envol des jeunes.

Pendant toute la saison de reproduction, les nids les plus utilisés sont ceux qui ont été occupés pour la reproduction (nommés A). Plus les nids s'éloignent du nid A, moins ils sont occupés pour la nuit.

Avant la nidification, les occupations nocturnes ont eu lieu dans les nids en position A, B et C. Les nids en position D, soit les plus éloignés des nids principaux (nids A) n'ont cependant jamais été utilisés. Les nids en position C ont très peu été utilisés et ont uniquement été occupés pendant cette période. Ces occupations sont probablement réalisées par les mâles pour choisir leur futur nid et y attirer une femelle. Pendant cette période, les nids artificiels peuvent également servir de refuge nocturne pour les individus non appariés.

Pendant la nidification et avant l'envol des jeunes (couvaison et nourrissage), seules quelques occupations ont été détectées au sein des nids non utilisés pour la nidification. Pendant cette période, seuls les nids B, soit les voisins directs des nids A, ont été occupés. Ces occupations nocturnes pourraient être réalisées par deux types d'individus : soit par un individu non apparié, comme abri nocturne ou lors du choix pour une nidification ultérieure, soit par un adulte nichant au sein du nid voisin, qui déserte son nid le temps d'une ou plusieurs nuits. Les raisons d'une telle désertion pourraient avoir plusieurs origines comme le manque de place, l'hyperthermie ou la présence excessive de parasites.

Les occupations nocturnes pendant la période suivant l'envol des jeunes sont les plus fréquentes. Lors de cette période, seuls les nids A et B ont été occupés. Ces visites concernent principalement les jeunes volants, revenant dormir dans leur nid ou dans un nid vide à proximité. Ces occupations peuvent également être réalisées par des adultes changeant de nid pour leur seconde nichée ou sélectionnant un nid pour une première nichée tardive. Il n'est, en effet, pas rare d'observer des couples changer de nid pour leur seconde ponte (Bryant, 1975), et il se pourrait qu'ils préfèrent nicher au sein de leur plus proche voisin. Dans les nids étudiés, on suspecte que ce cas de figure soit apparu au moins deux fois en 2022 (nids A67 et A68, nids A83 et A84) et peut-être trois avec plus d'incertitudes (nids A107 et A109). Ces occupations pourraient également concerner des adultes allant loger dans le nid d'à côté par manque de place lorsque les jeunes sont grands ou par excès de chaleur lors d'épisodes de canicules.

2.2. Combien de nids sont utilisés pendant la saison ?

Au total, sur les 26 nids étudiés, 14 ont été utilisés pour la nidification et 22 ont été utilisés au moins une fois. De plus, si on considère que les nids, dont les capteurs ont disparu, ont été visités au moins une fois (visite entraînant la perte du capteur), alors l'ensemble des données peut être pris en compte. Dans ce cas, 28 nids sur les 32 étudiés ont été occupés pour au moins une nuit. Sur l'intégralité des capteurs installés, seuls quatre n'ont détecté aucune occupation nocturne.

Sur base de ces données, il semblerait qu'environ deux nids voisins soient utilisés par couple (et leur progéniture).

Cette valeur est confirmée par plusieurs points :

1. Après l'envol, les jeunes viennent dormir dans les nids A et B et restent donc à proximité de leur nid.
2. Tous les nids A étudiés ont au moins un nid vide qui leur est directement accolé. Lorsque des nids voisins ont été tous les deux occupés pour la nidification, ils l'ont généralement été lors de périodes différentes, laissant toujours bien un nid voisin vide.
3. L'intégralité des nids en position B ont été occupés pour au moins une nuit, à une exception près.

En conclusion, les Hirondelles de fenêtre occupent plus d'un nid par nichée. Disposer d'une multitude de nids artificiels permet de répondre à des besoins multiples. Ils sont potentiellement occupés comme dortoir pour les jeunes, pour le choix d'un nid, par manque de place ou hyperthermie, par excès de parasites au sein du nid principal ou pour d'autres raisons encore inconnues.

2.3. Y a-t-il suffisamment de nids artificiels à Louvain-la-Neuve ?

En 2022, 17% des nids artificiels ont abrité au moins une nichée. Ce taux d'occupation reste encore faible par rapport à ce qui peut être observé ailleurs. En Suisse par exemple, les hirondelles occupent plus de 40% des 528 nids artificiels mis à leur disposition (Gremion et Gavillet, 2021). En considérant qu'il faudrait fournir au moins deux fois plus de nids artificiels que de nids occupés, il y a actuellement assez de nids artificiels disponibles à Louvain-la-Neuve. Il n'est pour l'instant pas nécessaire d'ajouter des nids uniquement dans le but d'augmenter le nombre d'emplacements disponibles. Cependant, si un nid naturel occupé venait à tomber à la suite de travaux, il serait alors judicieux de le remplacer par un nid artificiel au même endroit.

Il est important de considérer que cette étude présente uniquement les prémices et premières interprétations sur le sujet. En élargissant les études et les données, les réflexions pourraient mener à déterminer si les Hirondelles de fenêtre utilisent toujours plus de nids que ceux dédiés à la reproduction et combien de nids par couples sont réellement nécessaires pour être une bonne mesure de conservation.

3. Perspectives d'amélioration

3.1. Suivi de population

3.1.1. Détermination de l'occupation effective d'un nid – tours d'observation

La détermination de l'occupation des nids pourrait être facilitée en améliorant deux points lors des séances d'observation.

Premièrement, il serait judicieux de faire les tours d'observation à intervalles plus réguliers. En effet, bien que les observations aient majoritairement été réalisées deux à trois fois par semaine, certaines ont été trop espacées dans le temps. Il m'est arrivé de laisser passer plus de 10 jours entre deux visites, et donc de manquer de précieux indicateurs de la reproduction. Lors des prochaines études, je préconiserais de réaliser les observations à intervalles de 5 jours au maximum, pour favoriser la détection de tous les stades de la reproduction

Deuxièmement, bien que des observations d'une durée de 10 minutes par zone apportent des avantages - une rigueur scientifique et la faisabilité d'un tour complet en une journée - ce temps court entraîne un inconvénient conséquent : le risque de passer à côté de certaines activités. Pendant la couvaison par exemple, il se passe parfois de longues périodes sans activité au nid (jusqu'à 45 minutes entre deux échanges de partenaire pour couvrir (Bryant, 1975)). Pour les prochaines études, je conseillerais d'effectuer des séances d'observation plus longues (pendant 30 à 45 minutes par zone) et de faire les tours à plusieurs observateurs pour se répartir les zones et réduire le temps d'observation.

