

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur  
et de la recherche scientifique  
Université Chadli Bendjedid  
El Tarf



جامعة الشاذلي بن جديد  
UNIVERSITE CHADLI BENDJEDID

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة الشاذلي بن جديد  
الطارف

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département de Sciences Agronomiques

كلية علوم الطبيعة والحياة  
قسم العلوم الفلاحية



THESE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME  
DE DOCTORAT LMD  
EN SCIENCES AGRONOMIQUES  
OPTION : PROTECTION DES FORETS

THÈME

**Répartition et évaluation de la vulnérabilité de la  
Pie du Maghreb (*Pica mauritanica*) en Algérie.**

Soutenue le : .../...../2025

Présentée par : Mr MEDERBAL Kamel Eddine

Devant le jury composé de :

Pr ROUAG Rachid	Président	Université Chadli Bendjedid, El Tarf
Pr TELAILIA Salah	Directeur thèse	Université Chadli Bendjedid, El Tarf
Dr CHEBLI Abderrahmane	Co-directeur thèse	Ecole Nationale Supérieure Agronomique, ENSA, El-Harrach, Alger
Pr ZIANE Nadia	Examinatrice	Université Badji Mokhtar, Annaba
Dr ELAFRI Ali	Examinateur	Université Abbes Laghrour, Khenchela
Dr BOULAHBAL Raouf	Examinateur	Université Chadli Bendjedid, El Tarf

≈ Année universitaire 2024 - 2025 ≈

# Remerciement

*Je remercie tout d'abord **Allah**, source inépuisable de force et de sagesse, qui m'a guidé et soutenu à chaque étape de ce long parcours doctoral.*

*J'adresse ensuite ma profonde gratitude aux membres du jury **Pr Rouag Rachid, Pr Ziane Nadia, Dr Elafri Ali et Dr Boulahbal Raouf**, pour le temps précieux qu'ils ont consacré à l'évaluation de ce travail et pour la qualité de leurs remarques constructives.*

*Je suis particulièrement reconnaissant(e) à mon directeur de thèse **Pr Telailia Salah**, qui m'a insufflé confiance dès le premier jour, m'a guidé pas à pas et m'a offert un soutien moral, matériel et scientifique sans faille, et à mon co-directeur **Dr Chebli Abderrahmane**, dont l'encadrement rigoureux et la disponibilité exemplaire ont grandement facilité l'avancement de mes recherches.*

*Je tiens à remercier chaleureusement, **Dr Aouadi Abdallah, Dr Bouderbala Amira, Pr Boutabia Lamia, Pr Mederbal Khalladi, Dr Mena Mohamed, Pr Regagba Zineb et Pr Telailia Salah**, dont l'expertise, les conseils avisés et la bienveillance ont formé une équipe de recherche remarquable, toujours présente pour enrichir et dynamiser ce projet, et surtout pour avoir créé un environnement familial chaleureux.*

*Je suis également infiniment reconnaissant(e) à l'**Association des ornithologues algériens** et à l'**Association tunisienne de la vie sauvage** (sous la présidence de **M. Ouni Ridha**) pour leur soutien institutionnel et les opportunités de collaboration offertes, ainsi qu'aux autorités forestières, et tout particulièrement à **Mahi Daoud, Adem et Abdelkader**, dont l'accompagnement sur le terrain a été essentiel au bon déroulement de mes prélèvements et observations.*

*Un merci fraternel à **Amani, Faycal, Fatima, Fouad, Hana, Ibrahim, Kenza, Laid, Lamir, Leila, Mohammed, Nabil, Nadia, Raouf, Tarek et Zaki**, pour leur soutien indéfectible, leurs encouragements et les moments de convivialité qui ont égayé mes travaux et renforcé ma motivation.*

*Enfin, je dédie ce travail à mes grands-parents **Khadija, Mederbal Mustapha** (Allah yarhamhoum), **Oum Noun et Regagba Abdalah**, sources d'inspiration et de fierté, ainsi qu'à la mémoire du **Pr Bouzid Chalabi** (Allah yarhmou).*

## Table des matières

Introduction générale.....	1
Contexte général.....	1
Problématique de recherche .....	2
Objectifs de l'étude .....	3
Importance de l'étude.....	4
Méthodologie générale.....	4
Mise en place d'une base de données géographiques (BDG) dans un environnement SIG (Système d'Information Géographique).....	5
Étude du macrohabitat.....	5
Étude du microhabitat .....	5
Évaluation des paramètres de reproduction.....	5
Structure de la thèse .....	6
Chapitre 1. Pie bavarde et Pie du Maghreb.....	8
1.1. Introduction .....	9
1.2. La Pie bavarde ( <i>Pica pica</i> ) .....	9
1.2.1. Morphologie .....	9
1.2.2. La répartition des Pies dans le monde.....	12
1.2.3. Le régime alimentaire.....	14
1.2.4. Prospection de territoire .....	16
1.2.5. Habitats rubains de la Pie .....	16
1.2.6. Habitat Rural de la Pie .....	17
1.2.7. Reproduction de la Pie bavarde ( <i>Pica pica</i> ).....	18
1.3. La Pie du Maghreb : taxonomie, morphologie, écologie et enjeux de conservation.....	20
1.3.1. Taxinomie de <i>Pica mauritanica</i> .....	21
1.2.3. Morphologie de la Pie du Maghreb.....	21
1.2.4. Ecologie de la Pie du Maghreb .....	23
1.2.5. Reproduction .....	23
1.2.6. Répartition.....	24
1.2.7. Enjeux de conservation .....	24
1.8. Conclusion.....	25

1.3. Répartition géographique : focus Algérie.....	26
1.3.1. Introduction .....	27
1.3.2. Distribution et expansion de la Pie du Maghreb ( <i>Pica mauritanica</i> ) dans le Maghreb : aperçu général et zoom sur l'Algérie .....	27
1.3.3. Répartition générale dans le Maghreb.....	27
1.3.4. Zoom sur l'Algérie .....	28
1.4. Conclusion .....	35
Chapitre 2. Macrohabitat : cartographie régionale.....	36
2.1. Introduction .....	37
2.2. Matériels et méthodes .....	38
2.2.1. Zone d'étude .....	38
2.2.2. Modèle de distribution des espèces (SDM).....	40
2.3. Résultats.....	43
2.4. Discussion.....	49
2.4.1. Modélisation par SDM .....	49
2.4.2. Distribution de la convenance de l'habitat.....	50
2.5. Conclusion .....	56
Chapitre 3. Microhabitat préférences de nidification de la Pie en Algérie .....	58
3.1. Introduction .....	59
3.2. Matériel et méthodes .....	61
3.2.1. Zone d'étude et collecte de données .....	61
3.2.2. Variables environnementales .....	62
3.2.3. Préparation et analyse des données .....	63
3.2.4. Analyses statistiques .....	63
3.3. Résultats.....	64
3.4. Discussion.....	71
3.4.1. Préférences d'habitat, stratégies de nidification et adaptabilité environnementale de <i>Pica mauritanica</i> .....	71
3.4.2. Défis de conservation et limites de l'étude .....	75
3.5. Conclusion .....	77
Chapitre 4. Paramètres de la reproduction .....	79
4.1. Introduction .....	80

4.2.	Matériel et Méthodes .....	81
4.2.1.	Zone d'étude .....	81
4.2.2.	Collecte des données sur les nids .....	82
4.2.3.	Collecte des données reproductives .....	83
4.2.4.	Analyse des données des paramètres reproductifs .....	84
4.3.	Résultats.....	85
4.3.1.	Nids .....	85
4.3.2.	Données reproductives .....	86
4.3.3.	Prédation.....	88
4.3.4.	Modèle XGBoost.....	89
4.4.	Discussion.....	91
4.5.	Conclusion .....	95
Chapitre 5. Vulnérabilité et stratégies de conservation.....		98
5.1.	Introduction .....	99
5.2.	Fondements méthodologiques et pertinence de l'approche selon différents niveaux de perception .....	100
5.3.	Analyse de la vulnérabilité par axes .....	101
5.3.1.	Vulnérabilité liée au Macrohabitat .....	101
5.3.2.	Vulnérabilité liée au Microhabitat.....	104
5.3.3.	Vulnérabilité via les paramètres de la reproduction.....	105
5.3.4.	Vulnérabilité combinée et interactions entre les axes .....	107
5.4.	Autres formes de vulnérabilité ?.....	109
5.4.1.	Absence de données .....	109
5.4.2.	Exode rurale et agricole.....	110
5.4.3.	Habitat urbain peu végétalisé .....	113
5.4.4.	Parasitisme .....	117
5.4.5.	Isolement géographique et génétique.....	119
5.5.	La Pie du Maghreb en Algérie : Une espèce à la croisée des menaces .....	120
5.6.	Stratégies de conservation .....	121
5.6.1.	Approches intégrées pour la conservation de la Pie du Maghreb .....	121
5.6.2.	Le site Moutas : un modèle de conservation en Algérie .....	124
5.7.	Conclusion .....	126

Discussion générale.....	129
Conclusion générale .....	139
Références bibliographiques .....	142
Annexes.....	166
Liste d'observateurs de <i>Pica mauritanica</i> en Algérie.....	166
Illustrations.....	168

## **Résumé**

Dans un contexte de dégradation rapide des milieux naturels du Maghreb sous l'effet de l'urbanisation croissante, de l'extension des activités agro-pastorales et du changement climatique, cette étude analyse la dynamique écologique de la Pie du Maghreb (*Pica mauritanica*), une espèce endémique encore peu étudiée. L'objectif était de mieux comprendre sa répartition, ses choix de nidification, son écologie reproductive et sa vulnérabilité face aux pressions environnementales. L'approche adoptée combine plusieurs échelles d'analyse et disciplines, incluant la création d'une base de données géographique détaillée, l'étude des macrohabitats et microhabitats, ainsi que le suivi des paramètres reproductifs. L'analyse des paysages semi-ouverts met en évidence l'importance des haies, bosquets et forêts ouvertes dans la dispersion et la connectivité des populations. La modélisation révèle que la qualité de la végétation, l'altitude et l'occupation humaine influencent fortement le choix des habitats. L'examen des sites de nidification montre une préférence pour les supports offrant une canopée dense, essentielle pour la protection contre les prédateurs et les intempéries. Cependant, la fragmentation des habitats, la dégradation de la végétation et l'augmentation de la prédation compromettent le succès reproducteur, isolant davantage les populations. La vulnérabilité accrue de l'espèce face aux transformations rapides des paysages impose la mise en place de mesures de conservation urgentes, notamment la création de corridors écologiques, la restauration des sites de nidification et l'implication des communautés locales, autant de leviers essentiels pour assurer la pérennité de cette espèce emblématique et, plus largement, pour préserver la biodiversité du Maghreb.

## **Mots clés :**

Pie du Maghreb ; Préférence écologique ; Chorologie ; Biologie de la conservation ; Algérie.

## **Abstract**

In the context of the rapid degradation of natural habitats in the Maghreb due to increasing urbanization, the expansion of agro-pastoral activities, and climate change, this study analyzes the ecological dynamics of the Maghreb magPie (*Pica mauritanica*), an endemic and understudied species. The objective was to better understand its distribution, nesting preferences, reproductive ecology, and vulnerability to environmental pressures. The approach integrates multiple scales and disciplines, including the creation of a detailed geographic database, the study of macrohabitats and microhabitats, and the monitoring of reproductive parameters. The analysis of semi-open landscapes highlights the importance of hedgerows, groves, and open forests in facilitating population connectivity and dispersal. Modeling results show that vegetation quality, altitude, and human land use strongly influence habitat selection. The examination of nesting sites reveals a preference for dense-canopy supports, essential for protection against predators and harsh weather. However, habitat fragmentation, vegetation degradation, and increased predation significantly impact reproductive success, further isolating populations. The species' growing vulnerability to rapid landscape transformations necessitates urgent conservation measures, including the creation of ecological corridors, the restoration of nesting sites, and the involvement of local communities, all of which are essential to ensuring the long-term survival of this emblematic species and, more broadly, to preserving the biodiversity of the Maghreb.

## **Keys words:**

Maghreb Magpie, ecological preferences, chorology, conservation biology, Algeria.

## ملخص

في سياق التدهور السريع للبيئات الطبيعية في المغرب العربي نتيجة التوسع العمراني المتزايد، وامتداد الأنشطة الزراعية والرعية، وتأثيرات التغير المناخي، تحلل هذه الدراسة الديناميكيات ، وهو نوع مستوطن لم يحظ بدراسة (*Pica mauritanica*) البيئية لطائر العقق المغاربي كافية. كان الهدف هو فهم توزيعه وتفضيلاته في التعشيش وبيئته التكاثرية وحساسيته للضغوط البيئية. تعتمد المنهجية على تحليل متعدد المستويات والتخصصات، يشمل إنشاء قاعدة بيانات جغرافية مفصلة، ودراسة البيئات الكبيرة والصغيرة، ومراقبة المعايير التكاثرية. يبرز تحليل المناظر الطبيعية شبه المفتوحة أهمية الأحزمة الشجرية والبساتين والغابات المفتوحة في تعزيز الترابط بين التجمعات وانتشارها. تكشف النمذجة أن جودة الغطاء النباتي والارتفاع وأنماط استخدام الأراضي البشرية تؤثر بشكل كبير على اختيار الموائ. توضح دراسة مواقع التعشيش تفضيل الطائر للدعامات التي توفر مظلة كثيفة، وهو أمر أساسي للحماية من المفترسات والظروف الجوية القاسية. ومع ذلك، فإن تجزئة الموائ وتدهور الغطاء النباتي وزيادة الافتراض تؤثر سلبًا على نجاح التكاثر مما يؤدي إلى مزيد من العزلة لهذه التجمعات. تفرض هشاشة النوع المتزايدة أمام التحولات السريعة في المشهد ضرورة تنفيذ تدابير حماية عاجلة، بما في ذلك إنشاء ممرات بيئية، وترميم مواقع التعشيش، وإشراك المجتمعات المحلية، وهي جميعها عوامل أساسية لضمان بقاء هذا النوع الرمزي على المدى الطويل، وللحفاظ على التنوع البيولوجي في المغرب العربي بشكل أوسع.

