



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIC ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة باجي مختار - عنابة
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR – ANNABA
FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

THESE

PRÉSENTÉE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE DOCTORAT ES SCIENCES
OPTION : BIOLOGIE ANIMALE

Intitulé

Effets maternels et investissement parental chez les
populations de l'hirondelle de cheminée
Hirundo rustica rustica dans le Nord – Est algérien

Présentée par : M. DADCI WALID

Directeur de thèse :

M. TAHAR ALI

Professeur

Université d'Annaba

Président :

M. BENSLAMA MOHAMED

Professeur

Université d'Annaba

Examineurs :

M. HOUHAMDI MOUSSA

Professeur

Université de Guelma

M^{me}. BAKARIA FATIHA

Maître de conférences A

Université d'El Tarf

M. ROUAG RACHID

Professeur

Université d'El Tarf

M. OUKID MOHAMED

Professeur

Université d'Annaba

Année universitaire 2021 / 2022



REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer toute ma gratitude à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de cette thèse.

Je remercie tout d'abord le Pr. **Mohamed BENSLAMA** directeur du laboratoire "Sols et développement durable", d'avoir accepté de juger ce travail et d'en présider le jury. Je tiens à lui exprimer ma grande reconnaissance pour sa disponibilité, ses encouragements et sa grande sympathie.

Ma grande gratitude va à mon directeur de thèse, le Pr. **ALI TAHAR** qui m'a d'abord fait aimer le goût des statistiques, et qui m'a toujours soutenu et motivé pour continuer après la tragique disparition de mon premier directeur de thèse. Je tiens à le remercier vivement pour sa patience et ses encouragements incessants, sa rigueur et ses précieux conseils.

J'ai évidemment une pensée très émue pour mon premier directeur de thèse, feu Pr. **Yassine CHABI** (paix à son âme), qui a été parmi ceux qui ont contribué à ma formation en écologie. Sa disparition a laissé un grand vide, je tiens donc à lui rendre hommage.

Je remercie vivement le Pr. **Mohamed Laid OUAKID** d'avoir répondu favorablement pour juger ce travail, ainsi que pour sa grande sympathie et ses généreux encouragements.

Je remercie chaleureusement le Pr. **Moussa HOUHAMDI** de l'université de Guelma pour sa disponibilité, sa sympathie et pour avoir accepté de prendre part à ce jury.

Mes grands remerciements vont particulièrement au Dr. **Fatiha BAKARIA** de l'université d'El Tarf de m'avoir fait bénéficier, avec son extrême gentillesse, de vifs encouragements et de précieux conseils qu'il me soit permis de lui témoigner ma respectueuse reconnaissance pour avoir accepté de juger ce travail.

Je remercie vivement le Pr. **Rachid ROUAG** de l'université d'El Tarf de m'avoir fait honneur en acceptant de faire partie de ce jury et de m'avoir soutenu et encouragé.

Mes compagnons de vie et de sciences, à savoir : Pr. Feriel Boukheroufa, Dr. Mehdi Boukheroufa ainsi que ma tendre Dr. Rym Dadci, ont partagés avec moi d'innombrable moments de discussion, de fou rire et de bonne humeur, qu'ils trouvent ici l'expression de ma plus profonde gratitude.

A l'équipe DAFEC en général et spécialement Rached, Abdelaziz et Kamy qui m'ont apporté avec leur bonne humeur une précieuse aide lors de la finalisation de cette thèse.

A mes étudiants de master qui ont partagé une petite expérience de terrain, de labo, et de vie à mes côtés. Je tiens à leur exprimer ma sincère gratitude pour tous les efforts fournis, leur enthousiasme, et leur sérieux qui n'ont fait que m'encourager d'avantage et de renforcer mes aptitudes à la recherche scientifique.

Un merci infini à tous mes collègues enseignants chercheurs pour leurs encouragements et leur sympathie.

Mes remerciements vont aussi à ma famille et ma belle-famille, spécialement ma mère et sa fameuse question : « quand est-ce que tu soutiens ta thèse mon fils ? ». Voilà maman finalement le jour J.

Mes amis qui m'ont énormément aidé et encouragé à mener à terme ce travail, en usant de tous les stratagèmes pour me booster au bon moment. Ils se reconnaîtront sûrement mais je tiens à leur dire que je me sens chanceux d'être si bien entouré.

Une tendre pensée pour mon défunt père Abdelouaheb, qui me disait toujours que le seul héritage que je puisse te laisser c'est ton bagage scientifique et culturel, ... j'en ferais de même avec les miens inchallah.

المخلص

تمت دراسة احدى أشهر انواع الطيور المهاجرة التي تنتمي الى فصيلة السنونو الا وهي طائر الخطاف *Hirundo rustica rustica* التي تعشش في الحدود الجنوبية لمنطقة تكاثرها، بالتحديد في الشمال الشرقي الجزائري. قمنا بتقييم تأثيرات طائر الخطاف الامومية واستثماراتها الابوية لصيانتها، وفقاً لتدرج حضري. أجريت الدراسة الناتجة من مارس 2015 حتى سبتمبر 2019، حيث تمكنا من اتباع الاستراتيجية الانتقائية لمواقع التعشيش، من خلال حساب كثافة أزواج التكاثر ورسم خرائطهم في جميع المواقع. تابعا المراحل المختلفة لبناء العش ثم فنولوجيا التكاثر حتى نمو الصغار، من أجل تقييم الاستثمار الأبوي بشكل عام وتأثير الأم بشكل خاص. قمنا أيضاً بمراقبة وتحليل ترددات التغذية و التنظيف والرعاية الأبوية من أجل تقييم جودة الاستثمار الأبوي ، اعتماداً على عمر الفراخ. تؤكد النتائج التي تم الحصول عليها أن البيئات الحضرية وشبه الحضرية تمثل على التوالي المواقع المفضلة للخطاف، تجدر الإشارة الى ان المواقع تكون مختلفة في معظم مناطق تكاثرها في اوروبا. كما أظهرت النتائج عن عدم وجود تأثير الأمهات على قياسات البيض وعلى تكيف الحضنة النوعية الجيدة لمعاملات الفينولوجيا التناسلية. فيما يتعلق بتحليل النظام الغذائي، فقد سجلنا مجموع اجمالي يقدر ب 902 فريسة تنتمي إلى 08 تراتيب تصنيفية وهي على الاتي : Diptera - Orthoptera - Hemiptera – Lepidoptera – Odonate - Hymenoptera - Coleoptera و Heteroptera.

يُظهر تحليل المعلمات هيكل الاستيطان العناصر - الفريسة قيمًا معنوية لصالح غشائيات الأجنحة. أخيراً، يُظهر تحليل ترددات التغذية عمودين يوميًا إطعام الذرورة، مع توزيع المهام بين الذكر الذي يشارك بنشاط في جهود البحث عن العناصر - الفريسة والأنثى المسؤولة بشكل أساسي عن الصرف الصحي ورعاية الوالدين في العش.

الكلمات المفتاحية : *Hirundo rustica rustica* - مواقع التعشيش - استثمار الوالدين – تدرج حضري

ABSTRACT

We relied on the typical migratory species status of the barn swallow *Hirundo rustica rustica* to assess its investment in worms for its young in the southern limits of its breeding range, according to an urbanization gradient. The resulting study was carried out from March 2015 until September 2019, where we were able to follow the selective strategy of nesting sites, through the calculation of the density of breeding pairs and their mapping on all sites. studied. We followed the different stages of nest construction and then the phenology of reproduction until the fledging of the young, in order to assess parental investment in general and the maternal effect in particular. We also monitored and analyzed the frequencies of feeding, sanitation and parental care in order to assess the quality of parental investment, depending on nestling age.

the results obtained confirm that urban and peri urban environments respectively represent the barn swallow's preferred habitats, which is not the case in most of its breeding range. The results also show the existence of a maternal effect on the measurements of the eggs and on the incubation conditioning the good quality of the parameters of reproductive phenology. Regarding the analysis of the diet, we recorded a total of 902 prey belonging to 08 taxonomic orders in this case: Diptera, Hymenoptera, Coleoptera, Heteroptera, Lepidoptera, Hemiptera, Orthoptera and Odonata. The analysis of the structure parameters of the population of items - prey shows significant values in favor of Hymenoptera, with the absence of significant differences between urban, peri-urban and rural environments. Finally, the analysis of feeding frequencies shows overall two daily feeding peaks , with a distribution of tasks between the male who actively participates in the effort to hunt prey and the female who is primarily responsible for sanitation and parental care in the nest.

Key Words: *Hirundo rustica rustica* – *Breeding* - *Nesting sites* — *Parental investment* - *Feeding* – *Sanitation* - *Urbanization*

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Titre	Page
1	Données climatiques durant la période d'étude	8
2	Caractéristiques des communes concernées par l'étude	15
3	Détermination de l'âge des poussins	18
4	Nombre de nids occupés dans les trois milieux étudiés	25
5	Taille des colonies d'Hirondelles rustiques dans les trois types de milieux	26
6	Distance moyenne entre les nids dans les trois sites d'étude	27
7	Hauteur des nids par rapport au sol dans les trois sites	28
8	Densité des couples nicheurs par 10 hectares des populations de l'Hirondelle rustique dans les trois milieux étudiés.	29
9	Date et période de ponte de l'Hirondelle rustique pendant la saison de reproduction 2016	31
10	Mensuration des œufs des deux pontes de l'Hirondelle rustique	34
11	Paramètres de la reproduction de l'Hirondelle rustique pendant la saison de reproduction 2016	37
12	Données relatives à la comparaison du nombre visites total entre femelles et mâles	46
13	Effort moyen de nourrissage des pulli par les adultes de l'Hirondelle rustique	46
14	Effort de nourrissage moyen des parents par tranche horaire (test t de student)	47
15	Contribution moyenne des parents dans le nettoyage des pulli (sanitation)	48
16	Nombre de visites alimentaire moyenne journalière en fonction de l'âge des pulli	49
17	Grandeurs de pontes moyennes de l'hirondelle de cheminée à travers son aire de nidification.	57
18	Composition du régime alimentaire des adultes et des pulli de l'Hirondelle decheminée durant la période de reproduction (exprimée en pourcentages) (in Turner, 2006. Modifié)	59

LISTE DES FIGURES

Figure	Titre	Page
1	Schémas de l'allocation d'énergie chez les êtres vivants.	2
2	Représentation schématique des effets de l'urbanisation sur les phénomènes écologiques.)	3
3	Situation géographique de la wilaya d'Annaba. (© Hadiby)	6
4	L'Hirondelle de cheminée <i>Hirundo rustica rustica</i>	9
5	Distribution géographique des différentes sous espèces d'Hirondelle rustique	10
6	Hirondelle rustique juvénile (gauche), adulte mâle (droite).	12
7	Localisation des colonies de l'hirondelle rustique dans la wilaya d'Annaba	14
8	Protocole illustré de traitement des fientes.	20
9	Pourcentage des nids occupés et non occupés lors de l'étude	24
10	Pourcentage des nids d'Hirondelle rustique occupés dans les trois sites d'étude	25
11	Lieux d'installation des nids d'Hirondelle rustique concernés par l'étude	26
12	Proportion des colonies d'Hirondelle rustique dans les trois types de milieux	27
13	Distance entre les nids chez l'Hirondelle rustique dans les trois types de milieux	28
14	Hauteur des nids par rapport au sol chez l'Hirondelle rustique dans les trois types de milieux.	29
15	Densité des couples nicheurs par 10 hectares dans les trois milieux étudiés	30
16	Pourcentage de premières et secondes pontes chez l'Hirondelle rustique	30
17	Pourcentage des grandeurs de pontes pour la première et la seconde ponte de l'Hirondelle rustique	32
18	Relation entre la date de ponte et la grandeur de ponte chez l'Hirondelle rustique	32
19	Relation entre la date de ponte et la durée de l'incubation chez l'Hirondelle rustique	33
20	Relation entre la grandeur de ponte et la durée de l'incubation chez l'Hirondelle rustique	33
21	Relation entre la date de ponte et le nombre d'œufs éclos chez l'Hirondelle rustique	34
22	Relation entre la date de ponte et le succès à l'éclosion chez l'Hirondelle rustique	35
23	Relation entre la date de ponte et le succès à l'éclosion chez l'Hirondelle rustique	35
24	Relation entre la date de ponte et le nombre de jeunes à l'envol chez l'Hirondelle rustique	36
25	Relation entre la date de ponte et le succès à l'envol chez l'Hirondelle rustique	37
26	Relation entre la date de ponte et le succès de la reproduction chez l'Hirondelle rustique	37
27	Identification taxonomique des items proies consommées par les pulli de l'hirondelle rustique	40
28	Composition globale du régime alimentaire des pulli de l'Hirondelle rustique	41
29	Composition du régime alimentaire des pulli durant la première ponte	41
30	Composition du régime alimentaire des pulli durant la seconde ponte	42
31	Fréquence d'occurrence des items proies consommées par les pulli de L'Hirondelle rustique	42
32	Fréquence d'occurrence des items proies consommées par les pulli issus de la première ponte de l'Hirondelle rustique	43
33	Fréquence d'occurrence des items proies consommées par les pulli issus de la seconde ponte de l'Hirondelle rustique	44

34	Analyse comparée de la diversité et l'équitabilité du régime alimentaire des pulli durant la première et la seconde ponte	45
35	Comparaison du nombre visites total entre femelles et mâles	46
36	Fréquence de nourrissage moyenne journalière	47
37	Fréquence de Nettoyage moyenne du nid par les adultes de l'Hirondelle rustique	48
38	Fréquence de nourrissage moyenne journalière en fonction de l'âge des pulli	49
39	Contribution moyenne journalière des parents hirondelles dans le nettoyage (sanitation) des oisillons	50
40	Gradient urbain-rural, ses changements physiques et la réponse de la biodiversité	52
41	Présentation du réseau hydrique dans les milieux urbains, périurbains et rural.	53

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	1
MATERIEL ET METHODES.....	6
1. Zone d'étude.....	6
1.1. Relief.....	7
a) Le massif de l'Edough.....	7
b) Plaines d'Annaba.....	7
c) Cordon dunaire littoral.....	7
1.2. Hydrologie.....	7
1.3. Données climatiques.....	8
- Bioclimat et	
végétation.....	8
2. Description du modèle biologique.....	9
2.1. Taxonomie et distribution.....	9
2.2. Morphologie et dimorphisme sexuel.....	11
2.3. Reproduction et alimentation.....	12
3. Méthodologie générale.....	12
3.1. Sites échantillonnés.....	13
3.2. Suivi des nids et calcul des densités des couples nicheurs.....	17
3.3. Suivi de la phénologie de la reproduction.....	17
3.4. Mensuration des œufs.....	19
3.5. Etude du Régime alimentaire des pulli de l'Hirondelle de cheminée.....	19
3.5.1. Dispositif de pose des colliers.....	19
3.5.2. Dispositif de récolte des fientes.....	20
3.6. Etude des fréquences de nourrissage de l'Hirondelle de cheminée.....	22
4. Analyse statistique des données	23
RESULTATS	
1. IDENTIFICATION DES SITES PREFERENTIELS DE NIDIFICATION.....	24
1.1. Nombre de nids recensés.....	24
1.2. Choix des lieux de construction des nids d'Hirondelles rustiques	25
1.3. Taille des colonies d'Hirondelle rustique	26
1.4. Distance entre les nids pour chaque colonie.....	27
1.5. Hauteur des nids par rapport au sol.....	28
1.6. Densité des couples nicheurs dans les trois types de milieux.....	29
2. PHENOLOGIE DE LA REPRODUCTION DE L'HIRONDELLE RUSTIQUE.....	30
2.1. Date et période de ponte.....	31
2.2. Grandeur de ponte.....	31
2.3. Durée de l'incubation.....	32
2.4. Mensurations des œufs.....	33
2.5. Nombre d'œufs éclos.....	34
2.6. Succès à l'éclosion.....	35
2.7. Jeunes à l'envol.....	36
2.8. Succès à l'envol.....	36
2.9. Succès de la reproduction.....	37
3. REGIME ALIMENTAIRE DES PULLI DE L'HIRONDELLE RUSTIQUE.....	38
3.1. Identification taxonomique du régime alimentaire des pulli.....	38
3.2. Composition du régime alimentaire des pulli.....	40
3.3. Fréquence d'occurrence.....	42

3.4. Indices de diversité et équitabilité.....	44
4. RYTHME D'ACTIVITE DES ADULTES DE L'HIRONDELLE RUSTIQUE.....	45
4.1. Nombre total de visites des couples au nid.....	45
4.2. Fréquence de nourrissage moyenne journalière.....	46
4.3. Fréquence de Nettoyage moyenne.....	48
4.4. Investissement des parents dans le nourrissage en fonction de l'âge des oisillons.....	48
4.5. Contribution des couples d'hirondelles au nettoyage des nids.....	49
DISCUSSION	51
Quel est l'habitat préférentiel de l'Hirondelle de cheminée ?.....	51
Quels facteurs affectent les dates d'arrivée et d'installation des couples nicheurs ?.....	54
Investissement maternel VS qualité des éclosions : stratégie ou compromis ?...	55
L'hirondelle de cheminée : excellent échantillonneur des Insectes.....	58
L'investissement parental conditionne-t-il la "fitness" des pulli ?.....	60
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	61
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	63
ANNEXES	

Introduction

INTRODUCTION GENERALE

« Les oiseaux migrateurs relient les coins de ce globe de plus en plus fragmenté, unissant les pôles et les tropiques, les forêts et les déserts, les étendues sauvages et les villes... Une planète qui les soutient nous soutiendra ; leur destin est notre destin... »

Scott Weidensaul, *living in the wind* (2000)

Bon nombre de travaux se sont intéressés aux environnements saisonniers, caractérisés par une variabilité dans le temps mais prédictible d'une année à l'autre, si bien que les organismes vivants qui les subissent s'adaptent à l'avance aux conditions à venir (photopériode...etc) (Lavorel *et al.*, 2017 ; Radchuk *et al.*, 2019 ; Theodorou, 2022). En général, il s'agit d'une période plus ou moins longue idéale pour le déclenchement de la reproduction et pour la croissance et le développement des organismes, et d'une période pendant laquelle la reproduction et la croissance ne sont pas possibles (conditions climatiques sévères, indisponibilité des ressources trophiques...etc). Pour se soustraire aux contraintes de la saison de non-reproduction, de nombreuses espèces animales vont déployer trois stratégies adaptatives bien distinctes, en l'occurrence la résistance au froid, l'hibernation ou la migration (Blair, 2001). La migration est un mouvement saisonnier régulier entre des zones de nidification et d'autres zones de non nidification (Newton, 2008). Ce processus concerne bon nombre d'ongulés, certaines chauves-souris, ou encore plusieurs espèces d'Oiseaux. Ces espèces sont adaptées à couvrir de longues distances pour atteindre des milieux plus favorables (Kauffman *et al.*, 2021). Avant la migration, les oiseaux augmentent leur masse corporelle pour faire face aux besoins énergétiques nécessaires durant cette période (Maillet & Weber, 2006 ; Zhao *et al.*, 2021 ; Halmos *et al.*, 2010). Les coûts supplémentaires de thermorégulation de l'hivernage vers l'aire de reproduction sont ainsi alloués au vol pendant la migration (Ruuskanen *et al.*, 2021). Si la migration et l'hivernage sont énergivores pour les Oiseaux, les coûts énergétiques de la reproduction seront bien plus élevés (Fig. 1).

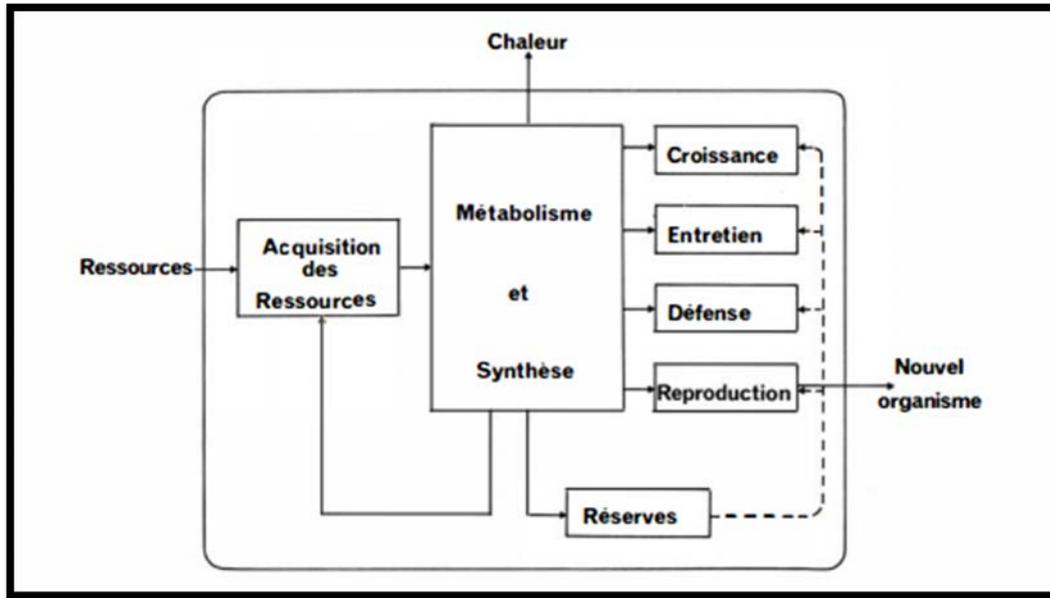


Figure 1 : Schémas de l'allocation d'énergie chez les êtres vivants. Modifié d'après Calow et Townsend (1981), in Barbault (1983).

En effet, la recherche active d'un partenaire sexuel, la parade nuptiale, et l'investissement parental dans l'élevage des jeunes augmentent considérablement ces besoins (**Clutton-Brock, 1991**). Cette allocation énergétique constitue donc un élément clé conditionnant l'investissement des adultes dans l'accomplissement de la reproduction, même si elle reste tributaire de la disponibilité des ressources trophiques dans des milieux de plus en plus fragmentés (**Dias, 1994 ; Réale, 1997 ; Lefevre, 1999**). L'urbanisation des terres constitue une menace importante pour la biodiversité et génère de nouvelles contraintes auxquelles les espèces sont confrontées et doivent réagir (**Croci, et al., 2007**). La perte et la dégradation de l'habitat sont devenus des facteurs limitants majeurs causant le déclin et l'extinction des communautés animales, les oiseaux migrateurs compris (**Owens et Bennett, 2000 ; Foley et al., 2005**), puisque leur distribution et leurs traits d'histoire de vie sont affectés et déterminés par les gradients d'urbanisation, et c'est précisément pour cette raison qu'il est indispensable de les étudier pour mieux comprendre les effets de l'urbanisation sur les systèmes écologiques (**Haddad et al., 2015 ; Oliver, 2021 ; Weidensaul, 2022**). Par définition, un gradient d'urbanisation est un gradient complexe et indirect dépendant de facteurs sociaux, économiques et environnementaux. Il se manifeste physiquement par la création de nouveaux modes d'occupations du sol, des altérations de l'environnement physique et chimique, la création de nouveaux assemblages d'espèces et des modifications des régimes de perturbations (**Vallet, 2009**) (**Fig. 2**).

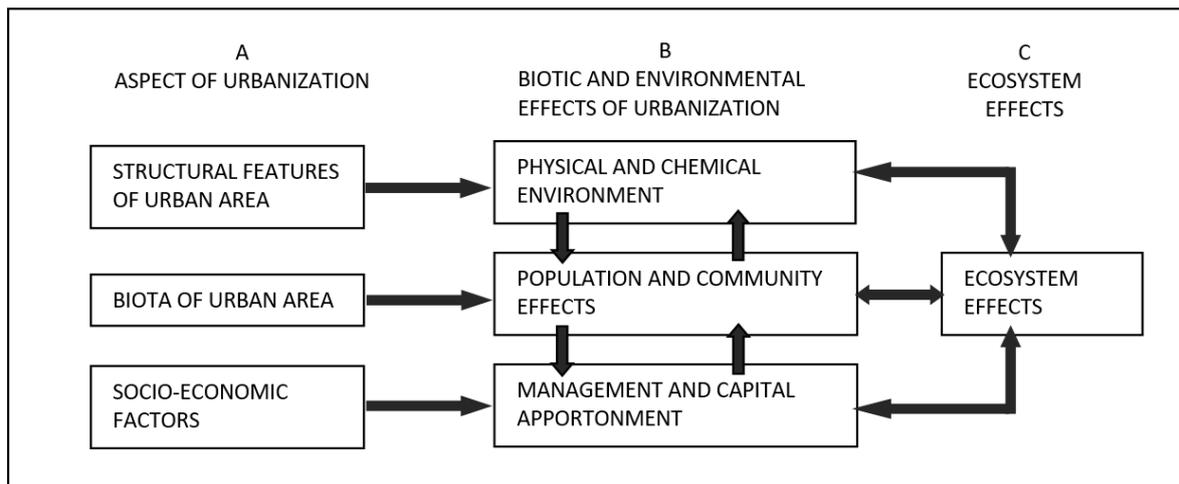


Figure 2 : Représentation schématique des effets de l'urbanisation sur les phénomènes écologiques.). Un modèle montrant les effets de l'urbanisation sur les phénomènes écologiques. Les trois colonnes représentent les composantes pertinentes des gradients urbain-rural. Les flèches indiquent les liens de causalité entre les caractéristiques des zones urbaines (colonne A) en tant qu'entrée, les phénomènes écologiques (colonnes B, C) en tant que résultats. La recherche écologique se concentre principalement sur les phénomènes représentés par les lignes 1 et 2, alors que les résultats seraient utiles dans les décisions concernant les phénomènes sociétaux représentés par la ligne 3. Les retours des colonnes B et C vers A seraient utiles pour développer des stratégies visant à réduire l'impact environnemental de l'urbanisation. (D'après McDonnell et al., 1990).

La configuration particulière du paysage urbain induit de profondes mutations des facteurs abiotiques tels que le climat, l'hydrologie et les caractéristiques des sols (Grimm et al., 2008 a ; Pickett et al., 2011). Le phénomène connu sous le nom "d'îlot de chaleur urbain" (ou "urban heat Island" ; Oke, 1995) est incontestablement un des phénomènes les plus documentés (Jim, 1998 ; Schleuß et al., 1998 ; Mielke et al., 1999 ; Lovett et al., 2000 ; Pouyat et al., 2008 ; Pickett et al., 2011). A ces modifications s'ajoutent l'introduction d'espèces animales et végétales invasives, et la déposition atmosphérique de nombreux polluants de diverses origines (azote, métaux lourds, composés chimiques organiques). A terme, ces modifications provoqueront une perte considérable d'habitats dans de nombreux « hotspots » de biodiversité, et menaceront un grand nombre d'espèces, particulièrement les oiseaux migrateurs (Seto et al., 2012). Ces derniers apparaissent dès lors comme d'excellents marqueurs de la biodiversité globale (Chamberlain et al., 2012), car particulièrement vulnérables aux changements climatiques et à la dégradation de l'habitat (Landrigan et Fuller, 2015), ce qui leur confère le statut d'espèces sentinelles dont la conservation est

indispensable à la protection des nombreuses autres espèces coexistantes naturellement (Ismail *et al.*, 2020).