3.1.2. Approximation du nombre de nids naturels disponibles

Les données de l'état et la disponibilité des nids naturels sont approximatives car certains nids n'ont pas été détectés à temps pour des observations. Par exemple, quatre nids de la ruelle de la Lanterne Magique ont été découverts après la saison de reproduction. Leur état en début de saison était inconnu et ils n'ont pas pu être comptabilisés dans les nids naturels disponibles ou utilisés. Ces nids n'ont pas été pris en compte dans les analyses statistiques malgré leur utilisation potentielle par les hirondelles. Les nombres de nids utilisés, de couples nicheurs et le taux d'occupation des nids naturels ont donc peut-être été sous-estimés en 2022. Pour remédier à ce genre de problème, il serait judicieux de faire un tour de repérage des nids au mois de mars ou avril accompagné d'une personne ayant déjà étudié la population

d'Hirondelles de fenêtre à Louvain-la-Neuve et ainsi faciliter la succession de l'étude à l'observateur suivant.

3.2. Étude des occupations nocturnes – données thermiques

Pour travailler avec les données thermiques, plusieurs points pourraient être améliorés lors de prochaines études concernant la collecte et l'analyse des données.

Premièrement, pour limiter la perte des capteurs il serait judicieux de perfectionner le dispositif d'accrochage sur la paroi des nids.

Deuxièmement, lors de la création des graphes de température, pour comparer les données des capteurs enregistrant la température toutes les deux heures (*Capt2h*) et toutes les 30 minutes (*Capt30'*), les températures ont été moyennées sur 24 heures. Bien que les courbes résultantes soient plus lisibles et les pics de chaleur plus faciles à identifier, cette méthode réduit considérablement la précision et une partie des visites n'a probablement pas été détectée. De plus, cette méthode ne permet pas de différencier les températures journalières des températures nocturnes, or ce sont précisément les occupations nocturnes qui sont intéressantes dans cette étude. Pour éviter ce problème et toutefois obtenir une même échelle de temps pour les deux types de capteurs, les données des *Capt30'* pourraient être traitées de deux manières : soit en conservant uniquement des données correspondant aux *Capt2h* et ainsi supprimer $\frac{3}{4}$ des données des *Capt30'*, soit en moyennant les températures des *Capt30'* sur des intervalles de deux heures.

Troisièmement, les deux dispositifs permettant de collecter des données thermiques comportent chacun des avantages et inconvénients.

Les capteurs thermiques ont l'avantage de contrôler la température très fréquemment, offrant un contrôle quasi-continu pour les nids équipés. Cependant, chaque capteur a un coût et ne peut enregistrer la température que d'un seul nid. De plus, ils ne peuvent être installés que dans des nids artificiels, réduisant considérablement la taille de l'échantillon étudié. Finalement, le type de capteur utilisé dans cette étude ne dispose pas d'une connexion permettant la réception des données au fur et à mesure de la saison. Cela signifie que lorsqu'un capteur est perdu, l'ensemble des données qu'il a pu collecter sont perdues également.

Pour remédier à plusieurs de ces problèmes, l'utilisation d'une caméra thermique plus performante peut être envisagée. Cet appareil permettrait alors d'évaluer la température de tous les nids (artificiels et naturels) et ainsi étudier un large échantillon de la population. Cependant,

en plus du coût élevé d'une telle caméra, l'évaluation ne se ferait pas en continu. De nombreuses occupations nocturnes ne seront alors pas détectées. Pour augmenter les chances d'observer ces événements, la caméra devrait être utilisée à l'aube, avant le réveil des hirondelles, et régulièrement.

En conclusion, l'association des deux dispositifs semble apporter le plus gros potentiel pour étudier les occupations nocturnes des nids.

Conclusion

La première partie de cette étude concerne le suivi de la colonie d'Hirondelles de fenêtre à Louvain-la-Neuve en 2022. Cela permet de mettre en lumière plusieurs éléments concernant son état.

Premièrement, les tendances de population sont en baisse depuis 2009. Après un épisode d'augmentation des effectifs entre 2018 et 2020, tous les indicateurs (nombre de nids occupés, nombre de nichées et nombre d'individus estimés) indiquent une décroissance rapide sur les deux dernières années.

Le nombre de nids naturels occupés diminue également et les réparations de nids sont affectées par le manque de boue de qualité. Une « boue » provenant des corniches est utilisée en substitution. Ce matériau très friable entraîne des réparations prolongées, non abouties ou à recommencer en cours de saison.

L'occupation des nids artificiels installés en 2018 augmente quant à elle chaque année. En 2022, ces nids sont pratiquement autant utilisés que les nids naturels. Si cette tendance continue, l'occupation des nids artificiels pourrait dépasser celle des nids naturels dès 2023. Contrairement à ce qui a été retrouvé dans d'autres études, aucune préférence pour les nids naturels à l'arrivée sur le site n'a été détectée.

Le nombre de nids nouvellement occupés pendant la seconde période de nidification est plus important pour les nids artificiels. Indiquant que les couples changeant de nid entre deux nichées le font davantage en faveur des nids artificiels.

Finalement, le taux de deuxième ponte à Louvain-la-Neuve est inférieur à celui attendu en Europe. Cela peut avoir un impact important sur le maintien de la population. Ce faible taux peut également être relié au manque de boue. Les dépenses accrues en énergie pour la réparation du nid peuvent entraîner un retard pour la première ponte, limitant le temps pour en réaliser une seconde.