## كلمات مفتاحية:

العقق المغاربي، التفضيلات البيئية، الكورولوجيا، بيولوجيا الحفظ، الجزائر

## Liste des figures

<b>Figure 1.</b> Dessin représentatif de la Pie bavarde ( <i>Pica pica</i> ) .....	12
<b>Figure 2.</b> Répartition cartographique des taxons de <i>Pica pica</i> dans le monde (Kryukov et al., 2022).....	13
<b>Figure 3.</b> <i>Pica mauritanica</i> .....	22
<b>Figure 4.</b> Couple de <i>Pica mauritanica</i> .....	22
<b>Figure 5.</b> Occurrences de <i>Pica mauritanica</i> en Afrique du Nord selon (GBIF, 2021) .....	28
<b>Figure 6.</b> Répartition de sites historiques et nouveaux de <i>Pica mauritanica</i> en Algérie .....	31
<b>Figure 7.</b> Répartition de sites prospectés et étudiés de <i>Pica mauritanica</i> en Algérie .....	32
<b>Figure 8.</b> Sites de collecte de données pour les paramètres de reproduction dans le nord-ouest de l'Algérie .....	34
<b>Figure 9.</b> Répartition de <i>Pica mauritanica</i> à travers l'Afrique du Nord.....	39
<b>Figure 10.</b> Histogrammes illustrant les analyses descriptives des caractéristiques climatiques et environnementales liées au point d'occurrence de la Pie du Maghreb .....	46
<b>Figure 11.</b> Importance des variables (basée sur la métrique de corrélation) du modèle d'ensemble .....	47
<b>Figure 12.</b> (A) Répartition actuelle de la Pie du Maghreb en Afrique du Nord, (B) carte binaire de l'aptitude de l'habitat avec un seuil $> 0,6$ .....	48
<b>Figure 13.</b> Graphiques bidimensionnels de l'hypervolume de niche de <i>Pica mauritanica</i> avec les variables les plus influentes.....	49
<b>Figure 14.</b> Courbes de réponse des variables explicatives incluses dans le modèle de distribution de l'espèce (SDM) pour <i>Pica mauritanica</i> . (MTWQ : température moyenne du trimestre le plus humide).....	51
<b>Figure 15.</b> La répartition de sites de nidification de <i>Pica mauritanica</i> dans le nord de l'Algérie.....	62
<b>Figure 16.</b> Analyse MFA des préférences de nidification de <i>Pica mauritanica</i> : (a) associations individuelles d'arbres et d'habitats, (b) contribution des caractéristiques de la végétation et de l'habitat. ....	65
<b>Figure 17.</b> Analyse MFA des préférences de nidification de <i>Pica mauritanica</i> : association des groupes avec les axes 1 et 2. ....	66
<b>Figure 18.</b> Regroupement des résultats MFA concernant les préférences de nidification de <i>Pica mauritanica</i> : (a) dendrogramme de regroupement, (b) graphique de regroupement. ....	67
<b>Figure 19.</b> Situation géographique des sites de nidification étudiés de <i>Pica mauritanica</i> dans le nord-ouest de l'Algérie .....	82
<b>Figure 20.</b> Répartition géographique des nids monitorés de <i>Pica mauritanica</i> à Sidi Chaib .....	83
<b>Figure 21.</b> Évolution du RMSE pendant l'entraînement du modèle en fonction du nombre d'itérations .....	89
<b>Figure 22.</b> L'importance de la contribution des variables sur le succès de la reproduction .....	90
<b>Figure 23.</b> Contribution additive des prédicteurs aux prédictions finales via SHAP .....	91

<b>Figure 24.</b> Fragmentation des patches d'habitat potentiel de haute qualité avec une suitability de plus de 80 % .....	103
<b>Figure 25.</b> Spatiocarte du site d'El Ramka .....	111
<b>Figure 26.</b> Fermes et terres agricoles en lisière avec la forêt de pins et chênes .....	111
<b>Figure 27.</b> Indice de végétation normalisé (NDVI) d'une image Sentinel (résolution 10 m) pour le printemps 2023 : (1) České Budějovice, (2) Frenda, (3) Gorzów Wlkp, (4) El Dhaya .....	114
<b>Figure 28.</b> Courbe temporelle de la moyenne des valeurs du NDVI pour la ville de České Budějovice.....	115
<b>Figure 29.</b> Courbe temporelle de la moyenne des valeurs du NDVI pour la ville de Frenda .....	116
<b>Figure 30.</b> Courbe temporelle de la moyenne des valeurs du NDVI pour la ville de Gorzów Wlkp .....	116
<b>Figure 31.</b> Courbe temporelle de la moyenne des valeurs du NDVI pour la ville d'El Dhaya ...	117
<b>Figure 32.</b> Carte des habitats du site Moutas, Tlemcen.....	125
<b>Figure 33.</b> Pratiques agropastorales sur les sites de nidification en milieu périurbain et rural ...	168
<b>Figure 34.</b> Habitat rural de <i>Pica mauritanica</i> .....	169
<b>Figure 35.</b> Habitat périurbain de <i>Pica mauritanica</i> .....	169
<b>Figure 36.</b> Nid de <i>Pica mauritanica</i> .....	170
<b>Figure 37.</b> Œuf et oisillons de <i>Pica mauritanica</i> : photographie par endoscopie .....	170

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1.</b> Caractéristiques de la Pie bavarde ( <i>Pica pica</i> ).....	11
<b>Tableau 2.</b> Répartition des taxons de <i>Pica pica</i> dans le monde .....	14
<b>Tableau 3.</b> Résumé des paramètres de nidification de la Pie Maghrébine ( <i>Pica mauritanica</i> ) en 2017 et 2018 (Nefla et al., 2021).....	25
<b>Tableau 4.</b> Récapitulatif des occurrences (1930 – 2025) .....	29
<b>Tableau 5.</b> Sites prospectés et informations associées de l'est vers l'ouest sur la carte .....	33
<b>Tableau 6.</b> Points Extrêmes de la Distribution Observée.....	33
<b>Tableau 7.</b> Base de données de reproduction : Exemple de nid codé SBSC_N1.....	34
<b>Tableau 8.</b> Localisation et caractéristiques des sites de nidification de <i>Pica mauritanica</i> . Données enregistrées en 2022. ....	40
<b>Tableau 9.</b> Mesures de performance des modèles GLM, BRT et RF avec deux techniques de réplication.....	45
<b>Tableau 10.</b> Contribution des variables environnementales et structurelles aux regroupements dans l'analyse des sites de nidification de <i>Pica mauritanica</i> à un seuil de signification de 0,05...67	67
<b>Tableau 11.</b> Résultats du test t comparant les variables environnementales et structurelles entre les habitats périurbains et ruraux pour les sites de nidification de <i>Pica mauritanica</i> .....	68
<b>Tableau 12.</b> Résultats du test du chi carré pour l'association entre les espèces de support de nidification et les caractéristiques de la couronne, la forme de la couronne et l'habitat. ....	69
<b>Tableau 13.</b> Répartition des espèces support de nidification entre les habitats ruraux et périurbains et les différents sites. ....	70

<b>Tableau 14.</b> Caractéristiques des espèces support.....	78
<b>Tableau 15.</b> Paramètres des nids de la population de Sidi Chaib durant la saison 2023.....	85
<b>Tableau 16.</b> Paramètres de la reproduction de la population de Sidi Chaib durant la saison 2023 .....	87
<b>Tableau 17.</b> Parametre de predation de la population de sidi chaib durant ant la saison 2023 .....	88
<b>Tableau 18.</b> Synthèse bibliographique des paramètres reproductifs de <i>Pica pica</i> vs <i>Pica mauritanica</i> ((Nefla et al., 2021).....	97
<b>Tableau 19.</b> Récapitulatif de la vulnérabilité de la Pie du Maghreb sous les axes étudiés .....	126
<b>Tableau 20.</b> Lieux et observateurs des sites historiques et nouveaux de <i>Pica mauritanica</i> en Algérie .....	166

# **Introduction générale**

## Introduction générale

### Contexte général

Préserver la biodiversité est devenu une priorité face à la dynamique constante des écosystèmes (Donald et al., 2019). La protection des espèces endémiques s'impose comme un enjeu majeur, car ces espèces, par leur spécialisation et leur adaptation à des environnements particuliers, assurent le maintien des équilibres naturels essentiels au fonctionnement des milieux vivants. Leur rôle, tant écologique que symbolique, contribue à la résilience des habitats et à la préservation d'un patrimoine culturel unique (De Silva et al., 2020).

*Pica mauritanica*, communément appelée la Pie maghrébine, est une espèce endémique du Maghreb qui occupe une place importante dans la faune locale. Longtemps considérée comme une sous-espèce de la Pie eurasiennne (*Pica pica*), des études génétiques et morphologiques ont révélé des différences marquées entre les populations nord-africaines et leurs homologues eurasiens (Kryukov et al., 2017) menant à sa reconnaissance en tant qu'espèce distincte (Del Hoyo et al., 2018) ; présente en Algérie, au Maroc et en Tunisie, elle évolue dans une grande diversité d'environnements, depuis des zones rurales préservées jusqu'aux espaces périurbains fortement transformés (Isenmann et al., 2005)

En abordant la conservation d'une espèce telle que la Pie, il apparaît crucial de mettre en place des stratégies intégrées qui tiennent compte des interactions complexes entre les espèces et de l'impact des menaces environnementales actuelles (Donald et al., 2019). Ce travail se propose d'explorer, dans une approche générale, l'importance de préserver la biodiversité à travers l'étude des enjeux spécifiques liés à la Pie du Maghreb face à des menaces, méconnue pour l'instant.

La dégradation des habitats, notamment par la fragmentation et l'urbanisation, compromet l'environnement spécifique dans lequel une espèce vit, se nourrit, se reproduit et interagit (Caughley & Gunn, 1996), ainsi que les ressources essentielles pour les oiseaux, telles que la nourriture, l'eau, l'abri et des conditions de nidification optimales (Bibby, 2000). La diversité des milieux – des forêts denses aux zones humides – favorise le développement de comportements variés (Holt & Barfield, 2010), mais ces écosystèmes sont aujourd'hui menacés par plusieurs perturbations. En effet, la fragmentation et l'urbanisation réduisent la biodiversité et isolent les

populations (Ewers & Didham, 2006; Fahrig, 2003), tandis que l'urbanisation homogénéise les communautés écologiques et complique l'adaptation des espèces spécialisées, pouvant conduire à des extinctions locales (McKinney, 2006). Par ailleurs, les feux de forêts, souvent exacerbés par le changement climatique et une gestion inadéquate, détruisent la végétation et fragmentent les habitats (Keeley et al., 2011), et l'expansion des monocultures ainsi que l'usage excessif de pesticides diminuent la disponibilité des ressources alimentaires (Donald et al., 2001). Ainsi, la dégradation des habitats altère non seulement la diversité des espèces, mais aussi la structure et le fonctionnement des écosystèmes, compromettant des rôles essentiels tels que la pollinisation, la dispersion des graines et le contrôle des insectes.

Dans le contexte actuel, marqué par une dynamique rapide, il devient impératif d'étudier la distribution de *Pica mauritanica* et d'évaluer sa vulnérabilité. Une telle démarche permet de mieux comprendre les dynamiques de ces habitats et d'anticiper les menaces futures, en adaptant des stratégies de conservation efficaces. En Algérie où, notamment, la pression anthropique et la fragmentation des habitats représentent des défis majeurs ; l'analyse de la répartition de cette espèce se révèle essentielle pour assurer la préservation de la biodiversité et soutenir les initiatives de transition écologique et de développement durable.

Ces constats soulèvent la question centrale de l'étude : comment les perturbations multiples influencent-elles la distribution et la survie de la Pie du Maghreb ?

### **Problématique de recherche**

La Pie du Maghreb (*Pica mauritanica*) fait face à de multiples menaces liées à la fragmentation des habitats en Afrique du Nord. Les pressions anthropiques, tel que l'urbanisation, l'agriculture intensive, le défrichement et la déforestation, conjuguées aux impacts du changement climatique, réduisent considérablement les aires de nidification et isolent les populations, mettant en péril leur viabilité à long terme (Isenmann & Thevenot, 2020; Nefla et al., 2021). Ce phénomène de fragmentation, déjà bien documenté dans les études menées en Algérie et en Tunisie, soulève la question cruciale de la préservation des sites essentiels à l'alimentation et à la reproduction de l'espèce.

De surcroît, malgré l'importance de ces habitats pour la survie de *Pica mauritanica*, les connaissances sur ses besoins écologiques spécifiques restent limitées. Alors que des recherches

approfondies ont été réalisées sur l'habitat et la sélection de sites de nidification pour des espèces proches comme la Pie bavarde (*Pica pica*) (Antonov & Atanasova, 2002; Birkhead, 1991), les études dédiées à *Pica mauritanica* demeurent rares et fragmentaires (Del Hoyo et al., 2018; Isenmann et al., 2005; Kryukov et al., 2017).

Les cartes de répartition existantes, telles que celles de BirdLife International ou de l'IUCN, manquent de mises à jour régulières et ne reflètent pas avec précision les préférences spécifiques de l'espèce en matière d'habitat. (J. Li et al., 2019; A. T. Peterson et al., 2018)

Par ailleurs, l'écologie reproductive de la Pie du Maghreb reste peu explorée, notamment en Algérie où la fragmentation des habitats est très marquée. Les études disponibles se concentrent principalement sur une population tunisienne, laissant ainsi un vide significatif quant à la chronologie de la nidification, la taille des couvées, le succès d'éclosion et la survie des jeunes (Bergier et al., 2017; Isenmann et al., 2005; Song et al., 2018).

De plus, l'impact des modifications anthropiques, notamment l'impact des pratiques agropastorales sur la sélection des sites de nidification et les performances reproductives, demeure mal compris (Crossin & Williams, 2021; Hirche et al., 2011).

Ainsi, la problématique de cette thèse se structure autour de la nécessité d'identifier et d'évaluer la vulnérabilité de *Pica mauritanica* en Algérie, en intégrant une analyse fine des interactions entre l'espèce et ses habitats fragmentés. Il s'agit non seulement de combler le déficit de connaissances sur ses besoins en matière de nidification et d'écologie reproductive, mais également de fournir des outils et des stratégies pour la conservation efficace de l'espèce dans un contexte de changements environnementaux rapides.

### **Objectifs de l'étude**

L'objectif principal est de combler les lacunes dans la compréhension des besoins écologiques de *Pica mauritanica* dans les paysages fragmentés d'Algérie et d'évaluer sa vulnérabilité. Plus précisément, il s'agit de :

- Créer une base de données géographique rassemblant les occurrences, les sites historiques de nidification de la Pie du Maghreb en Algérie, ainsi que les données de reproduction d'une population importante.

- Cartographier sa distribution à l'aide de modèles de cartographie prédictive pour identifier les zones occupées et les habitats potentiels non colonisés, en intégrant une analyse spatiale prenant en compte les pressions anthropiques locales.

- Déterminer ses préférences de nidification en comparant des habitats périurbains fortement modifiés aux milieux ruraux relativement intacts.

- Évaluer l'impact du gradient périurbain-rural sur le choix des sites de nidification.

- Étudier le succès de reproduction en identifiant les facteurs environnementaux et biologiques influençant la survie des jeunes.

- Analyser la vulnérabilité de l'espèce sous les angles du macrohabitat, du microhabitat et de la reproduction, tout en proposant des stratégies de conservation.

Ces objectifs structurent l'étude, en passant d'une approche globale à une analyse détaillée des facteurs influençant la reproduction et, par conséquent, la survie de *Pica mauritanica*.