Parmi les Oiseaux migrateurs, nous nous sommes intéressés à l'Hirondelle de cheminée (*Hirundo rustica rustica*), espèce migratrice type qui hiverne en Afrique équatoriale ainsi qu'au sud de l'Afrique (Hobson *et al.*, 2012) et remonte plus au Nord dans le paléarctique pour se reproduire (Cramp, 1994 ; Møller, 1984). Dans une étude récente, Zhao *et al.* (2020) ont démontré que les hirondelles rustiques sont un modèle approprié pour étudier l'impact de l'urbanisation sur les animaux sauvages, de par leur large distribution, et leur statut d'URBAN EXPLOITER, étroitement associé aux humains. Ceci en fait l'une des espèces migratrices les plus étudiée à travers toute son aire de répartition (Sakraoui *et al.*, 2005 ; Smiddy & O'Halloran, 2010 ; Van Nus et Neto, 2017 ; Møller *et al.*, 2021 ; Dadci *et al.*, 2022), et pour cause, ces travaux de recherche ont mis en évidence l'existence d'une variabilité importante dans les traits d'histoire de vie de cette espèce, comme la date de ponte et la fécondité qui varient d'une population à une autre à travers son aire de reproduction. Une particularité demeure cependant en Afrique du Nord, puisqu'elle constitue la limite sud de l'aire de nidification de l'Hirondelle de cheminée dans le paléarctique. De ce fait, les conditions de vie et de reproduction sont beaucoup plus contraignantes que dans les territoires européens, d'autant plus que ces conditions sont impactées par une anthropisation de ces territoires de prédilection (Sakraoui, 2012 ; Haddad *et al.*, 2015 ; Dadci *et al.*, 2022). En effet, de nombreux travaux ont démontré que l'urbanisation peut conduire à des différences phénotypiques entre les hirondelles urbaines et non urbaines (Alberti, 2015 ; Johnson & Munshi-South, 2017), du fait qu'elle soit associée à une augmentation des coûts métaboliques, ce qui peut limiter la taille, mais favoriser l'augmentation ou la diminution de la masse corporelle en fonction des habitats (Merckx *et al.*, 2018). Chez les oiseaux, il a été démontré que l'urbanisation a un impact négatif sur la taille corporelle, et le développement des oisillons (par exemple, Ruiz *et al.*, 2002 ; Liker *et al.*, 2008 ; Heiss *et al.*, 2009 ; Herrera-Dueñas *et al.*, 2017 ; Jiménez-Peñuela *et al.*, 2019). Chez les Hirondelles rustiques, aussi bien les mâles que les femelles, de nombreux travaux ont mis en évidence des schémas contrastés de variation de la taille corporelle face à l'urbanisation. Même si le dimorphisme sexuel est apparent (Safran *et al.*, 2016 ; Liu *et al.*, 2018), il y a lieu de s'interroger sur la qualité de l'investissement parental sur le succès de la reproduction et le développement des jeunes dans ces environnements fragmentés.

A la lumière de tous les arguments déployés, notre problématique s'est construite autour de l'analyse de l'effet de l'urbanisation sur la qualité de l'investissement parental chez l'hirondelle rustique *Hirundo rustica rustica* vis-à-vis de leurs pulli. L'étude qui en découle a pour principal objectif d'étudier les stratégies ajustatives des adultes pour optimiser la "fitness" des pulli le long d'un gradient d'urbanisation. Pour atteindre cet objectif, nous nous sommes posé un certain nombre de questions, à savoir :

- Quels seraient les sites préférentiels de nidification d'*Hirundo rustica rustica* ? Pour y répondre nous avons suivi puis analysé la densité des couples nicheurs, combinée aux données préliminaires d'installation et de construction des nids, et ce le long d'un gradient d'urbanisation.
- Existe-t-il un effet maternel significatif sur la qualité du succès à l'éclosion et du succès à l'envol ? Pour y répondre, nous avons mesuré les paramètres de phénologie de la reproduction de l'espèce, les données morphométriques des œufs, les mensurations et le choix de matériaux de construction des nids, et les rythmes d'activité.
- L'investissement parental des adultes conditionne-t-il la "fitness" des pulli ? Pour répondre à cette question, nous avons étudié les rythmes d'activité des adultes au nid.

Matériel et méthodes

MATERIEL ET METHODES

1. Zone d'étude

La présente étude a été réalisée dans la wilaya d'Annaba qui se situe au Nord-Est de l'Algérie ($36^{\circ}.30'N$ et $37^{\circ}.03'N$ et $7^{\circ}.20'E$ et $8^{\circ}.40'E$). Elle est limitée au Nord par la mer Méditerranée, au Sud par la wilaya de Guelma, à l'Est par la wilaya d'El-Tarf et à l'Ouest par la wilaya de Skikda. Elle compte une population estimée à 600.000 habitants. Cette wilaya constitue l'un des principaux pôles industriels du pays, de par ses activités portuaires (exportation de phosphates, de fer, de liège en provenance du massif de l'Edough et de produits agricoles) et ses industries (la sidérurgie, la métallurgie et la construction de matériel ferroviaire) (**Fig. 3**).

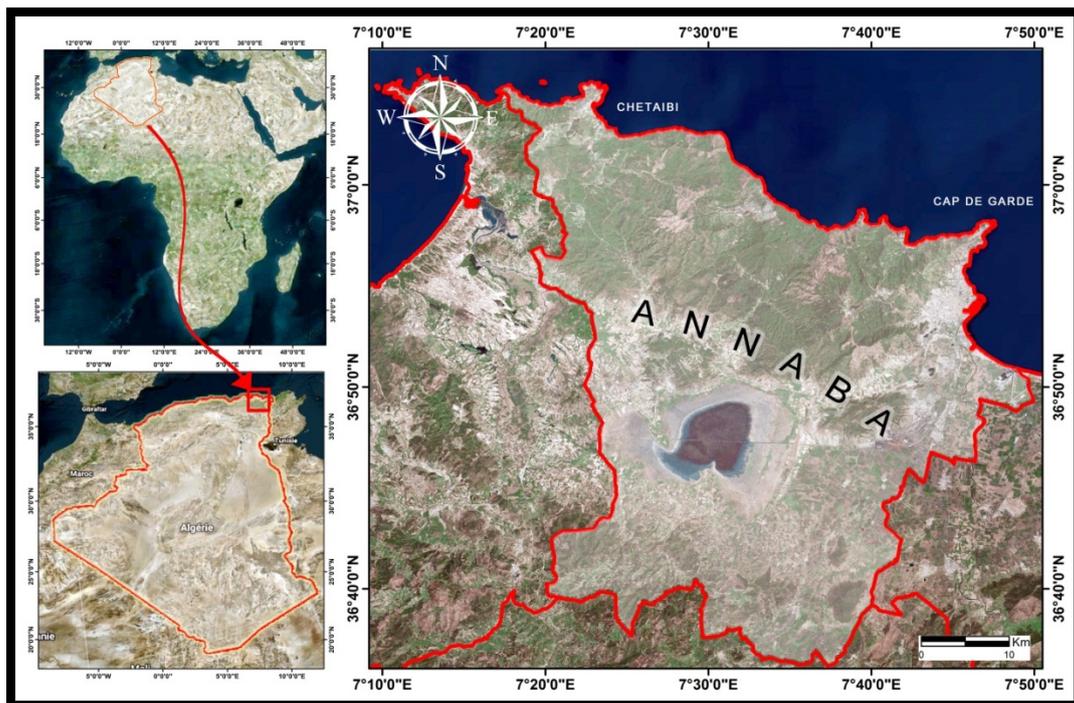


Figure 3 : Situation géographique de la wilaya d'Annaba. (© Hadiby)

Pour la description de la zone d'étude, nous nous sommes basés sur les documents du Plan Directeur de l'Aménagement et de l'Urbanisme de Annaba (**P.D.A.U., 1996**), ainsi que l'**Office National des Forêts (2002)**.

1.1. Relief :

La région d'Annaba est caractérisée par la présence de montagnes (52% de montagnes, 26% de collines et piémonts) et de plaines basses et plates (18% de plaines). Ceux-ci peuvent être séparés en trois unités géologiques :

a) *Le massif de l'Edough :*

Ce massif cristallin appartient aux plis numidiens d'Afrique de Nord. Il est orienté Sud-Ouest, Nord-Est sur une longueur de 50 Km et une largeur de 8 Km avec un point culminant à 1008 m (Kef sbaa). Sa partie principale est limitée au Sud-Ouest par la dépression du lac Fetzara, à l'Est par la plaine d'Annaba et au Nord par la mer.

b) *Plaines d'Annaba :*

Nous avons deux types de plaines :

- *Une petite plaine* : s'étend à l'Est de l'Edough entre les coteaux d'Annaba, le pied du Djebel Edough, les terminaisons du Boukantas et Bouhamra.

- *Une grande plaine* : s'étend à l'Est de l'Oued Seybouse (originellement rempli de garaas).

c) *Cordon dunaire littoral :*

Ce cordon est constitué de dunes, d'origine éolienne et marine, qui longent la mer du Nord-Ouest au Sud-Est depuis la cité Seybouse à l'Ouest à El-Kala à l'Est.

1.2. Hydrologie :

La région présente une hydrographie importante, caractérisée par la présence d'un versant raide et de ramifications à écoulement temporaire (Chaabets) qui en convergeant vont former des Oueds à faibles débits, qui inondent en hivers certaines zones de plaines. La wilaya d'Annaba compte beaucoup de bassins versants comme le bassin Nord-Ouest d'Oued Seybouse, de Boudjemaa, du littoral Nord et d'autres que l'on retrouve au sein de la ville

d'Annaba (Au *Nord-Est* : Oueds Zaafrania, Kouba, Chaabet Kef Lemette et Mersébu ; et Au *Sud-Ouest* : Oued Forcha, Sidi harb et Bouhdid).

1.3. Données climatiques :

La région d'étude se caractérise par un régime pluviométrique de type méditerranéen ou nous pouvons observer deux périodes distinctes. Une période pluvieuse qui s'étale sur six mois (Novembre à Avril) et une autre sèche (Mai à Octobre). La pluviosité dans la région se caractérise aussi par deux aspects principaux. D'une part, les perturbations cycloniques de l'Atlantique Ouest et Nord-Ouest, qui traversent l'Espagne et une partie de la Méditerranée en affectant le littoral algérien de Béjaia à El-Kala, et d'autre part, les dépressions méditerranéennes qui naissent en Méditerranée occidentale, particulièrement dans le golfe de Gênes-Corse-Sardaigne et qui n'affectent que la partie orientale du Tell algérien, favorisent ainsi l'installation d'un climat l'humide (**Tab. 1**).

Tableau 1. Données climatiques durant la période d'étude (source ONM) (T : Température moyenne annuelle, TM : Température maximale moyenne annuelle, Tm : Température minimale moyenne annuelle, PP : Précipitation totale annuelle de pluie et/ou neige fondue (mm), V : Vitesse moyenne annuelle du vent (Km/h), RA : Total jours de pluie durant l'année, SN : Total jours de neige durant l'année, TS : Total jours de tempête durant l'année, FG : Total jours de brouillard durant l'année, GR : Total jours de grêle durant l'année)

Année	T	TM	Tm	PP	V	RA	SN	TS	FG	GR
2015	18.2	23.7	13.1	747.24	13.6	95	1	35	11	5
2016	18.2	23.8	12.9	463.49	-	101	0	37	22	1
2017	18.0	23.3	12.6	650.20	12.1	88	0	33	38	3
2018	18.1	23.4	13.1	618.22	11.9	118	0	50	25	0
2019	18.0	23.2	12.8	868.44	12.0	119	0	58	21	1

- Bioclimat et végétation :

La région d'Annaba est caractérisée par un climat de type méditerranéen subhumide. Sur les hauteurs on retrouve un climat subhumide doux et sur les plaines un climat subhumide chaud.

Selon l'altitude, nous avons :

- *Les hauteurs* : on retrouve des maquis et broussailles de type méditerranéen qui résultent de la dégradation de la forêt originelle de Chêne liège qui ne subsiste plus du fait des incendies depuis la période coloniale. A partir des années 70, plusieurs aménagements

forestiers ont été réalisés (création de pistes forestières, de tranchées pare-feu, de banquettes de drainage des eaux pluviales et de reboisements d'Eucalyptus et de Pin maritime), mais le tout est en voie de dégradation par la multiplication des incendies et le manque d'entretien.

- *Les plaines* : caractérisées par la présence de terres alluvionnaires d'origine fluviale et laguno-marine qui peuvent servir pour les activités agricoles. L'activité agricole est surtout retrouvée au Sud du complexe d'El Hadjar (cultures extensives céréalières), dans la zone qui longe l'Oued Seybouse (les agrumes et les cultures saisonnières maraîchères) et sur les terres qui bordent le lac Fetzara, Kheraza, Oued Boudjemaa, Oued Méboudja, Sidi Salem ainsi que l'aéroport les Salines qui peuvent être exploitées pendant la saison sèche.

2. Description du modèle biologique

2.1. Taxonomie et distribution

L'hirondelle de cheminée ou rustique (*Hirundo rustica*) est un passereau migrateur semi-colonial ubiquiste, que l'on retrouve en général toujours près de l'Homme (**Scordato & Safran, 2014**). C'est pour cela qu'il constitue un bon modèle d'étude de par également sa maniabilité (capture et manipulation des pulli grâce à l'ouverture du nid sur le dessus), la facilité de localisation des nids, sa facilité d'observation, sa variabilité naturelle dans la structure sociale et sontaux élevé de dispersion natale (**Fig 04**).

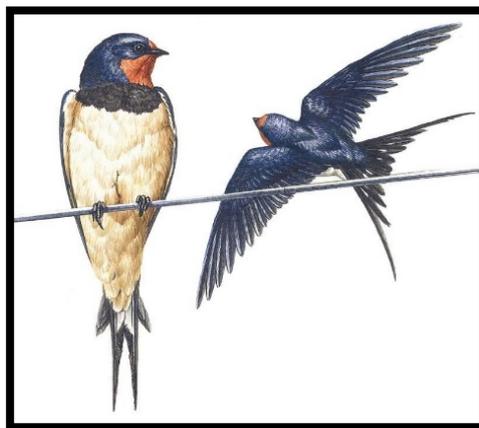


Figure 04 : l'Hirondelle de cheminée *Hirundo rustica rustica*

Cette espèce appartient à la famille des *Hirundinidae* qui compte 83 espèces dans le monde dont les martinets et les hirondelles de fenêtres (**Turner, 2004**). Elle regroupe 14 genres dont *Hirundo* qui compte trente-trois espèces (**Sériot & Alvès 2002**). Il existe six sous-espèces de

rustique : *Hirundo rustica rustica* (zones de reproduction en Europe, Asie mineure, Irak à l'est du Yémen, Sikkim à l'ouest des montagnes Sin-Kiang et en Afrique du Nord jusqu'à l'Est de la Libye) (Møller, 1994 ; Sakraoui *et al.*, 2005), *Hirundo rustica transitiva* (Liban, Syrie, Palestine), *Hirundo rustica savignii* (Egypte) (Møller, 1994), *Hirundo rustica erythrogaster* (Amérique du Nord, Sibérie orientale) (Del Hoyo *et al.*, 2018), *Hirundo rustica gutturalis* qui se reproduit à l'Est de l'Himalaya, au Nord de la Russie (Sibérie), Chine, Péninsule Coréenne et Japon (Ismail *et al.*, 2021). *Hirundo rustica tytleri* (Inde, Sibérie et Mongolie) (Møller, 1994, Turner, 2006) (Fig. 5).

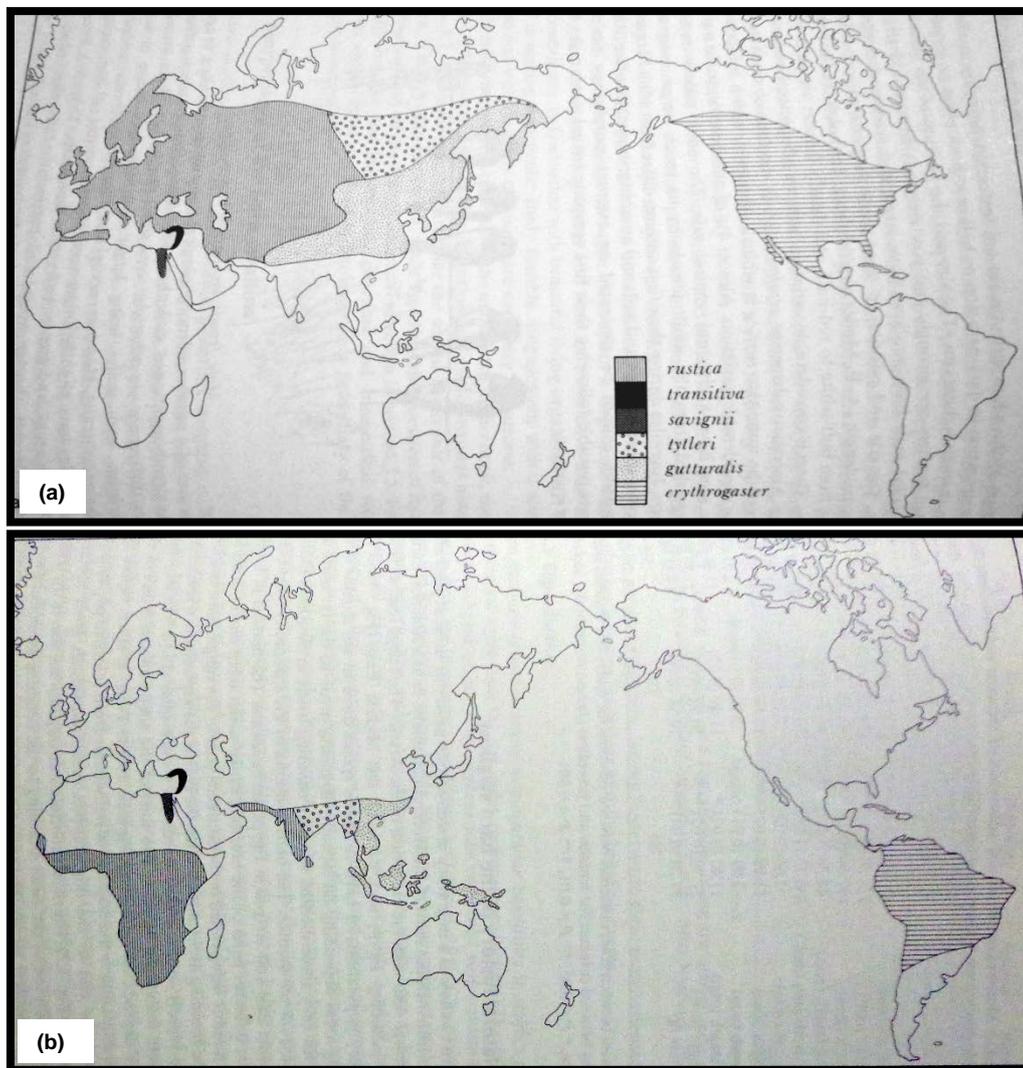


Figure 5 : Distribution géographique des différentes sous espèces d'Hirondelle rustique.

[(a) aire de reproduction, (b) aire d'hivernage]

(D'après Turner & Rose, 1990 in Møller, 1994)

2.2. Morphologie et dimorphisme sexuel

Elle est caractérisée par un dessus du corps et le bas de la gorge bleu-noir électrique, un front et une gorge dans le rouge brique et le dessous du corps blanc ou blanc-crème en fonction des populations. Le dessus de la queue est noir et parsemé de taches blanches. La queue est profondément fourchue avec de longs filets. Le bec et les pattes sont noirs. Le bec, très court, large et aplati est adapté pour la capture d'insectes en vol (Møller, 1994, Ambrosini, 2000 ; Turner, 2006 ; Dardenne ; 2013). Les adultes présentent un dimorphisme sexuel visible surtout par la longueur des filets de la queue, plus importants chez le mâle, mais également par la présence chez ces derniers d'une protubérance cloacale plus visible (Svensson, 1984 ; Møller, 1994). Les femelles sont reconnaissables facilement après capture grâce à leur plaque incubatrice dénuée de plumes par rapport celle des mâles qui est moins mise en évidence (Møller, 1994 ; Mullarnay *et al.*, 1999). Les jeunes ont des couleurs plus ternes que celle des adultes avec un front et une gorge blanc ocré, rouille ou rose brunâtre qui se teintent rapidement en rouge brique (Cramp, 1998). La détermination morphologique de leur sexe n'est possible qu'après la mue complète qui a lieu lors du premier hivernage en Afrique (Møller 1994 ; Hobson *et al.*, 2012 ; Dardenne ; 2013). La mue chez l'espèce est annuelle et unique, car elle débute avant ou tout de suite après la migration d'automne et se prolonge entre quatre mois et demi et six mois. Les jeunes, quant à eux, muent plus tôt et la plupart d'entre eux ont les plumes de la face en croissance avant le départ pour la migration d'automne. Par contre, le remplacement des autres plumes se termine dans la zone d'hivernage et cela, plus tardivement que chez les adultes (Møller 1994, Dardenne, 2013) (Fig 06).

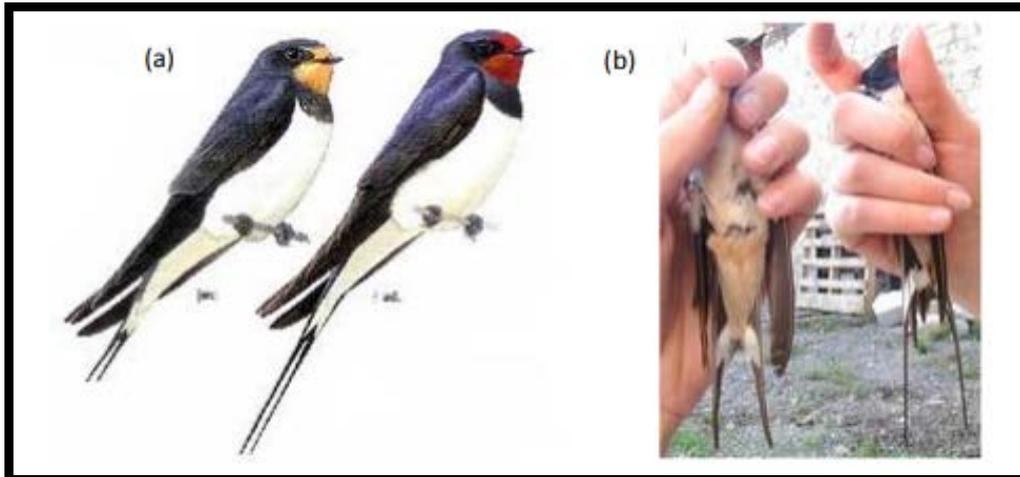


Figure 6 : (a) *Hirondelle rustique* juvénile (gauche), adulte mâle (droite). La femelle est similaire au mâle excepté ses filets plus courts et plus larges (Mullarnay *et al.*, 1999). (b) Comparaison des filets d'une femelle (à gauche) et d'un mâle (à droite). (Dardenne, 2013)

2.3. Reproduction et alimentation :

Les mâles arrivent dans les aires de nidification avant les femelles qui les rejoignent un peu plus tard ou ils seront déjà prêts pour la reproduction. Par exemple, la sous espèce qui niche en Algérie (*Hirundo rustica rustica*) entame sa migration printanière depuis les aires d'hivernage situés au centre et sud de l'Afrique (Hobson *et al.*, 2012) et arrive vers les premières régions de nidification en Algérie vers le début mars (Sakraoui *et al.*, 2005 ; Sakraoui, 2012) et plus tard dans les autres sites de nidification en Europe (Møller 1994). Une fois les couples formés après le choix des mâles par les femelles (Turner, 2006), le couple va construire un nid positionné en général au ras des plafonds, ou alors en rafistoler un ancien. Il aura la forme d'un bol et sera constitué de boue, de vase et de gravier très fin, mélangés et cimentés grâce à la salive des Hirondelles qui va permettre de solidifier le nid. Le nid sera tapissé juste avant la ponte de brins d'herbes, de radicelles et de plumes (Cramp, 1994 ; Turner, 2006). La femelle va pondre au rythme d'un œuf par jour tôt le matin (Cramp, 1988). La sous espèce *rustica* va effectuer deux pontes par saison de reproduction, ou elle va pondre de 4 à 6 œufs (Perrins et Cuisin, 1987, Sakraoui *et al.*, 2005) et parfois même 7 (Sakraoui, 2012), qu'elle va couver pendant 14 à 16 jours. Après l'éclosion, les pulli vont être nourris par les deux adultes, ils quitteront le nid à 20 jours (Cramp, 1988).

Pendant la période de reproduction, ce passereau est strictement insectivore, bien que généraliste dans le choix de ses proies. Il se nourrit dans des sites proches de son site de

nidification. Il capture sa nourriture en vol au-dessus de milieux ouverts tels que des plans d'eau, les champs, les marais et les plaines mais également près du bétail ou d'autres grands mammifères (**Dardenne, 2012**). Ce régime diversifié lui permet d'effectuer plusieurs pontes par saison de reproduction (**Møller, 1994 ; Turner, 2006**).

3. Méthodologie générale :

Notre étude a été réalisée durant quatre années successives (de 2015 à 2019) dans différents milieux de la wilaya de Annaba. Différents aspects ont été traités tout au long de la réalisation de cette thèse :

- L'aspect analyse du milieu préférentiel de l'espèce a été réalisée durant la première année, à travers le suivi et le calcul des densités au niveau de quatre communes de la wilaya de Annaba, différentes par leur degré d'urbanisation.
- L'aspect Analyse comparée de la phénologie de reproduction de l'espèce dans un milieu urbain a été réalisé durant la seconde année.
- L'aspect analyse du régime alimentaire a été étudié lors de la troisième année.
- les aspects liés à l'investissement parental ont été étudiés lors de la dernière année.

3.1. Sites échantillonnés :

Après une large prospection, nous avons échantillonné dans différentes communes de la wilaya d'Annaba où l'espèce et ses nids ont été retrouvés. Nous avons retenus six communes, différentes par leur degré d'urbanisation et dont la description est consignée dans la figure 7. Ces communes sont respectivement : la commune d'Annaba, d'El bouni, d'Oued El Aneb, d'Ain El Berda, Cheurfa , Eulma . Dans chaque commune, nous avons suivi les individus pour repérer les nids et les sélectionner en fonction de leur regroupement et de leur accessibilité (**Fig 02**).