La seconde partie de cette étude traite de l'occupation nocturne éphémère des nids non utilisés pour la nidification. L'analyse thermique de 30 nids artificiels, révèle que ce comportement courant se passe principalement avant la nidification et après l'envol des jeunes. Les raisons de ce comportement restent floues, pouvant inclure le choix d'un nid par les mâles, un refuge nocturne pour des individus non appariés, ou encore des contraintes physiques (manque de place, hyperthermie, excès d'ectoparasites) subies par les jeunes et les adultes. Finalement,

parmi les nids analysés, il s'est avéré que le nombre de nids occupés pendant au moins une nuit était deux fois supérieur à celui des nids effectivement utilisés pour la nidification. Il est donc primordial de fournir un nombre de nids artificiel nettement supérieur à celui des nids visiblement utilisés.

Perspectives

Poursuivre la recherche sur les occupations éphémères nocturnes des nids permettrait de mieux comprendre les raisons, l'utilité et la fréquence de ce comportement. Les épisodes apparaissant avant la nidification sont probablement liés à la sélection d'un nid. Cependant, pour comprendre les incitants principaux à désertir son nid le temps d'une ou plusieurs nuits, il serait intéressant d'étudier ce comportement en fonction des différentes contraintes physiques hypothétiques (présence d'ectoparasites, température extérieure).

Pour améliorer la conservation des Hirondelles de fenêtre, une approche en deux volets s'impose.

A l'échelle de Louvain-la-Neuve, il est primordial d'augmenter la disponibilité en boue en installant des bacs de boue. Afin d'augmenter les chances qu'ils soient utilisés par les hirondelles, il faudrait les placer à plusieurs endroits, dans des conditions environnementales différentes. L'utilisation de ces bacs pourrait également être étudiée pour comprendre les critères influençant leur acceptation. De plus, pour augmenter la disponibilité en nourriture, la situation des insectes en ville peut être améliorée grâce aux mesures de gestion telles que la préservation des prés fleuris et la fauche tardive.

A grande échelle, il est urgent de diminuer les menaces anthropiques comme l'utilisation excessive de pesticides. Parallèlement, il est essentiel de continuer à surveiller les populations d'Hirondelles de fenêtre et éventuellement de réviser le statut de conservation de cette espèce. À Louvain-la-Neuve par exemple, la colonie diminue suffisamment vite pour passer du statut de « préoccupation mineure » à « vulnérable » selon les critères de l'UICN (chute de plus de 30% des effectifs sur la dernière décennie).

Dans le contexte actuel, il est essentiel de mettre en place des mesures ambitieuses pour contrer le déclin de la biodiversité et préserver le futur des Hirondelles de fenêtre.

Bibliographie

- Bell, C. (1983). Factors influencing nest-site selection in House Martins. *Bird Study*, 30(3), 233-237. <https://doi.org/10.1080/00063658309476802>
- Benton, T. G., Bryant, D. M., Cole, L., & Crick, H. Q. P. (2002). Linking agricultural practice to insect and bird populations : A historical study over three decades. *Journal of Applied Ecology*, 39(4), 673-687. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2002.00745.x>
- BirdLife International. (2018). *État des populations d'oiseaux dans le monde : prenons le pouls de la planète*. Cambridge, UK.
http://datazone.birdlife.org/userfiles/docs/SOWB2018_fr.pdf
- BirdLife International. (2023). *Species factsheet: Delichon urbicum*. Birdlife International. Consulté le 10/08/2023 sur <http://datazone.birdlife.org/species/factsheet/northern-house-martin-delichon-urbicum>
- Blangy, S. (2009). Etude de paramètres influençant la sélection d'un nid par l'Hirondelle de fenêtre (*Delichon urbica*) dans la ville de Louvain-la-Neuve, Brabant Wallon, Belgique [Mémoire de Master]. UCLouvain.
- Bryant, D. M. (1975). Breeding Biology of House Martins *Delichon Urbica* in Relation to Aerial Insect Abundance. *Ibis*, 117(2), 180-216. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.1975.tb04206.x>
- Bryant, D. M. (1979). Reproductive Costs in the House Martin (*Delichon urbica*). *Journal of Animal Ecology*, 48(2), 655-675. <https://doi.org/10.2307/4185>
- Bylicki, M. (2020). Etude de la nidification et de la reproduction des colonies d'Hirondelles de fenêtre *Delichon urbicum*, à Louvain-la-Neuve, Belgique [Mémoire de Master]. UCLouvain.
- Carels, C. (2015). Conseils pratiques et mesures concrètes pour la protection de l'Hirondelle de fenêtre *Delichon urbicum* en milieux urbain et suburbain. L'exemple de Bruxelles et de sa périphérie. *Aves*, 52(1), 1-17.
https://aves.natagora.be/fileadmin/Aves/Bulletins/Articles/52_1/52-1-1.pdf
- Causey, D., & Kharitonov, S. (1990). The evolution of coloniality. *Current Ornithology*, 7, 285-330. https://www.researchgate.net/profile/Douglas-Causey-2/publication/284035688_The_evolution_of_coloniality/links/5928d43faca27295a80588fb/The-evolution-of-coloniality.pdf
- Collias, N. E. (1997). On the Origin and Evolution of Nest Building by Passerine Birds. *The Condor*, 99(2), 253-270. <https://doi.org/10.2307/1369932>