### **Importance de l'étude**

Cette recherche fournira des outils pertinents pour la conservation de *Pica mauritanica* et la gestion de ses habitats en Afrique du Nord. En identifiant les milieux types, les résultats réalisés permettront d'orienter les actions de restauration, la création de corridors écologiques et la sensibilisation des acteurs locaux.

Par ailleurs, cette recherche enrichira la compréhension des interactions entre l'espèce et son environnement, induisant ainsi des perspectives sur le choix des stratégies de gestion en période de changements globaux.

Globalement, les retombées, tant scientifiques que pratique de cette étude, apporteront de nouveaux éclairages pour préserver durablement la biodiversité dans une région fortement impactée par des mutations rapides.

### **Méthodologie générale**

La thèse adopte une approche intégrée et multi-échelle pour évaluer la répartition et la vulnérabilité de *Pica mauritanica* en Algérie. La démarche s'articule autour de quatre axes

complémentaires qui se renforcent mutuellement. Cette stratégie méthodologique fait le lien entre la formulation des objectifs et leur application concrète sur le terrain.

### **Mise en place d'une base de données géographiques (BDG) dans un environnement SIG (Système d'Information Géographique)**

L'intégration des données géographiques dans un SIG concernera la répartition de *Pica mauritanica*, les sites de nidification et la reproduction qui constituent le socle de l'étude. Cette base de données servira à visualiser les données existantes sur la distribution de *Pica mauritanica* dans le Maghreb et en Algérie, à réaliser une analyse spatiale fine et à modéliser les habitats à l'échelle régionale, à identifier les préférences de l'espèce à l'échelle locale et à cerner le monitoring de la reproduction d'une population importante et viable en Algérie.

#### **Étude du macrohabitat**

Cette phase consiste à appréhender l'environnement à grande échelle dans lequel évolue l'espèce. En combinant des données géographiques, climatiques et des relevés de terrain, les zones favorables à la Pie du Maghreb sont identifiées et l'influence des facteurs tant climatiques, que topographiques et anthropiques, est analysée. Ce cadre global est indispensable pour orienter les analyses à plus petite échelle.

#### **Étude du microhabitat**

Le second axe se concentre sur les conditions locales de nidification. Les relevés de terrain réalisés en zones rurales et périurbaines fournissent des informations détaillées sur l'emplacement des nids, la proximité des infrastructures et la nature de la végétation. Cette analyse permet d'évaluer les variabilités responsables de la répartition des sites de nidification.

#### **Évaluation des paramètres de reproduction**

Cette étape vise à suivre la reproduction de la Pie du Maghreb. Pour des fins de suivi des nids durant la saison de reproduction, la taille de la couvée et les succès d'éclosion et d'envol, entre autres indicateurs, sont mesurés. L'emploi de méthodes non invasives et d'outils modernes (endoscoPie, modèles prédictifs) offre une évaluation précise de la capacité de reproduction. Cette

approche permet d'identifier les périodes critiques et les facteurs de vulnérabilité liés aux stress environnementaux.

### **Intégration des approches et évaluation globale de la vulnérabilité**

En combinant l'analyse du macrohabitat, l'étude du microhabitat et l'évaluation des paramètres reproductifs, appuyés par des facteurs de vulnérabilité sous différents angles, une vision globale de la vulnérabilité de *Pica mauritanica* est proposée. Ce travail intégré vise donc à formuler des recommandations concrètes pour la restauration des habitats et la mise en place de corridors écologiques favorisant la connectivité.

### **Structure de la thèse**

La thèse adopte une structure méthodique et progressive, articulée autour de six chapitres qui guident le lecteur de la présentation générale vers des analyses de plus en plus détaillées.

Le premier chapitre offre une introduction en présentant conjointement *Pica pica* (Pie bavarde) et *Pica mauritanica* (Pie du Maghreb).

Le deuxième chapitre se concentre sur la distribution géographique, en analysant notamment la répartition de *Pica mauritanica* en Afrique du Nord avec une attention particulière sur l'Algérie.

Le troisième chapitre élargit cette perspective en intégrant une analyse du macrohabitat à travers l'étude des données géographiques et climatiques à grande échelle, permettant ainsi la cartographie de la répartition régionale de l'espèce.

Le quatrième chapitre vient affiner cette approche en examinant le microhabitat : il s'agit d'un examen détaillé des conditions locales de nidification dans des zones rurales et périurbaines, basé sur des observations fines sur le terrain.

Le cinquième se focalise sur l'évaluation des paramètres reproductifs, en utilisant des méthodes non invasives et des modèles prédictifs pour suivre les indicateurs clés de reproduction.

Enfin, le sixième chapitre aborde la vulnérabilité de l'espèce sous divers angles, en proposant des stratégies concrètes de conservation visant à renforcer sa résilience.

Cette progression logique culmine dans une discussion générale qui synthétise les résultats et formule des recommandations pragmatiques pour la préservation de l'espèce étudiée.

## **Chapitre 1. Pie bavarde et Pie du Maghreb**

## 1.1. Introduction

Ce premier chapitre propose un panorama général des différentes facettes de la vie des Pies, en abordant d'abord la Pie bavarde (*Pica pica*) à travers plusieurs aspects étudiés : la morphologie, le dimorphisme sexuel, la répartition mondiale, le régime alimentaire, la prospection de territoire, ainsi que la reproduction avec une attention particulière sur les dimensions de la ponte, les caractéristiques du nid et le succès de la reproduction, en distinguant les habitats urbain et rural. Bien que ces sujets soient abondamment documentés, l'étude se concentre principalement sur la Pie du Maghreb (*Pica mauritanica*). Une exploration approfondie de sa morphologie, de son écologie, de ses enjeux de conservation, de sa taxinomie et des premières études reproductrices permettra de mettre en lumière les zones encore méconnues et nécessitant des recherches complémentaires.

## 1.2. La Pie bavarde (*Pica pica*)

Le genre *Pica*, appartenant à la famille des Corvidés, regroupe des oiseaux emblématiques caractérisés par leur plumage noir et blanc, leur intelligence remarquable et leur comportement adaptatif (Jerzak, 2001).

### 1.2.1. Morphologie

La Pie bavarde présente des caractéristiques morphologiques distinctes qui influencent son écologie et son comportement. Le poids corporel varie de 150 à 200 grammes, les mâles étant légèrement plus lourds que les femelles, une différence utile pour la détermination du sexe (Lee et al., 2007)

L'envergure des ailes mesure entre 40 et 50 cm, permettant des vols agiles et des capacités de recherche alimentaire optimisées. D'autres mesures clés incluent la longueur du bréchet, qui varie de 20 à 25 cm, et la longueur de la tête, généralement plus grande chez les mâles, contribuant ainsi à leur rôle dans les interactions sociales et la défense du territoire (Lee et al., 2007).

Ces traits morphologiques, combinés à leur intelligence et à leur capacité d'adaptation, permettent à la Pie bavarde de prospérer dans une variété d'habitats, qu'ils soient naturels ou

façonnés par l'homme, tout en maintenant des comportements complexes tels que la collecte et la dissimulation de nourriture (Komers & Komers, 1992).

La mue de l'espèce dure environ 105 jours, généralement en été, avec une mue postnuptiale partielle de juin à octobre, tandis que la mue pré-nuptiale est complète et se déroule entre juin et octobre, voire de mars à août. Cette stratégie de mue permet de renouveler le plumage, maintenant ainsi une condition optimale pour la reproduction et la survie (Birkhead, 1991; Felix et al., 1978)

Le dimorphisme sexuel chez la Pie bavarde (*Pica pica*) est difficile à observer en raison de son plumage monomorphique. Bien que des différences morphologiques subtiles existent, des méthodes basées sur des mesures externes, telles que le poids, la longueur des ailes, la longueur du bec et la profondeur du bec, permettent de distinguer les sexes avec une précision remarquable. Par exemple, (Reese & Kadlec, 1982) ont rapporté une précision de 95 %, indiquant que les mâles sont généralement plus lourds et ont des ailes plus longues que les femelles.

Il est à noter que les femelles peuvent être plus lourdes en période de ponte en raison du développement des follicules. Une étude menée par (Lee et al., 2007) en Corée du Sud a développé des équations discriminantes basées sur la masse corporelle et d'autres mesures morphométriques, permettant de distinguer les sexes avec une précision de 86,5 % pour les individus de deuxième année et de 93,1 % pour les plus âgés. Ces résultats sont en accord avec ceux observés dans les populations européennes et nord-américaines, soulignant que, malgré l'absence de signes extérieurs, des mesures morphométriques fiables permettent d'identifier le sexe des Pies dans différentes régions.

En outre, l'analyse discriminante des caractéristiques morphologiques a permis d'identifier le sexe correctement 93,4 % des individus, montrant une meilleure performance lorsque les jeunes et les adultes étaient regroupés. Bien que des variations saisonnières existent dans certaines mesures, ces caractéristiques demeurent fiables pour le sexage tout au long de l'année. Cependant, des différences significatives entre des populations situées à seulement 100 km l'une de l'autre suggèrent que des facteurs géographiques et des méthodes de collecte peuvent influencer les mesures. Par conséquent, l'utilisation d'une fonction discriminante doit être accompagnée d'autres techniques, telles que des observations comportementales, pour valider le sexe attribué aux individus (Kavanagh, 1988).

**Tableau 1.** Caractéristiques de la Pie bavarde (*Pica pica*)

Caractéristique	Détail
<b>Taxonomie</b>	Genre <i>Pica</i> , famille des Corvidés
<b>Répartition &amp; Habitat</b>	Présente sur plusieurs continents, habitats variés (forêts tempérées, zones urbaines)
<b>Intelligence &amp; Adaptabilité</b>	Comportement complexe, capacité à s'adapter aux environnements anthropisés
<b>Rôle écologique</b>	Bioindicateur des changements environnementaux, prédateur, charognard
<b>Comportement de nidification</b>	Période : mars-avril ; nid volumineux en branches d'épines, boue, argile
<b>Incubation des œufs</b>	Durée : 17-18 jours ; œufs : 33,76 mm (long) × 23,62 mm (large)
<b>Morphologie des adultes</b>	Poids : 150-200 g ; Envergure : 40-50 cm ; Longueur du bréchet : 20-25 cm
<b>Dimorphisme sexuel</b>	Mâles plus lourds et avec une tête plus grande que les femelles
<b>Croissance des rémiges</b>	Vitesse : 2,6 mm/jour ; Longueur max : 172 mm
<b>Stratégie de mue</b>	Postnuptiale (partielle) : juin-octobre ; Prénuptiale (complète) : mars-août
<b>Cycle de vie et survie</b>	Mue pour maintenir un plumage optimal, favorisant reproduction et survie

1. Mue nuptiale : La mue nuptiale est le changement de plumage qui se produit avant la saison de reproduction, permettant aux oiseaux d'adopter des couleurs vives pour attirer des partenaires.

2. Mue postnuptiale : La mue postnuptiale a lieu après la reproduction et implique généralement un renouvellement partiel des plumes, essentiel pour maintenir un plumage en bon état pour le vol.

3. Mue : La mue est le processus de renouvellement des plumes chez les oiseaux, crucial pour maintenir la qualité du plumage et la performance en vol.

4. Longueur des rémiges : Les rémiges sont les plumes des ailes, et leur longueur influence la capacité de vol de l'oiseau, affectant sa manœuvrabilité et son adaptation à l'environnement.



**Figure 1.** Dessin représentatif de la Pie bavarde (*Pica pica*)

Le nid est le plus souvent doté d'un dôme. Le « dôme » d'un nid de la Pie bavarde désigne la partie supérieure, souvent arrondie, qui forme un toit naturel. Cette structure est réalisée à partir d'un amoncellement de branches, de boue et d'argile.

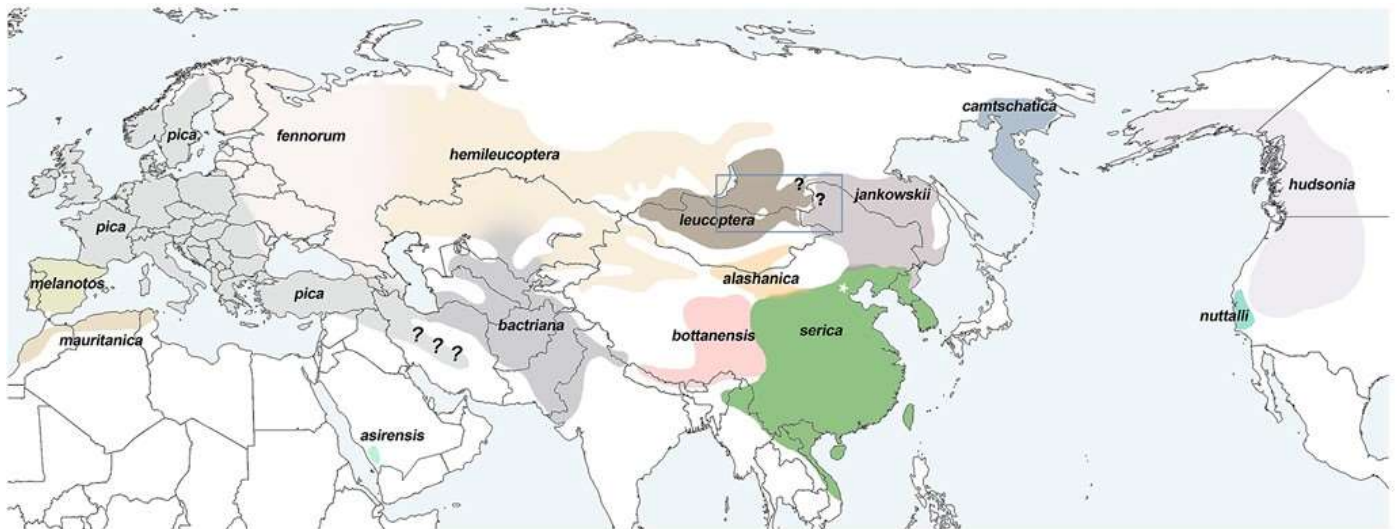
### 1.2.2. La répartition des Pies dans le monde

Les taxons de la Pie bavarde bénéficient d'une répartition géographique étendue et diversifiée, s'adaptant aux milieux les plus variés. En Europe, le groupe *Pica pica* prédomine, avec, par exemple, *Pica pica fennorum* en Finlande et en Carélie, tandis qu'en Espagne c'est *Pica melanotos* qui est le plus commun. En Afrique du Nord, notamment en Algérie, au Maroc et en Tunisie, la forme identifiée est *Pica mauritanica*. Plus à l'est, en Asie centrale, plusieurs formes telles que *Pica hemileucoptera*, *Pica leucoptera*, *Pica alashanica*, *Pica bactriana* et *Pica bottanensis* occupent de vastes territoires. À l'extrême orient asiatique, les groupes *Pica serica* et *Pica camtschatica* se distinguent, tandis que dans la péninsule arabique, *Pica asirensis* est présente. En Amérique du Nord, la présence de *Pica nuttalli* et de *Pica hudsonia* témoigne de l'adaptabilité

de ces oiseaux. Des zones d'incertitude persistent au Moyen-Orient, où la différenciation entre les groupes reste parfois floue et où des hybrides peuvent apparaître dans les zones de contact.