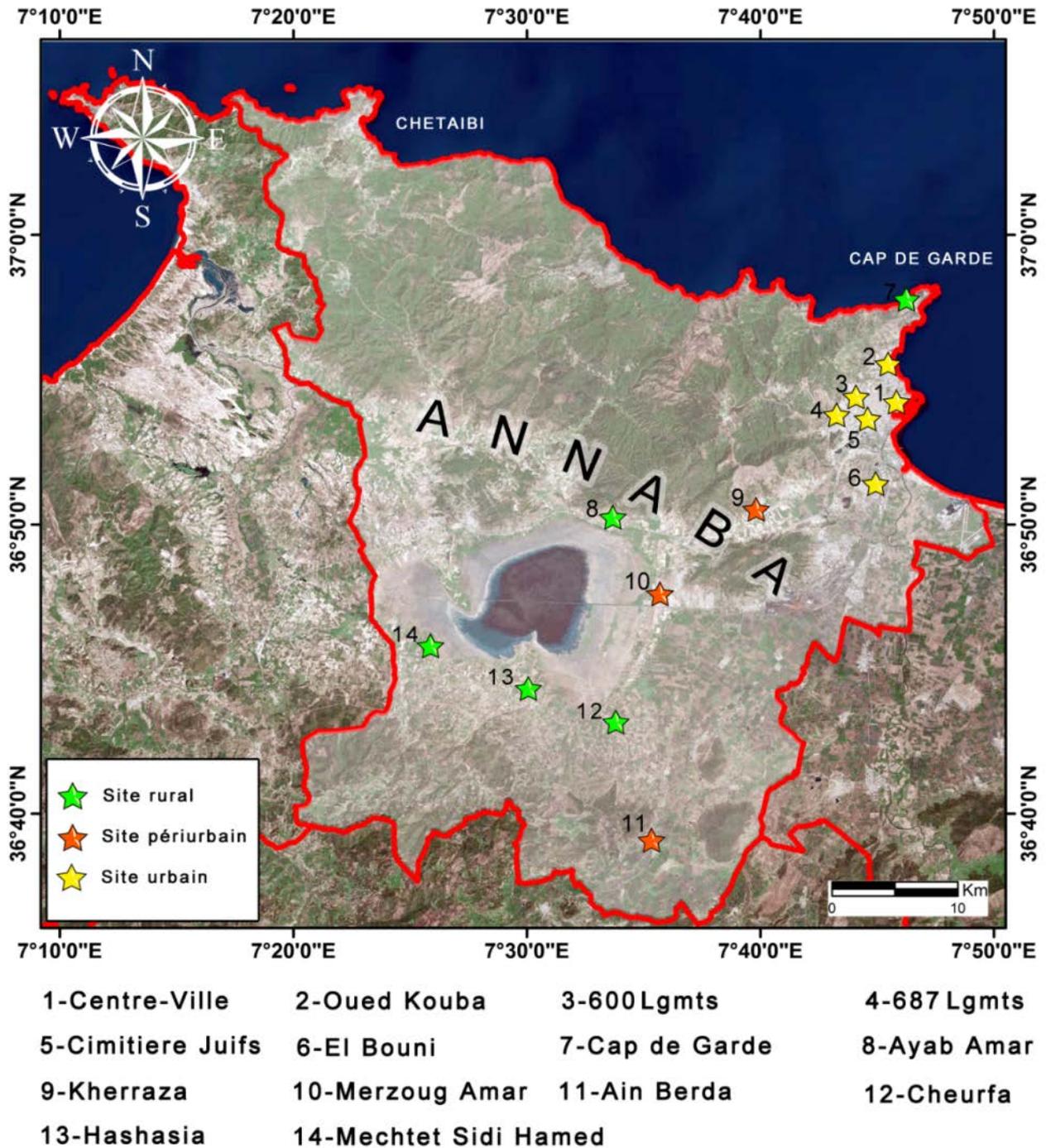


Figure 7 : Localisation des colonies de l'hirondelle rustique dans la wilaya d'Annaba.

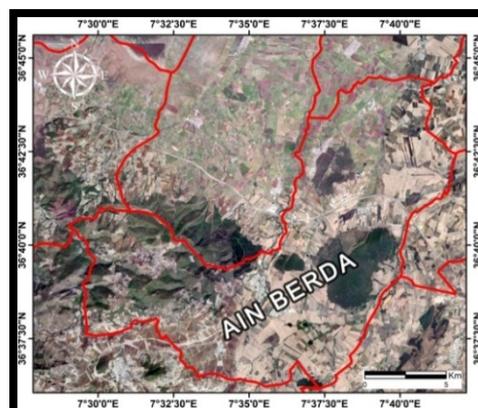
Coordonnées : 36° 54' 15" N, 7° 45' 07" E

Altitude : Min 156 m / Max 333 m

Superficie : 136.85 km²

Densité : 20 611 hab.

Commune d'Ain Berda



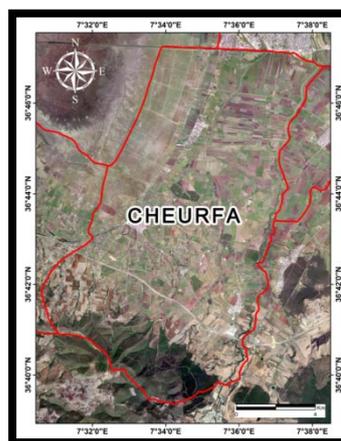
Coordonnées : 36° 43' 14" N, 7° 33' 15" E

Altitude : Min 10 m / Max 337 m

Superficie : 98 km²

Densité : 9875 hab.

Commune de Cheurfa



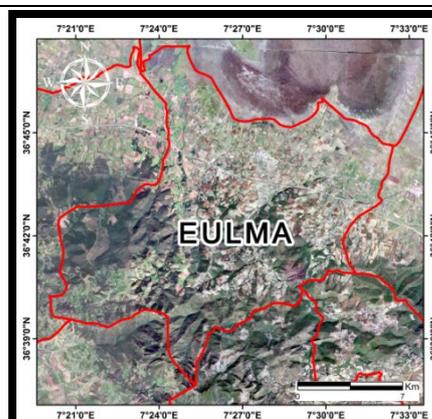
Coordonnées : 36° 44' 20" N, 7° 27' 42" E

Altitude : Min 10 m / Max 770 m

Superficie : 161 km²

Densité : 10 316 hab.

Commune d'Eulma



3.2. Suivi des nids et calcul des densités des couples nicheurs

Juste après l'arrivée des populations d'Hirondelle de cheminée (mi-février), nous avons fait un suivi régulier des nids et nous avons comptabilisés dans chaque site les paramètres suivants :

- **Le nombre de nids occupés et inoccupés :** nous avons noté la présence ou non d'une activité des adultes autour du nid. S'il y a absence d'activité, cela signifie que le nid est inoccupé. Le nombre de nids d'Hirondelle rustique occupés par d'autres espèces d'oiseaux a été noté.
- **Taille de la colonie :** en comptabilisant le nombre de nids construits les uns à côté des autres
- **Localisation du nid :** pour chaque nid occupé nous avons noté dans quelle structure le nid a été construit (garage, immeubles, granges, ... etc.).
- **Distance entre chaque nid dans la colonie.**
- **Hauteur du nid par rapport au sol.**
- **Le stade d'occupation des nids :** nous avons vérifié le contenu de chaque nid accessible à l'aide d'une échelle (jusqu'à 5m de hauteur) ou alors d'un téléphone portable avec une perche selfie. Différents stades ont été recensés : construction du nid, des œufs dans le nid, une incubation des œufs ou des oisillons ainsi que l'âge des oisillons. Pour les nids inaccessibles, une estimation sur leur occupation a été faite en fonction de la présence ou pas d'une activité des adultes autour du nid. Pour chaque nid, nous avons par la suite interrogé les riverains afin de voir s'il y a eu succès de la reproduction ou pas.
- **Densité des populations :** tous les nids occupés (peu importe le stade d'occupation) ont été géolocalisés afin d'avoir une estimation de la densité des couples nicheurs par hectare.

3.3. Suivi de la phénologie de la reproduction

Juste avant le début de la ponte, des visites régulières des nids nous ont permis de noter les paramètres suivants :

- **Date de ponte :** qui représente l'intervalle qui sépare la ponte du premier œuf du couple le plus précoce et la ponte du premier œuf du couple le plus tardif. (Pour toutes les dates le 1^{er} mars correspond au jour 1).
- **Période de ponte :** qui correspond à la durée entre la ponte du premier œuf du couple le plus précoce et la ponte du dernier œuf du couple le plus tardif.

- **La grandeur de ponte** : qui correspond au nombre d'œufs qu'une femelle peut pondre, en sachant qu'elle pond un œuf par jour.

- **Durée de l'incubation** : qui représente le nombre de jours qu'une femelle passe à couvrir les œufs.

- **Suivi des éclosions** : Durant la période prévue pour l'éclosion des œufs, les nids concernés par notre étude ont été visités tous les jours afin de déterminer la date de l'éclosion. L'âge des poussins a pu être déterminé en utilisant l'échelle décrite par **McGinn et Clark (1978)** pour connaître l'âge des pulli d'Hirondelle de cheminée. (**Tab.3**).

Tableau 3. Détermination de l'âge des poussins. (McGinn et Clark, 1978)

Age (jours)	Critères de détermination
1 ^{er} jour	Les œufs n'ont pas tous éclos, les oisillons sont aveugles ; le diamant sur le bec est toujours présent.
4-5 jours	Les yeux sont entre ouverts. Les plumes primaires et secondaires commencent à pousser.
5-6 jours	Les plumes primaires de la queue commencent à pousser.
6 jours	La croissance du tarse se ralentit. Les oisillons peuvent être bagués.
9 jours	Les plumes de la queue ont poussé.
10 jours	La croissance du tarse est pratiquement complète.
13 jours	Les plumes ont poussé presque dans tout le corps.
16 jours	Dernière date possible pour le baguage.
18 jours	Capable de voler.
20-22 jours	Les oisillons quittent le nid.

A l'éclosion (J0), les poussins ont été marqués sur les pattes, le ventre et la tête par un feutre indélébile, puis bagués à l'âge de 5 jours avec des bagues métalliques numérotées et colorées indispensables à leur reconnaissance ultérieure et leur suivi. Les oisillons ont été pesés à 5, 9, 12 et 15 jours juste avant l'envol. A 15 jours, nous avons mesuré la longueur du tarse et de l'aile.

- **Succès moyen à l'éclosion** : qui exprime le rapport entre le nombre d'œufs éclos sur le nombre d'œufs pondus.

- **Succès moyen de la reproduction** : qui correspond au rapport du nombre d'oisillons envolés sur le nombre d'œufs pondus.

- **Succès moyen à l'envol** : qui représente le rapport du nombre d'oisillons envolés sur le nombre d'œufs éclos.

3.4. Mensuration des œufs

Nous avons pris les mensurations des œufs à l'aide d'un pied à coulisse (précision 0.01 mm), en mesurant la longueur et la largeur, nous avons ensuite calculé le volume en utilisant la formule développée par **Manning** (1979) :

$$V = 0.000507 LB^2$$

[*L* : longueur de l'œuf (mm) ; *B* : largeur de l'œuf (mm) ; *v* : volume de l'œuf (cm³)].

3.5. Etude du Régime alimentaire des pulli de l'Hirondelle de cheminée

Nous avons suivi 30 nichées de la première ponte et 09 nids de la seconde ponte. Nous avons utilisé durant toute la saison de reproduction deux dispositifs distincts : en l'occurrence le dispositif de Récolte de proie « pose de colliers » ainsi que l'analyse des fientes.

3.5.1. Dispositif de pose des colliers

Ce dispositif a été appliqué sur 11 nichées de la première ponte et 06 nichées de la seconde ponte. La pose des colliers a été effectuée en suivant la méthode de **Faivre (1986)**. Elle consiste à serrer légèrement un fil métallique souple, fin (0.5 mm de diamètre) et gainé (fil téléphonique) autour du cou des oisillons. Ceci va permettre de retenir les proies sans gêner la respiration des pulli. Les colliers ont été placés à l'âge de 5, 9, 12 et 15 jours. La pose de colliers se fait durant 1 heure par jour. Les proies ont été collectées au niveau du gosier des poussins à chaque nourrissage par les adultes et ceci en retirant le bol alimentaire (constitué de plusieurs proies) l'aide d'une pince à bout rond accompagnée par une légères pressions avec le pouce sur le cou du poussin. Les proies collectées ont été d'abord conservées au frais dans une glacière afin d'éviter leur détérioration. Ensuite, les spécimens ont été triés en différentes catégories et identifiées après avoir été examiné sous

loupe binoculaire. L'identification des ordres taxonomiques des items proies a été réalisée à l'aide de plusieurs clés de déterminations (**Leraut, 2003**).

3.5.2. Dispositif de récolte des fientes

Ce dispositif a été appliqué sur 19 nichées de la première ponte et 03 nichées de la seconde ponte. Nous avons recueilli les excréments d'hirondelles rustique sous leurs nids, les échantillons ont été prélevés dans des sacs en plastique zip étiquetés. La préparation de chaque fiente se fait dans une boîte de Pétri à part après une imprégnation humide alcoolique suivie par une trituration et une répartition des fragments sur tout le fond de la boîte de Pétri. On laisse évaporer l'éthanol puis nous procédons au quadrillage du fond de la boîte de Pétri. Nous avons trié les pièces sclérotinisées, tels que des têtes, des thorax, des prothorax, des mandibules, des abdomens, des ailes, des fémurs, des tibias, des tarse (**Fig 08**)



Figure 08 : Protocole illustré de traitement des fientes.

La phase d'identification taxonomique des différents fragments non digérés constitue la phase la plus délicate. La caractérisation se base sur les caractéristiques morphométriques des capsules céphaliques, têtes, pattes, mandibules, abdomens, thorax, élytres, et ailes. L'identification taxonomique s'est appuyée sur les clés dichotomiques de **Leraut, (2003)** et **Mignon et al, (2016)**. Enfin, les proies ont été comptabilisées sous loupe binoculaire (LEICA DM 750), pour le calcul des différents paramètres de structure des items proies.

L'analyse du régime alimentaire de l'hirondelle rustique est basée sur le calcul d'un certain nombre de paramètres permettant de mieux caractériser la composition et la structure en items – proies. L'analyse de la variation saisonnière de ces paramètres a été également étudiée.

Fréquence d'occurrence ou Indice de présence (I. P en %)

L'indice de présence exprime le nombre d'apparition de chaque item alimentaire ou catégorie alimentaire sur le nombre total des proies ou des fientes analysées :

$$I. P = \frac{N. A}{N_t} \times 100 \quad \text{ou :} \quad \begin{array}{l} N. A : \text{Nombre d'apparition} \\ N_t : \text{Nombre total des fèces analysées} \end{array}$$

Abondance (Ab)

L'Abondance se définit comme étant l'effectif total d'un item proie (nombre d'individus) ou d'une catégorie alimentaire (nombre d'items proies).

Fréquence relative ou (Abondance relative)

C'est l'Abondance d'un item proie A par rapport à l'Abondance totale de tous les items proies. Elle est exprimée en pourcentage.

$$F. R. = \frac{Ab}{Ab_t} \times 100 \quad \text{ou :} \quad \begin{array}{l} Ab : \text{Abondance de l'item A} \\ Ab_t : \text{Abondance totale de tous les items proies.} \end{array}$$

Notion de biodiversité :

L'indice de diversité permet d'exprimer la structure d'un peuplement et la façon dont les individus sont répartis entre diverses espèces (**Daget, 1979**). Nous avons adapté l'indice de Shannon et Weaver pour calculer la diversité du régime alimentaire :

$$H' = - \sum p_i \log_2 p_i \quad \text{ou :} \quad p_i : \text{la fréquence d'occurrence de chaque item alimentaire ou catégories alimentaires}$$

Cette diversité est encore appelée : diversité intra-biotope ; elle mesure le niveau de complexité du peuplement (ici l'ensemble des items alimentaires). Plus les items alimentaires sont nombreux, plus leur abondance est voisine et plus la diversité du régime alimentaire est élevée. La diversité maximale $H' \text{ max}$ est fonction du nombre total des items alimentaires (*in Virgos et al. 1999*) :

$$H \text{ max} = \log_2 S \quad \text{ou :} \quad S : \text{Nombre total des items alimentaires ingérés.}$$

Equirépartition ou Equitabilité :

Le calcul de l'équitabilité nous permet de distinguer dans quelle mesure les diversités (H') respectives aux items alimentaires se rapprochent de leur diversité maximale ($H \text{ max}$), laquelle correspond à l'équilibre stable compatible avec le milieu. L'indice d'équitabilité est donné par la formule suivante (*Virgos et al. 1999*) :

$$E = \frac{H'}{H \text{ max}} \times 100 \quad \text{ou :} \quad \begin{array}{l} H' : \text{diversité de SHANNON} \\ H \text{ max} : \text{diversité maximale} \end{array}$$

3.6. Etude des fréquences de nourrissage de l'Hirondelle de cheminée :

Les nids ont été observés à plusieurs intervalles de temps avec un dispositif visuel en l'occurrence des petites caméras cachées à proximité des nids (Sony Cyber-shot DSC-W230). L'enregistrement d'une heure/nid nous a permis d'obtenir une observation cumulative de 11 heures par jour (de 8 h à 19 h). À la fin de cette étude, un total de 90 heures d'enregistrement a été réalisé. Toutes ces observations ont été regroupées selon l'âge des oisillons en deux catégories : (0 à 6 jours) et (10 à 16 jours). Le premier représente l'âge où la croissance des jeunes est exponentielle, tandis que le second est caractérisé par la fin de la croissance du poids des Nids (une stabilisation du poids). La fréquence de l'alimentation, définie par **Sokal et Rohlf (1981)** Comme étant « le nombre de visites au nid par heure effectuées par les deux parents », a été calculée. Le nombre de fois que les couples (mâle et femelle) ont désinfecté le nid a également été noté.

4. Analyse statistique des données :

La représentation graphique de nos résultats a été faite sous forme d'histogrammes et de secteurs. Les matrices ont été établies sous Excel pour le calcul des différents paramètres de reproduction, de morphométrie des œufs et des adultes, et de l'analyse de la structure du régime alimentaire. Nous avons établi des comparaisons de moyennes par le test « t de student », et par l'analyse de la variance à un critère « ANOVA » grâce au logiciel Minitab® (éd. 2017).

Résultats

RESULTATS

1. IDENTIFICATION DES SITES PREFERENTIELS DE NIDIFICATION

Nous avons mené une étude prospective sur la densité des couples nicheurs dans différents milieux obéissant à un gradient d'urbanisation, dans le but de corréliser le facteur densité avec le milieu préférentiel qui réunit tous les besoins de l'espèce. L'étude qui en découle a été réalisée du mois de mars et jusqu'au début juin 2015. La prospection de différentes localités de la wilaya de Annaba nous a permis de sélectionner trois types de milieux, en l'occurrence : urbain, péri urbain et rural.

Globalement, les premières Hironnelles rustiques ont été observées en zone rurale au début du mois de mars, puis progressivement dans le milieu péri urbain et urbain vers la mi-mars 2015. Les Hironnelles rustiques semblent retarder un peu leur date d'arrivée par rapport aux observations faites il y a une dizaine d'années dans notre région.

1.1. Nombre de nids recensés :

Au total, nous avons recensé 211 nids tous milieux confondus. Sur tous ces nids, 175 étaient occupés par l'Hironnelle rustique soit 83% des nids et 36 étaient vides ou abandonnés, soit 17% des nids (**Fig. 7**). On considère par définition qu'un nid est occupé s'il y'a au moins une activité des adultes autour et au moins un œuf pondu. Il faut noter également que les nids abandonnés par l'espèce sont le résultat d'une pression de dérangement induite par des travaux de réfection des locaux dans lesquels les nids ont été trouvés.

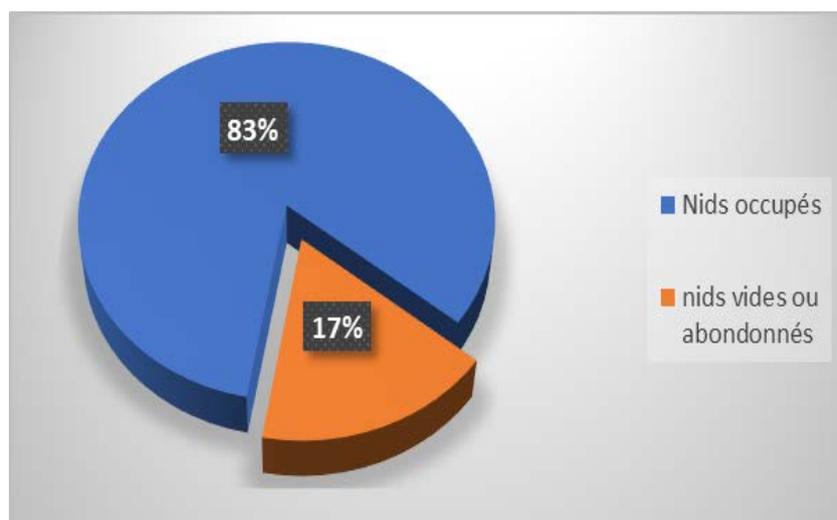


Figure 9 : Pourcentage des nids occupés et non occupés lors de l'étude.

Sur tous les nids d'hirondelle recensés lors de notre étude, 97 sont retrouvés en milieu urbain (55% des nids), 63 en milieu péri urbain (36% des nids) et 15 en milieu rural (9% des nids) (**Tab. 4 ; Fig. 8**)

Tableau 4. Nombre de nids occupés dans les trois milieux étudiés.

	Milieu rural	Milieu urbain	Milieu péri urbain
Nids occupés	15	97	63

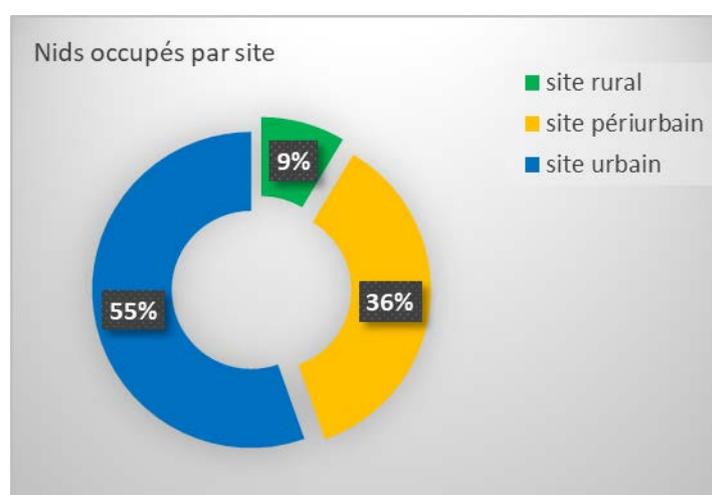


Figure 10 : Pourcentage des nids d'Hirondelle rustique occupés dans les trois sites d'étude.

1.2. Choix des lieux de construction des nids d'Hirondelles rustiques

Les lieux d'installation des Hirondelles rustiques sont très variés. En effet, nous avons observés lors de notre étude une construction des nids majoritairement dans les immeubles (53%), suivie par les habitations individuelles (31%), diverses infrastructures (écoles, mosquées, mairies, arcades...) (12%) et hangars (4%). Il est à noter que le dernier site a subi une rénovation totale, induisant de nouvelles constructions de nids mais qui ont été abandonnées suite à la grande pression de dérangement (**Fig. 11**).

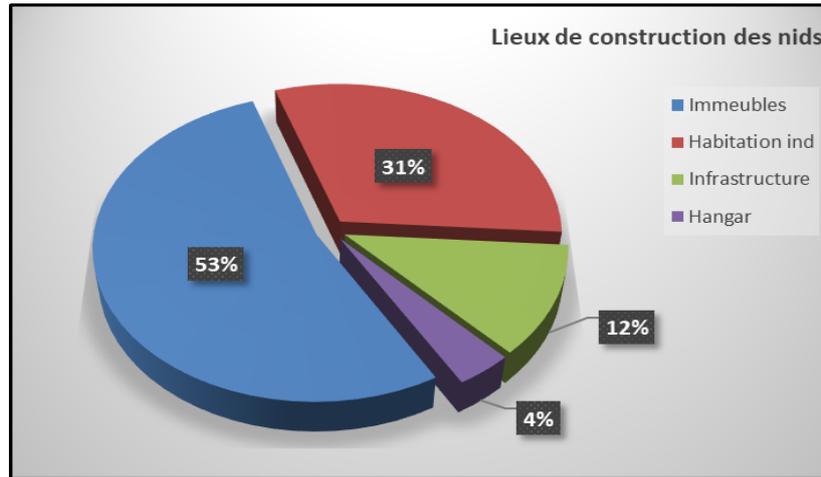


Figure 11 : Lieux d'installation des nids d'Hirondelle rustique concernés par l'étude.

1.3. Taille des colonies d'Hirondelle rustique :

Les résultats obtenus montrent que la taille des colonies est plus importante en milieu urbain. En Effet, on observe une moyenne de 38.8 individus/colonie en milieu urbain, par rapport à 31.2 individus/colonie en milieu périurbain et 6 individus/colonie en moyenne en milieu rural (**Tab. 5**). L'analyse de la variance montre l'existence de différences significatives entre les milieux ($F = 3.99$, $p = 0.04$, **S.***). La comparaison entre le milieu urbain – périurbain ($F = 0.47$, $ddl = 6$, $p = 0.8$, n.s.), et urbain – rural ($F = -2.12$, $ddl = 8$, $p = 0.1$, n.s.) ne montre pas l'existence de différences significatives. Par contre, il existe une différence très hautement significative entre les sites périurbain – rural ($t = 5.65$, $ddl = 6$, $p = 0.000$, **T.H.S.*****).

Tableau 5. Taille des colonies d'Hirondelles rustiques dans les trois types de milieux.

[(Effectif) Moyenne \pm Ecart type (Minimum – Maximum)]

	Milieu rural	Milieu urbain	Milieu péri urbain
Taille des colonies	(5) 6 ± 1.4 (4 – 8)	(5) 38.8 ± 34.6 (18 – 100)	(3) 31.2 ± 14 (14 – 64)

Le pourcentage de colonies d'Hirondelle rustique le plus important est observé en milieu urbain avec 56 % des individus, suivi par le milieu périurbain avec 36 % et enfin, par le milieu rural avec un pourcentage de 8 % des individus (**Fig. 12**).

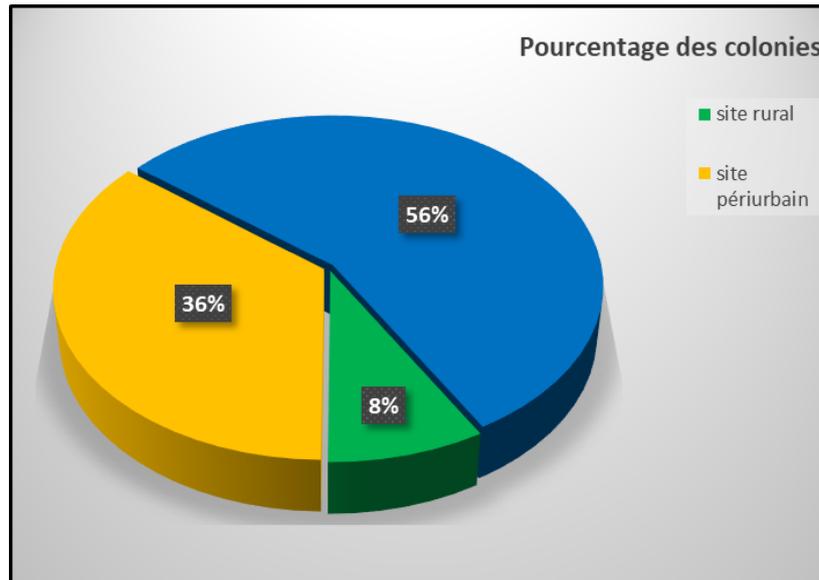


Figure 12 : Proportion des colonies d'Hirondelle rustique dans les trois types de milieux.