- Danchin, E., & Wagner, R. H. (1997). The evolution of coloniality : The emergence of new perspectives. *Trends in Ecology & Evolution*, 12(9), 342-347.
[https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(97\)01124-5](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(97)01124-5)
- Daoudi, S., Voisin, J.-F., & Doumandji, S. (2002). Spectre alimentaire d'une colonie suburbaine de l'hirondelle de fenêtre *Delichon urbica* Linné, 1758 (Aves, Hirundinidés) en Algérie. *Revue d'Ecologie*, 57(1), 83-89.
- Derouaux, A., & Paquet, J.-Y. (2018). L'évolution préoccupante des populations d'oiseaux nicheurs en Wallonie : 28 ans de surveillance de l'avifaune commune. *Aves*, 55(1), 1-31.
- Dubois, P. J. (n.d.). *Hirondelle de fenêtre (Delichon urbicum)*. Mission Migration. Consulté le 10 août 2023 sur https://www.migraction.net/index.php?m_id=1517&bs=107&lang=fr
- Dulisz, B., Stawicka, A. M., Knozowski, P., Diserens, T. A., & Nowakowski, J. J. (2022). Effectiveness of using nest boxes as a form of bird protection after building modernization. *Biodiversity and Conservation*, 31, 277-294.
<https://doi.org/10.1007/s10531-021-02334-0>
- Dupérat, M. (2002), *Découverte Nature. Nids et oeufs*. Edition Arthémis, 136-137.
- European Commission. (n.d.). *Natura 2000*. European Commission. Consulté le 11/08/2022 sur https://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/index_en.htm
- Gauthier, M., & Thomas, D. W. (1993). Nest site selection and cost of nest building by cliff swallows (*Hirundo pyrrhonota*). *Can. J. Zool.*, 71, 1120–1123.
- Górska, E. (2001). Population Density and Breeding Ecology of the House Martin *Delichon urbica* in Pomerania (NW Poland). *Acta Ornithologica*, 36(1), 79-84.
<https://doi.org/10.3161/068.036.0103>
- Gremion, J., & Gavillet, G. (2021). *Suivit et conservation de l'Hirondelle de fenêtre dans le Canton de Genève*. GOBG.
https://cdnfiles1.biolovision.net/www.gobg.ch/userfiles/Hirondelles2019/2021GOBG_RapportHirondelledefenetreV2.pdf
- Harris, A., Stanbury, A., Eaton, M., Aebischer, N., Balmer, D., Brown, A., Douse, A., Lindley, P., McCulloch, N., Noble, D., & Win, I. (2021). The status of our bird populations : The fifth Birds of Conservation Concern in the United Kingdom, Channel Islands and Isle of Man and second IUCN Red List assessment of extinction risk for Great Britain. *British Birds*, 114, 723-747. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35668.73602>

- Hobson, K. A., Van Wilgenburg, S. L. V., Piersma, T., & Wassenaar, L. I. (2012). Solving a Migration Riddle Using Isoscapes : House Martins from a Dutch Village Winter over West Africa. *Plos One*, 7(9), e45005. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0045005>
- Hoogland, J. L., & Sherman, P. W. (1976). Advantages and Disadvantages of Bank Swallow (*Riparia riparia*) Coloniality. *Ecological Monographs*, 46(1), 33-58. <https://doi.org/10.2307/1942393>
- Hund, K., & Prinzinger, R. (1985). Die Bedeutung des Lebensalters für brutbiologische Parameter der Mehlschwalbe (*Delichon urbica*). *J. Ornithol*, 126, 15–28.
- IPBES. (2019). *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. IPBES Secretariat. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3553579>
- IPCC. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- Johnston, R. D. (1993). Effects of diet quality on the nestling growth of a wild insectivorous passerine, the house martin *Delichon urbica*. *Functional Ecology*, 7(3), 255-266.
- Keller, V., Gerber, A., Schmid, H., Volet, B., & Zbinden, N. (2010). Liste rouge oiseaux nicheurs. Espèces menacées en Suisse, état 2010. *L'environnement pratique*, 1019.
- Lahlah, N., Chabi, Y., Banbura, M., Banbura, J. (2006). Breeding biology of the House Martin *Delichon urbica* in Algeria. *Acta Ornithologica*, 41(2), 113-120.
- Maxim Integrated Thermocron iButton Device DS1921G.
- Maxim Integrated iButton Temperature Loggers with 8KB Datalog Memory DS1922L/DS1922T.
- McNeil, D., & Clark, F. (1977). Nest Architecture Of House Martins. *Bird Study*, 24(2), 130-132. <https://doi.org/10.1080/00063657709476546>
- Michler, S., Aelvoet, P., Laesser, J., & Spaar, R. (12 au 15 juin 2018). *Using citizen science data for a species recovery project for house martins in Swiss communities*. ECCB2018: 5th European Congress of Conservation Biology, Jyväskylä, Finland. <https://doi.org/10.17011/conference/eccb2018/107680>
- Microsoft Excel (2307) [Logiciel]. (2023). <https://www.microsoft.com/fr-be/microsoft-365/excel>

- Møller, A. P. (1984). Geographical trends in breeding parameters of Swallows *Hirundo rustica* and House Martins *Delichon urbica*. *Ornis Scandinavica*, 15(1), 43-54.
<https://doi.org/10.2307/3676002>
- Møller, A. P. (1987). Advantages and disadvantages of coloniality in the swallow, *Hirundo rustica*. *Animal Behaviour*, 35(3), 819-832. [https://doi.org/10.1016/S0003-3472\(87\)80118-5](https://doi.org/10.1016/S0003-3472(87)80118-5)
- Møller, A. P. (2002). North Atlantic Oscillation (NAO) effects of climate on the relative importance of first and second clutches in a migratory passerine birds. *Journal of Animal Ecology*, 71, 201-210. <https://www.jstor.org/stable/2693438>
- Murgui, E. (2002). Breeding Habitat Selection in the House Martin *Delichon urbica* in the City Of Valencia (Spain). *Acta Ornithologica*, 37(2), 75-83.
<https://doi.org/10.3161/068.037.0203>
- Natagora Aves Namur. (2021). Résultat du dénombrement de nids d’Hirondelles de fenêtres *Delichon urbicum* dans la commune de Namur en 2021. Natagora Aves.
<https://static1.squarespace.com/static/56bca6f401dbaeb0acc4aeb5/t/61b70dbb6ae5c41e61c02596/1639386557657/Rapport+2021+Namur+Hir+1.pdf>
- Oliosio, G. (2020). Les hirondelles. Delachaux et Niestlé.
- OLLN. (2019). *Louvain-la-Neuve – Faits & chiffres*. INESU-PROMO asbl.
<https://www.tourisme-olln.be/preparez-vous/bons-plans/brochures-et-plans/brochures-docs-et-visuels/olln-faits-et-chiffres-2019-fr.pdf>
- Ornithomedia.com. (2022). *Un exemple réussi d’installation et d’occupation de nichoirs pour Hirondelles de fenêtre sur une maison*. Ornithomedia.com. Consulté le 02/08/2022.
<https://www.ornithomedia.com/pratique/conseils/un-exemple-reussi-dinstallation-et-doccupation-de-nichoirs-pour-hirondelles-de-fenetre-sur-une-maison/>
- Paquet, J-Y., Fouarge, J-P., Monmart, A., & Wargé, L. (2006). Quinze ans de suivi de l’Hirondelle de fenêtre (*Delichon urbicum*) dans les milieux ruraux, suburbains et urbains de l’entité de Namur. *Aves*, 43(2), 1-10.
https://aves.natagora.be/fileadmin/Aves/Bulletins/Articles/43_2/43_2_73.pdf
- PanEuropean Common Bird Monitoring Scheme (PEBMS). (n.d.). *Species trends*. PECBMS. Consulté le 10 août 2022 sur <https://pecbms.info/trends-and-indicators/species-trends/>
- Piersma, T., & van der Velde, M. (2012). Dutch House Martins *Delichon urbicum* gain blood parasite infections over their lifetime, but do not seem to suffer. *Journal of Ornithology*, 153, 907-912. <https://doi.org/10.1007/s10336-012-0826-2>