Adaptable par nature, la Pie prospère dans divers habitats, allant des forêts tempérées aux zones urbaines densément peuplées. Elle joue un rôle essentiel en tant que prédateur et charognard, contribuant ainsi à l'équilibre des écosystèmes et servant de bioindicateur des changements environnementaux (Felix et al., 1978; Fujioka & Murayama, 2024; Viviano et al., 2024).

Cette capacité à s'adapter aux environnements ruraux, ainsi que anthropisés témoigne de sa résilience et de son importance écologique, confirmant que la distribution de la Pie est intimement liée à sa faculté d'exploiter une large gamme d'habitats.



**Figure 2.** Répartition cartographique des taxons de *Pica pica* dans le monde (Kryukov et al., 2022)

**Tableau 2.** Répartition des taxons de *Pica pica* dans le monde

Taxon de Pie	Aire de répartition
<i>Pica pica</i>	Europe
<i>Pica fennorum</i>	Finlande, Carélie
<i>Pica melanotos</i>	Péninsule ibérique (Espagne et Portugal)
<i>Pica mauritanica</i>	Afrique du Nord (Algérie, Maroc, Tunisie)
<i>Pica hemileucoptera</i>	Asie centrale
<i>Pica leucoptera</i>	Asie centrale
<i>Pica alashanica</i>	Asie centrale
<i>Pica bactriana</i>	Asie centrale
<i>Pica bottanensis</i>	Asie centrale
<i>Pica serica</i>	Chine
<i>Pica camtschatica</i>	Asie de l'Est
<i>Pica jankowskii</i>	Asie de l'Est
<i>Pica asirensis</i>	Péninsule arabique
<i>Pica nuttalli</i>	Amérique du Nord
<i>Pica hudsonia</i>	Amérique du Nord

### 1.2.3. Le régime alimentaire

Le régime alimentaire de la Pie est varié, incluant des campagnols, des lézards, des insectes, et d'autres petits invertébrés. Elle complète son alimentation avec des graines, des baies et des fruits.

#### 1.2.3.1. Zones urbaines

Dans les environnements urbains, les Pies se nourrissent principalement d'une variété d'invertébrés, indiquant une dépendance à des sources alimentaires "naturelles". Le régime alimentaire des Pies urbaines se compose principalement de Lépidoptères (papillons et mites) et d'Annelides (vers segmentés). Bien que des poussins de passereaux aient parfois été trouvés dans leur alimentation, ils sont considérés comme des éléments rares. Cela suggère que les Pies urbaines

maintiennent un régime équilibré axé sur les invertébrés disponibles, cruciaux pour les besoins nutritionnels de leurs poussins (Kryštoková et al., 2011).

De même, le régime alimentaire des jeunes Pies (*Pica pica*) est principalement composé d'invertébrés, en particulier des larves de cuirassés, des coléoptères et des chenilles, qui constituent les principales sources de nourriture pendant la période de nidification. Des études montrent que les parents recherchent des proies au sol, collectant des insectes dont l'abondance atteint son pic saisonnier entre mai et juillet. Bien que des restes de vertébrés, comme des œufs et des oisillons, aient été observés, leur occurrence est rare et suggère une opportunité plutôt qu'une stratégie alimentaire ciblée. En ce qui concerne les adultes, leur régime alimentaire est également varié et inclut des matières végétales, en particulier des graines et des racines, qui sont plus abondantes pendant l'hiver et le printemps. Les Pies adultes consomment moins de fruits sauvages, en raison de leur rareté dans les environnements urbains. De plus, les adultes peuvent compléter leur alimentation avec des restes de vertébrés, comme des charognes, montrant ainsi une certaine flexibilité dans leurs choix alimentaires. Cette capacité à s'adapter à la disponibilité des proies permet aux Pies de coloniser divers habitats en exploitant les groupes d'invertébrés et de végétaux les plus abondants (Tatner, 1983).

### 1.2.3.2. Zones rurales

Dans les habitats ruraux, le régime alimentaire des Pies est principalement composé d'invertébrés, avec des Lépidoptères et des Annelides comme aliments courants. Cependant, d'autres invertébrés tels que les Orthoptères (sauterelles et criquets), les Hyménoptères (fourmis, abeilles et guêpes), les Diplopodes (mille-pattes) et les Isopodes (bugs à rouler) ont également été notés, bien qu'ils aient été consommés moins fréquemment que prévu selon les évaluations de l'offre alimentaire. Des facteurs tels que la disponibilité limitée des jeunes larves d'Orthoptères au printemps tardif, les défenses chimiques des Diplopodes et le comportement nocturne des Isopodes ont probablement influencé leur consommation. En outre, selon l'étude de (Díaz-Ruiz et al., 2015) qui a été menée dans une zone rurale composée de domaines de chasse avec des terres agricoles et des parcelles de végétation naturelle méditerranéenne, la Pie consomme principalement des arthropodes, en particulier des coléoptères et des fourmis, qui représentent 90% de sa consommation. Les graines de céréales, telles que *Hordeum* (64%), *Avena* (27%) et *Triticum* (9%), constituent également une part importante de son alimentation. D'autres aliments incluent des restes

d'oiseaux, des gastéropodes, des fruits, ainsi que des restes de mammifères et de reptiles. Dans l'ensemble, la composition alimentaire varie significativement selon les zones d'étude, et les méthodes utilisées pour évaluer l'offre alimentaire peuvent ne pas refléter avec précision l'abondance réelle ou la disponibilité de ces invertébrés pour les Pies dans les deux habitats. (Díaz-Ruiz et al., 2015; Kryštokofvá et al., 2011)

#### **1.2.4. Prospection de territoire**

Les Pies se basent sur la prospection pour évaluer et identifier de nouveaux territoires adaptés, un processus crucial pour leur survie et leur succès reproductif. Ce comportement implique la collecte d'informations sur les sites de reproduction potentiels et la disponibilité des ressources, souvent influencée par des indices sociaux tels que la densité de conspécifiques (Oro et al., 2021; Ponchon et al., 2013). Les reproducteurs infructueux sont particulièrement actifs dans la prospection, visitant fréquemment des parcelles occupées et inoccupées (Oro et al., 2021). Cependant, lorsque les parcelles deviennent isolées, la population est confrontée à des défis importants. La disponibilité limitée des ressources accroît la compétition et les risques de prédation, tandis que la fragmentation de l'habitat perturbe les dynamiques de population, réduisant les chances de trouver des territoires adaptés (Nauta et al., 2022). En outre, l'absence d'informations publiques dans les parcelles vides prolonge la phase de prospection, retardant la colonisation et conduisant potentiellement à des déclin de population (Oro et al., 2021). La distance entre les parcelles joue également un rôle crucial, plus les parcelles sont isolées, plus il est difficile pour les oiseaux de découvrir et d'évaluer de nouveaux territoires. Ces grandes distances réduisent les chances de rencontrer ces parcelles lors des déplacements habituels ou de la dispersion. Cela allonge le temps de recherche, retarde la colonisation et augmente les dépenses énergétiques, ce qui aggrave la vulnérabilité des populations. Ainsi, la connectivité des parcelles est essentielle pour faciliter une prospection efficace et maintenir des dynamiques de population stables dans des paysages fragmentés.

#### **1.2.5. Habitats rubains de la Pie**

Les Pies (*Pica pica*) montrent une forte adaptation aux habitats urbains, préférant nicher à proximité des lisières forestières et dans des zones à forte couverture forestière. Elles choisissent souvent des sites de nidification situés à moins de 30 mètres de parcelles végétalisées servant de

corridors de connectivité entre différents patches d'habitat. Bien que la connectivité puisse parfois être faible à petite échelle, la présence de ressources alimentaires anthropiques, telles que les déchets comestibles, compense cette fragmentation (Kang et al., 2012)

Les Pies se trouvent également dans des zones densément peuplées, notamment dans des rangées d'arbres et sur des arbres isolés, avec une préférence pour les conifères, comme les épicéas, qui offrent une meilleure protection en début de saison de reproduction. La hauteur des nids augmente avec l'intensité de l'urbanisation, ce qui reflète une adaptation à la réduction de la pression des prédateurs et à la proximité des humains (Ciebiera et al., 2021).

Depuis les années 1950, les Pies exploitent avec succès les milieux urbains, leur présence étant favorisée par la réduction de la persécution humaine et l'augmentation des sources alimentaires, notamment pendant l'alimentation hivernale. Elles préfèrent nicher dans des zones verdoyantes, comme les parcs, pour bénéficier d'une protection contre les prédateurs. Cette capacité d'adaptation aux perturbations humaines et l'exploitation des ressources disponibles leur permettent de prospérer en milieu urbain (Jokimäki et al., 2017).

#### **1.2.6. Habitat Rural de la Pie**

La Pie Asir (*Pica asirensis*) montre une forte préférence pour des habitats ruraux de haute qualité situés dans des zones forestières fragmentées des montagnes de l'Asir en Arabie saoudite, où elle niche principalement dans des forêts de genévriers en altitude (Boland & Burwell, 2020).

Dans le cas des Pies européennes (*Pica pica*), la sélection des sites de nidification varie significativement selon les habitats urbains et ruraux, ainsi que le long des gradients urbains-ruraux. Les zones rurales, souvent caractérisées par des terres agricoles intensivement gérées et des forêts homogènes, sont généralement considérées comme inadaptées pour la nidification des Pies. Les Pies évitent les forêts dans ces paysages, préférant les prairies uniquement dans les habitats urbains, où elles trouvent des structures de nidification plus appropriées.

La structure des habitats dans les paysages ruraux, notamment les prairies sans arbres, limite les opportunités de reproduction et de recherche de nourriture pour les Pies. En s'éloignant vers des zones plus rurales, leurs préférences pour les prairies et les forêts varient : elles sont favorisées aux bords de la ville, mais évitées dans les paysages ruraux. Cela souligne l'adaptabilité des Pies aux

environnements urbains tout en révélant leurs préférences spécifiques pour des types d'habitats qui favorisent leur reproduction et leur alimentation (Šálek et al., 2020)

Les Pies utilisent une large variété d'arbres et d'arbustes pour installer leurs nids, montrant une préférence pour les zones rurales offrant une bonne dissimulation. (Ponz & Gil-Delgado, 2004)

### 1.2.7. Reproduction de la Pie bavarde (*Pica pica*)

En Europe, la période de nidification s'étend de mars à avril. Elle construit un nid volumineux et protecteur, généralement dans un arbre ou un buisson élevé, utilisant des branches d'épines, de la boue et de l'argile pour renforcer la structure (Komers & Komers, 1992). Les œufs, mesurant en moyenne 33,76 mm de longueur et 23,62 mm de largeur, sont incubés pendant 17 à 18 jours, période pendant laquelle la morphologie de la femelle, plus légère que le mâle, peut faciliter la couvaison (Lee et al., 2007).

La reproduction de la Pie bavarde (*Pica pica*) est influencée par plusieurs paramètres, dont, notamment la taille de la ponte, les dimensions des œufs, les caractéristiques du nid et le succès de la reproduction. Ces paramètres varient en fonction de la qualité du territoire, de la condition individuelle des oiseaux et des conditions environnementales. Les études menées dans différentes régions d'Europe, d'Asie et d'Afrique du Nord montrent une grande variabilité de ces paramètres, soulignant l'adaptabilité de l'espèce.

#### 1.2.7.1. Taille de la ponte et dimensions des œufs

La taille de la ponte chez *Pica pica* varie considérablement selon les régions et les années. En moyenne, les pontes comptent entre 3 et 8 œufs par nid, avec des différences régionales marquées:

- En Croatie, la taille moyenne de la ponte est de 5,91 œufs avec des dimensions moyennes de 33,43 mm x 23,35 mm (Dolenec, 2000).
- En Espagne, les pontes sont plus importantes, atteignant 6,35 œufs en début avril (De Reyna et al., 1984), voire 6,80 œufs en mi-avril (Ponz & Gil-Delgado, 2004), avec un succès d'éclosion de 0,57.
- Au Japon, les pontes comptent en moyenne 6,19 œufs avec un succès d'éclosion relativement élevé de 0,62 mais un succès d'envol faible (0,73) (Eguchi, 1995).

- En Grande-Bretagne, la taille des pontes varie entre 5,60 et 6,15 œufs selon les études, avec un succès d'éclosion de 0,46 (Eden, 1985; Tatner, 1982a).
- En Allemagne et au Kazakhstan, les œufs sont parmi les plus grands (jusqu'à 34,50 mm x 25,10 mm), mais les données sur le succès reproducteur restent limitées (Hund & Prinzing, 1981; Smetana, 1978).

Cette variabilité souligne l'adaptation de l'espèce aux conditions locales, avec des pontes plus petites dans des environnements plus contraignants, comme en Tunisie, et plus importantes dans des habitats plus favorables comme en Espagne.

### **1.2.7.2. Caractéristiques du nid et succès de la reproduction**

La hauteur des nids varie de 1 à 16 mètres du sol (Dolenec, 2000), ce qui influence le succès reproducteur. Par exemple, en Iran, le taux de survie quotidienne des nids est de 0,98 malgré la prédation (Baghbadarani et al., 2014). Le succès d'envol varie fortement :

- En Espagne : 1,45 à 1,84 oisillon par couvée selon la période de ponte (De Reyna et al., 1984; Ponz & Gil-Delgado, 2004).
- Aux Pays-Bas : 1,67 oisillon par couvée (Walters, 1988).
- En Grande-Bretagne : 0,69 à 1,72 oisillon par couvée (Eden, 1985; Tatner, 1982a).

Les principaux facteurs limitants sont la prédation (Pies-grièches, cobras, rats) et les conditions climatiques. Les nids situés plus haut dans des arbres à branches denses semblent mieux protégés contre les prédateurs, tandis que les conditions météorologiques défavorables peuvent réduire le succès d'éclosion.

### **1.2.7.3. Influence de la qualité individuelle et du territoire**

La qualité individuelle des oiseaux influence fortement la reproduction. La condition des femelles explique plus de 60 % de la variance de la taille de la ponte et des œufs (Goodburn, 1991).

Les mâles, qui approvisionnent les femelles pendant l'incubation et nourrissent les oisillons, influencent également plus de 70 % de la variance du succès reproducteur (Goodburn, 1991).

La qualité du territoire, bien que moins déterminante que les caractéristiques individuelles, impacte la date de ponte et la probabilité de succès :

- Mi-mars au Japon (Eguchi, 1995) et en Grande-Bretagne (Vines, 1981)
- Début avril en Espagne et en Bulgarie (Antonov & Atanasova, 2003; De Reyna et al., 1984)
- Mi-avril dans plusieurs régions d'Europe centrale (Vogrin, 1998; Walters, 1988) Ainsi, les paramètres reproducteurs de *Pica pica* reflètent une forte plasticité écologique. L'espèce ajuste ses stratégies reproductrices en fonction des conditions locales, maximisant ses chances de succès malgré des pressions environnementales et prédatrices variables.