1.4. Distance entre les nids pour chaque colonie

La distance moyenne entre les nids dans l'ensemble des colonies est de 39.8 m [(148) 39.8 ± 26.9 (4 – 119)]. L'examen de la figure 11 montre que la distance entre les nids dans le milieu rural (26.10 m) est moins importante que dans les milieux périurbains (46.61m) et urbains (37.14 m) (**Tab. 6, Fig. 13**). L'analyse de la variance montre qu'il existe des différences significatives entre les trois milieux ($F = 3,52$; $p = 0.032$, **S.***). Il existe des différences très hautement significatives de la distance entre les nids entre le milieu rural et urbain ($t = -2.77$, $ddl = 26$, $p = 0.001$, **T.H.S.*****), ainsi qu'entre le milieu rural et péri urbain ($t = -3.89$, $ddl = 48$, $p = 0.000$, **T.H.S.*****). Par contre, entre le milieu urbain et périurbain ($t = -1.87$, $ddl = 89$, $p = 0.06$, n.s.) il n'existe aucune différence significative.

Tableau 6. Distance moyenne entre les nids dans les trois sites d'étude.

[(Effectif) Moyenne ± Ecart type (Minimum – Maximum)]

	Milieu rural	Milieu péri urbain	Milieu urbain
Distance entre les nids (m)	(10) 26.10 ± 9.53 (7-35)	(53) 46.61 ± 31.49 (4-113)	(86) 37.14 ± 24.24 (4.8-119)

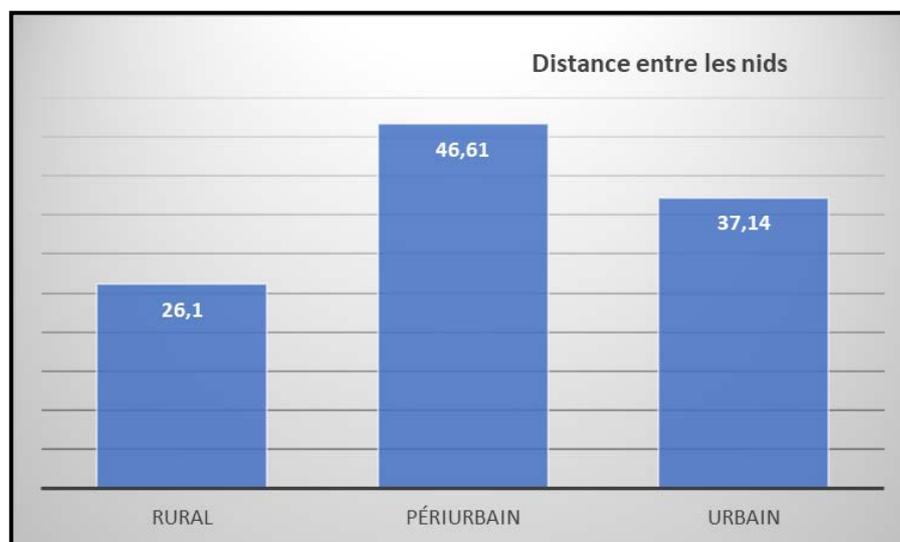


Figure 13 : Distance entre les nids chez l'Hirondelle rustique dans les trois types de milieux.

1.5. Hauteur des nids par rapport au sol

La hauteur des nids par rapport au sol est de 10.03 m en milieu urbain et de 5.14 m en milieu péri urbain. En milieu rural elle est de 2.9m (**Tab.7, Fig. 14**). L'analyse de la variance montre l'existence de différences très hautement significatives ($F = 53.4$, $p = 0.000$, **T.H.S. *****) entre les trois sites. Cette différence est très hautement significative entre le milieu urbain et périurbain ($t = 9.19$, $ddl = 196$, $p = 0.000$, **T.H.S. *****) ainsi qu'entre le milieu urbain et rural ($t = 6.41$, $p = 0.000$, **T.H.S. *****). Par contre, elle n'est pas significative entre le milieu rural et péri urbain ($t = -1.97$, $p = 0.12$, n.s.).

Tableau 7. Hauteur des nids par rapport au sol dans les trois sites

[(Effectif) Moyenne \pm Ecart type (Minimum – Maximum)]

	Milieu rural	Milieu péri urbain	Milieu urbain
Hauteur des nids/Sol (m)	(12) 2.9 \pm 0.29 (2.5-3.4)	(80) 5.14 \pm 2.64 (2.5-15)	(118) 10.02 \pm 4.37 (3-16.8)

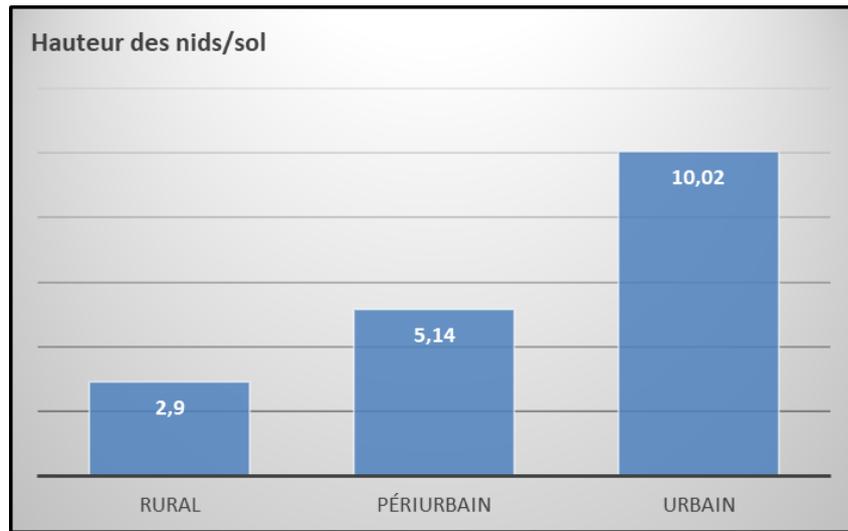


Figure 14 : Hauteur des nids par rapport au sol chez l'Hirondelle rustique dans les trois types de milieux.

1.6. Densité des couples nicheurs dans les trois types de milieux : (Tab. 8, Fig. 15)

L'étude de la densité des couples nicheurs a montré des valeurs complètement différentes d'un milieu à un autre. En Effet, c'est en milieu urbain que nous retrouvons la plus forte densité par 10 hectares avec 3.78 couples / 10 ha, suivie par celle du milieu périurbain mais de très loin avec 3.01 couples / 10 ha. Enfin, la densité la plus faible est observée en milieu rural avec 0.58 couple / 10 ha. L'analyse statistique reflète l'existence de différences significatives des densités entre les trois milieux ($F = 3.52$, $p = 0.05$, S.*). Cette différence est constatée entre le milieu rural et le péri urbain ($t = -4.2$, $ddl = 2$, $p = 0.05$, S.*), par contre elle est non significative entre le milieu rural et urbain ($t = -2.12$, $ddl = 4$, $p = 0.1$, n.s.), ainsi que le milieu péri urbain et urbain ($t = 0.48$, $ddl = 5$, $p = 0.6$, n.s.).

Tableau 8. Densité des couples nicheurs par 10 hectares des populations de l'Hirondelle rustique dans les trois milieux étudiés.

	Milieu rural	Milieu péri urbain	Milieu urbain
Densité des couples	(5) 0.58 ± 0.14	(3) 3.01 ± 1	(5) 3.78 ± 3.37
/ 10ha	(0.39 – 0.78)	(2.34 – 4.15)	(1.75 – 9.74)



Figure 15 : Densité des couples nicheurs par 10 hectares dans les trois milieux étudiés.

2. PHENOLOGIE DE LA REPRODUCTION DE L'HIRONDELLE RUSTIQUE

Pour les besoins de cette étude, nous avons pris en considération les données relatives aux couples recensés dans le milieu urbain durant l'année 2016. Nous avons donc noté différents paramètres de la reproduction de 20 nichées durant la première ponte et 09 nichées durant la seconde ponte. Sur toutes les nichées étudiées qui ont effectuées une première ponte, 45% ont procédé à une seconde ponte. De ce fait, 69 % sont des premières pontes et 31 % des secondes pontes (**Fig. 16**).

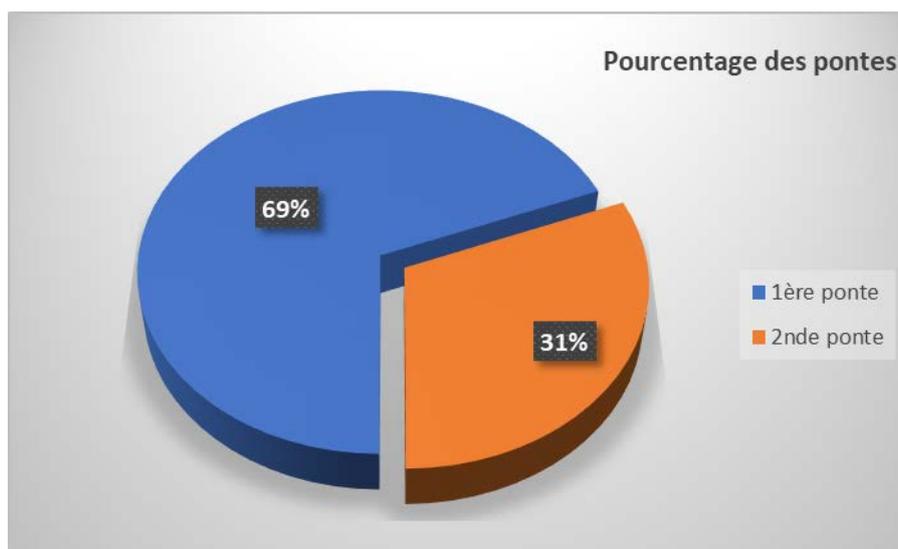


Figure 16 : Pourcentage de premières et secondes pontes chez l'Hirondelle rustique

2.1. Date et période de ponte :

La date moyenne de ponte durant l'année 2016 a lieu le 1^{er} mai pour la première ponte ; le premier œuf du couple le plus précoce a été pondu le 14 Avril et celui du plus tardif le 18 Mai, soit une durée de ponte de 35 jours. Pour la seconde ponte, le premier œuf a été pondu le 19 juin et celui de la nichée tardive le 14 juillet. Par conséquent, la date de ponte moyenne a lieu le 2 juillet avec une durée de ponte de 26 jours. Il existe un intervalle de 62 jours entre la date moyenne de la première et seconde ponte. La période totale de ponte s'étale sur 92 jours (**Tab. 9**).

Tableau 9. Date et période de ponte de l'Hirondelle rustique pendant la saison de reproduction 2016
[(Effectif) Moyenne \pm Ecart type (Minimum – Maximum)]

Paramètres	Première ponte	Seconde ponte
Date de ponte du 1 ^{er} œuf	14 avril	19 juin
Date de ponte moyenne	(35) 31 \pm 10,25 (14-48)	(26) 92,5 \pm 7,65 (80-105)
Période de ponte	35 jours	26 jours

2.2. Grandeur de ponte :

La grandeur de ponte de la première couvée de 2016 est de 4,6 œufs, avec 3 à 6 œufs pondus par nichée. Pour la seconde couvée, la grandeur moyenne de ponte est de 3,33 œufs avec un intervalle de 3 à 4 œufs par femelle. La comparaison entre les deux couvées montre que la grandeur moyenne de ponte est significativement plus élevée (*Très hautement significative*) pour la première ponte par rapport à la seconde ($t = 3.77$, $ddl = 27$, $p < 0.001$, **T.H.S.***)** (**Tab. 11**). Le nombre d'œufs par ponte est assez variable, il est pour la première ponte en majorité de 5 œufs avec un pourcentage 35% sur le nombre total des pontes. Ensuite, nous avons 30% de pontes à 4 œufs, 20% à 6 œufs et 15% à 3 œufs. Pour la seconde ponte, les pontes les plus fréquentes sont celles à 3 œufs avec un pourcentage de 66.67 % et 33.33 % de pontes à 4 œufs (**Fig. 17**).

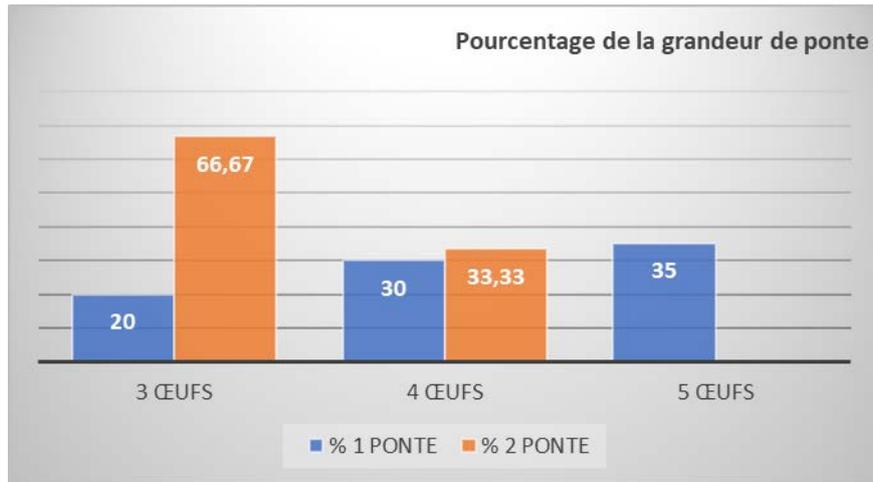


Figure 17 : Pourcentage des grandeurs de pontes pour la première et la seconde ponte de l'Hirondelle rustique

La grandeur de ponte diminue au cours la saison de reproduction 2016. En effet, les résultats montrent qu'il existe une corrélation négative et hautement significative entre les deux paramètres ($r = -0,56$, $p = 0,002$, **H.S.****). (**Fig. 18**)

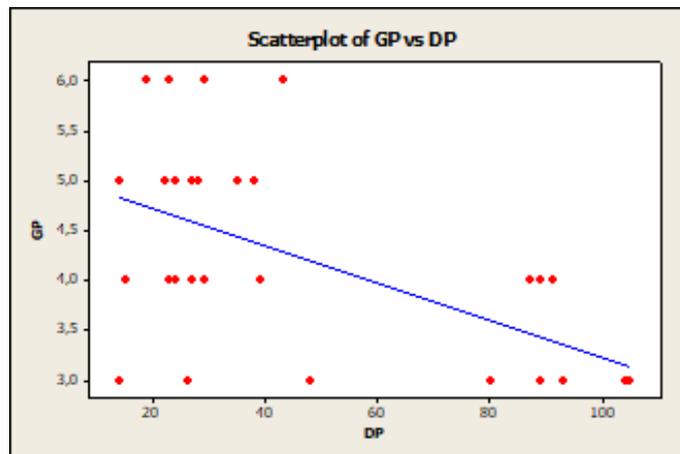


Figure 18 : Relation entre la date de ponte et la grandeur de ponte chez l'Hirondelle rustique

2.3. Durée de l'incubation :

Durant l'année 2016, la durée moyenne de l'incubation des œufs de la première ponte est estimée à 14,7 jours avec un intervalle compris entre 14 et 16 jours. Pour la seconde ponte, la durée moyenne est de 14,56 jours avec un intervalle de 14 à 15 jours d'incubation (**Tab. 11**). L'analyse statistique ne montre pas de différences significatives de la durée de l'incubation des œufs entre les deux pontes ($t = 0,58$, $ddl = 27$, $p = 0,57$, n.s.).

Les résultats montrent qu'il n'existe pas de relation entre la date de ponte et la durée de l'incubation ($r = -0.09$, $p = 0.63$, n.s.) (**Fig. 19**).

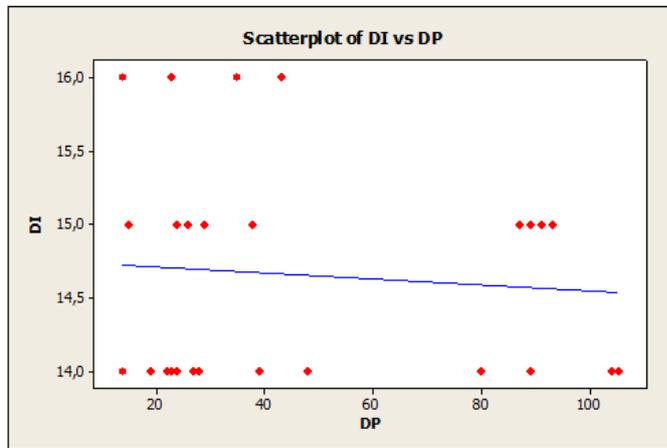


Figure 19 : Relation entre la date de ponte et la durée de l'incubation chez l'Hirondelle rustique

L'analyse de la corrélation entre la durée de l'incubation et la grandeur de ponte ne montre pas l'existence d'une relation significative entre les deux paramètres ($r = 0.192$, $p = 0.32$, n.s.) (**Fig. 20**).

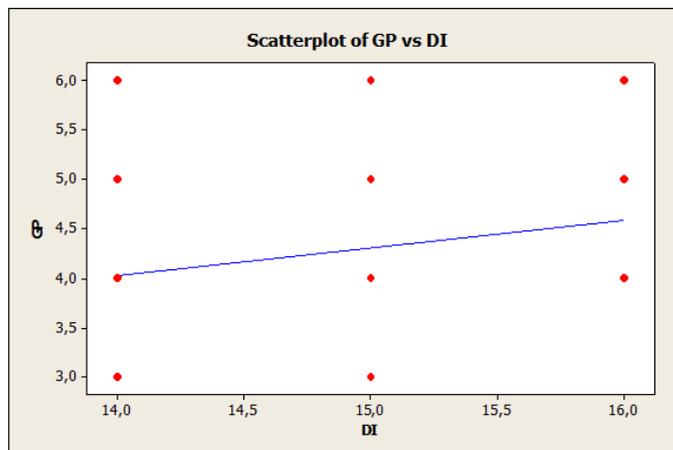


Figure 20 : Relation entre la grandeur de ponte et la durée de l'incubation chez l'Hirondelle rustique

2.4. Mensurations des œufs (Tab. 10)

Les résultats relatifs aux mensurations des œufs montrent une longueur moyenne de 19.12 mm pour la première ponte et 19.27 mm pour la seconde ponte. L'analyse statistique ne montre pas de différences significatives de la longueur des œufs entre les deux pontes de l'espèce ($t = -1.70$, $ddl = 77$, $p = 0.09$, n.s.)

La largeur des œufs est successivement pour les deux pontes de 13.92 mm et 13.83 mm. Le test t ne montre l'existence de différences de la largeur des œufs entre les deux pontes de l'espèce ($t = 1.04$, $ddl = 77$, $p = 0.30$, n.s.)

Le volume des œufs est en moyenne de 1.88 cm³ pour la première ponte et 1.87 cm³ pour la seconde. La comparaison entre les deux pontes ne montre pas de différences significatives du volume des œufs ($t = 0.47$, $ddl = 77$, $p = 0.64$, n.s.).

Tableau 10. Mensuration des œufs des deux pontes de l'Hirondelle rustique

[(Effectif) Moyenne \pm Ecart type (Minimum – Maximum)]

	Première ponte	Seconde ponte
Longueur (mm)	(53) 19.12 \pm 0.42 (18.1 – 19.8)	(26) 19.42 \pm 0.27 (18.5 – 19.8)
Largeur (mm)	(53) 13.92 \pm 0.45 (13.1 – 14.6)	(26) 13.83 \pm 0.30 (13.1 – 14.3)
Volume (cm³)	(53) 1.88 \pm 0.08 (1.72 – 1.98)	(26) 1.87 \pm 0.06 (1.72 – 1.98)

2.5. Nombre d'œufs éclos :

La moyenne du nombre d'œufs éclos est de 4.35 pour la première ponte et 3 pour la seconde ponte (**Tab. 11**). Il existe une différence très hautement significative du nombre d'œufs éclos entre les deux pontes ($t = 5.05$, $ddl = 25$, $p = 0.000$, **T.H.S.*****).

Les résultats montrent qu'il existe une corrélation négative et très hautement significative entre la date de ponte et le nombre d'œufs éclos ($r = -0.57$, $p = 0.001$, **T.H.S.*****). Ce qui signifie qu'il y a une diminution du nombre d'œufs éclos au cours de la saison de reproduction (**Fig. 21**).

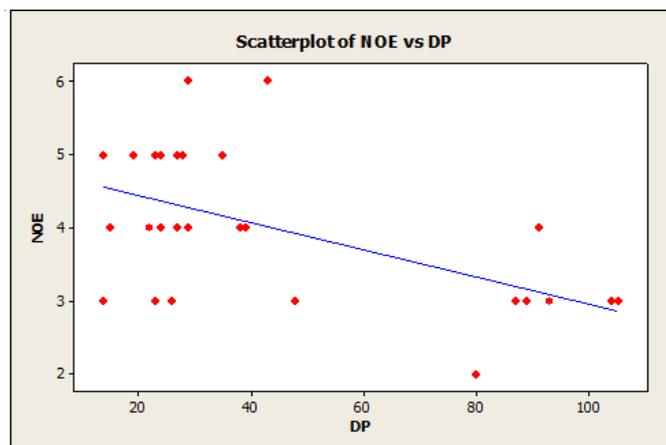


Figure 21 : Relation entre la date de ponte et le nombre d'œufs éclos chez l'Hirondelle rustique

2.6. Succès à l'éclosion :

Le succès à l'éclosion est de 94% pour la première ponte. Pour la seconde ponte le succès à l'éclosion est de 90,7% (**Tab. 11**). L'analyse statistique montre qu'il n'existe pas des différences significatives du succès à l'éclosion entre les deux pontes ($t = 0,67$; $ddl = 27$; $p < 0,5$; n.s.).

La **figure 22** montre qu'il n'y a pas de relation ou de corrélation entre la date de ponte et le succès à l'éclosion ($r = -0.03$, $p = 0.88$, n.s.).

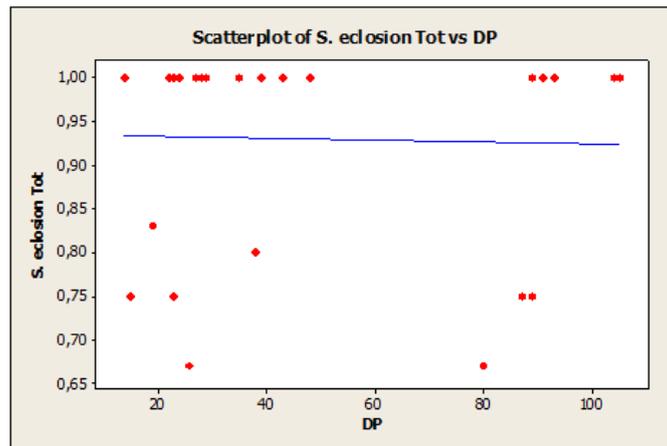


Figure 22 : Relation entre la date de ponte et le succès à l'éclosion chez l'Hirondelle rustique

La même tendance est observée concernant la relation entre la grandeur de ponte et le succès à l'éclosion. En effet, il n'y a aucune relation significative entre les deux paramètres ($r = 0.16$, $p = 0.42$, n.s.) (**Fig. 23**).

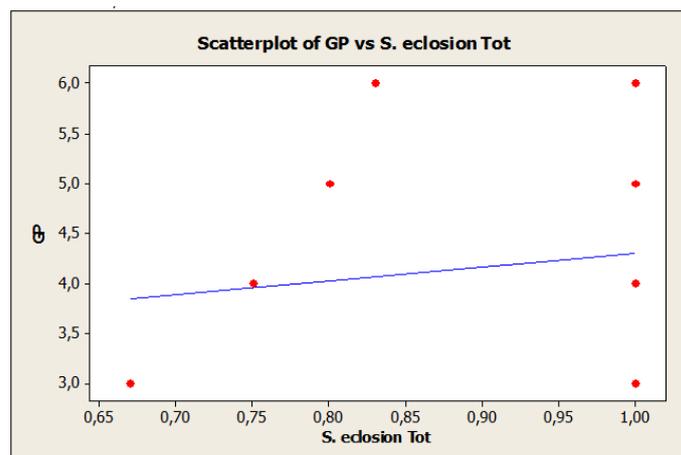


Figure 23 : Relation entre la date de ponte et le succès à l'éclosion chez l'Hirondelle rustique

2.7. Jeunes à l'envol :

En moyenne, le nombre de pulli qui ont quitté le nid est de 4.25 pour la première ponte et de 3 pour la seconde ponte (**Tab. 11**). L'analyse statistique montre qu'il existe des différences très hautement significatives du nombre de jeunes à l'envol entre les deux pontes de l'espèce ($t = 4.25$, $ddl = 27$, $p = 0.000$, **T.H.S.*****).

Le nombre de jeunes à l'envol diminue avec l'avancement de la date de ponte. En effet, il existe une relation négative et hautement significative entre la date de ponte et le nombre de jeunes à l'envol ($r = -0.49$, $p = 0.006$, **H.S. ****) (**Fig. 24**).

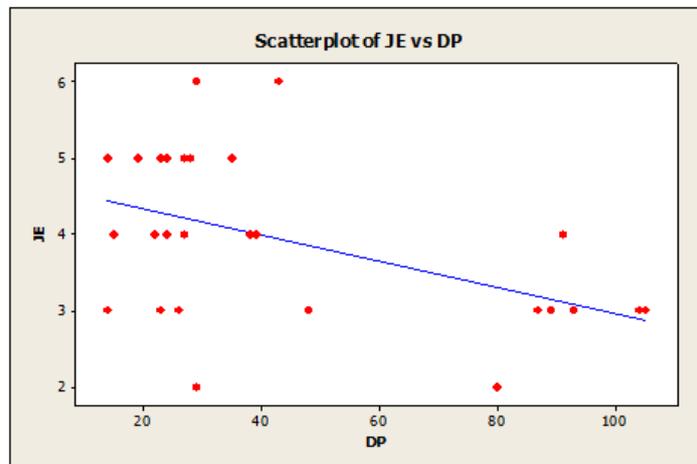


Figure 24 : Relation entre la date de ponte et le nombre de jeunes à l'envol chez l'Hirondelle rustique

2.8. Succès à l'envol

Le succès à l'envol est de 98% pour la première ponte et de 100% pour la seconde ponte. Ce qui signifie que tous les oisillons élevés au nid se sont envolés (**Tab. 11**). Les résultats ne montrent pas de différences significatives entre les deux pontes de l'espèce.

L'analyse de la corrélation entre la date de ponte et le succès à l'envol ne montre pas l'existence d'une relation entre les deux paramètres ($r = 0.124$, $p = 0.52$, n.s.) (**Fig. 25**).

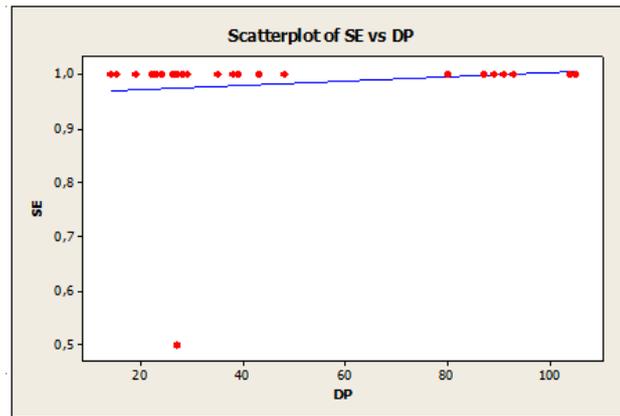


Figure 25 : Relation entre la date de ponte et le succès à l'envol chez l'Hirondelle rustique

2.9. Succès de la reproduction :

Le succès de la reproduction est de 94% pour la première ponte et de 91% pour la seconde (Tab. 11). L'analyse statistique montre qu'il n'existe pas des différences significatives du succès de la reproduction entre les deux pontes ($t = 0,44$, $ddl = 27$, $p = 0,66$, n.s.).