- Piersma, T. (2013). Timing, Nest Site Selection and Multiple Breeding in House Martins : Age-Related Variation and the Preference for Self-Built Mud Nests. *Ardea*, 101(1), 23-32. <https://doi.org/10.5253/078.101.0103>
- Poulin, B., Lefebvre, G., Duborper, E., & Chabot, M.-H. (2011). *Effets des traitements au Bti sur les invertébrés paludicoles et les hirondelles des fenêtres pour les cinq années de démoustication – expérimentale en Camargue (2006-2011)*. Rapport au Parc naturel régional de Camargue.
- Rappe, A. (1978). Enquête sur la nidification de l'Hirondelle de fenêtre (*Delichon urbica*) en Belgique. *Gerfaut*, 68, 217-227.
- Rheinwald, G. (1975). The pattern of settling distances in a population of House Martins *Delichon urbica*. *Ardea*, 63, 136-145.
- Rheinwald, G. (1979). Brutbiologie der Mehlschwalbe (*Delichon urbica*) im Bereich der Voreifel. *Vogelwelt*, 100, 85-107.
- Robinson, R.A., Leech, D. I., Massimino, D., Woodward, I., Eglinton, S. M., Marchant, J. H., Sullivan, M. J. P., Barimore, C., Dadam, D., Hammond, M. J., Harris, S. J., Noble, D. G., Walker, R. H., & Baillie, S. R. (2017). BirdTrends 2016 : trends in numbers, breeding success and survival for UK breeding birds. *Research Report*, 691. <https://www.bto.org/sites/default/files/publications/birdtrends-2016-trends-in-numbers-2c-breeding-success-and-survival-for-uk-breeding-birds-compressed.pdf>
- RSPB. (n.d.). *House Martin*. RSPB. Consulté le 15 mars 2022 sur <https://www.rspb.org.uk/birds-and-wildlife/wildlife-guides/bird-a-z/house-martin/>
- RSPB. (n.d.). *House Martin Population Trends*. RSPB. Consulté le 24 mai 2022 sur <https://www.rspb.org.uk/birds-and-wildlife/wildlife-guides/bird-a-z/house-martin/population-trends/>
- RSPB. (n.d.). *House Martin Breeding & Nesting Habits*. RSPB. Consulté le 10 juin 2022 sur <https://www.rspb.org.uk/birds-and-wildlife/wildlife-guides/bird-a-z/house-martin/breeding-and-nesting-habits/>
- RStudio (version 2022.07.02 +576) [Logiciel]. (2023). <https://posit.co/download/rstudio-desktop/>
- Saether, B.-E., Sutherland, W.J., & Engen, S. (2004). Climate influences on avian population dynamics. *Advances in Ecological Research*, 35, 185-209. [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(04\)35009-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(04)35009-9)
- Seek Thermal Compact XR – Xtra Range – Android USB-C

- Svensson, L., Mullarney, K., Zetterström, D. (2009). *Le guide ornitho*. Edition Delachaux et Niestlé.
- Tatner, P. (1978). A review of House Martins (*Delichon urbica*) in part of South Manchester, 1975. *Naturalist*, 103, 59-68.
- Turner, A. K. (1982). Counts of aerial-feeding birds in relation to pollution levels. *Bird Study*, 29, 221-226.
- Waugh, D.R. (1978). *Predation strategies in aerial feeding birds* [PhD-thesis]. University of Stirling. <http://hdl.handle.net/1893/2402>
- Weiserbs, A., Ninanne, M., & Jacob, J.-P. (2004). Evolution de la population d’Hirondelles de fenêtre (*Delichon urbicum*) à Bruxelles. *Aves*, 41(3-4), 223-234.
- Winkler, D. W., & Sheldon, F. H. (1993). Evolution of nest construction in swallows (Hirundinidae) : A molecular phylogenetic perspective. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, 90, 5705-5707.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC46790/pdf/pnas01469-0336.pdf>
- Woodhouse, S. P., Good, J. E. G., Lovett, A. A., Fuller, R. J., & Dolman, P. M. (2005). Effects of land-use and agricultural management on birds of marginal farmland: a case study in the Llyn peninsula, Wales. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 107(4), 331 – 340. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.12.006>

Annexes

Annexe 1 : Liste des nids équipés avec un capteur thermique

Tableau 11 : Liste des nids artificiels équipés de capteurs thermiques en 2022 à Louvain-la-Neuve. Les nids sont regroupés par groupe et associés au numéro de leur capteur. Les nids surlignés en vert ont été occupés par une nichée en 2022. Les capteurs surlignés en orange ont disparu pendant la saison.