### 1.3. La Pie du Maghreb : taxonomie, morphologie, écologie et enjeux de conservation

*Pica mauritanica*, communément appelée la Pie du Maghreb, est un corvidé endémique d'Afrique du Nord, présent en Algérie, au Maroc et en Tunisie. Longtemps considérée comme une sous-espèce de la Pie bavarde (*Pica pica*), des études récentes menées par (Del Hoyo et al., 2018; Ebels, 2003; Kryukov et al., 2017; Song et al., 2018) ont clairement établi que la population nord-africaine diffère suffisamment pour constituer une espèce à part entière. Historiquement, *Pica pica*, *P. mauritanica*, *P. asirensis* et *P. hudsonia* étaient regroupées sous le nom de *Pica pica* selon diverses classifications, (Christidis & Boles, 2008; Cramp et al., 1983; Sibley & Monroe, 1990).

### 1.3.1. Taxinomie de *Pica mauritanica*

Animaux Règne Animalia

- Chordés Embranchement Chordata
  - Vertébrés Sous-embranchement Vertebrata
    - Oiseaux Classe Aves
      - Passereaux Ordre Passeriformes
        - Corvidés Famille Corvidae
          - Pies Genre Pica
            - Pie du Maghreb *Pica mauritanica*

Source : <https://www.inaturalist.org/taxa/827398-Pica-mauritanica> consulté le 26/09/2024

### 1.2.3. Morphologie de la Pie du Maghreb

Sur le plan morphologique, la Pie du Maghreb partage de nombreuses caractéristiques avec la Pie bavarde, mais se distingue par des traits précis. Elle présente notamment une peau bleue nue autour de l'œil, qui constitue le marqueur principal de son identité visuelle. Ses ailes sont légèrement plus courtes et sa queue plus longue, et contrairement à *Pica pica*, elle ne possède pas de brillant sur la queue. De plus, son cri se caractérise par un gazouillement rapide et légèrement plus aigu, renforçant ainsi sa distinction acoustique (eBird, 2022).



Figure 3. *Pica mauritanica*



Figure 4. Couple de *Pica mauritanica*

#### 1.2.4. Ecologie de la Pie du Maghreb

L'espèce montre une spécialisation écologique marquée en occupant prioritairement les zones agricoles, le maquis et les milieux semi-arides, souvent en proximité des activités humaines et des ressources en eau. En Tunisie, par exemple, *Pica mauritanica* est étroitement liée aux forêts de broussailles rélict dominées par le Sumac *Searsia tripartita*, arbre sur lequel 92 % des nids sont construits. Au Maroc, la Pie du Maghreb s'adapte à une grande variété d'habitats, allant des jardins urbains et suburbains aux terrains boisés et zones cultivées, et a même été enregistrée jusqu'à 2 500 mètres d'altitude dans l'Atlas. En Algérie, bien que l'espèce soit présente dans le nord du pays, elle est plutôt rare dans les forêts de l'Atlas, même si la population globale dans cette région reste probablement importante, sans avoir été précisément quantifiée. Par ailleurs, elle est absente des zones arides, mais peut être observée dans des oasis (eBird, 2022; Nefla et al., 2021)

#### 1.2.5. Reproduction

Les études reproductrices, notamment celle de (Nefla et al., 2021) en Tunisie, apportent un éclairage détaillé sur la dynamique de nidification. Entre 2017 et 2018, le nombre total de nids a légèrement augmenté, passant de 119 nids (dont 13 actifs) à 132 nids (dont 20 actifs), avec en 2018 environ 65 % des nids étant neufs, 15 % réutilisés et 20 % restaurés. La hauteur moyenne des nids, de l'ordre de 2,87 mètres, ainsi que leur volume moyen (0,25 m<sup>3</sup>) sont restés stables d'une année sur l'autre. Toutefois, la taille des pontes a connu une diminution, passant d'une moyenne de 5,77 œufs par nid (allant de 4 à 7 œufs) en 2017 à 4,50 œufs (de 3 à 6 œufs) en 2018. Cette réduction s'est également traduite par une baisse du nombre d'oisillons par nid, passant de 3,15 à 2,55, et par une diminution du nombre de jeunes envolés, qui est passé de 2,07 à 1,45 par nid, avec un taux de survie des oisillons qui est passé de 66 % à 57 %. Le succès global des nids a ainsi été inférieur en 2018 (32 %) par rapport à 2017 (36 %). Ces variations reproductrices semblent liées aux fluctuations climatiques, comme en témoigne une forte réduction de la pluviométrie hivernale (de 109 mm en 2017 à 46 mm en 2018) et une augmentation des précipitations printanières (de 16 mm en 2017 à 34 mm en 2018), en plus de l'impact de prédateurs naturels tels que les rapaces, les serpents et les rats.

### 1.2.6. Répartition

Sur le plan de la répartition et de la dynamique de population, l'espèce est relativement commune dans le nord-ouest du Maroc, où elle évolue dans des milieux comprenant broussailles épineuses, agriculture mixte ainsi que parcs urbains et grands jardins. En Algérie, elle apparaît plus ou moins sur l'ensemble du nord, bien qu'elle soit rare dans les forêts de l'Atlas. La situation est plus préoccupante en Tunisie, où l'aire d'occupation s'est réduite pour se concentrer autour d'une zone près de Sbikha (Nefla et al., 2021) avec potentiellement moins d'une centaine de couples, contrastant avec les douze populations isolées recensées au milieu du XXe siècle. Des déclin rapides ont également été signalés dans certaines régions du Maroc saharien atlantique, ce qui laisse penser que, malgré la stabilité relative des populations dans certaines zones du Maroc et en Algérie, une contraction de l'aire d'occupation est en cours dans d'autres régions (eBird, 2022).

### 1.2.7. Enjeux de conservation

En dépit de ces variations locales, *Pica mauritanica* est classée en catégorie « Préoccupation mineure » (Least Concern) au niveau international. La vaste répartition de l'espèce lui permet de ne pas atteindre les seuils de vulnérabilité, notamment en ce qui concerne l'aire d'occupation (qui ne tombe pas en dessous de 20 000 km<sup>2</sup>), le taux de déclin (qui n'excède pas 30 % sur dix ans ou trois générations) et la taille de la population (qui n'est pas estimée en dessous de 10 000 individus matures). Néanmoins, le défrichement des broussailles semi-arides et arides pour l'expansion agricole représente une menace significative, en particulier en Tunisie, et justifie la mise en œuvre d'une surveillance systématique, notamment au Maroc et en Algérie, afin de suivre l'évolution des populations sur le long terme (eBird, 2022).

Ainsi, la Pie du Maghreb incarne un exemple fascinant d'adaptation et de spécialisation dans divers milieux d'Afrique du Nord. Ses caractéristiques morphologiques distinctives, sa dynamique reproductrice détaillée et les défis de conservation qu'elle rencontre témoignent de la complexité de son écologie. Bien que son statut global reste rassurant, les pressions exercées sur ses habitats et les fluctuations environnementales imposent une vigilance constante et l'application de mesures de conservation adaptées pour assurer la pérennité de cette espèce emblématique (eBird, 2022; GBIF, 2021)

**Tableau 3.** Résumé des paramètres de nidification de la Pie Maghrébine (*Pica mauritanica*) en 2017 et 2018 (Nefla et al., 2021)

Paramètre	2017	2018	Résumé
<b>Total des nids actifs</b>	13 sur 119	20 sur 132	Légère augmentation des nids actifs.
<b>Nids neufs</b>	---	65%	La majorité des nids sont nouveaux en 2018.
<b>Arbre principal utilisé</b>	<i>Searsia tripartita</i> (92 %)	<i>Searsia tripartita</i> (92 %)	Forte préférence pour cette espèce d'arbre.
<b>Hauteur des nids</b>	2,87 m	2,87 m	Hauteur des nids stable (~3 m).
<b>Taille des pontes</b>	5,77 œufs (4-7)	4,50 œufs (3-6)	Moins d'œufs pondus en 2018.
<b>Jeunes envolés/nid</b>	2,07	1,45	Moins de jeunes ont survécu en 2018.
<b>Succès des nids</b>	36%	32%	Succès reproducteur légèrement plus bas en 2018.
<b>Pluviométrie hivernale</b>	109 mm	46 mm	Moins de pluie en hiver 2018.
<b>Pluviométrie printanière</b>	16 mm	34 mm	Plus de pluie au printemps 2018.

### 1.8. Conclusion

Ce chapitre de généralités a permis de dresser un état des lieux contrasté entre la richesse des travaux sur la Pie bavarde et le manque relatif d'études spécifiques concernant la Pie du Maghreb. En abordant successivement les caractéristiques comportementales, écologiques et reproductrices de *Pica pica*, puis en concentrant la synthèse sur la morphologie, l'écologie et les enjeux de conservation de *Pica mauritanica*, une base solide a été établie pour approfondir la connaissance de cette dernière espèce. Ces éléments introductifs ouvrent ainsi la voie à des investigations futures visant à mieux comprendre et préserver la Pie du Maghreb.

### **1.3. Répartition géographique : focus Algérie**

### 1.3.1. Introduction

Ce chapitre s'inscrit dans une démarche globale visant à combler les lacunes existantes dans la compréhension des exigences écologiques de la Pie du Maghreb (*Pica mauritanica*) en Algérie. L'objectif est de constituer une base de données géographique exhaustive regroupant diverses formes de présence de l'espèce : occurrences, sites historiques, sites de nidification et données relatives à la reproduction.

Pour ce faire, ce chapitre présente un panorama de la répartition générale de la Pie du Maghreb dans la région, avec un focus particulier sur l'Algérie. Des enregistrements issus de bases de données telles que le GBIF, couvrant près d'un siècle (1930-2025), attestent d'une implantation ancienne et continue de l'espèce dans plusieurs wilayas. Par ailleurs, des missions de terrain ont permis de collecter des données plus précises et géoréférencées.

Cette approche multisource, associant données historiques et observations de terrain, intégrée dans un environnement SIG, vise à localiser géographiquement les indices de présence de *Pica mauritanica*, principalement en Algérie.

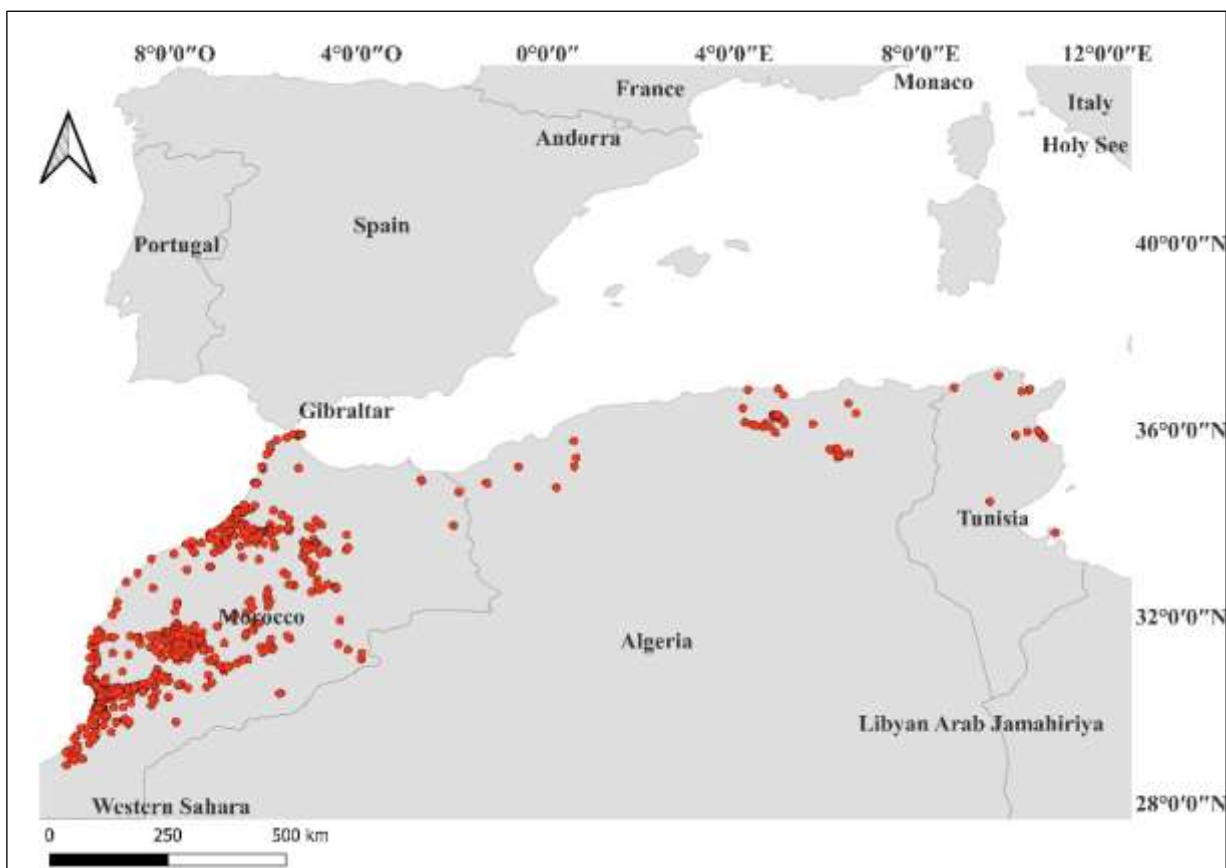
### 1.3.2. Distribution et expansion de la Pie du Maghreb (*Pica mauritanica*) dans le Maghreb : aperçu général et zoom sur l'Algérie

#### 1.3.3. Répartition générale dans le Maghreb

Dans l'ensemble du Maghreb, *Pica mauritanica* se limite à l'Afrique du Nord-Ouest. En Tunisie, l'espèce est aujourd'hui très restreinte. La population reproductrice est désormais confinée aux environs de Sbikha, dans le gouvernorat de Kairouan, ce qui témoigne d'une distribution très limitée (Nefla et al., 2021).

Au Maroc, la Pie du Maghreb est omniprésente dans la majeure partie du pays. La population aurait connu un déclin dramatique depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle (Bergier et al., 2017). (eBird, 2022; GBIF, 2021)

En Algérie, la répartition de la Pie du Maghreb se manifeste par plusieurs groupes plus ou moins isolés, majoritairement implantés dans des milieux semi-arides, conformément à l'écologie de l'espèce.



**Figure 5.** Occurrences de *Pica mauritanica* en Afrique du Nord selon (GBIF, 2021)

### 1.3.4. Zoom sur l'Algérie

#### 1.3.4.1. Base de données mondiale GBIF

Les données du GBIF, mises à jour jusqu'en 2025, révèlent une présence établie de la Pie du Maghreb dans plusieurs wilayas du nord de l'Algérie, notamment à Batna, Bordj Bou Arreridj, Sétif, Constantine, Mila, Mascara, Tlemcen, Relizane, Saida et Tizi Ouzou. Ces enregistrements, couvrant près d'un siècle (de 1930 à 2025), témoignent d'une implantation ancienne et continue dans ces régions.