Il existe une relation négative et hautement significative entre la date de ponte et le succès de la reproduction, ce qui veut dire qu'il y a une diminution du succès de la reproduction avec l'avancement de la saison de reproduction ($r = -0.53$, $p = 0.003$, **H.S.****) (Fig. 26).

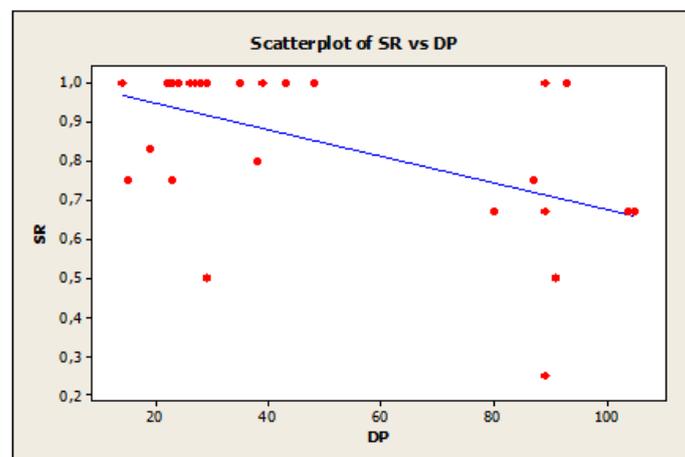


Figure 26 : Relation entre la date de ponte et le succès de la reproduction chez l'Hirondelle rustique

Tableau 11. Paramètres de la reproduction de l'Hirondelle rustique pendant la saison de reproduction 2016 [(Effectif) Moyenne \pm Ecart type (Minimum – Maximum)]

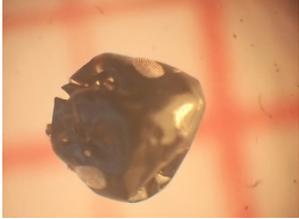
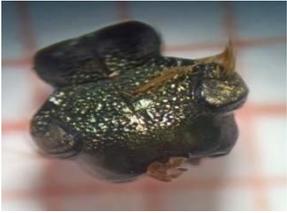
	Première ponte	Seconde ponte
Grandeur de ponte	(20) 4.6 \pm 0.99 (3 – 6)	(9) 3.33 \pm 0.5 (2 – 4)
Durée de l'incubation	(20) 14.70 \pm 0.8 (14 – 16)	(9) 14.56 \pm 0.51 (14 – 15)
Nombre d'œufs éclos	(20) 4.35 \pm 0.93 (3 – 6)	(9) 3 \pm 0.5 (2 – 4)
Succès à l'éclosion	(20) 0.94 \pm 0.11 (0.67 – 1)	(9) 0.91 \pm 0.14 (0.67 – 1)
Jeunes à l'envol	(20) 4.25 \pm 1.07 (2 – 6)	(9) 3 \pm 0.5 (2 – 4)
Succès à l'envol	(20) 0.98 \pm 0.11 (0.5 – 1)	(9) 1 \pm 0 (1 – 1)
Succès de la reproduction	(20) 0.93 \pm 0.14 (0.5 – 1)	(9) 0.91 \pm 0.14 (0.67 – 1)

3. REGIME ALIMENTAIRE DES PULLI DE L'HIRONDELLE RUSTIQUE

L'étude du régime alimentaire a été réalisée durant la saison de reproduction 2017 dans le milieu urbain, et a concerné 30 nids de première ponte (11 nids avec pose de colliers et 19 nids avec récolte de fientes) et 09 nids de seconde ponte (3 nids collecte de fientes et 6 nids avec pose de collier). Au terme de l'étude, nous avons récolté un total de 902 items proies, dont 740 pendant la première ponte et 162 durant la seconde ponte de l'Hirondelle rustique.

3.1. Identification taxonomique du régime alimentaire des pulli

L'utilisation de différentes clés dichotomiques nous a permis d'identifier le régime alimentaire des pulli de l'hirondelle rustique. Globalement, il est constitué d'au moins 7 ordres taxonomiques différents, Les coléoptères, les hyménoptères, les Diptères, les Hétéroptères, les odonates, les Lépidoptères et les Hémiptères (**Fig.27**).

		
<i>Tête de formicidae</i>	<i>Tête de formicidae</i>	<i>Tête de formicidae</i>
		
<i>Diptère</i>	<i>Tête de diptère</i>	<i>Tête de Curculionidae</i>
		
<i>Carabidae scarabeidae</i>	<i>Tête de Cetonidae</i>	<i>Tête de Staphylinidae</i>
		
<i>Tête de Staphylinidae</i>	<i>Tête de Cetonidae</i>	<i>Tête de formicidae</i>
		
<i>Tête de formicidae</i>	<i>Patte de Scarabaeidae</i>	<i>Dipteridae</i>

		
<i>Diptère</i>	<i>Elytre</i>	<i>Coléoptère</i>
		
<i>Patte</i>	<i>Aile de formicidae</i>	<i>thorax</i>
		
<i>Scarabaeidae</i>	<i>Aile de formicidae</i>	<i>Elytre</i>

Figure 27 : Identification taxonomique des items proies consommées par les pulli de l'hirondelle rustique

3.2. Composition du régime alimentaire des pulli

Le régime alimentaire global des pulli de l'Hirondelle rustique est composé principalement de 40.47 % de Coléoptères, de 33.37% d'Hyménoptères, de 21.29% de Diptères. Il s'en suit plusieurs ordres mais avec des pourcentages beaucoup plus faibles : les Hétéroptères à 2.99%, les Orthoptères à 0.89%, les Odonates à 0.78% et enfin avec 0.11% chacun, les Hémiptères et les Lépidoptères. (**Fig. 28**)

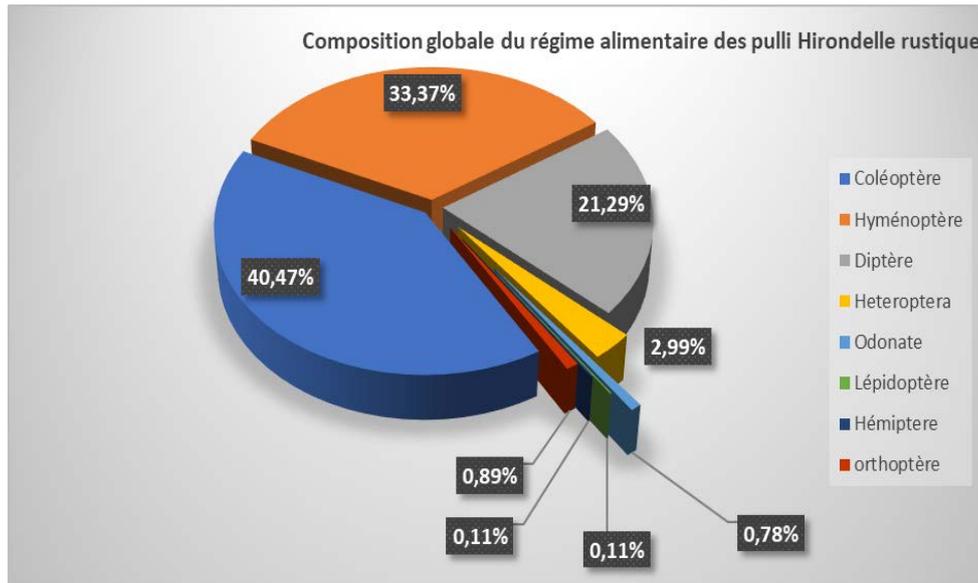


Figure 28 : Composition globale du régime alimentaire des pulli de l'Hirondelle rustique

Pendant la première ponte, le nourrissage des pulli se fait essentiellement avec des Coléoptères à 43,6%, suivis des Hyménoptères à 34,46% et des Diptères à 20,68%. D'autres ordres sont présents comme, les Hétéroptères à 0,54%, les Odonates à 0,41% et les Hémiptères ainsi que les Lépidoptères avec 0,14% (**Fig.29**).

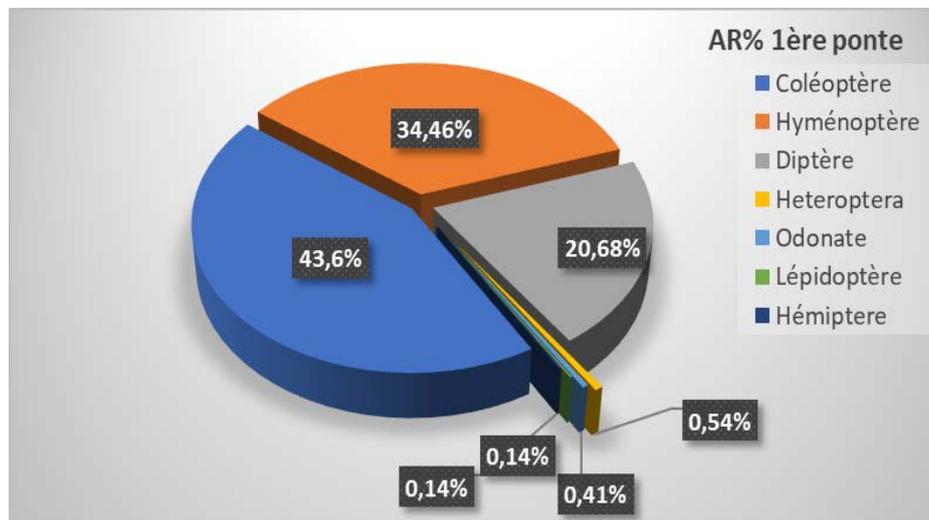


Figure 29 : Composition du régime alimentaire des pulli durant la première ponte

En revanche, durant la seconde ponte, le nourrissage des pulli se fait principalement avec des Hyménoptères à 28%, suivi par les Coléoptères à 26%, des Diptères à 24% et des

Hétéroptères à 14%. Les Orthoptères et Odonates sont présents mais avec de plus faibles pourcentages 5% et 3% (**Fig.30**).

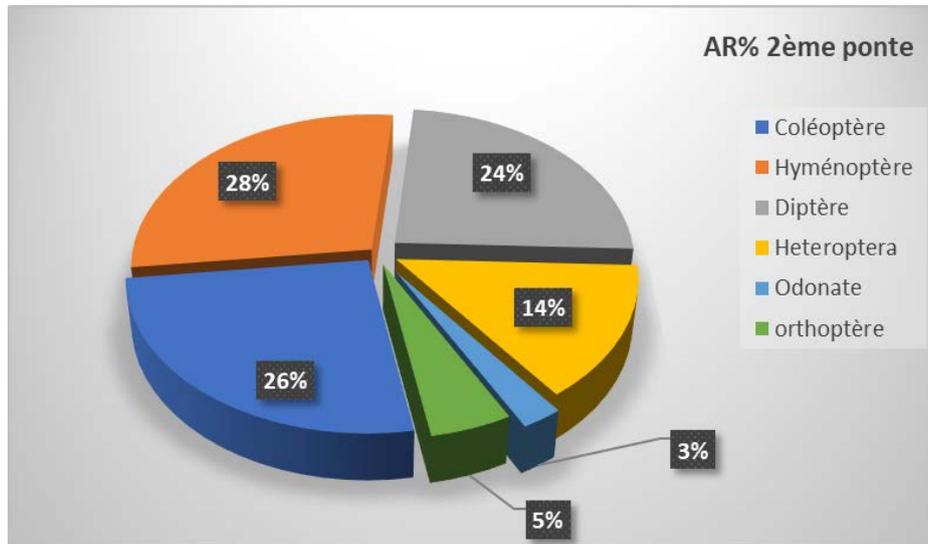


Figure 30 : Composition du régime alimentaire des pulli durant la seconde ponte

3.3. Fréquence d'occurrence

L'analyse des fréquences d'occurrences des items proies consommées par les pulli issus des deux pontes montre que les Hyménoptères, les Coléoptères et les Hyménoptères sont des ordres Constants. Les Hétéroptères et les Hémiptères des ordres Accessoires, les Orthoptères et les Odonates des ordres Accidentels et les Lépidoptères un ordre Rare (**Fig. 31**).

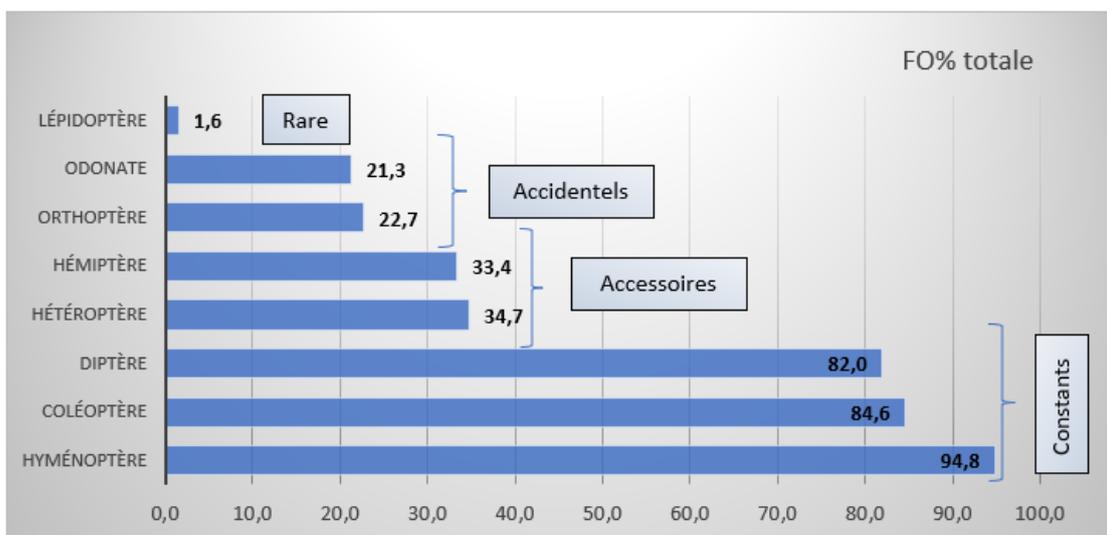


Figure 31 : Fréquence d'occurrence des items proies consommées par les pulli de l'Hirondelle rustique

Pour ce qui est des fréquences d'occurrence des items proies consommées par les pulli issus de la première ponte de l'Hirondelle rustique, nos résultats montrent que les Hyménoptères sont un ordre Constant (89.69%), les Coléoptères et les Diptères des ordres Réguliers avec successivement 69.17% et 63.94%. En ce qui concerne les Odonates (6.25%), les Hétéroptères (5.83%), les Lépidoptères (3.13%) et les Hémiptères (3.13%), nos données montrent que ce sont des ordres Accidentels (**Fig. 32**).

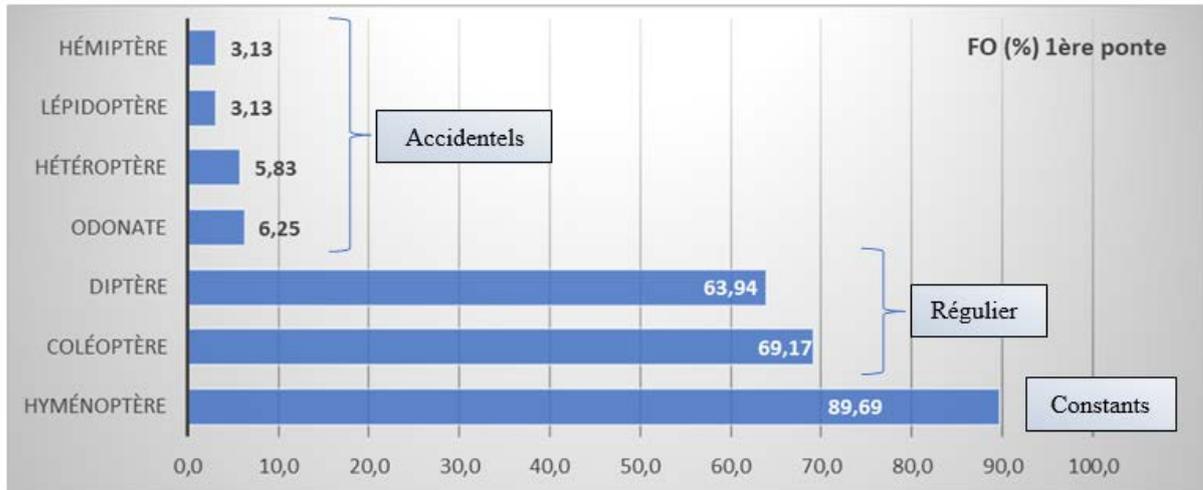


Figure 32 : Fréquence d'occurrence des items proies consommées par les pulli issus de la première ponte de l'Hirondelle rustique

En ce qui concerne les fréquences d'occurrences des items proies des pulli issus de la seconde ponte, nos résultats montrent que les Diptères, les Hyménoptères et les Coléoptères sont des ordres Constants avec des fréquences de 100%. Les Hémiptères et les Hétéroptères sont des ordres Réguliers avec pour chacun une fréquence de 63.6% et enfin, les Orthoptères ainsi que les Odonates sont des ordres Accessoires avec successivement 45.5% et 36.4% (**Fig.33**).

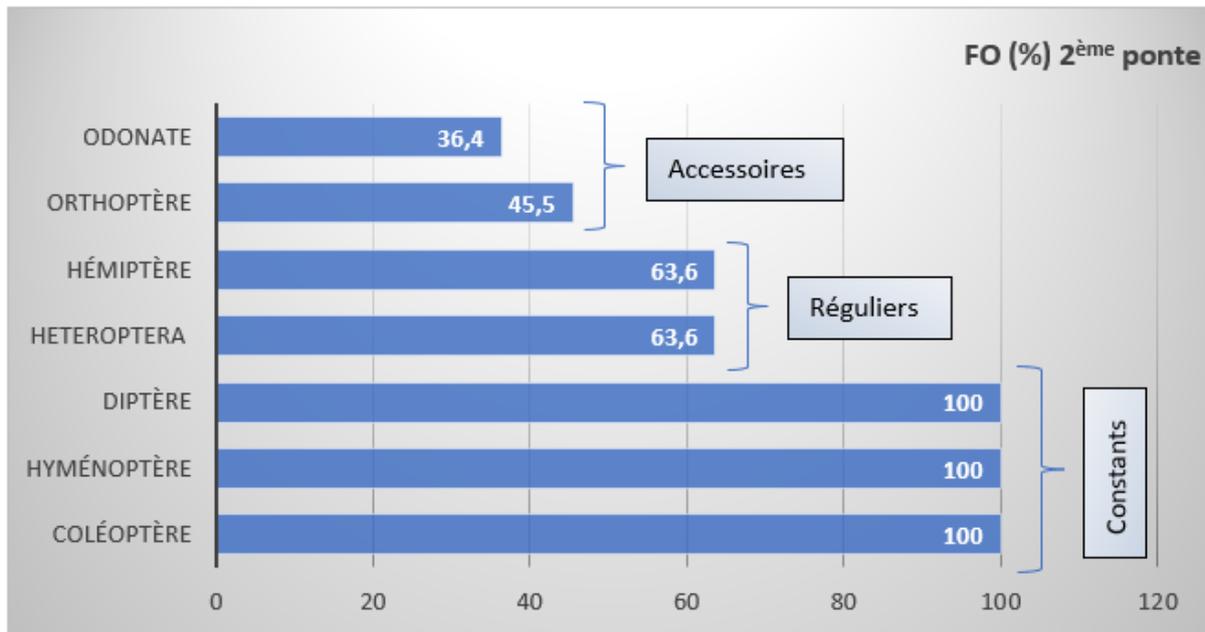


Figure 33 : Fréquence d'occurrence des items proies consommées par les pulli issus de la seconde ponte de l'Hirondelle rustique

3.4. Indices de diversité et équitabilité

Le calcul de l'indice de Shannon permet d'exprimer la diversité spécifique d'un peuplement étudié. Pour rappel, la diversité spécifique caractérise le nombre plus ou moins grand d'espèces présentes dans un peuplement. S'il est constitué d'une seule et même espèce, alors l'indice $H' = 0$. D'autre part, la diversité maximale $H_{\max} = \log_2(S)$ correspond à un peuplement hétérogène pour lequel tous les individus de toutes les espèces sont répartis d'une façon égale. L'indice de Shannon H' varie donc entre ces deux limites. Quant à l'indice d'équitabilité, il varie de 0 à 1. S'il tend vers $E = 1$, alors les espèces présentes dans le peuplement ont des abondances identiques. S'il tend vers $E = 0$, alors nous sommes en présence d'un déséquilibre où une seule espèce domine tout le peuplement. Nos résultats montrent globalement un régime alimentaire plus diversifié et plus équilibré durant la seconde ponte comparativement à la première ponte. En effet, nos résultats montrent un indice de diversité un peu plus élevé pendant la seconde ponte ce qui exprime une diversité plus importante en seconde ponte. L'analyse de l'équitabilité montre que la distribution des ordres des items proies est beaucoup plus équitable pendant la seconde ponte par rapport à ceux de la première ponte.

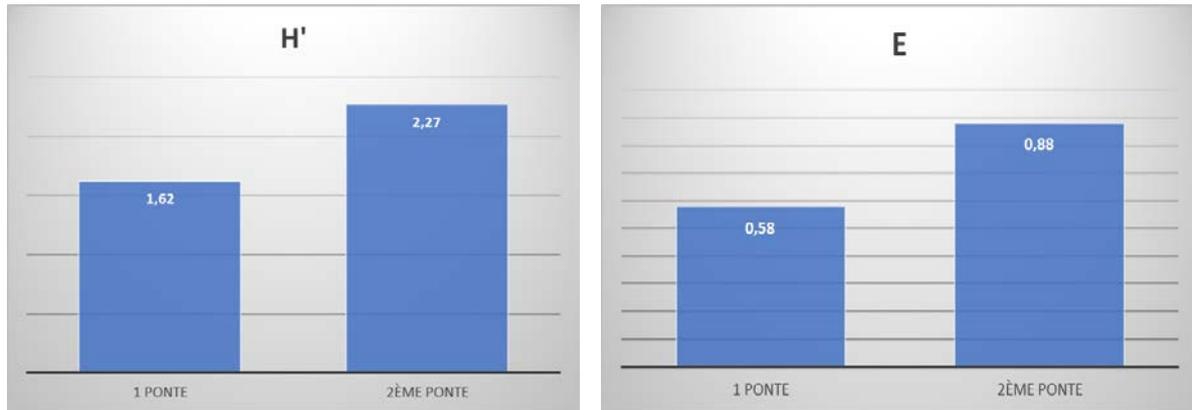


Figure 34 : Analyse comparée de la diversité et l'équitabilité du régime alimentaire des pulli durant la première et la seconde ponte

4. RYTHME D'ACTIVITE DES ADULTES DE L'HIRONDELLE RUSTIQUE

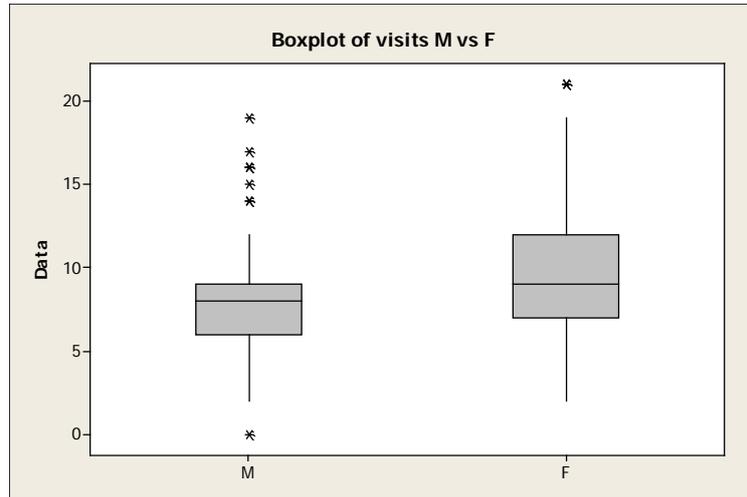
Nous avons mené une étude sur les rythmes d'activités des adultes durant le nourrissage des pulli. Cette étude a concerné 10 nichées depuis le mois de mars jusqu'au mois de d'Aout 2019.

4.1. Nombre total de visites des couples au nid

Sur un total d'observations de 91h nous avons enregistré 1146 voyages alimentaires et 568 nettoyages. Ces voyages sont alternés par des visites nulles, où les parents ne font qu'inspecter les oisillons, soit un total de visites de 1714. La fréquence globale des visites des couples est en moyenne (16.22 ± 5.42) par heure. Les résultats obtenus ont montré que les femelles font en moyenne plus de visites que les mâles. Le test t a révélé une différence très hautement significative ($t = 3.41$, $ddl = 174$, $p = 0.0007$, **T.H.S.***)** dans le nombre total de visites de des adultes au nids. (**Tab. 12, Fig. 35**)

Tableau 12 : Données relatives à la comparaison du nombre visites total entre femelles et mâles.[(Effectif) Moyenne \pm Ecart type (Minimum – Maximum)]

	Femelles	Mâles
Nombre de visites au nids	(91) 9.86 \pm 3.98 (2 – 21)	(91) 8.00 \pm 3.33 (0 – 19)

**Figure 35 :** Comparaison du nombre visites total entre femelles et mâles.

4.2. Fréquence de nourrissage moyenne journalière

Au terme de ce travail, nous avons pu caractériser une moyenne de $12,59 \pm 8,38$ bols alimentaires / heure. Cependant, il n'y a aucune différence ($t = -0,47$, ddl = 171, $p = 0,642$, n.s.) entre les mâles ($6,45 \pm 3,91$) et les femelles ($6,14 \pm 4,94$).

Tableau 13 : Effort moyen de nourrissage des pulli par les adultes de l'Hirondelle rustique[(Effectif) Moyenne \pm Ecart type (Minimum – Maximum)]

	Femelles	Mâles
Effort de nourrissage	(91) 6.14 \pm 4.94 (1 – 21)	(91) 6.45 \pm 3.91 (0 – 18)

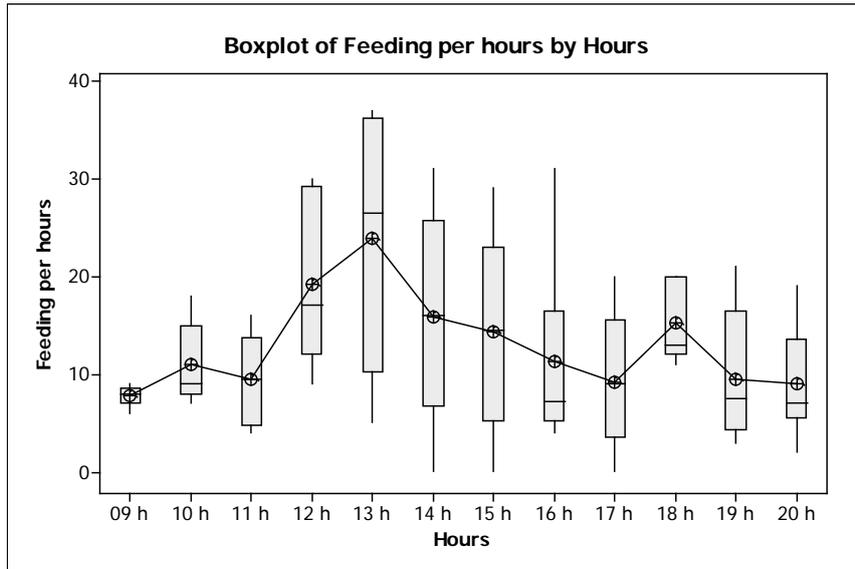


Figure 36 : Fréquence de nourrissage moyenne journalière

L'analyse de la variance des fréquences de nourrissage moyennes journalières révèle une différence significative entre l'ensemble des valeurs ($F = 2.39$, $p = 0.014$, **S.***). Cependant, il existe des différences entre les tranches horaires qui sont démontrées dans le tableau 14.