GroupNr	nestNr	ibutton	Position
1	A61	9	B
1	A62	10	A
1	A63	11	B
1	A64	12	C
1	A65	13	C
1	A66	14	B
1	A67	/	A
1	A68	/	A
2	A75	3	C
2	A76	4	B
2	A77	5	A
2	A78	23	A
2	A79	6	B
2	A80	7	A
3	A81	1	A
3	A82	21	B
4	A83	22	A
4	A84	2	A
5	A93	24	B
5	A94	8	A
6	A107	19	A
6	A108	20	B
6	A109	30	A
6	A110	18	B
7	A143	25	A
7	A144	26	B
7	A145	27	A
7	A146	28	B
8	A159	29	A
8	A160	15	B
8	A161	16	C
8	A162	17	D

Annexe 2 : Détail des nids nettoyés en 2022

Tableau 12 : Liste des nids artificiels nettoyés en octobre 2022 à Louvain-la-Neuve.

A31	A70	A80	A96	A130	A148
A61	A71	A81	A100	A131	A149
A62	A72	A82	A107	A132	A152
A63	A73	A83	A108	A138	A159
A64	A74	A84	A109	A139	A160
A65	A75	A90	A110	A143	A161
A66	A76	A92	A117	A144	A162
A67	A77	A93	A123	A145	
A68	A78	A94	A127	146	
A69	A79	A95	A129	A147	

Annexe 3 : Récapitulatif des nids et nichées de l'année 2021.

Tableau 13 : Résumé de l'occupation des nids et des nichées de l'année 2021.

	Nids utilisés			Nichées		
	1x	2x	Total	Période 1	Période 2	Total
Naturels	47	17	64	57-58	16-23	73-81
Artificiels	16	6	22	14-15	5-13	19-28
Total	63	23	86	71-73	21-36	92-109

Annexe 4 : Courbes des températures collectées avec les données thermiques, regroupées par groupes de nids voisins.

Groupe 1

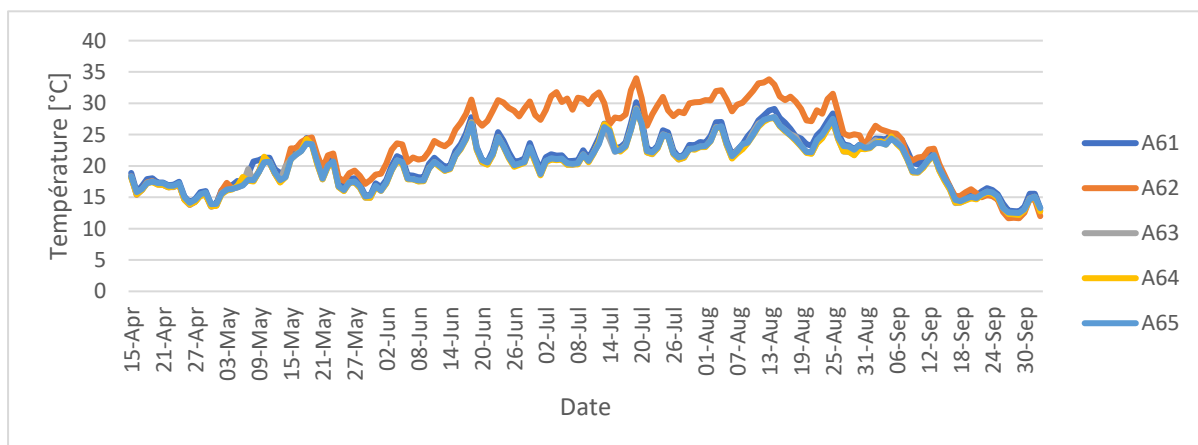


Figure 38 : Courbes de températures en fonction du temps des nids du groupe 1, équipés de capteurs thermiques à Louvain-la-Neuve en 2022. Les nids sont situés dans le secteur place Montesquieu. Le nid A62 a été occupé pendant la saison.

Groupe 2

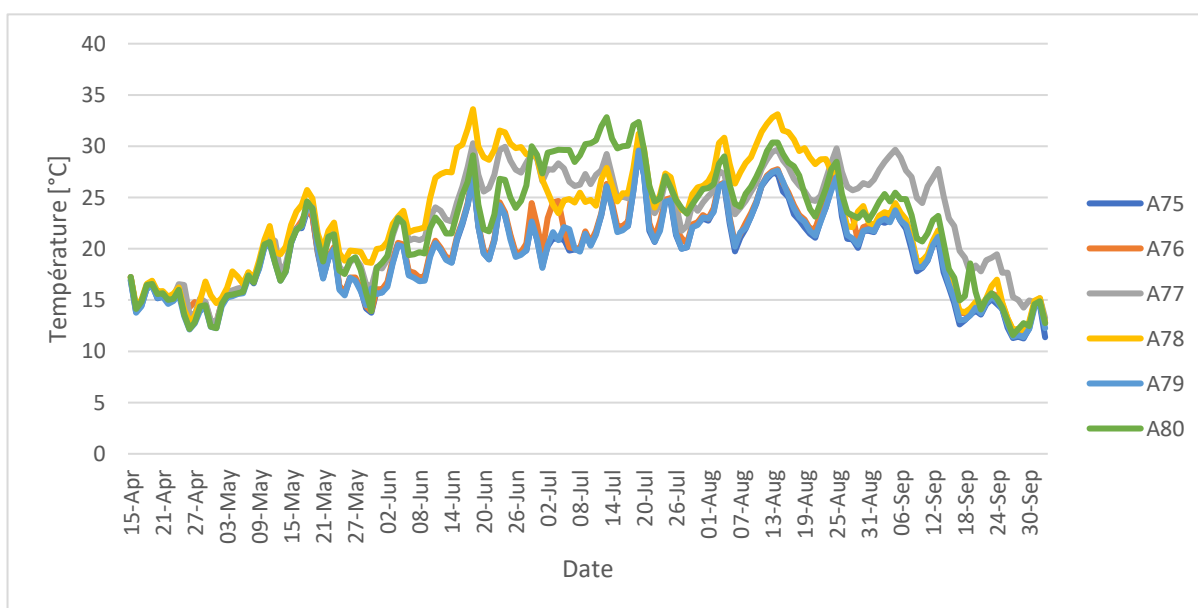


Figure 39 : Courbes de températures en fonction du temps des nids du groupe 2, équipés de capteurs thermiques à Louvain-la-Neuve en 2022. Les nids sont situés dans le secteur place Montesquieu. Les nids A77, A78 et A79 ont été occupés pendant la saison.