Les observations réalisées dans divers sites, tels que la Forêt de Tazoult, la Forêt de Bounaadja, le Parc National de Belezma ou encore le Plateau de Lalla Setti, démontrent l'adaptation de la Pie aux milieux forestiers, montagnards et, dans une moindre mesure, urbains (par exemple dans la ville de Batna).

Il convient de noter que certains enregistrements situés en plein centre urbain ou dans des milieux peu propices (zones désertiques ou isolées) pourraient résulter d’erreurs de saisie ou de géolocalisation. Des vérifications de terrain et un nettoyage des données sont ainsi nécessaires pour obtenir une représentation fidèle de la répartition de l’espèce.

Par ailleurs, de nouvelles données publiées par (Bouletif et al., 2022) viennent compléter ce tableau. Ces observations récentes rapportent l’hivernage et l’expansion de la Pie du Maghreb dans deux oasis : la première a été enregistrée dans le nord de Biskra, au sein d’une des oasis d’El Kantara (janvier 2022), et la seconde à l’extrême sud des Aurès, à Ghoufi (mars 2019). Ces enregistrements constituent la première mention de la présence de l’espèce dans cette région à la lisière du Sahara, notamment dans les zones des Aurès (Biskra et Batna).

Ainsi, la répartition de la Pie du Maghreb en Algérie, appuyée par des données historiques et récentes, met en évidence la distribution fragmentaire de l’espèce dans le nord du pays. Ce constat souligne l’importance d’approfondir les recherches de terrain et d’actualiser régulièrement les bases de données afin de mieux comprendre les dynamiques écologiques et d’assurer la conservation de cette espèce emblématique du Maghreb.

**Tableau 4.** Récapitulatif des occurrences (1930 – 2025)

Wilaya	Localités principales	Période
Batna	Batna, Forêt de Tazoult, Tazoult, Timgad, Parc National de Belezma	1930 – 2023
Bordj Bou Arreridj	Bordj Bou Arreridj, Bordj Zemoura	2015 – 2025
Sétif	El Eulma, Forêt des mouïas, Harbil, Ouled Jelel	1979 – 2025
Constantine	Constantine	2019
Mila	Forêt De Bounaadjia – Grarem Gouga	2016
Mascara	Douar El Hedjar, Ouled Ben Aissa	1984 – 1988
Tlemcen	Plateau De Lalla Setti	2018 – 2024
Relizane	Relizane	1979
Saida	Aïn El Hadjar	2016
Tizi Ouzou	Iziriouene	2024

### 1.3.4.2.Sites historiques et actuels

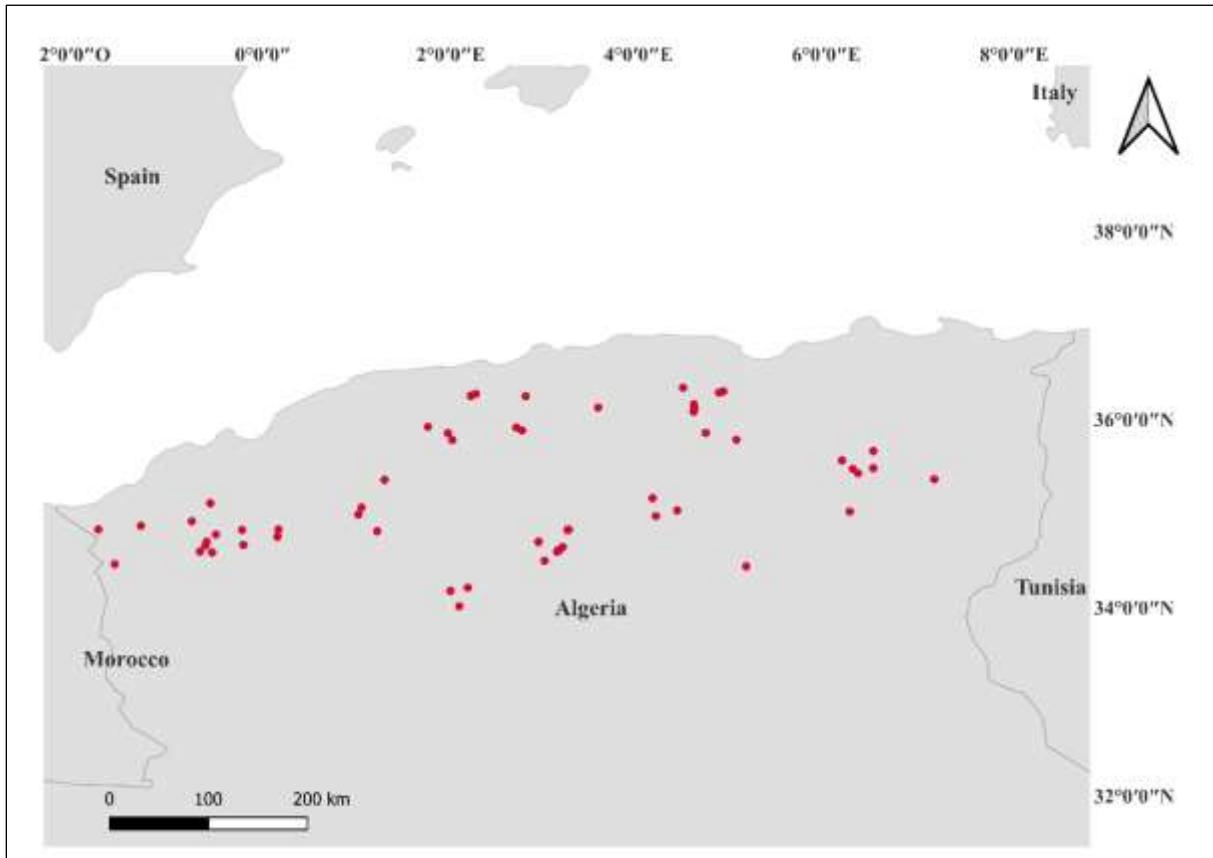
Dans le cadre de la constitution de la base de données SIG pour *Pica mauritanica* en Algérie, l'association algérienne de la vie sauvage et de l'ornithologie a joué un rôle crucial dans l'enrichissement de cette base de données.

Aussi, des missions de terrain ont été entreprises selon un protocole scientifique rigoureux, permettant la collecte de données géoréférencées essentielles pour l'analyse spatiale et la mise en œuvre de stratégies de conservation.

La première mission, axée sur l'itinéraire oriental, a été menée par une équipe composée du Dr Aymen Nefla, de M. Ridha Ouni et de Laalmi Hakim Ben Mokhtar. Au cours d'un parcours de 3140 km effectué en 7 jours, l'équipe a débuté son trajet à Tunis, traversé la frontière algérienne via Tabarka, et réalisé des observations systématiques dans les régions d'Annaba, Constantine, Batna, Bou Sâada, Djelfa, Hassi Rmal, Laghouat et Tiaret.

Parallèlement, la seconde mission s'est focalisée sur l'itinéraire occidental sous la direction du Pr Salah Telailia et de son équipe. En parcourant 2360 km sur une période de 9 jours, cette équipe a suivi un tracé allant de Batna à Bordj Bou Arreridj, en passant par des sites stratégiques tels que Dar El Beida, Alger, Saïda (Hassasna), Marhoum, Bir El Hmam, Dhaya, Sidi Djillali, Tlemcen, Maghnia Sidi Ali Benyoub, Sidi Bel Abbas et Oran, avant de revenir à Batna (les listes et lieux d'observations en annexe).

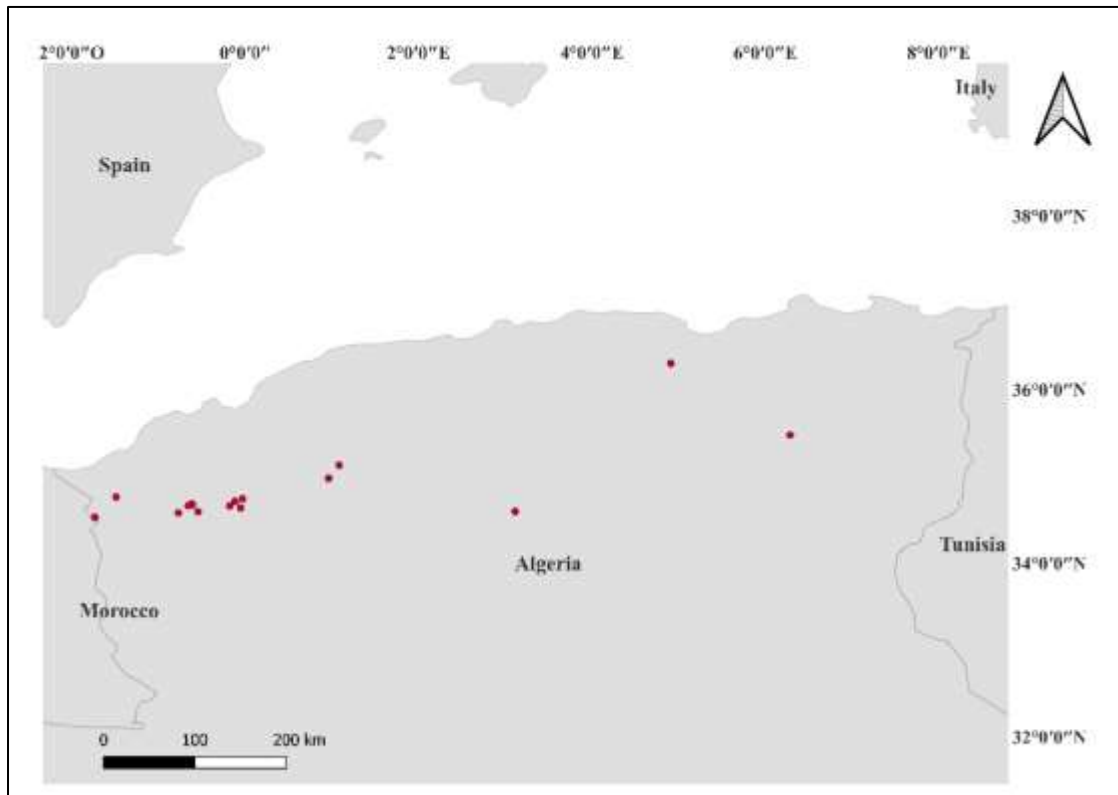
La complémentarité de ces deux missions, caractérisée par la division en deux équipes distinctes, permettant une couverture simultanée des itinéraires est et ouest de l'Algérie, a favorisé une acquisition de données exhaustive sur la dispersion et les dynamiques migratoires de *Pica mauritanica*. Ces observations, intégrées dans un environnement SIG robuste, offrent, désormais, un outil indispensable pour la modélisation des habitats, l'évaluation des risques écologiques et l'élaboration de mesures de gestion adaptées à la conservation de cette espèce emblématique du Maghreb.



**Figure 6.** Répartition de sites historiques et nouveaux de *Pica mauritanica* en Algérie

### 1.3.4.3. Les sites prospectés sur le terrain pour établir la base de données sur la distribution de la Pie du Maghreb

Pour répondre à l'objectif de créer une base de données géographique pour la Pie du Maghreb en Algérie, il convient d'intégrer toutes les formes de présence de l'espèce (occurrences, sites historiques, sites de nidification et nids). La collecte de données, réalisée entre 2022 et janvier 2023, s'est appuyée sur une observation rigoureuse sur le terrain, incluant des relevés GPS précis, l'enregistrement des paramètres environnementaux et une enquête ethnozoologique auprès des populations locales. Cette approche permet non seulement de recenser les sites, mais aussi d'appréhender la variabilité des environnements dans lesquels se trouve l'espèce.



**Figure 7.** Répartition de sites prospectés et étudiés de *Pica mauritanica* en Algérie

Les observations montrent que la Pie du Maghreb s’installe dans un contexte méditerranéen semi-aride, sur des sites situés en moyenne entre 1000 m et 1500 m d’altitude (moyenne de 1220 m) et caractérisés par un couvert végétal diversifié. Le recouvrement global de la végétation autour des nids (environ 53 %) est légèrement inférieur au recouvrement global observé (environ 60 %). De plus, la présence de l’espèce est fortement liée aux zones en bordure des espaces agricoles et agro-pastoraux, où les interactions entre l’environnement naturel et les activités humaines influencent la dynamique de la population.

Afin de mieux visualiser les sites prospectés et la répartition géographique de l’espèce, les tableaux ci-dessous présentent, dans un premier temps, la liste des sites identifiés avec leurs informations de base, puis, dans un second temps, les points extrêmes de la distribution observée.

**Tableau 5.** Sites prospectés et informations associées de l'est vers l'ouest sur la carte

N°	Nom du Site	Wilaya	Code
1	Tazoult	Batna	BT
2	Bordj Zemoura	Bordj Bou Arreridj	BBZ
3	Sin Alba	Djelfa	DJS
4	Frenda, site B (Nord-Est de la ville de Frenda)	Tiaret	TFSB
5	Frenda	Tiaret	TFG
6	Ain El Hajar	Saida	SAH
7	Lala Setti	Saida	SLS
8	Hassi Aoun	Saida	SHA
9	Tafissour Ain Nour	Sidi Bel Abbes	SBT
10	Merine	Sidi Bel Abbes	SBM
11	Sidi Chaib	Sidi Bel Abbes	SBSC
12	Dhaya/Beni Attia (3 sites proches)	Sidi Bel Abbes	SBDA, SBDB, SBDC
13	Oued Sbaa	Sidi Bel Abbes	SBOS
14	Réserve de chasse Moutas	Tlemcen	TM
15	Al-Asfour/Meghnia	Tlemcen	TAM

**Tableau 6.** Points Extrêmes de la Distribution Observée

Position	Localisation (Ville/Wilaya)	Coordonnées approximatives
Extrême Ouest	Maghnia (Tlemcen)	34.531175°, -1.745898°
Extrême Est	Tazoult (Batna)	35.487136°, 6.274856°
Extrême Nord	Bordj Zemoura (Bordj Bou Arreridj)	36.303232°, 4.909640°
Extrême Sud	Senalba (Djelfa)	34.599552°, 3.109868°

#### 1.3.4.4. Information géographique de la reproduction

Pour la partie reproduction, la base de données géographique a été constituée en combinant des relevés de terrain et des analyses spatiales. En effet, tous les nids, qu'ils soient occupés ou non, ont été géolocalisés à l'aide d'un GPS, permettant d'obtenir leurs coordonnées précises dans une zone d'environ 200 hectares autour de l'agglomération de Sidi Chaib (SBSC)

Par ailleurs, d'autres sites, tels que Taffisour-Ain Nour (SBT) et Dhaya-Beni Attia SBDA, SBDB, SBDC), ont été prospectés de manière similaire pour enrichir la comparaison des données et mieux comprendre la répartition spatiale des nids dans différents environnements.