Tableau 14 : Effort de nourrissage moyen des parents par tranche horaire (test t de student)

Temps	Test t
09h/12h	$t = -3,10$, ddl = 5, $p = 0.027$, S.*
09h/13h	$t = -2.93$, ddl = 5, $p = 0.033$, S.*
09h/06h	$t = -4.55$, ddl = 7, $p = 0.003$, H.S.**
11h/13h	$t = -2.48$, ddl = 6, $p = 0.048$, S.*
11h/18h	$t = -2.34$, ddl = 10, $p = 0.041$, S.*
12h/17h	$t = 2.33$, ddl = 8, $p = 0.048$, S.*
12h/20h	$t = 2.47$, ddl = 7, $p = 0.043$, S.*
13h/17h	$t = 2.49$, ddl = 6, $p = 0.047$, S.*
13h/20h	$t = 2.57$, ddl = 6, $p = 0.043$, S.*
17h/18h	$t = -2.20$, ddl = 13, $p = 0.046$, S.*
18h/20h	$t = 2.53$, ddl = 13, $p = 0.025$, S.*

4.3. Fréquence de Nettoyage moyenne

Les nettoyages du nid représentent un total de 568, avec une moyenne de $(6,24 \pm 4,78)$ nettoyages / h. Cependant, le test t n'a montré aucune différence significative ($t = 0,40$, $ddl = 178$, $p = 0,691$, n.s.) dans cette opération entre les deux parents.

Tableau 15 : Contribution moyenne des parents dans le nettoyage des pulli (sanitation)

[(Effectif) Moyenne \pm Ecart type (Minimum – Maximum)]

	Femelles	Mâles
Contribution à la sanitation	(91) 3.20 ± 2.73 (0 – 10)	(91) 3.04 ± 2.48 (0 – 9)

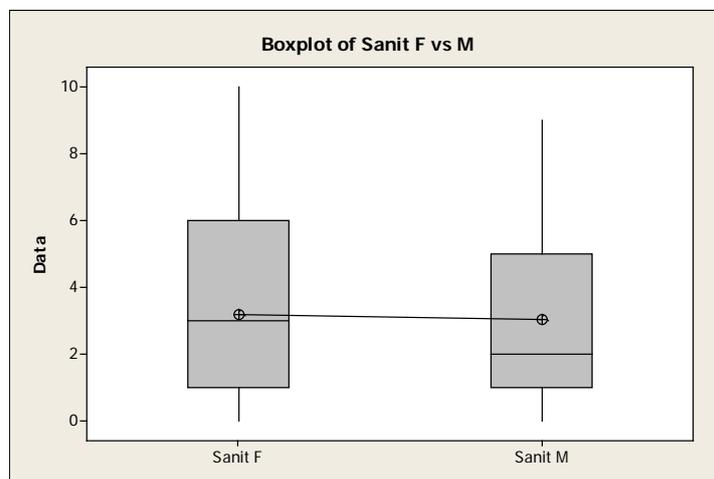


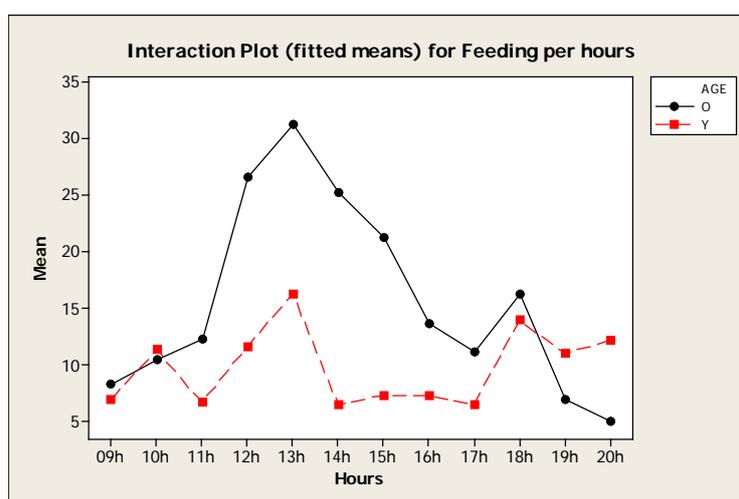
Figure 37 : Fréquence de Nettoyage moyenne du nid par les adultes de l'Hirondelle rustique

4.4. Investissement des parents dans le nourrissage en fonction de l'âge des oisillons

Les parents apportent en moyenne environ 10 bols de nourriture par heure ($9,90 \pm 6,46$) pour les jeunes oisillons. Cette ration augmente avec l'âge pour atteindre en moyenne 15 bols de nourriture 15,54 par heure pour les adultes. Le test ANOVA a révélé une différence significative entre les deux catégories ($F = 2,89$, $ddl = 11$, $p = 0,004$, **H.S.****) (**Tab. 16, Fig.38**).

Tableau 16 : Nombre de visites alimentaire moyenne journalière en fonction de l'âge des pulli[(Effectif) Moyenne \pm Ecart type (Minimum – Maximum)]

	Age de J0 – J5	Age de J10 – J15
Nombre de visites de nourrissage	(41) 9.90 \pm 6.46 (0 – 23)	(42) 15.54 \pm 9.68 (2 – 37)

**Figure 38** : Fréquence de nourrissage moyenne journalière en fonction de l'âge des pulli

(Y : poussins de 0-5j ; O : oisillons de 10 à 15j)

4.5. Contribution des couples d'hirondelles au nettoyage des nids

Les parents nettoient régulièrement le nid chaque fois qu'un des oisillons défèque. Les résultats obtenus ont révélé que les femelles nettoient un peu plus (3.40 ± 2.91) que les mâles (3.31 ± 2.49). Pourtant, l'ANOVA ne révèle aucune différence dans le nettoyage entre les parents ($F = 0.04$, ddl = 165, $p = 0.841$, n.s.). L'analyse des résultats de l'effort des couples dans le nettoyage des nids d'Hirondelles rustiques, selon l'âge des oisillons, a montré que pendant le premier palier d'âge (jeunes oisillons), les femelles performant en moyenne (3.02 ± 2.45) tandis que les mâles sont en moyenne (3.41 ± 2.95). Le test t de Student, par contre, n'a montré aucune différence de cette fonction au nid entre mâle et femelle ($t = -0.55$, ddl = 80, $p = 0.583$, n.s.). Toutefois, dans le deuxième groupe d'âge, les mâles et les femelles nettoient en moyenne (3.21 ± 1.97) et (3.76 ± 2.26) respectivement. Le même test n'a toutefois révélé aucune différence au sein des couples ($t = 1,39$, ddl = 81, $p = 0,16$, n.s.). De même, les tests ANOVA n'ont révélé aucune différence entre l'effort de nettoyage fourni par les femelles dans les deux groupes d'âge ($F = 0.56$, ddl = 11, $p = 0,854$, n.s.) ; ni par mâles ($F = 0.59$, ddl = 11, $p = 0.833$, n.s.). (**Fig. 39**)

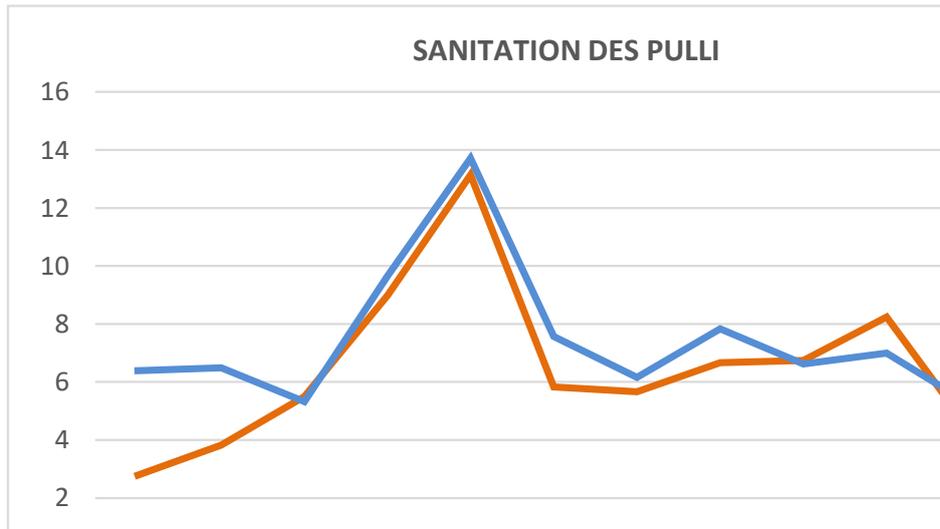


Figure 39 : Contribution moyenne journalière des parents hirondelles dans le nettoyage (sanitation) des oisillons

Discussion

Quel est l'habitat préférentiel de l'Hirondelle de cheminée ?

Les résultats obtenus montrent globalement que l'espèce affectionne particulièrement les milieux urbains et périurbains, ce qui est à l'encontre des données relatées dans la bibliographie à travers l'aire de reproduction de l'hirondelle rustique dont la sous espèce est *Hirundo rustica rustica*, dans les latitudes nord (Møller, 1983 ; Ambrosini *et al.*, 2002 ; Møller, 1994 ; Turner, 2006 ; Kragten *et al.*, 2006 ; Lubbe & De Snoo, 2007). Nos résultats sont cependant confirmés par ceux de Sakraoui *et al.*, 2005, Sakraoui (2012), Haddad *et al.*, (2015) et Fenghour *et al.*, (2018) dans la même zone d'étude, où les auteurs ont démontré que l'hirondelle de cheminée semble préférer l'habitat urbain par rapport à l'habitat rural. Les mêmes suppositions peuvent être émises quant à la différence de densité en milieu rural dans notre région par rapport en Europe. En effet, ceci peut être dû entre autres au type de matériaux utilisés pour la construction des étables qui est plus rudimentaire dans notre région et qui ne permet pas aux Hirondelles de construire des nids qui adhèrent bien aux structures. De façon générale, l'urbanisation entraîne un changement radical des conditions environnementales, suscitant une grande variété de réponses phénotypiques et génétiques des organismes vivants (Alberti, 2015 ; Johnson et Munshi-South, 2017). Parmi ces réponses, la variabilité morphométrique est particulièrement importante (Sibly et Atkinson, 1994 ; Merckx *et al.*, 2018). Selon Arnould *et al.* (2011) la richesse spécifique le long du gradient urbain-rural décroît généralement de la périphérie vers le centre des villes (Fig.40). Le cœur des villes enregistre donc les richesses spécifiques les plus faibles (Faeth *et al.*, 2011 ; Mc Kinney, 2008), ce qui est souvent expliqué par la présence faible ou même l'absence du couvert végétal naturel (Aronson *et al.*, 2014 ; Mc Kinney, 2002).

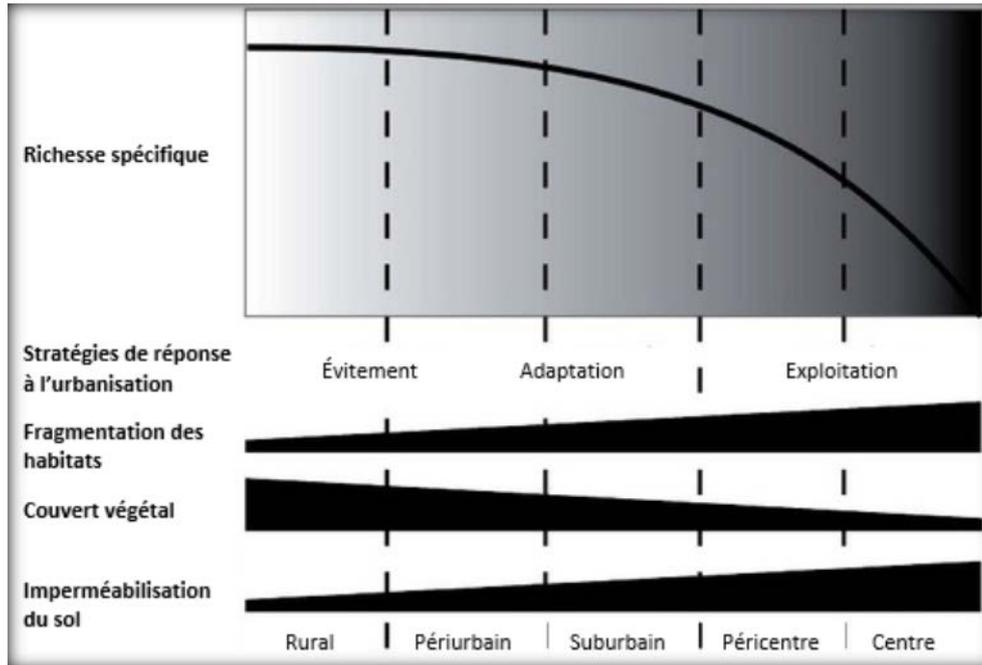


Figure 40 : Gradient urbain-rural, ses changements physiques et la réponse de la biodiversité. Modification de : Arnould et al. (2011) et Mc Kinney (2002)

Les espèces qui habitent les milieux les plus urbanisés sont des commensaux de l'homme, l'hirondelle rustique étant le parfait exemple. Elle dépend fortement, voire complètement, des ressources fournies par l'homme pour survivre. Les espèces commensales peuvent atteindre des densités très élevées dans le centre des villes, puisqu'il y a une abondance de ressources ainsi qu'une faible densité de prédateurs (McKinney, 2002 ; McKinney, 2006).

Actuellement, de nombreux travaux fournissent des preuves du déclin des populations de l'hirondelle rustique des latitudes nord dans le milieu rural, à cause de la perte des sites de nidification (Jeromin 1999, Weggler & Widmer 2000), de l'intensification agricole (Møller 2001) et peut-être d'une perte de haies (Evans et al. 2003). La vulnérabilité au déclin est associée à des préférences particulières en matière d'habitat et à des caractéristiques majeures du cycle vital, comme le comportement migratoire (Sanderson et al. 2006, Møller et al. 2008, Both et al., (2010)). L'Hirondelle rustique a décliné dans plusieurs parties de son aire de répartition européenne, mais l'ampleur de ce déclin varie considérablement selon les zones géographiques (Møller 1989, Tucker et Heath 1994, Siriwardena et al. 1998, Robinson et al. 2003, Bird Life International 2004, PECBMS 2009). Dans notre cas, la dégradation et la perte d'habitats ne semble pas affecter l'installation et la construction des nids de l'hirondelle qui compense en nichant dans des infrastructures propices mais toujours situées en milieu urbain. De plus, nos sites d'étude sont des zones marécageuses propices à l'exploitation pour

la construction des nids, et sont irrigués par de nombreux oueds pollués par le déversement des eaux usées à ciel ouvert (**Fig.40**).

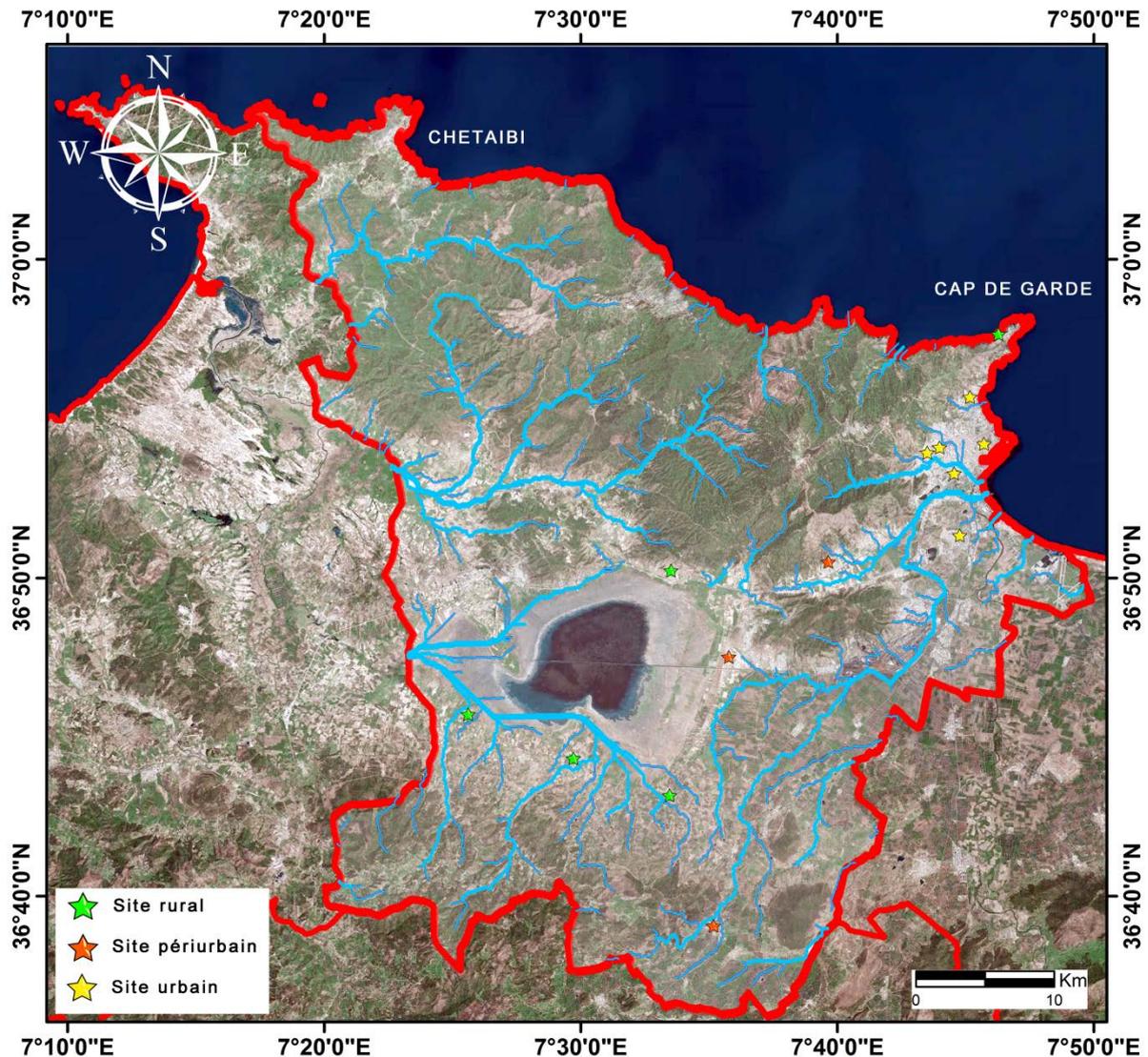


Figure 41 : Présentation du réseau hydrique dans les milieux urbains, périurbains et rural (© Hadiby).

Ces milieux pollués pullulent d'insectes volants et c'est probablement ce qui offre à l'espèce sa proie favorite. De surcroît, les sites périurbains que nous avons échantillonnés sont entourés de terres agricoles. Il est communément admis que l'hirondelle rustique est aussi un oiseau des terres agricoles, qui se nourrit principalement sur les champs de foin et les pâturages, et le long des haies.

Quels facteurs affectent les dates d'arrivée et d'installation des couples nicheurs ?

Nos résultats ont clairement montré que durant la période d'étude, et dans notre région, qui est située pour rappel dans la limite sud de l'aire de reproduction de l'hirondelle rustique, les arrivées sont bien plus tardives que celles observées par **Sakraoui et al (2005), et Sakraoui (2012)**. Le premier facteur incriminé est incontestablement l'impact des changements climatiques et des conditions météorologiques sur les dates d'arrivées. En effet, les changements climatiques récents ont accru les avantages des migrations de courte distance, puisque les individus économisent les coûts de remise en forme d'une migration plus longue, nous devrions donc nous attendre à une augmentation de l'abondance de ces migrants ou résidents sur de plus courtes distances, ce qui engendre une incidence sur la distribution de l'hirondelle rustique (*Hirundo rustica*) (**Cheng et al., 2019**). Même si cette dernière est connue pour être un oiseau migrateur de longue distance, sa distribution se voit changer, puisqu'elle hiverne de plus en plus au nord de l'équateur en raison des changements climatiques, ce qui explique probablement cette arrivée tardive. Au cours des cinq dernières années, des centaines d'hirondelles rustiques ont de plus en plus abandonné la migration sur de longues distances et ont plutôt hiverné plus près de leurs aires de reproduction en Europe du Sud (**Van Nus et al., 2017 ; Bird Life International, 2021 ; Møller et al., 2021**). De nombreuses études ont signalé une modification de la période de mue chez les hirondelles rustiques en Afrique du Sud, ce qui a eu des conséquences sur le déplacement dans le nord, sur la mue et sur la migration des hirondelles rustiques hivernant dans cette région (**Ambrosini et al. 2011**).

Outre les changements climatiques, de nombreux travaux incriminent la perte des sites de nidification. Certaines espèces d'Hirondelles sont caractérisées par : une structure sociale aboutissant à la création d'importantes colonies (**Turner, 2006 ; Manco et al., 2010 ; Safran, 2010**), une grande fidélité dans le couple et surtout une grande fidélité envers le site de nidification (**Tate, 1986 ; Møller, 1994 ; Brown & Brown, 1999a ; Turner, 2006**). Dans notre étude, les colonies qui abritent le nombre de couples le plus important ont été observées dans les milieux urbain et périurbain. Ces derniers présenteraient probablement un avantage certain pour la dynamique globale de l'espèce. Cet avantage réside dans le fait de réutiliser les vieux nids, cela permet aux couples en début de saison non seulement d'économiser une partie de leur énergie mais également d'entamer des pontes plus tôt par rapport au reste des

individus qui construisent de nouveaux nids (Shields *et al.*, 1988 ; Safran, 2010). L'allocation d'énergie à ce stade est la principale préoccupation de l'espèce, car chaque ressource acquise doit être allouée aux différents besoins vitaux surtout en période de reproduction où ce besoin sollicite plus d'énergie que les autres. Enfin, le comportement de sélection des sites pendant la saison de reproduction est déterminant pour le succès saisonnier de la reproduction (Badyaev *et al.* 1996 ; Martin 1998 ; Clark *et* Shutler 1999 ; Müller *et al.* 2005 ; Doerr *et al.* 2006), et est susceptible d'être influencé par la sélection naturelle (Safran, 2006).

Investissement maternel Vs qualité des éclosions : stratégie ou compromis ?

Les données recueillies dans le milieu urbain font ressortir globalement une baisse de fécondité par rapport aux données antérieures dans les mêmes sites d'étude mais un excellent succès de la reproduction et à l'envol. A ce stade, il est intéressant d'analyser le type de stratégies adopté par l'hirondelle dans un milieu anthropisé, caractérisé par l'appellation « îlot de chaleur urbain ». Par définition, chaque individu doit composer avec ses qualités intrinsèques (qu'il ne peut donc pas moduler) mais peut choisir son environnement de reproduction, adapter son comportement en pratiquant des stratégies alternatives de reproduction, en faisant une, deux voire trois pontes ... (Møller 1994; Safran *et* McGraw 2004). Bien que le nombre de jeunes qu'une femelle puisse produire varie selon la qualité ou la condition de la femelle chez certaines espèces (Garamszegi *et al.* 2004; Newton *et al.* 1983; Slagsvold *et* Lifjeld 1990), il est fortement limité chez les oiseaux. En effet, les femelles doivent investir une grande quantité de ressources dans les ovules, la ponte, une incubation coûteuse (Reid *et al.* 2000) qui est leur tâche exclusive chez de nombreuses espèces, l'hirondelle rustique compris. Le besoin d'incubation peut même fixer une limite physique à la taille de la couvée (Engstrand *et* Bryant 2002; Moreno *et al.* 1991). Dans notre étude, il n'y a pas d'effet maternel significatif sur la taille des œufs pondus, mais pour le caractériser davantage, il aurait fallu analyser les propriétés énergétiques et biochimiques du contenu des œufs pour établir une relation directe cause à effets. Par rapport à la baisse de fécondité, plusieurs auteurs considèrent que la période de ponte dépend de l'abondance trophique qui conditionne fortement le nombre de pontes. C'est le cas des Mésanges bleue

(*Cyanistes caeruleus*) et charbonnière (*Parus major*) qui nourrissent leur pulli essentiellement de chenilles et qui de ce fait réalisent une ponte unique (**Bañbura et al., 1994 ; Lambrecht et al., 1997**). Chez les hirondelles rustiques, La taille de ponte a tendance à augmenter avec la latitude surtout pour la seconde ponte et moins avec la longitude (**Boyd, 1935 ; Boyd, 1936 ; Lack, 1954 ; Klomp, 1970 ; Møller, 1984**). Les grandeurs de pontes sont plus importantes dans les latitudes nordiques, de ce fait le temps disponible pour alimenter les jeunes est plus important comparé à celui requis pour les populations méridionales (**Lack, 1947**). Pourtant la reproduction commence beaucoup plus tard dans les latitudes nordiques du fait des températures encore basses par rapport aux latitudes méridionales (**Turner, 1980 ; Møller, 1984**). En revanche, dans notre région d'étude, située dans les latitudes basses, les données sont différentes puisque les résultats obtenus montrent une grandeur de ponte élevée pour la première ponte par rapport à la seconde ponte, même si nos données accusent une baisse de fécondité par rapport à ceux observés antérieurement dans les mêmes sites d'étude (**Sakraoui, 2012 ; Haddad et al., 2015**). Cette baisse de fécondité pourrait s'expliquer par le fait que la grandeur de ponte est ajustée au nombre de poussins que les parents peuvent réellement élever (**Lack, 1966**). Pour cela, les oiseaux adaptent la grandeur de ponte à la quantité de ressources disponibles, soit en opérant une résistance physiologique au manque de nourriture ou bien en réduisant leur taille de ponte (**Koskimies, 1948 ; O'connor, 1978**). De surcroît, les oiseaux peuvent par des mécanismes purement physiologiques résorber un certain nombre de follicules, ce qui va leur permettre d'ajuster la taille de la couvée aux conditions environnementales du moment (**Meijer et al., 1990**). Quant à la réduction de la taille de pontes entre les deux timings, de nombreux travaux stipulent l'existence d'un déclin de la grandeur de ponte au cours de la saison de reproduction (**Boyd, 1936 ; Adams, 1957 ; Löhrl & Gustscher, 1973 ; Hémary et al., 1979 ; McGinn et Clark, 1978 ; McGinn, 1979 ; Kondelka, 1985 ; Loske, 1989 ; Campbell et al., 1997 ; Bañbura & Zieliński, 1998 ; Brown et Brown, 1999a**). Ce déclin s'explique largement par l'indisponibilité progressive des ressources trophiques au fil de la saison de reproduction, car dès la mi-juin la longueur du jour diminue (**McGinn et Clark, 1978**), de ce fait le temps d'alimentation diminue au cours de la saison de reproduction. Ce qui expliquerait les grandeurs de pontes réduites observées en fin de saison (**McGinn, 1979**) (Tab.17).