Groupe 4

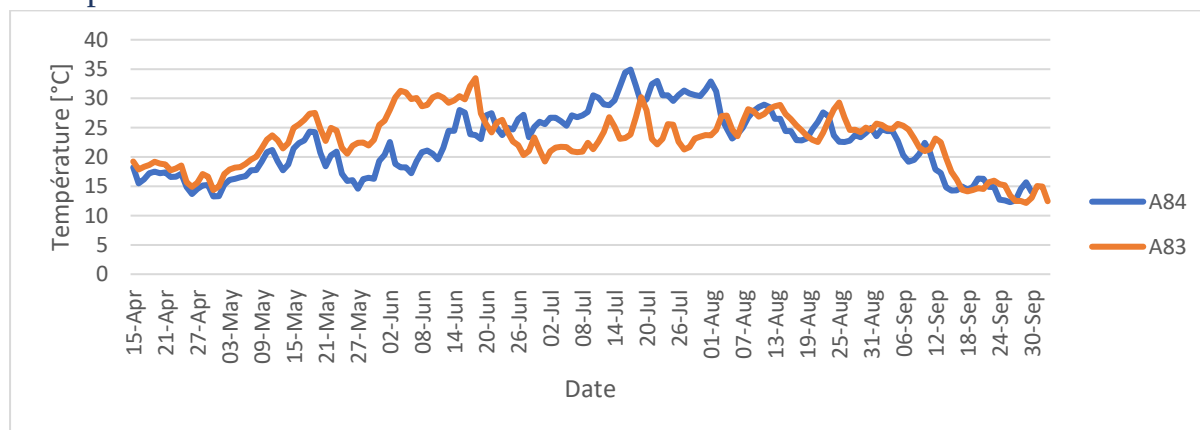


Figure 40 : Courbes de températures en fonction du temps des nids du groupe 4, équipés de capteurs thermiques à Louvain-la-Neuve en 2022. Les nids sont situés dans le secteur place Montesquieu. Les deux nids ont été occupés pendant la saison.

Groupe 5

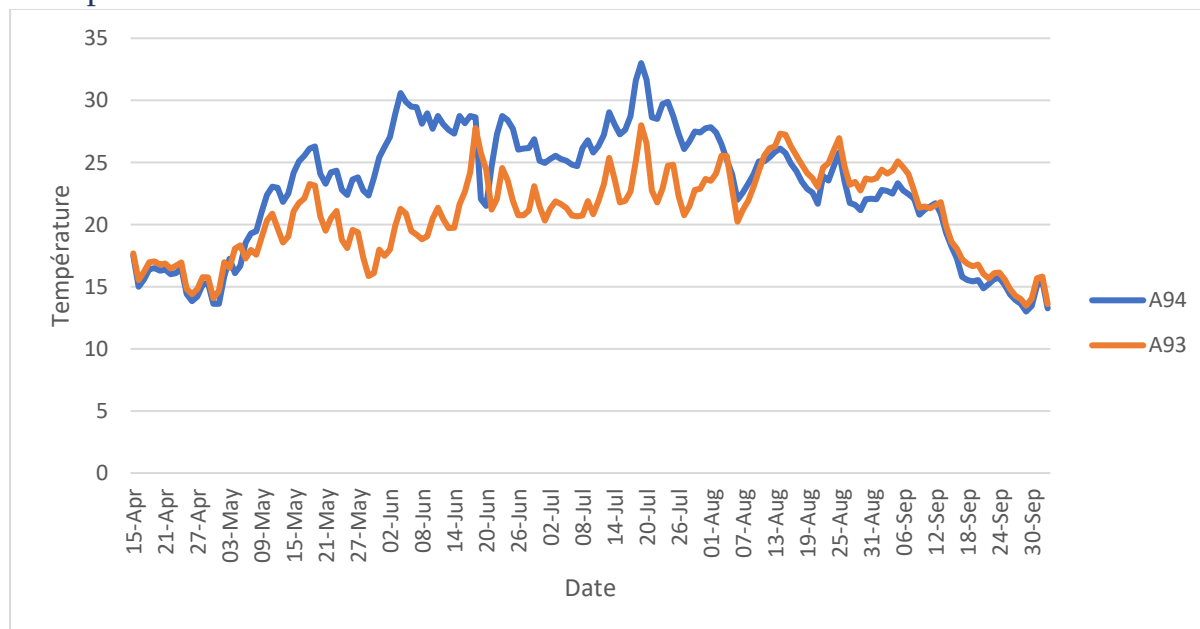


Figure 41 : Courbes de températures en fonction du temps des nids du groupe 5, équipés de capteurs thermiques à Louvain-la-Neuve en 2022. Les nids sont situés dans le secteur place Montesquieu. Le nid A94 a été occupé pendant la saison.