**Figure 8.** Sites de collecte de données pour les paramètres de reproduction dans le nord-ouest de l'Algérie

Les informations complémentaires, notamment le type d'espèce d'arbre supportant chaque nid, la hauteur et les dimensions des nids et le biomonitoring de la reproduction des nids actifs ont également été enregistrées (Figure 36 et 37).

**Tableau 7.** Base de données de reproduction : Exemple de nid codé SBSC\_N1

Date	Œufs	Poussins	Observations
<b>2023</b>			
13 mars	5	-	Nid cime : 0,35 m, Nid sol : 1,2 m, support : <i>Lycium shawii</i>
14 mars	5	-	-
17 mars	5	-	-
19 mars	5	-	-
23 mars	-	5	Éclosion
27 mars	-	5	-
31 mars	-	4	-
6 avril	-	3	1 sacrifié ( <i>Pie-grièche grise</i> )
12 avril	-	2	Deux poussins bien développés
18 avril	-	2	Prêts à s'envoler
22 avril	-	2 envolés	
<b>2024</b>			
30 mars	3	-	-
13 avril	2	1	-

Par ailleurs, les coordonnées des nids actifs ont été intégrées dans QGIS et les distances les séparant ont été générées pour, notamment, offrir une représentation spatiale fine dans l'aire d'étude.

En centralisant ces données dans une base de données géographique, il devient possible d'analyser la répartition spatiale de la Pie du Maghreb, d'identifier les zones vulnérables et d'étudier les interactions entre l'espèce et son environnement, notamment en lien avec l'activité agricole et agro-pastorale.

Ce travail constitue ainsi une étape essentielle pour la recherche scientifique et l'élaboration de stratégies de conservation adaptées. L'ensemble de ces données est utilisé pour la suite de l'étude.

#### **1.4. Conclusion**

La mise en place de cette base de données géographique offre une vision détaillée et actualisée de la distribution de la Pie du Maghreb en Algérie. Les données récoltées révèlent une implantation stable dans le nord du pays, notamment le long des frontières entre zones naturelles et agro-pastorales. Ce travail constitue une avancée significative pour la modélisation des habitats et l'évaluation des risques écologiques menaçant l'espèce. En outre, l'intégration des observations historiques et récentes permet de mettre en lumière les interactions complexes entre l'espèce et son environnement, ouvrant ainsi la voie à des stratégies de conservation adaptées. Pour renforcer ces conclusions, il est indispensable de poursuivre la collecte de données de terrain et d'actualiser régulièrement la base de données afin d'assurer une gestion efficace et durable des populations de *Pica mauritanica*.

## **Chapitre 2. Macrohabitat : cartographie régionale**

## 2.1. Introduction

*Pica mauritanica*, communément appelé la Pie du Maghreb, est une espèce de corvidés distinctive, endémique d'Afrique du Nord. Initialement considérée comme une sous-espèce de la Pie bavarde (*Pica pica*), des études ultérieures ont révélé des différences marquées entre la population nord-africaine et les autres populations mondiales (Kryukov et al., 2017). Par conséquent, cette espèce a été réévaluée et reconnue comme une espèce distincte. De plus, *Pica mauritanica* identifié comme abondante en Algérie, au Maroc et en Tunisie. Cependant, la population de *Pica mauritanica* est actuellement confrontée à des défis en raison de la fragmentation et de la destruction de ses habitats naturels, causées par de nombreux facteurs tels que les incendies de forêt, le défrichage, la déforestation, l'intensification de l'agriculture moderne et l'expansion urbaine. Par conséquent, l'aire de nidification de l'espèce est devenue de plus en plus restreinte, conduisant à une distribution spatiale réduite dans les pays nord-africains mentionnés, avec des populations isolées, dont certaines contiennent des couples reproducteurs menacés d'extinction (Isenmann & Thevenot, 2020; Nefla et al., 2021). Malgré ces circonstances critiques, peu de recherches ont été menées sur *Pica mauritanica*. Mis à part l'étude de (Nefla et al., 2021), qui explore principalement la biologie reproductive de cette espèce en Tunisie, il existe un manque d'informations concernant la caractérisation des habitats et l'adéquation de ces derniers pour l'espèce sur l'ensemble de son aire de répartition. Par conséquent, la cartographie de l'habitat de *Pica mauritanica* devient essentielle pour une compréhension globale de la distribution actuelle de cette espèce et pour le développement de stratégies de conservation efficaces à travers l'Afrique du Nord (Guisan et al., 2013)

Les cartes de répartition des espèces, telles que celles de BirdLife International et de l'IUCN, sont essentielles pour identifier et protéger les zones et les espèces clés. Cependant, ces cartes traditionnelles manquent souvent de mises à jour régulières, ce qui entraîne des données obsolètes, et elles n'intègrent généralement pas les facteurs environnementaux qui influencent la répartition des espèces (J. Li et al., 2019). De plus, ces cartes représentent généralement des régions larges et généralisées où les espèces se trouvent, sans la résolution détaillée nécessaire pour capturer les préférences d'habitat spécifiques ou les besoins en micro-habitats (A. T. Peterson et al., 2018). Pour remédier à ces limitations, les efforts de conservation peuvent bénéficier de l'utilisation de techniques plus avancées, telles que les modèles de distribution des espèces (SDM).

En écologie, les modèles de distribution des espèces (SDM), également appelés modèles d'habitat écologique (ENMs), sont des outils qui utilisent des données de présence et des variables environnementales pour prédire et cartographier la répartition potentielle des espèces, évaluant ainsi la probabilité de leur présence ou absence dans une zone géographique donnée (Guisan & Zimmermann, 2000).

Ces dernières années, les modèles de distribution des espèces (SDM) ont trouvé une application étendue dans divers domaines tels que la biologie de la conservation, l'évaluation de la biodiversité, la modélisation du changement climatique et la gestion des espèces invasives (Araújo & Peterson, 2012). De plus, l'utilisation des SDM en biologie aviaire a permis d'obtenir des informations précieuses sur la répartition et l'abondance des espèces d'oiseaux, ainsi que sur les facteurs écologiques et environnementaux qui influencent ces schémas (Stiels & Schidelko, 2018). Par conséquent, combiner des cartes de répartition établies par des experts avec les résultats issus des modèles de distribution des espèces offre une compréhension impartiale et globale de la répartition géographique des espèces à travers les habitats et fournissant, ainsi, des estimations plus rigoureuses étroitement liées aux variables environnementales (Engler et al., 2017).

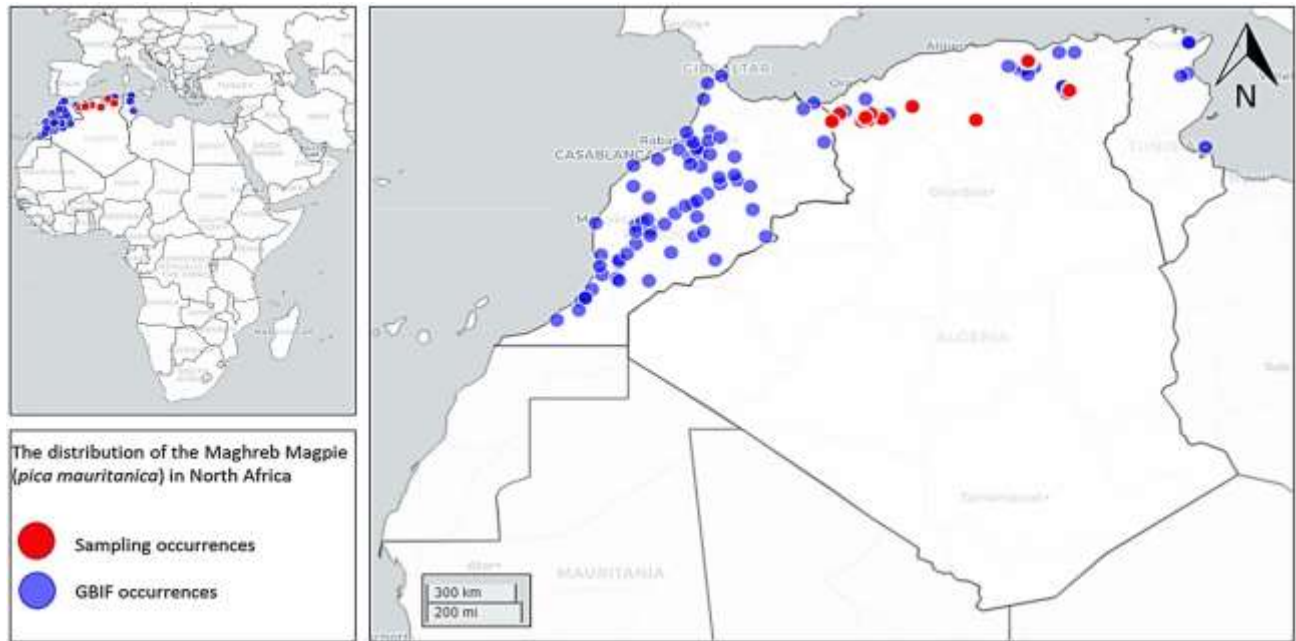
En utilisant ce cadre de modélisation, cette étude vise (1) à prédire et cartographier la répartition actuelle de *Pica mauritanica*, en délimitant ainsi les zones potentiellement adaptées, (2) à identifier les facteurs déterminants de sa répartition potentielle, et (3) à définir les exigences de niche environnementale de cette espèce dans la région du Maghreb. En fin de compte, cette approche fournira des indications pour identifier des zones de conservation prioritaires et définir les implications pour la conservation.

## **2.2. Matériels et méthodes**

### **2.2.1. Zone d'étude**

La région du Maghreb (comprenant l'Algérie, le Maroc et la Tunisie) couvre une superficie d'environ 3 254 000 km<sup>2</sup>. Cette région est caractérisée par un climat méditerranéen, où les précipitations varient entre 78 et 390 mm. De plus, la température varie entre une moyenne annuelle de 13,7 °C dans les montagnes de l'Atlas et 23,1 °C dans le Sahara. Nos recherches ont été menées sur une superficie de 974 536 km<sup>2</sup>. L'altitude variait entre -61 et 3697 m. Les sites algériens où

nous avons décelé des traces de la présence de l'espèce se situaient à 11 stations : dans l'extrême ouest (Beni Boussaid - Province de Tlemcen), dans l'est du pays (Tazoult - Province de Batna), dans le nord (Bordj Zemoura - Province de Bordj Bou Arreridj) et vers le sud du pays (Senalba - Province de Djelfa) (Figure 9 et Tableau 8).



**Figure 9.** Répartition de *Pica mauritanica* à travers l'Afrique du Nord.

**Tableau 8.** Localisation et caractéristiques des sites de nidification de *Pica mauritanica*.

Données enregistrées en 2022.

Région	Province	Date enregistrement	Zone de nidification	Type d'habitat	Coordonnées géographiques (GPS)	Municipalité	Nbre nids	Altitude (m)
Est de L'Algérie	Batna	mars-22	Tazoult	Catégorie 2	35°28'43.3236"N 6°17'9.726"E	Tazoult	–	1275
	Bordj Bou Arreridj	mars-22	Bordj Zemoura	Catégorie 1	36°18'12.8736"N 4°54'43.0956"E	Bordj Zemoura	–	1400
Centre de L'Algérie	Djelfa	01/08/2022	Senalba	Catégorie 3	34°35'58.6"N 3°6'26.9 E	Djelfa	10	1289
Ouest de L'Algérie	Tiaret	22/05/2022	Ain El Hadid	Catégorie 2	34°58'49.62891"N 0°57'44.22722"E	Ain El Hadid	3	1158
		24/05/2022	Hassi Aoun		Catégorie 2	34°42'59.27"N 0°7'14.28"W	Ain El Hadjar	6
	Saïda	24/05/2022	Lala Setti	Partie ouest (catégorie 2) Partie est (catégorie 3)	34°37'59.8"N 0°3'8.9"W	Moulay Larbi	7	1094
		Sidi Bel Abbès	26/05/2022	Sidi Chaïb	Catégorie 4	34°35'43"N 0°32'29.67156"W	Sidi Chaïb	8
	31/05/2022		Oued Sebaa	Catégorie 3	34°34'3.07925"N 0°45'17.01609"W	Oued Sebaa	2	1183
	31/05/2022		Dhaya Ben Attia	Partie nord (catégorie 2) Partie sud (catégorie 3)	34°39'40.64926"N 0°39'18.15387"W	Dhaya	17	1350
	Tlemcen	28/06/2022	Moutas	Catégorie 1	34°45'52.1"N 1°29'19.6"W	Bouhlou	3	1095
		02/07/2022	Al-Asfour	Catégorie 1	34°31'39.5868"N 1°44'25.4112"W	Beni Boussaid	–	1490

## 2.2.2. Modèle de distribution des espèces (SDM)

### 2.2.2.1. Points d'occurrence et données environnementales

Nous avons compilé une liste (226 occurrences) de la Pie du Maghreb en fusionnant les données d'occurrence géoréférencées recueillies à partir des dépôts en ligne publics (GBIF, 2021) et des relevés de terrain effectués entre 2000 et 2019. De nombreux observateurs, notamment des photographes animaliers et des ornithologues, ont largement documenté la présence et la répartition de la Pie du Maghreb en Algérie. Sur la base de ces efforts, des relevés de terrain ont été effectués, permettant de visiter 11 sites de nidification sur l'ensemble du territoire algérien. Nous avons enregistré la position du nid ou la présence de l'espèce à l'aide d'un GPS afin de géoréférencer son emplacement.

Nous avons téléchargé 19 variables bioclimatiques à partir de la base de données WorldClim 2 (Hijmans et al., 2005) à une résolution spatiale de 30 arc-secondes (environ 1 km). De plus, nous avons obtenu des données raster d'élévation, l'indice de végétation amélioré (EVI), la pente et l'empreinte mondiale des établissements humains via la plateforme Google Earth Engine. Toutes les variables prédictives ont été standardisées à une résolution spatiale de 30 arc-secondes (environ 1 km) afin de traiter les problèmes de multicollinéarité (Dormann et al., 2013).

Nous avons d'abord exploré les corrélations entre toutes les variables prédictives en utilisant la fonction « chart correlation » implémentée dans le package R « Performance Analytics » et créé un dendrogramme basé sur la distance de Pearson. Nous avons ainsi retenu un ensemble final de variables présentant un coefficient de corrélation ( $r$ ) < 0,75. Par la suite, nous avons utilisé la fonction vifstep du package R « usdm » (Naimi et al., 2014) pour calculer les scores VIF (variance inflation factor) des variables prédictives. Seules les variables ayant un score VIF inférieur à 5 ont été retenues. Les sept variables sélectionnées étaient BIO 1, BIO 8, BIO 12, la pente, l'empreinte mondiale des établissements humains, l'élévation et l'EVI.