Tableau 17 : Grandeurs de pontes moyennes de l'hirondelle de cheminée à travers son aire de nidification.

Sites d'étude	1 ^{ère} ponte	2 ^{ème} ponte	Références
Irak			
Bagdad (33°N, 9°E)	4.93	4.07	Al-Rawy et Georg, (1966)
France			
Alsace	4.94	4.28	Ribaut, (1982)
Pologne			
Wroclaw	4.80	4.73	Nizynska-Bubel & Kopij, (2007)
Kłopot	4.84	4.31	
Stirling (56°N, 4°W)	4.70	4.69	Turner, (1980)
Danemark			
Kraghede (57°N,	4.76	4.26	Møller, (1982)
Finlande			
Oulu (65°N, 25°E)	5.08	4.75	Alatalo, (1976)
Norvège			
Hjorkoer (55°N, 8°E)	4.71	4.15	Thellesen, (1976)
Allemagne			
Westphalia	4.59	4.36	Loske, (1989)
Slovaquie :			
Bratislava	4.9	4.1	Országhová, (2013)
Algérie			
Annaba	4.73	3.62	Sakraoui et <i>al.</i> , (2005)
Annaba	5.15	3.86	Sakraoui, (2012)
Guelma	4.87	4.14	Haddad, (2015)
Présente étude	4.6	3.33	Dadci, (2022)

L'investissement maternel dans le déclenchement et la durée de la période d'incubation ont été largement étudiés chez l'hirondelle rustique (**Cramp, 1988 ; Turner 1994**). En principe, les femelles entament l'incubation après la ponte du dernier œuf, mais nous avons constatés dans notre cas un taux important d'asynchronisme dans les éclosions, ce qui suggère une forte perturbation de la régulation thermique des œufs (**Adams 1957, Kuzniak 1967, Georg et Al-Rawy 1970, McGinn et Clark 1978, Ribaut 1982, Møller 1994**). L'asynchronisme dans l'éclosion n'est pas un phénomène isolé, il est observé chez beaucoup d'oiseaux. C'est un moyen qui permet aux parents de restreindre leur effort

quotidien d'approvisionnement des jeunes mais en le prolongeant et ainsi, s'assurer un succès reproducteur lorsque le milieu devient défavorable (**Lack, 1954 ; Lack, 1947 ; Magrath, 1989 ; Amundsen & Slagsvold, 1991**). Nos résultats confortent ainsi l'hypothèse d'une stratégie permettant de répondre au mieux aux besoins des pulli, optimisant ainsi l'investissement parental.

L'hirondelle de cheminée : excellent échantillonneur des Insectes

L'analyse globale du régime alimentaire de l'espèce dans notre région d'étude, fait ressortir une importante richesse en items proies appartenant à la classe des Insectes. Les Hirondelles de cheminée sont des insectivores types qui se nourrissent presque exclusivement d'insectes volants (**Beal, 1918**). Pendant la période de nidification, le besoin accru en nourriture à des fins d'élevage des poussins, fait que le nombre d'insectes consommés pendant cette période est très important (une nichée nécessite environ 120000 mouches). De ce fait, on comprend l'importance écologique que revêt l'hirondelle de cheminée dans la connaissance de la biodiversité en insectes, de différents milieux notamment anthropiques. Ce sont également d'excellents régulateurs de bon nombre d'insectes nuisibles ou dérangeants, faisant partie intégrante de leur régime alimentaire. Ils ont de ce fait une certaine valeur économique en matière de lutte biologique contre la pullulation d'insectes nuisibles (**Manco et al., 2010**). Le régime alimentaire de l'Hirondelle de cheminée varie en fonction de la période de l'année (**Turner, 2006 ; Schulze-Hagen, 1970, Turner, 1982 ; Turner, 2006**). La position stratégique de notre localité d'étude, à la limite sud de l'aire de reproduction de l'espèce, fait que les conditions climatiques jouent un rôle clé dans le déroulement de la reproduction, et dans la disponibilité des ressources alimentaires (**Van Balen, 1973 ; Dias et Blondel, 1996 ; Blondel et al., 2006**).

Les résultats obtenus durant toute la saison de reproduction montrent que les hirondelles rustiques qui colonisent les milieux urbains apportent à leurs pulli des proies diversifiées constituées essentiellement des ordres suivants : Coléoptères (40.5%), d'Hyménoptères (33.8%) et de Diptères (21.3%) suivi par les Hétéroptères (2.99%) Orthoptères (0.89%), Odonates (0.78%) puis les lépidoptères et les Hémiptères (0.11% chacun). Cependant, l'analyse des items proies spécifique au deux pontes annuelles effectuées dans notre région nous montre qu'il existe une petite variation du régime alimentaire entre la

première et la seconde ponte. En effet, durant la première ponte (mi-avril jusqu'à la mi-mai) les proies chassées par les Hirondelles suivent la tendance globale, elles sont constituées essentiellement de Coléoptères (43.6%), d'Hyménoptères (34.5%) et de Diptères (20.7%) suivi par de faibles valeurs des Hétéroptères (0.54%) Odonates (0.41%) puis les Lépidoptères et les Hémiptères (0.14% chacun). Par contre, dans la période de la seconde ponte (entre la mi-juin et la mi-juillet), on constate une diminution de la proportion des coléoptères (26%) au détriment des odonates et des Orthoptères (respectivement 3% et 5%), cependant, les deux autres ordres restent avec les mêmes tendances.

L'analyse comparative du régime alimentaire de l'hirondelle rustique à travers son aire de nidification confirme le statut d'échantillonneur des Insectes mais avec des proportions variables par rapport à nos résultats (**Tab.18**).

Tableau 18 : Composition du régime alimentaire des adultes et des pulli de l'Hirondelle de cheminée durant la période de reproduction (exprimée en pourcentages)
(in Turner, 2006. Modifié)

Pays	Milieu	Coléoptères	Hyménoptères	Diptères	Auteurs
Pologne	Rural	56,1	24,1	16,1	Orłowski & Karg, (2011)
Ecosse	Rural	/	/	73	Schulze-Hagen, (1970)
Allemagne	Rural	/	/	43	Schulze-Hagen, (1970)
Sibérie orientale	Rural	/	/	87	Dragunkina, (1986)
Algérie	Rural	29.22	67.42	12.03	Daoudi-Hacini, (1999)
Algérie	Urbain	11	35	38	Sakraoui (2012)
Algérie	Urbain	75.12	14.57	8.38	Fenghour et Houhamdi, (2020)
Algérie	Urbain	40,47	33.37	21,29	Présente étude

Outre les insectes, les Hirondelles de cheminée adultes consomment également des morceaux de coquilles d'œufs et de mollusques, pour une meilleure digestion et pour une optimisation des taux de calcium, particulièrement nécessaires pour les femelles en période de ponte (Merrill, 1976 ; Dhont & Hochachka, 2001 ; Oliver, 2002). Elles ingèrent également des petites quantités de végétaux ou de fruits (baies), qui semblent constituer d'après certains auteurs un dernier recours en cas de manque d'alimentation dans le milieu (Viettinghoff-Riesch, 1955 ; Turner, 2006). Chez les oisillons, ce sont les Diptères qui constituent la partie

la plus importante du régime alimentaire. Par contre, ce sont les Coléoptères qui constituent les proies les plus consommées en Pologne (**Orłowski & Karg, 2011**), probablement à cause de l'implantation des nids dans des fermes traditionnelles ou encore à cause de l'utilisation de la technique coprométrique qui met plus en évidence la présence de Coléoptères (**Turner, 1982**) par rapport à la technique d'analyse des contenus stomacaux (**Cramp, 1998 ; Schulze-Hagen, 1970; Kozena, 1980 ; Møller, 2001**) ou celle de la pose des colliers (**Tryjanowski et al., 2003a ; Tryjanowski et al., 2003b ; Ahnström et al., 2008**). D'ailleurs, le parti pris que nous avons assumé nous a permis à travers l'utilisation conjointe de deux dispositifs d'analyse du régime alimentaire, d'identifier le maximum d'items – proies. Nos résultats ont d'ailleurs montré l'absence de certains ordres taxonomiques dans le milieu urbain, aux dépens de certains autres comme les Diptères qui s'accommodent aux conditions offertes par ce type de milieux (foisonnement d'ordures ménagères, présence d'eau dans les caves des immeubles, déversement des eaux usées à ciel ouvert...etc).

L'investissement parental conditionne-t-il la fitness des pulli ?

Trivers (1972) a défini l'investissement parental comme des soins qui augmentent la survie de la progéniture, bien souvent au détriment des parents en termes de survie réduite ou de réduction des capacités à investir dans d'autres descendants. Les facteurs qui peuvent augmenter la qualité de la couvée comprennent le nombre de jeunes, leur taille et leur masse, leur âge, leur sexe et leur résistance aux parasites (**Trivers & Willard, 1973 ; Curio, 1983 ; Clutton-Brock, 1991 ; Magrath, 1991 ; Brown & Brown, 1999**). Dans notre étude, nous avons pu démontrer à travers la mesure de certains paramètres l'existence d'une garde biparentale où les deux adultes participent activement aux soins parentaux et s'investissent aux différentes phases de l'élevage et de la protection de la couvée. Ce résultat ouvre un champ intéressant de perspectives dans la mesure des phénomènes de coopération entre individus non apparentés et des conflits entre les sexes (**Royle et al. 2002 ; Johnstone et Hinde 2006 ; Harrison et al. 2009**). Ces conflits sont générés par un partage non équitable de soins, qui sont coûteux en énergie, où chaque parent est mieux loti si l'autre parent fournit la majorité des soins, créant ainsi un conflit sexuel sur les soins parentaux (**Whittingham et al., 1994 ; Hainstock et al., 2010 ; Dickins, 2016 ; Lendvai et al. 2018**). Pour nourrir leur progéniture, les Hirondelles de cheminées doivent fournir un effort colossal de collecte des

insectes, qui sont chassés et stockés (bol alimentaire) au niveau de la gorge des adultes avant de revenir au nid (**Turner, 2006**). La quantité de proies peut être très variable, variant d'une proie à une centaine dans un seul bol alimentaire (**Turner, 1980 ; Turner, 2006**). Ce taux de nourrissage par les parents revêt une importance capitale dans la compréhension des traits d'histoire de vie et du comportement de l'espèce. Il est d'ailleurs conditionné par le nombre de visites effectuées au nid et par la quantité de nourriture donnée à chaque visite par les parents (**Royama, 1966 ; Brown & Brown, 1999**). Dans notre cas, si les deux parents participent activement à la défense contre les prédateurs, le mâle est celui qui effectue le plus d'aller-retour à la recherche de ressources trophiques, il participe activement à la sanitation en débarrassant les nids des fientes (jusqu'à ce que les jeunes le fassent de façon autonome). Quant à la femelle, elle participe à moindre coût à l'effort de recherche alimentaire, mais reste le plus au nid pour prendre soins des pulli surtout lorsque ces derniers sont très jeunes. Cette stratégie de soins biparentaux est de toute évidence optimale, puisque tous les œufs éclos arrivent à la phase d'envol des jeunes. Pour obtenir une couvée de qualité, les parents doivent donc équilibrer les risques de prédation et de fatigue par rapport aux capacités d'alimentation et à d'approvisionnement alimentaire local (**Drent et Daan, 1980 ; Wright et al., 1999**). Les parents doivent aussi investir considérablement dans la défense de leur progéniture, car la prédation des nids est l'un des plus importants facteurs conditionnant le succès de la reproduction chez les oiseaux (**Montgomerie et Weatherhead, 1988**). Dans notre cas, le succès à l'envol est probablement le meilleur indicateur du niveau de soins parentaux compensatoires.

Conclusion

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Les oiseaux migrateurs ont déployé d'importants mécanismes adaptatifs à la reconquête de nouveaux territoires qui n'avaient pas été occupés auparavant par des congénères migrateurs. Les phénomènes de compétition intra - spécifique pour des ressources de plus en plus limitées, et ceux d'une dispersion de ces individus vers des sites nouveaux a largement participé au remaniement des flux migratoires et probablement aux traits d'histoire de vie de la plupart de ces espèces à la recherche d'habitats de prédilection. L'hirondelle de cheminée ne déroge pas à cette règle puisque nos travaux ont pu démontrer l'adaptabilité de l'espèce à la fragmentation des habitats naturels, et sa dispersion vers des milieux urbains et péri urbains contrairement à ceux affectionnés par l'espèce en Europe, suggérant ainsi l'importance des mécanismes transitionnels qui s'opèrent dans la limite sud de l'aire de reproduction de l'hirondelle rustique.

Nos résultats ont également démontré une évolution des traits d'histoire de vie de l'espèce avec des dates d'arrivée, plus tardives, se situant vers le début du mois de mars, et des dates de départ vers les quartiers d'hiver vers la fin du mois de septembre. Si le déclenchement et le déroulement de la reproduction se font comme pour toutes les régions d'étude selon un gradient croissant de latitude, l'investissement parental lui est équitablement distribué entre les deux sexes dans une répartition des tâches optimale, et dans le total respect de tous les schémas d'allocation d'énergie. L'hirondelle de cheminée, comme toutes les espèces biparentales, s'avère obéir à la théorie selon laquelle l'investissement parental prédit une relation inverse entre le niveau de soins parentaux fournis par chaque parent, et une compensation incomplète par un parent en réponse à la réduction des soins parentaux par son partenaire.

A partir de tous ces éléments, il serait intéressant d'envisager les perspectives suivantes :

- Caractériser l'effet de l'urbanisation sur l'état de santé des pulli.
- Caractériser l'impact de l'urbanisation chez d'autres espèces aviaires commensales de l'homme et exploitant les mêmes niches trophiques, tels que les moineaux.

- Vérifier cette tendance globale à l'urbanisation chez d'autres espèces migratrices exploitant la limite sud de l'aire de reproduction telles que les martinets.

Références bibliographiques

- A

- **Ahnström, J., Berg, A. & Söderlund, H. (2008).** Birds on farmsteads effects of landscape and farming characteristics. *Ornis Fenn.* 85. p.p. 98-108.
- **Al-Rawy, M. & George, P. V. (1966).** Preliminary report on the breeding biology of the Common Swallow *Hirundo rustica rustica* Linnaeus in Baghdad. *Bull. Biol. Res. Ctr.* 2: 57-61.
- **Adams L.E.G. (1957).** Nest records of the Swallow. *Bird Study* vol 4. p.p. 28-33.
- **Alatalo R. (1976).** Haarapääsuyn *Hirundo rustica pesinnästä Oulussa vuosina 1966-1974*. *Lintumies* vol 11. p.p. 81-87.
- **Alberti M. (2015).** Eco-evolutionary dynamics in an urbanizing planet *Trends. Ecology & Evolution.* Vol 30. p.p.114-126
- **Ambrosini R. (2000).** Effects della dismissione delle pratiche tradizionali di allevamento bovino popolazioni di rondine (*Hirundo rustica*). Parco Regionale Adda Sud. p.p. 1-314.
- **Ambrosini, R., Bolzern, A. M., Canova, L., Arieni, S., Møller, A. P. and Saino, N. (2002).** The distribution and colony size of barn swallows in relation to agricultural land use. *J. Appl. Ecol.* 39: 524–534.
- **Ambrosini R., Rubolini D., Trovò P., Liberini G., Bandini M., Romano A., Sicurella B., Scandolara C., Romano M., Saino N. (2012).** Maintenance of livestock farming may buffer population decline of the Barn Swallow *Hirundo rustica* . *Bird Conserv. Internatn.* 22 : 411 – 428.
- **Ambrosini R., Saino N., Rubolini D., Møller A. P. (2011).** Higher degree-days at the time of breeding predict size of second clutches in the barn swallow. *Clim. Res* vol 50. p.p. 43–50.
- **Amundsen T., Slagsvold T. (1991).** Asynchronous hatching in the pied flycatcher: an experiment. *Ecology*, vol 72. p.p. 797-804.
- **Arnould, P., Le Lay, Y. F., Dodane, C., & Méliani, I. (2011).** La nature en ville : l'improbable biodiversité. *Geographie Economie Societe*, 13(1), 45–68. <https://doi.org/10.3166/ges.13.45-68>
- **Aronson M. F. J., La Sorte F. A., Nilon C. H., Katti M., Goddard M. A., Lepczyk C. A., Warren P. S., Nicholas *et al.* (2014).** A global analysis of the impacts of urbanization on bird and plant diversity reveals key anthropogenic drivers. *The Royal Society.* p.p.8

- B

- **Badyaev A. V., Faust J D. (1996).** Nest Site Fidelity in Female Wild Turkey: Potential Causes and Reproductive Consequences, *The Condor*. Vol.98. p.p. 589–594,
- **Bañbura j., blondel j., de wilde-lambrechts H., galan M. J., Maistre M. (1994).** Nestling diet variation in an insular mediterranean population of blue tits *parus caeruleus*. effect of years, territories and individuals. *Oecologia* vol 100. p.p. 413-420.
- **Bañbura J., Zielinski P. (1998).** Timing of breeding, clutch size and double-broodness in the Barn Swallow *Hirundorustica*. *Ornis Fennica*, vol 75. p.p. 177-183.
- **Barbault R.** Écologie générale. Paris: Masson, 1983.
- **Beal F. E. L. (1918).** Food habits of the swallows: A family of valuable native birds. No. 619. US Department of Agriculture. p. 28
- **BirdLife International (2004).** Birds in Europe: Population estimates, trends and conservation status. Cambridge, UK: BirdLife International.
- **BirdLife International (2021).** Species factsheet: *Hirundo rustica*. Downloaded from <http://www.birdlife.org> on June 21, 2021.
- **Blair R. B. (2001).** Birds and butterflies along urban gradients in two ecoregions of the U.S. in Lockwood JL & McKinney ML, eds. *Biotic Homogenization*. Norwell (MA). Kluwer. p.p.33–56
- **Blondel J., Thomas D.W. Charmantier A., Perret P., Bourgault P. & Lambrechts M.M. (2006).** A thirty-year study of phenotypic and genetic variation of Blue Tits in Mediterranean habitat mosaics. *BioScience* 56, 8: 661-673.
- **Bonadona P. (1989).** les Anthicidae (*Coleoptera*) de la faune de France (sixième partie). *Bull. Mens. Soc. Linn. Lyon*, vol 58(2). p.p. 65-88.
- **Both, C., van Turnhout, C. A. M., Bijlsma, R. G., Sipel, H., Van Strien, A. J. and Foppen, R. P. B. (2010)** Avian population consequences of climate change are most severe for long-distance migrants in seasonal habitats. *Proc. R. Soc. B* 277: 1259–1266.
- **Boyd A.W. (1936).** Report on the Swallow enquiry. 1935. *Brit. Birds*, vol 30. p.p. 98-116.
- **Brown C., Brown B. (1999).** Barn swallow (*Hirundo rustica*). *The birds of North America*, Volume 452. Philadelphia: The Birds of North America.

- C

- **Campbell R.W., Dawe N. K., McTaggart-Cowan I., Cooper J. M., Kaiser G. W., McNall M. C. E., Smith G. E. J. (1997).** The birds of British Columbia, Volume 3 Passerines, Flycatchers through vireos. B.C. Ministry of Environment, Lands and Parks and Canadian Wildlife Service
- **Chamberlain D., Arlettaz R., Caprio E., Maggini R., Pedrini P., Rolando A., Zbinden N. (2012).** The altitudinal frontier in avian climate change research. *Ibis* vol.154. p.p. 205-209.
- **Cheng Y, Fiedler W, Wikelski M, Flack A, (2019).** “Closer-to-home” strategy benefits juvenile survival in a long-distance migratory bird. *Ecol. Evol.* 9: 8945–8952.
- **Clark, R.G., and Shutler, D. (1999).** Avian habitat selection: pattern from process in nest-site use by ducks? *Ecology*, 80: 272–287.
- **Clutton-Brock T. H. (1991).** The Evolution of Parental Care. New Jersey: Princeton University Press
- **Cramp S. (1988).** Handbook of the birds of Europe, the Middle East and North Africa. The birds of the Western palearctic, V. Oxford University PRESS, Oxford
- **Cramp S. (1994).** The birds of the Western Palearctic, vol. IX. Bunting and new world warblers. Oxford: Oxford University Press. 496 p 80)
- **Cramp S. (1998).** The Complete Birds of the Western Palearctic on CD-ROM. Oxford University Press, Oxford.
- **Crick H. Q. P. (2004).** The impact of climate change on birds. *British Ornithologists' Union*. vol146 (1).p.p. 48–56
- **Croci S., Butet A., Clergeau P. (2007).** Role of the landscape on the distribution pattern of animal along a gradient of urbanisation. *World Congress*. Jul. Wageningen, Netherlands. p.p.215-216
- **Curio E. (1983).** Why do young birds reproduce less well? *Ibis* 125. p.p. 33-39

- D

- **Dadci W., Sakraoui R., Boukheroufa M., Abdallah W., Sakraoui F. (2021).** Parental Investment of Adult Barn Swallow *Hirundo rustica* at Nestling Feeding in the Urban Locality of El Bouni (Northeast, Algeria). *Ecology, environment and conservation* p.p.1-5

- **Daoudi-Hacini S. (2004).** Bioécologie de deux espèces d'hirondelle l'hirondelle de cheminée *Hirundo rustica* Linné, 1758 et de l'hirondelle de fenêtre *Delichon urbica* Linné, 1758 (Aves, Hirundinidae) dans différents biotopes d'Algérie. Thèse de doctorat. Institute National Agronomique El Harache. p.p.345
- **Daoudi-Hacini, S., Merzouki, Y. & Doumandji, S. (1999).**- Régime alimentaire de l'Hirondelle de fenêtre *Delichon urbica* Linné, 1758 (Aves, Hirundinidae) dans une station suburbaine à Dar El Baida près d'Alger. 4^e journée d'ornithologie, 16 mars 1999, Lab. Ornith., Dép. Zool. Agri. For., Inst. Nat. Agro., El Harrach, p. 24.
- **Dardenne S. (2013).** Reproduction en groupe chez l'Hirondelle rustique (*Hirundo rustica*): stratégies individuelles et interactions sociales. Thèse de doctorat (es) sciences. Université de Liège France. P. 260+16
- **Del Hoyo J., Elliott A., Sargatal J., Christie D. (2018).** Handbook of the Birds of the World Alive. Lynx Edicions, Barcelona, Spain
- **Dias P. C. (1994).** Blue tits in mediterranean habitat mosaics. *Ardea*. Vol 82(2). p.p. 363-372
- **Dias P.C. & J. Blondel (1996).** Breeding time, food supply and fitness components of Blue Tits *Parus caeruleus* in Mediterranean habitats. *Ibis* 138: 644- 649.
- **Dickins T. E. (2016).** Average clutch size for a Kittiwake (*Rissa tridactyla*) colony on Lundy. *Devon Birds*, vol 69(1). p.p. 7-13.
- **Dhont A. & Hochachka W.M. (2001).** Variations in calcium use by birds during the breeding season. *Condor* 103. p.p, 592-598.
- **Doerr V.A.J., Doerr E.D., and Jenkins S.H. (2006).** Habitat selection in two Australasian treecreepers: what cues should they use? *Emu*, 106: 93–103.
- **Dragonkina N. S. (1986).** The study of the birds of the USSR, their Conservation, and Wase Management, Vol. 1. Leningrad (in Russian)
- **Drent R. H., Daan S. (1980).** The prudent parent: energetic adjustments in avian breeding. *Ardea* vol 68. p.p. 225-252.
- **Dusoulier F., Mouquet C. (2007).** Clé de détermination des Acanthosomatidae Signoret, 1864 du Massif armoricain (*Hemiptera*, *Heteroptera*). Vol1. p.p.7-13.

- E

- **Ehret J. M. (1990).** Les Apions de France : Clés d'identification Commentées (Coleoptera Curculionidae Apioninae). Bull. Mens. Soc. Linn Lyon Vol 59(7). p.p. 209-292.
- **Engstrand S.M., Bryant T.M. (2002).** A trade-off between clutch size and incubation efficiency in the Barn Swallow *Hirundo rustica*. Funct Ecol 16. p.p. 782-791
- **Evans, K.L., Wilson, J.D. & Bradbury, R.B. (2003).** Swallow *Hirundo rustica* population trends in England: data from repeated historical surveys. Bird Study, 50: 178-181.

- F

- **Faeth H. S., Bang C., Saari S. (2011).** Urban biodiversity: patterns and mechanisms. Ecology and Conservation Biology. p.p. 69–81
- **Faeth S. H., Bang C., Saari S. (2011).** Urban biodiversity: patterns and mechanisms. Annals of the New York Academy of Science. Vol. 1223. p.p. 69-81
- **Faivre, B. (1986).** Régime alimentaire des petits passereaux insectivores. D. E. A. Université. Lyon I.
- **Fenghour, H., Lazli, A., Chagra, A., Rouaiguia, M., Bouaguel, L., Bouguessa, L., Bouguessa, S., & Houhamdi, M. (2018).** Diets of two species of swallows (passerines) nesting in the city of Tebessa (eastern Algeria). *Bulletin de La Societe Zoologique de France*, 143(3), 171–185.
- **Fenghour H., Houhamdi M. (2020).** Le régime alimentaire et la flore bactérienne des hirondelles. Universitaires européennes. p.51
- **Foley A., DeFries R., Asner G. P., Barford C., Bonan G. et al. (2005).** Global Consequences of Land Use. Science. Vol 309. p.p.570-574
- **Fondation pour la recherche sur la biodiversité. (2015).** Réponses et adaptations aux changements globaux quels enjeux pour la recherche sur la biodiversité. Réponses Et Adaptations. p.74

- G

- **Garamszegi LZs, Török J, Tóth L, Michl G (2004)** Effect of timing and female quality on clutch size in the Collared Flycatcher *Ficedula albicollis*. *Bird Study* 51.p.p.270-277
- **Georg P. V. and M. Al-Rawy. 1970.** Growth studies on nestlings of the Common Swallow *Hirundo rustica rustica*. *Bull. Iraq Nat. list. Mus.* 4: 3-20
- **Grimm N. B., Foster D., Groffman P., Charles S. (2008).** The changing landscape: ecosystem responses to urbanization and pollution across climatic and societal gradients. *Front Ecol Environ* vol 6(5). p.p.264-272.