Groupe 6

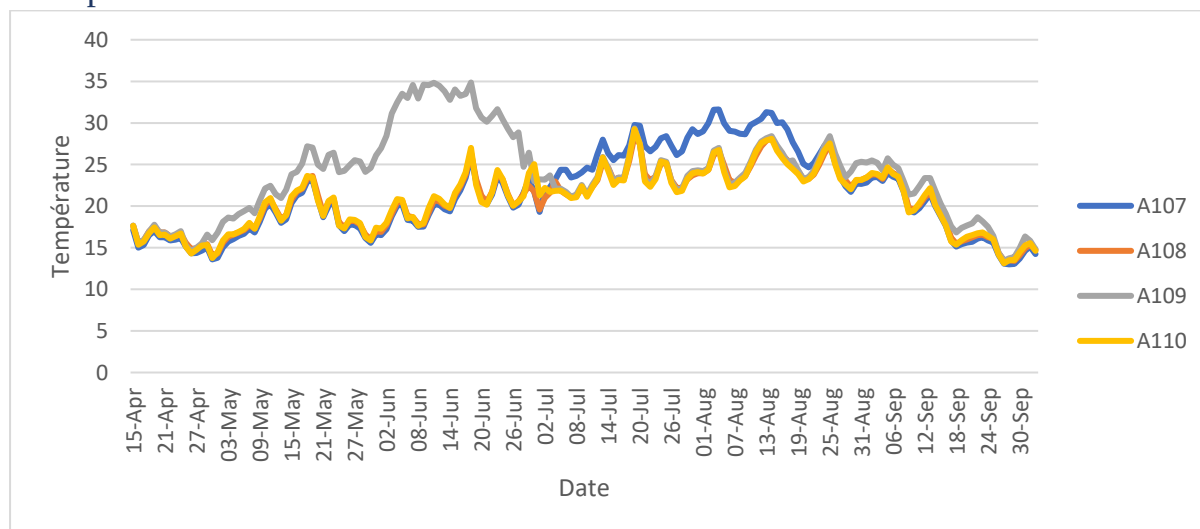


Figure 42 : Courbes de températures en fonction du temps des nids du groupe 6, équipés de capteurs thermiques à Louvain-la-Neuve en 2022. Les nids sont situés dans le secteur place Montesquieu. Les nids A107 et A110 ont été occupés pendant la saison.

Groupe 7

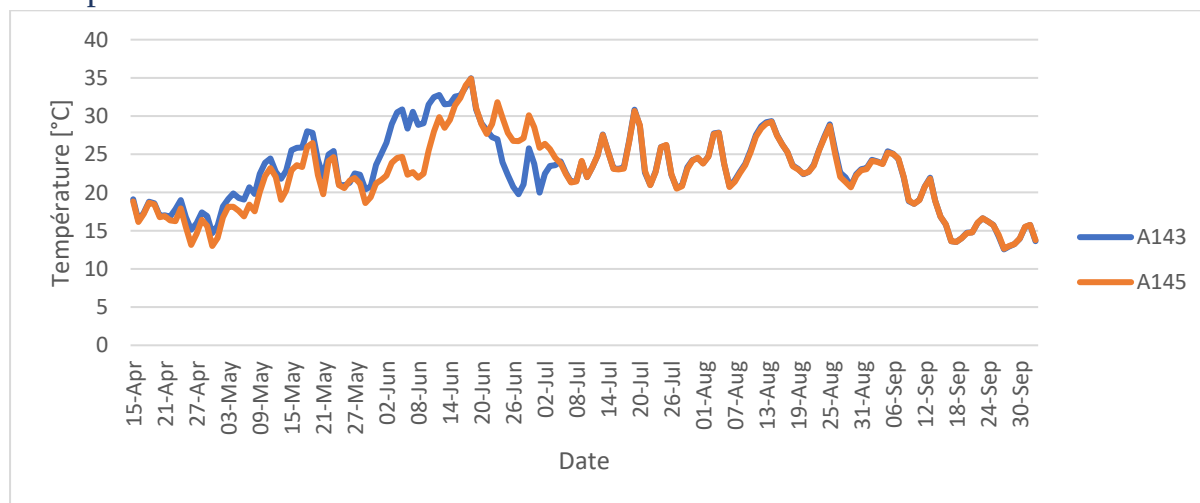


Figure 43 : Courbes de températures en fonction du temps des nids du groupe 7, équipés de capteurs thermiques à Louvain-la-Neuve en 2022. Les nids sont situés dans le secteur PCM. Les deux nids ont été occupés pendant la saison.

Groupe 8

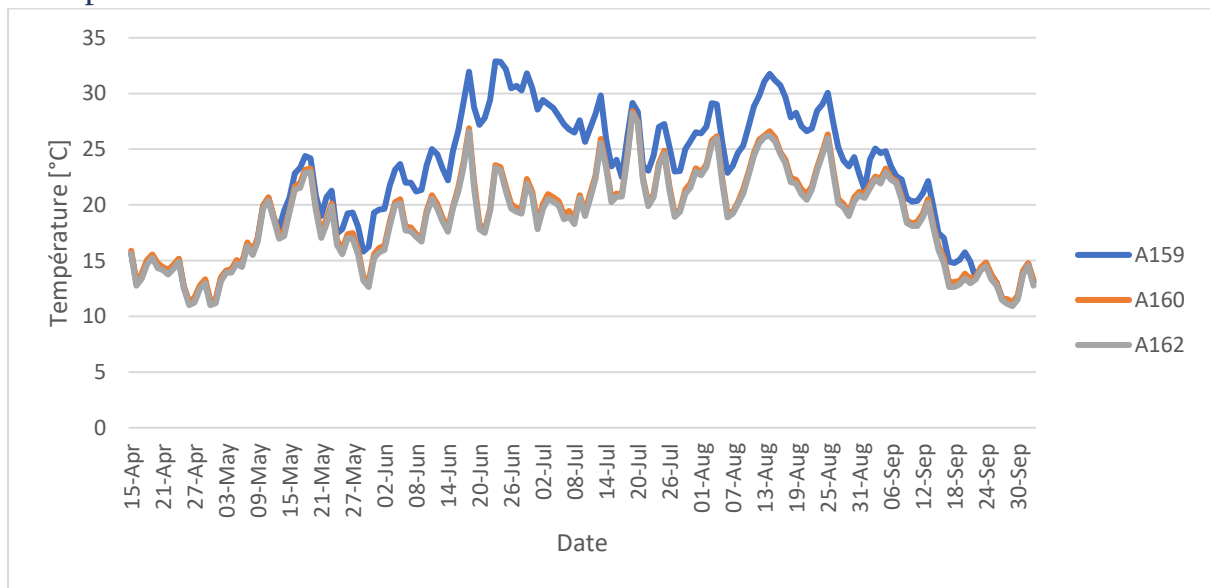


Figure 44 : Courbes de températures en fonction du temps des nids du groupe 8, équipés de capteurs thermiques à Louvain-la-Neuve en 2022. Les nids sont situés dans le secteur PCM. Le nid A159 a été occupé pendant la saison.