- H

- **Haddad N. M., Brudvig L. A., Clober J., Davieset K. F., Grove J. M. et al. (2015).** Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science advances* Vol 1. Issue 2. p.p.1-9.
- **Hainstock M., Carr J., Smith M. & Shutler D. (2010).** Parental investment and brood value in tree swallows, *Tachycineta bicolor*. *Behaviour* 147. p.p. 441–464.
- **Halmos, G., Karcza, Z., Németh, Á., & Csörgő, T. (2010).** The migratory fattening of the barn swallow in Hungary. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 56(1), 73–87.
- **Harrison F., Barta Z., Cuthill I., Székely T. (2009).** How is sexual conflict over parental care resolved? A meta-analysis. *J Evol Biol* 22. p.p.1800-1812.
- **Heiss R. S., Clark A. B., Kevin J., McGowan. (2009).** Growth and nutritional state of American Crow nestlings vary between urban and rural habitats. *Ecological Applications*. vol 19(4). p.p.829–839
- **Hemery G., Nicolau-Guillaumet P. & Thibault J.-C. (1979)** : Etude de la dynamique des populations françaises d'Hirondelles de cheminée (*Hirundo rustica*) de 1956 à 1973. *L'Oiseau et R.F.O.* 49: 213-230.
- **Herrera-Dueñas A., Pampliega J. P., Antonio-García M., Aguirre J. (2017).**The Influence of Urban Environments on Oxidative Stress Balance A Case Study on the House Sparrow in the Iberian Peninsula. *Front. Ecol.* vol 106.
- **Hobson K. A., Møller A. P., Van Wilgenburg S. L. (2012).** A multi-isotope ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^2\text{H}$) approach to connecting European breeding and African wintering populations of barn swallow (*Hirundo rustica*). *Animal Migration*. p.p.8-22

- I

- **Ismail N., Abdul Rahman A. A., Mohamed M., Abu bakar M. F., Tokiman L. (2020)** Butterfly as bioindicator for development of conservation areas in Bukit Reban Kambing, Bukit Belading and Bukit Tukau, Johor, Malaysia .Vol 21(1).p.p. 334-344
- **Ismail N. A., Daud U. N. S., Nor S. M., Mansor M. S. (2021).** Population trends of passage and wintering barn swallows (*Hirundo Rustica*) in Peninsular Malaysia. Earth and Environmental Science. p.09.

- J

- **Jeromin, K. 1999.** Die Brutvogel des Dorfes Labenz 1931 und 1995– Wandel von Dorfstruktur und Vogelwelt. Corax 18 : 88–103.
- **Jim C. Y. (1998).** Physical and chemical properties of a Hong Kong roadside soil in relation to urban tree growth. Urban Ecosystems. Vol 2. p.p.171–181
- **Jiménez-Peñuela J. (2021).** Impact of landscape anthropization on pathogen transmission dynamics and wild birds health. Thèse de Doctorat. Universidad de Sevilla, Seville, Spain.
- **Jiménez-Peñuela J., Ferraguti M., Martínez-de la Puente J., Sorriquer R., Figuerola, J. (2019).** Urbanization and blood parasite infections affect the body condition of wild birds. Science of the Total Environment, vol 651. p.p.3015-3022.
- **Johnson M. T., Munshi-South J. (2017).** Evolution of life in urban environments. Science, 358(6363), eaam8327
- **Johnstone R.A., Manica A., Fayet A.L., Stoddard M.C., Rodriguez-Gironés M.A., Hinde C.A. (2014).** Reciprocity and conditional cooperation between great tit parents. Behav. Ecol. 25. p.p. 216–222.

- K

- **Kauffman, M. J., Cagnacci, F., Chamailé-Jammes, S., Hebblewhite, M., Hopcraft, J. G. C., Merkle, J. A., Mueller, T., Mysterud, A., Peters, W., Roettger, C., Steingisser, A., Meacham, J. E., Abera, K., Adamczewski, J., Aikens, E. O.,**

- Bartlam-Brooks, H., Bennitt, E., Berger, J., Boyd, C., ... Zuther, S. (2021).** Mapping out a future for ungulate migrations. *Science*, 372(6542), 566–569.
- **Klomp H. (1970).** The determination of clutch size in birds. A review. *Ardea*58: 1-124
 - **Klvaňová A., Voříšek P., Gregory R. D., Van Strien A. R. C. O., Gmelig Meyling A. W. (2009).** Wild birds as indicators in Europe: latest results from the Pan-European Common Bird Monitoring Scheme (PECBMS). *Avocettavol.*33. p.p.7-12.
 - **Kondelka, D. (1985).** Gelegegrosse und Brutverluste der Rauchschnalbe (*Hirundo rustica*) im nordmährischen Kreis (CSSR). *Folia Zool.* 34: 149-158.
 - **Koskimies J. (1948).** On temperature regulation and metabolism in the Swift, *Micropus a. apus* L., during fasting. *Experientia* vol 4. p.p. 274-282.
 - **Kozena I. (1980).** Dominance of items and diversity of the diet of young swallows (*Hirundo rustica*), *Folia Zool.*, 29. p.p. 143 - 156.
 - **Kuzniak, S. (1967).** Obserwacje nad biologią okresu legowego dymowki, *Hirundo rustica* L. *Acta Omithol.* 10: 177-211.

- L

- **Lack D. (1947).** The significance of clutch size. *Ibis* vol89. p.p. 302-352.
- **Lack D. (1954).** The natural regulation of animal numbers. Oxford Univ. Press. 343pp.
- **Lack D. (1966).** Population studies of birds. Oxford, England, Oxford Clarendon Press
- **Lambrechts M. .M ., Blondel J ., Maistre M. et Perret P. (1997) .** A single reponse mechanism is responsible for evolutionary adaptative variation in a bird's laying date. *Proc . Natl . Acad . Sci . USA.*, 94 : 5153 – 5155 .
- **Landrigan P. J., Fuller R. (2015).** Global health and environmental pollution. *International Journal of Public Health.* Vol 60. p.p.761–762
- **Lavorel S., Lebreton J. D., le Maho Y. (2017).** Les mécanismes d'adaptation de la biodiversité aux changements climatiques et leurs limites. *Rapport de l'académie des sciences.* Institut de france p.p. 157
- **Lefeuvre J. C. (1999).** Données sur les dates de migration et de nidification des oiseaux d'eau et des oiseaux migrateurs. *Courier de l'environnement de l'INRA.* p.p. 99-106.
- **Lendvai A.Z., Akçay C., Stanback M., Haussmann M.F., Moore I.T., & Bonier F. (2018).** Male parental investment reflects the level of partner contributions and brood value in Tree swallows. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 72 (185). p.p. 3-11.

- **Liker A., Papp Z., Bókony V., Lendvai A. Z. (2008).** Lean birds in the city. Body size and condition of house sparrows along the urbanization gradient. *Journal of Animal Ecology*. p.7
- **Liu Y., Scordato E. S. C., Safran R., Evans M. (2018).** Ventral colour, not tail streamer length, is associated with seasonal reproductive Performance in a Chinese population of Barn Swallows (*Hirundo rustica gutturalis*). *Journal of Ornithology*. vol 159. p.p.675–685.
- **Löhrl, H. & Gustscher, H. (1973)** Zur Brutökologie der Rauchschnalbe in einem sudwestdeutschen Dorf.? *Journal of Ornithology* 114: 399?416
- **Loske K H. (1989).** Zur Brutbiologie der Rauchschnalbe (*Hirundo rustica*) in Mittelwestfalen. *Vogelwelt* vol 110. p.p.59-82.
- **Lovett G.M., Traynor M.M., Pouyat R.V., Carreiro M.M., Zhu W.X. & Baxter J.W. (2000).** Atmospheric deposition to oak forests along an urban-rural gradient. *Environmental Science & Technology*,34. p.p. 4294–4300.
- **Lubbe S. K., de Snoo G. R. (2007).** Effect of dairy farm management on *Swallow Hirundo rustica* abundance in The Netherlands. *Bird Study*.vol54(2). p.p. 176-181.

- M

- **Magrath R.D. (1991).** Nestling weight and juvenile survival in the blackbird, *Turdus merula*. *J. Anim. Ecol.* 60. p.p. 335–351.
- **Maillet, D., & Weber, J. M. (2006).** Performance-enhancing role of dietary fatty acids in a long-distance migrant shorebird: The semipalmated sandpiper. *Journal of Experimental Biology*, 209(14), 2686–2695.
- **Manco F. Dupuis F. Jacot P. & Costa S. (2010).** Les Hironnelles de Suisse informations pour la protection des Hironnelles. Service d'étude et de protection du centre ornithologique de réadaptation (COR). 1 -24.
- **Magrath R.D. (1989).** Hatching asynchrony and reproductive success in the blackbird. *Nature* 339. p.p. 536-538.
- **Martin, T.E. (1998).** Are microhabitat preferences of coexisting species under selection and adaptive? *Ecology*, 79. p.p. 656–670.

- **McDonnell, M. J., & Pickett, S. T. A. (1990).** Ecosystem structure and function along urban-rural gradients: an unexploited opportunity for ecology. *Ecology*, 71(4), 1232–1237.
- **McGinn, D.B. (1979).** Status and breeding of Swallows in Banffshire. *Scottish Birds* 10: 221-229.
- **McGinn D. B., Clark H., (1978).** Some measurements of swallow breeding biology in lowland Scotland. *Bird study* 25. p.p.109-118.
- **Mckinney M. L. (2002).** Urbanization, Biodiversity, and Conservation. *BioScience*. Vol. 52. p.p. 883-890.
- **Mckinney M.L. (2006).** Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological Conservation*. Volume 127, Issue 3, January 2006, Pages 247-260
- **McKinney M. L. (2008).** Effects of urbanization on species richness: A review of plants and animals. *Urban Ecosystems*, 11, 161–176.
- **Meijer T. & Daan S. & Hall M. (1990).** Family planning in the Kestrel (*Falco tinnunculus*): the proximate control of covariation of laying date and clutch size. *Behaviour* 14. p.p. 177-136.
- **Meillère A. (2015).** Influence de l'environnement urbain sur les passereaux une approche éco-physiologique et éco-toxicologique. Thèse de doctorat. (es) Sciences. École Doctorale Sciences pour l'Environnement Gay Lussac. France. p.p.207.
- **Merckx T., Souffreau C., Kaiser A., et al. (2018).** Body size shifts in aquatic and terrestrial urban communities. *Nature*.p.p.1-28.*in press*
- **Merrill J. (1976).** Oyster shells attract Barn Swallows. *East Bird-Banding News* 39. p.p. 20-21.
- **Mielke H. W. (1999).** The Urban Environment and Childrens Health: Soils as an Integrator of Lead,Zinc, and Cadmium in New Orceans, Louisiana. U.S.A. *Environmental Research*. Vol 81. p.p.117-129
- **Mignon J., Haubruge E., fracis F. (2016).** Clé d'identification des principales familles d'insectes d'europe. Les presses agronomique de Gembloux.
- **Møller A P. (1982).** Clutch size in relation to nest size in the Swallow *Hirundo rustica*. *Ibis*. Vol.124. p.p. 339–343
- **Møller A. P. (1983).** Breeding habitat selection in the Swallow *Hirundo rustica*.*Bird Study* 30, 134-142.

- **Møller A. P. (1984).** Geographical trends in breeding parameters of swallows *Hirundorustica* and House Martins *Delichonurbica*. Oxford University Press, Oxford.
- **Møller A. P. (1989).** Population-dynamics of a declining swallow *Hirundo rustica* population. *J. Appl. Ecol.* vol.58. p.p.1051–1063.
- **Møller AP. (1994).** Sexual selection and the barn swallow. Oxford: Oxford University Press.
- **Møller A. P. (2001).** The effect dairy farming on barn swallow *Hirundo rustica* abundance, distribution and reproduction. *J Appl Ecol.* 38 :378–389.
- **Møller A. P., de Loupe F. (1994).** Differential costs of a secondary sexual characters: An experimental test of the handicap principle. *Evolution.* Vol 48. p.p. 1676-1683.
- **Møller A. P., Diego R., Esa L. (2008).** Populations of migratory bird species that did not show a phenological response to climate change are declining. *Proceedings of the National Academy of Sciences* Vol 105(42). p.p.16195-16200.
- **Møller A. P., Van Nus T., Hobson K. A. (2021).** Rapid reduction in migration distance in relation to climate in a long-distance migratory bird. *Current Zoology.* p.p.1-3.
- **Montgomerie R. D. & Weatherhead P.J. (1988).** Risks and rewards of nest defense by parent birds. *Quart. Rev. Biol.* 63:167-187.
- **Moreno J., Gustafsson L., Carlson A., Pärt T. (1991).** The cost of incubation in relation to clutch size in the Collared Flycatcher *Ficedula albicollis*. *Ibis* 133. p.p. 186-193.
- **Mullarnay K., Svensson L., Zetterström D., Grant P. J. (1999).** Le guide ornitho- les 848 espèces d'Europe en 4000 dessins. Paris
- **Müller M., Passinelli G., Schiegg K., Spaar R. and Jenni L. (2005).** Ecological and social effects on reproduction and local recruitment in the red-backed shrike. *Oecologia (Berl.)*, 143: 37– 50. doi:10.1007/s00442-004-1770-5.

- N

- Newton I. (2008).** The migration ecology of birds. Academic Press, Amsterdam, The Netherlands.
- **Newton I, Marquiss M, Village A (1983)** Weights, breeding, and survival in European Sparrowhawks. *Auk* 344-354
 - **Nizynska-Bubel, J., & Kopyj, G. (2007).** Population density, nesting sites and breeding success in Barn Swallows in urban habitats, SW Poland. *Ekologia*, 16(2), 232–239.

- O

- **O'Connor, R. J. (1978).** Nest-box insulation and the timing of laying in the Wytham woods population of great tits *Parus major*. *The Ibis* 120:534–537. Pachauri, R. K., and A. Reisinge
- **Oke T. R. (1995).** The Heat Island of the Urban Boundary Layer: Characteristics, Causes and Effects. *Wind Climate in Cities*. p.p.81-107
- **Oliver C., Ragavan S., Turnbull J., Chowdhury A., Borden D., Fry T., Gutgutia S. & Srivastava S. (2021).** Introduction to the urban ecologies open collection: A call for contributions on methods, ethics, and design in geographical research with urban animals. *Geo: Geography and Environment*. p.p. 1 – 7.
- **Orłowski, G., and J. Karg. (2011).** Diet of nestling Barn Swallows *Hirundo rustica* in rural areas of Poland. *central European journal of Biology* 6: 1023–1035.
- **Országhová Z. (2013).** Breeding biology of the barn swallow (*Hirundo rustica*) in the surroundings of Bratislava (Slovakia). *Folia faunistica Slovaca*, 18 (1). p.p. 91-95
- **Owens I. P. F., Bennett P. M. (2000).** Quantifying Biodiversity: a Phenotypic Perspective. *Conservation Biology*. Vol 14.p.p.1014–1022

- P

- **PECBMS (2009).** The state of Europe's com- mon birds 2008. Prague, Czech Republic, CSO/RSPB. Pinheiro, J., Bat
- **Perrins C., Cuisin M. (1987).** Les oiseaux d'Europe - Delachaux et Niesdé, Neuchâtel, paris. p.319.
- **Pickett S. T. A. Cadenass M. L., Grove J. M. et al. (2011).** Urban ecological systems: Scientific foundations and a decade of progress. *Journal of Environmental Management*. Vol 92. p.p. 331-362
- **Plowes N. J. R., patroock R. (2000).** A field key to the ants (*hymenoptera formicidae*) found at Brackenridge field laboratories Austin Travis country Texas.
- **Pouyat R. V., Yesilonis I. Y., Szlavec K., Csuzdi C., Hornung E. et al .(2008).**Response of forest soil properties to urbanization gradients in three metropolitan areas. *Landscape Ecol.* Vol 23. p.p.1187–1203

- R

- **Radchuk V. et al. (2019).** Adaptive response of animals to climate change are most likely insufficient. *Nature communication*. p.p. 1-15
- **Réale D. (1997).** Ressources trophiques et reproduction chez les Mammifères et les Oiseaux. *Rev. Ecol. (Terre Vie)*. 52. p.p. 369-410.
- **Reid J.M., Monaghan P., Rouxton G.D. (2000).** Resource allocation between reproductive phases: the importance of thermal conditions in determining the cost of incubation. *Proc R Soc Lond B* 267. p.p. 37-41
- **Ribaut J. P. (1982).** Biologie de la reproduction de quelques populations d'Hirondelles (*Hirundorustica*) en Alsace de 1973 à 1980. *Ciconia* vol 6(1). p.p.23-52.
- **Robinson R. A., Crick H. Q. P., PEACH W. J. (2003).** Population trends of Swallows *Hirundo rustica* breeding in Britain. *Bird Study*. Vol 50. p.p.1-7.
- **Royama T. (1966).** Factors governing feeding rate, food requirements and brood size of nestling great tits *Parus major*. *Ibis* 108. p.p. 313–347.
- **Royle N.J., Hartley I.R. & Parker G.A. (2002).** Sexual conflict reduces offspring fitness in zebra finches. *Nature* 416. p.p. 733–736.
- **Ruiz, G., Rosenmann, M., Novoa, F. F., & Sabat, P. (2002).** Hematological parameters and stress index in Rufous-collared Sparrows dwelling in urban environments. *The Condor*, 104, 162.
- **Ruuskanen et al., 2021.** Endocrinology of thermoregulation in birds in a changing climate. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 519 (January), 111088.

- S

- **Safran, R.J. 2006.** Nest-site selection in the Barn Swallow, *Hirundo rustica*: what predicts seasonal reproductive success? *Can. J. Zool.* 84(11): 1533–1539.
- **Safran R. (2010).** Barn Swallows: Sexual and Social Behavior. *Encyclopedia of Animal Behavior*, vol. 1, p.p. 139-144.
- **Safran RJ, McGraw KJ. (2004).** Plumage coloration, not length or symmetry of tail-streamers, is a sexually selected trait in North American barn swallows. *Behav. Ecol.* 15:455–461.

- **Safran R.J., Vortman Y., Jenkins BR., Hubbard JK., Wilkins MR., Bradley R.J., Lotem A. (2016)** The maintenance of phenotypic divergence through sexual selection: an experimental study in Barn Swallows *Hirundo rustica*. *Evolution* 70 :2074–2084
- **Sanderson, F. J., Donald, P. F., Pain, D. J., Burfield, I. J. and van Bommel, F. P. J. (2006)** Long-term population declines in Afro-Palearctic migrant birds. *Biol. Conserv.* 131 : 93–105.
- **Sakraoui R. (2012).** Ecologie parasitaire et biologie de reproduction de l’Hirondelle de cheminée *Hirundo rustica* dans le Nord est algérien. Thèse de doctorat. Université BM Annaba, p.157
- **Sakraoui R., Dadci W., Chabi Y., Banbura J. (2005).** Breeding biology of Barn Swallows *Hirundo rustica* in Algeria, North Africa. *Ornis Fennica*, vol 82. p.p.33-43.
- **Sakraoui R., Dadci W., Boukhroufa M. (2022).** reproduction de l’hirondelle rustique dans le Nord Est Algérien. Edition Universitaires européennes. p.58
- **Schleuß U., Wu Q., Blume H. (1998).** Variability of soils in urban and periurban areas in Northern Germany. *Catena*. Vol 33. p.p.255- 270
- **Schulze-Hagen K. (1970).** Ein Beitrag zur Ernährung der Rauchschnalbe (*Hirundo rustica*). *Charadrius* vol6 (3). p.81
- **Scordato E. SC., Safran R. J. (2014).** Geographic variation in sexual selection and implications for speciation in the Barn Swallow. *Avian Research*.vol 5(8). p.13
- **Sériot J., Alvès D. (2002).** Les Hirondelles: description, moeurs, observation, protection, mythologie. Les sentiers du naturaliste. Paris Serrano
- **Seto K. C., Güneralp B., Hutyra L. R. (2012).** Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Vol 109(40). p.p.16083-16088.
- **Shields W.M., Crook J.R., Hebblethwaite M.L. and Wiles-Ehmann S.S. (1988).** Ideal free coloniality in the swallows. In *The ecology of social behavior*. Edited by C.N. Slobodchikoff. Academic Press, San Diego. pp. 189–228.
- **Sibly R. M., Atkinson D. (1994).** How Rearing Temperature Affects Optimal Adult Size in Ectotherms. *Functional Ecology*. Vol 8.p.p. 486-493
- **Siriwardena G. M., Baille S. R., Buckland S. T., Fewster R. M., Marchant J. H., Wilson J. D. (1998).** Trends in abundance of farmland birds: a quantitative comparison of smoothed Common Bird Census indices. *J. Appl. Ecol.* Vol 35. p.p.24–43

- **Slagsvold T, Lifjeld JT (1990)** Influence of male and female quality on clutch size in tits (Parus spp.). Ecology 71. p.p.1258-1266
- **Smiddy P., O'Halloran J. (2010)**. Breeding biology of Barn Swallows *Hirundo rustica* in Counties Cork and Waterford, Ireland. Bird Study. Vol57. p.p. 256–260
- **Sokal R. & Rohlf J. (1981)**. Biometry. 2nd ed., Freeman & Co., New-York
- **Svensson L. (1984)** Identification guide to European Passerines. 3rd ed., Stockholm Taborsky

- T

- **Tate P. (1986)**. The Swallow. Shire Natural History. Edition Brochet. 24p.
- **Thellesen P. V. (1976)**. En landsvalebestandpa en enkeltgard, gennem 5 arfra 1971 til 1975. Falken. Vol. (1). p.p. 6-23.
- **Theodoru P. (2022)**. The effects of urbanisation on ecological interactions. Current opinion in insect sciences. Vol 52. p.p.1-6.
- **Trivers R. L. (1972)**. Parental investment and sexual selection. In: Campbell B (ed) Sexual selection and the descent of Man 1871-1971. Aldine, Chicago, p.p. 136-179
- **Trivers R. & Willards D. (1973)**. Natural selection of parental ability to vary the sex ratio of offspring. Science 179 (4068). p.p. 90-102.
- **Tryjanowski P, Karg M.K. & Karg J. (2003a)**. Diet composition and prey choice by the Red-backed Shrike *Lanius collurio* in western Poland. Belg. J. Zool.,133. p.p. 157-162.
- **Tryjanowski P., Karg M.K., Karg J. (2003b)**. Food of the red-backed shrike *Lanius collurio*: a comparison of three methods of diet analysis. Acta Ornithol. 38.p.p. 59-64.
- **Tucker, G. M. and Heath, M. F. (1994)**. Birds in Europe: Their conservation status. Cam- bridge, UK : Birdlife International.
- **Turner A. K. (1994)**. The Swallow. Hamlyn, London.
- **Turner A. K. (1980)**. The use of time and energy by aerial feeding birds. Unpubl. PhD thesis, Univ. of stirling.
- **Turner D. A. (1982)**. Functional Programming and Proofs of Program Correctness in Tools and Notions for Program Construction. p.p 187-209. Cambridge University Press, (ed. Neel).

- **Turner A. (2004).** Family *Hirundinidae* (swallows and martins). In: J. Del Hoyo, A. Elliott and D. Christie (eds) Handbook of the Birds of the World, Vol. 9. Lynx Edicions, Barcelona. p.p.602–685
- **Turner A. K. (2006).** The barn swallows. London: T & AD Poyser .

- V

- **Vallet J. (2009).** Gradient d'urbanisation et communautés végétales d'espaces boisés Approche à plusieurs échelles dans trois agglomérations du Massif armoricain. Thèse de Doctorat (es) sciences. UNIVERSITE D'ANGERS. p.292.
- **Van Balen, J. H. (1973).** A comparative study of the breeding ecology of the great tit *Parus major* in different habitats. *Ardea* 61:1–93.
- **Van Nus T., Nato J. M. (2017).** Urban roost of wintering Barn Swallows *Hirundo rustica* in Aveiro, Portugal. *Ardea*. vol105 (1)..p.6.
- **Vietinghoff-Riesch, A. (1955):** Die Rauchschnalbe. Duncker & Humboldt, Berlin.
- **Virgós E. Llorente M. & Cortésá Y (1999).** Geographical variation in genet (*Genetta genetta* L.) diet: a literature review. *Mammal review*.

- W

- **Wegglar, M. & Widmer, M. (2000).** Comparison of population sizes of breeding birds in the Canton of Zurich in 1986–1988 and in 1999. Urbanisation and its effects on breeding birds. *Ornithol. Beob.* 97: 223–232.
- **Weidensaul S. (2022).** a world on the Wing: The Global Odyssey of Migratory Birds. Pan Macmillan. p.368.
- **Whittingham L.A., Dunn P.O., Robertson R.J. (1994).** Female response to reduced male parental care in birds: an experiment in tree swallows. *Ethology* 96. p.p. 260–269.
- **Wright J., Parker P. & Lundy K. (1999).** Relatedness and chick feeding effort in the cooperatively breeding Arabian babbler. *Animal Behaviour*, 58. p.p. 779–785.

- Z

- **Zhao, Y., Liu, Y., Scordato, E. S. C., Lee, M. B., Xing, X., Pan, X., Liu, Y., Safran, R. J., & Pagani-Núñez, E. (2021).** The impact of urbanization on body size of Barn Swallows *Hirundo rustica gutturalis*. *Ecology and Evolution*, 11(1), 612–625.

- **Zduniak P., Czechowski p., Jedro G. (2011).** The effect of nesting habitats on reproductive output of the barn Swallows *Hirundo rustica*. A comparative study of populations from atypical and typical nesting habitats in western Poland. Belg. J zool. Vol 141(1). p.p.38-43.

RESUME

Nous nous sommes appuyés sur le statut d'espèce migratrice type de l'hirondelle rustique *Hirundo rustica rustica* pour évaluer son investissement vis-à-vis de ses pulli dans les limites sud de son aire de reproduction, et ce en fonction d'un gradient d'urbanisation. L'étude qui en découle a été réalisée de mars 2015 jusqu'à septembre 2019, où nous avons pu suivre la stratégie sélective des sites de nidification, à travers le calcul de la densité des couples nicheurs et leur cartographie sur l'ensemble des sites étudiés. Nous avons suivi les différentes étapes de construction des nids puis la phénologie de la reproduction jusqu'à l'envol des jeunes, afin d'évaluer l'investissement parental en général et l'effet maternel en particulier. Nous avons également suivi et analysé les fréquences de nourrissage, de sanitation et soins parentaux afin d'évaluer la qualité de l'investissement parental, en fonction de l'âge des pulli.

Les résultats obtenus confirment que les milieux urbain et périurbain respectivement représentent les habitats préférentiels de l'hirondelle rustique, ce qui n'est pas le cas dans la majorité de son aire de reproduction. Les résultats montrent également l'existence d'un effet maternel sur les mensurations des œufs et sur l'incubation conditionnant la bonne qualité des paramètres de phénologie de reproduction. Concernant l'analyse du régime alimentaire, nous avons comptabilisés au total 902 items – proies appartenant à 08 ordres taxonomiques en l'occurrence : les diptères, les hyménoptères, les coléoptères et les hétéroptères, les odonates, lépidoptères et les Hémiptères. L'analyse des paramètres de structure du peuplement d'items – proies montre des valeurs importantes au profit des Coléoptères, avec l'absence de différences significatives entre les milieux urbains, périurbains et rural, Enfin, l'analyse des fréquences de nourrissage montrent globalement deux pics journaliers de nourrissage, avec une répartition des tâches entre le mâle qui participe activement à l'effort de chasse des items - proies et la femelle qui se charge prioritairement de la sanitation et des soins parentaux au nid.

Mots clés : Hirundo rustica rustica – sites de nidification – investissement parental – fréquences de nourrissage- degré d'urbanisation