### 2.2.2.2. Pré-modélisation

Nous avons traité les couches de variables prédictives en utilisant un fichier de formes (shapefile) provenant d'Ecoregions1. La zone tampon a été définie en fonction des caractéristiques des écorégions, ce qui a entraîné l'exclusion des déserts et des broussailles xériques. Ce processus a consisté à restreindre l'aire de répartition à l'étendue géographique pertinente, améliorant ainsi la précision du modèle.

Un affinement spatial a été réalisé, durant lequel les enregistrements dupliqués ainsi que les points situés à moins de 1 km (se trouvant dans le même pixel des variables explicatives) ont été supprimés grâce à la fonction « thin\_by\_dist » implémentée dans le package tidysdm (Leonardi et al., 2024). Ce processus n'a conservé qu'un seul point par pixel afin de minimiser le biais d'échantillonnage (Boria et al., 2014), réduisant ainsi le nombre d'occurrences à 138 points. Par ailleurs, en utilisant la fonction « sdmData » basée sur la méthode gRandom, nous avons généré aléatoirement 200 points de fond, soit près du double du nombre de points de présence (Cancellario et al., 2022), ce qui a abouti à un ratio de prévalence d'environ 0,41. Il a été démontré que des points de fond sélectionnés de manière aléatoire, pondérés de manière égale aux points de présence,

offrent les modèles de distribution les plus fiables (Barbet-Massin et al., 2012). De plus, le nombre de points de fond ainsi que l'équilibre du jeu de données influent sur la performance du modèle. Les algorithmes linéaires, tels que les techniques de régression (GLM et GAM), se montrent plus efficaces avec un grand nombre de points de fond pondérés de manière égale, tandis que les modèles de classification et d'apprentissage automatique (RF et BRT) donnent de meilleurs résultats avec un nombre modéré de pseudo-absences, améliorant ainsi la précision prédictive et minimisant à la fois le biais et la variabilité (X. Li & Wang, 2013).

### 2.2.2.3. Modélisation et post-traitement

Nous avons utilisé la fonction « sdm » implémentée dans le package R sdm afin d'exécuter des modèles de distribution des espèces en utilisant trois algorithmes : le modèle linéaire généralisé (GLM), les arbres de régression boostés (BRT) et la forêt aléatoire (RF), qui appartiennent respectivement aux modèles de régression et aux méthodes d'apprentissage automatique. Ces algorithmes ont été sélectionnés pour leur haute performance dans la capture précise des relations espèce-environnement ainsi que pour leur complémentarité (Barbet-Massin et al., 2012).

Les modèles linéaires généralisés sont adaptés aux variables de réponse binaires (présence/absence) ou de comptage (abondance ou richesse) (Miller, 2010). Cependant, ils peuvent ne pas convenir aux relations complexes entre espèces et environnement. En revanche, les modèles de forêt aléatoire et d'arbres de régression boostés sont moins sensibles à la multicollinéarité (Dormann et al., 2013), peuvent gérer des jeux de données déséquilibrés et sont capables de prendre en charge des relations complexes (Crane et al., 2012).

Nous avons utilisé la paramétrisation par défaut du SDM, dans laquelle les GLM ont été ajustés en utilisant une famille binomiale avec une fonction de liaison logit, et les modèles RF ont été ajustés avec 500 arbres, le nombre de variables testées à chaque division étant fixé à la racine carrée du nombre de variables prédictives. De plus, les BRT ont été ajustés avec les réglages par défaut, incluant 1000 arbres. Parallèlement, le jeu de données a été divisé en 30 % pour le test et 70 % pour l'entraînement. Trois répliques ont été effectuées pour les méthodes de sous-échantillonnage et de bootstrapping. Ensuite, nous avons créé un modèle ensembliste en utilisant une procédure de moyenne pondérée des prédictions issues de plusieurs modèles ajustés, basée sur le true skill statistic (TSS). Le seuil a été fixé égal à max (sensibilité + spécificité) (Naimi & Araújo,

2016), minimisant ainsi le taux d'erreur moyen pour les observations positives et négatives. Ce cadre de prévision ensembliste visait à tirer parti des points forts de diverses techniques de modélisation tout en minimisant l'impact des faiblesses individuelles des modèles dues à la prévalence et au biais d'échantillonnage. Cette approche améliore en fin de compte la performance prédictive globale du modèle ensembliste (Miller, 2010) et maximise l'efficacité des points de fond (Barbet-Massin et al., 2012).

#### 2.2.2.4. Évaluation du modèle

Nous avons effectué une évaluation approfondie de la performance du modèle en utilisant trois indicateurs principaux : le true skill statistic (TSS), l'aire sous la courbe (AUC) dérivée de la courbe caractéristique de fonctionnement du récepteur (ROC) et la statistique kappa. Des valeurs d'AUC comprises entre 0,7 et 1,0 indiquent une forte capacité de discrimination, tandis que des valeurs inférieures à 0,5 traduisent une précision prédictive moindre (Hanley & McNeil, 1982). Les valeurs de TSS, allant de -1 à 1, suivent un schéma similaire : des valeurs positives indiquent une performance meilleure que le hasard, alors que des valeurs négatives indiquent une performance moins efficace (Swets, 1988). Par ailleurs, la statistique kappa, qui varie de -1 à +1, reflète le niveau d'accord entre les observations. Une valeur de +1 représente un accord parfait, tandis que des valeurs nulles ou négatives indiquent un accord qui n'est guère supérieur au hasard (Cohen, 1960).

### 2.3. Résultats

L'aire sous la courbe (AUC) et le true skill statistic (TSS) des modèles variaient respectivement de 0,704 à 0,957 et de 0,339 à 0,797 (Tableau 9). Le modèle ensembliste a présenté une valeur d'AUC de  $0,82 \pm 0,07$  et un TSS de  $0,54 \pm 0,14$ . De plus, le kappa variait de 0,33 à 0,846, avec une moyenne de  $0,53 \pm 0,15$ .

La zone des points d'occurrence présente des caractéristiques climatiques et géographiques distinctives qui, ensemble, façonnent son profil environnemental. La précipitation annuelle moyenne s'élevait à 438,17 mm, avec une concentration maximale se situant entre 300 et 400 mm. Par ailleurs, la température annuelle moyenne était de 15,22 °C, tandis que la température moyenne du trimestre le plus humide était de 9,74 °C. L'altitude moyenne était de 951,02 m, la plupart des sites se situant dans une plage comprise entre 1000 m et 1600 m. De plus, la pente avait une valeur moyenne de 3,31, indiquant une topographie modérément inclinée. L'indice de végétation amélioré

(EVI) affichait une valeur moyenne de 0,2026, avec un pic de concentration entre 0,2 et 0,25. Enfin, le score moyen d'occupation humaine était de 12,61, avec un pic distinct de concentration entre 10 et 12 (Figure 10).

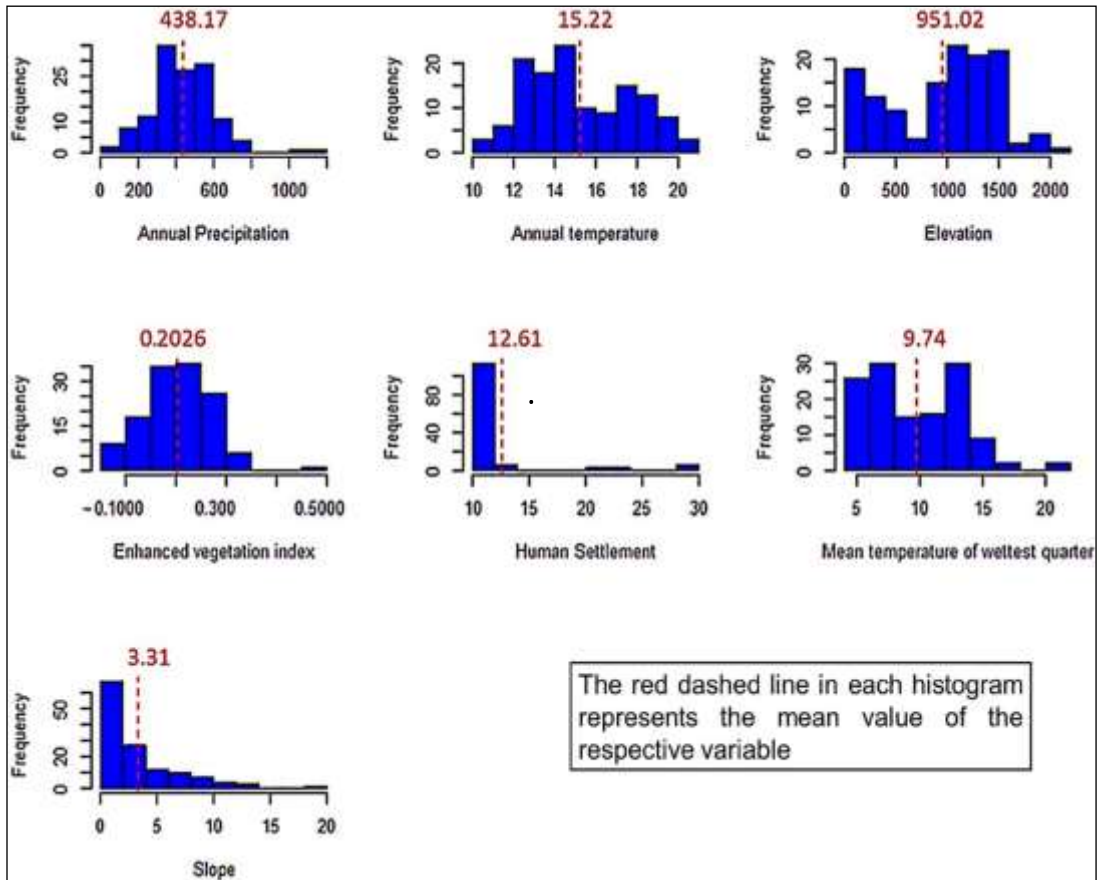
L'EVI et l'élévation se sont révélés être les variables les plus influentes, représentant ensemble une contribution de 68 %, suivies par l'occupation humaine qui a contribué à hauteur de 10,2 %. Cela souligne leur rôle important dans l'élucidation des facteurs influençant la répartition actuelle de *Pica mauritanica* (Figure 11).

L'indice de convenance varie d'un minimum de zéro à un maximum de 8,9, indiquant une distribution cohérente avec l'occurrence connue de l'espèce. Les zones hautement favorables pour la Pie du Maghreb se situent dans les régions côtières de l'est de la Tunisie et de l'ouest du Maroc, respectivement. De plus, une forte convenance est également observée dans la région des Hautes Plaines algériennes et dans le Haut Atlas marocain (Figure 12 A).

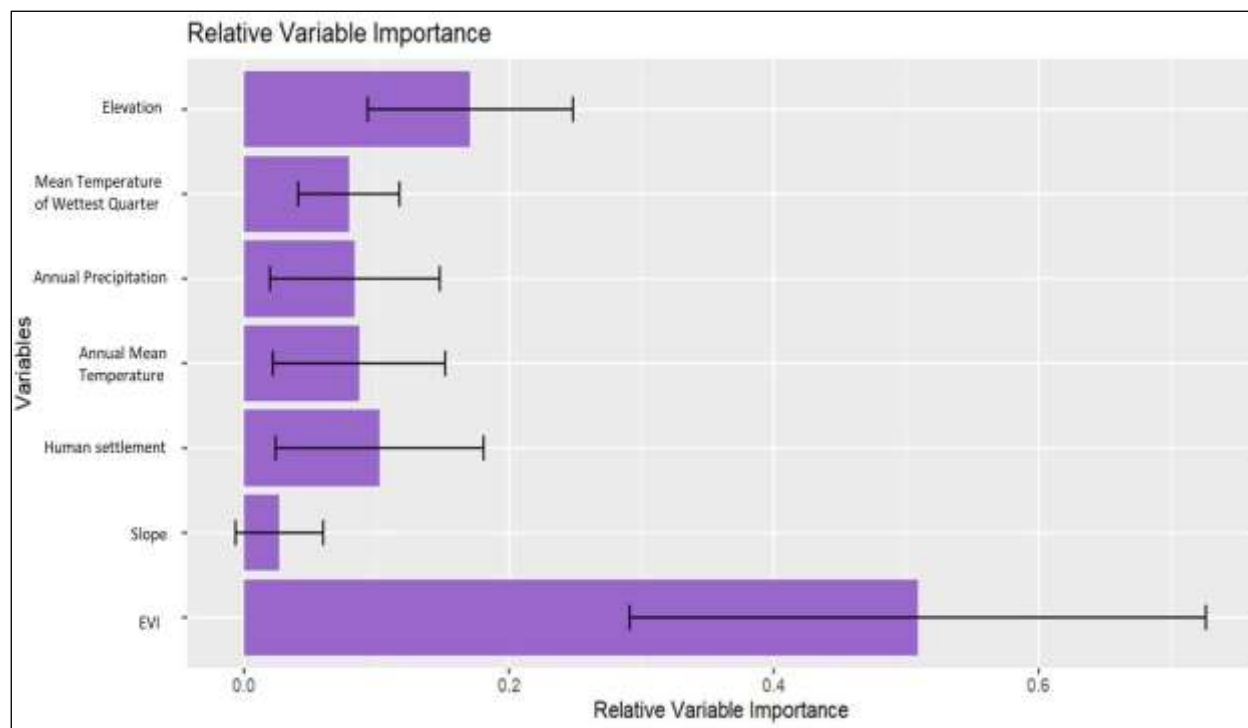
La carte binaire délimite les zones adaptées à un seuil supérieur à 0,6, révélant une étendue totale d'environ 64 843 km<sup>2</sup> sur l'ensemble de la zone d'étude. Dans ce cadre, l'Algérie comprend 34 853 km<sup>2</sup> de terrain adapté, le Maroc représente 25 440 km<sup>2</sup>, et la Tunisie 4 550 km<sup>2</sup>. La répartition de l'espèce se présente principalement sous la forme de parcelles isolées (Figure 12 B).

**Tableau 9.** Mesures de performance des modèles GLM, BRT et RF avec deux techniques de réplication

Méthode	Réplication	AUC	TSS	Kappa
GLM	Subsampling	0.704	0.339	0.331
GLM	Subsampling	0.766	0.442	0.433
GLM	Subsampling	0.717	0.339	0.331
GLM	Bootstrap	0.727	0.366	0.355
GLM	Bootstrap	0.714	0.39	0.388
GLM	Bootstrap	0.809	0.629	0.621
BRT	Subsampling	0.787	0.485	0.475
BRT	Subsampling	0.824	0.485	0.475
BRT	Subsampling	0.813	0.485	0.475
BRT	Bootstrap	0.817	0.484	0.472
BRT	Bootstrap	0.858	0.577	0.574
BRT	Bootstrap	0.885	0.615	0.605
RF	Subsampling	0.839	0.588	0.578
RF	Subsampling	0.841	0.528	0.517
RF	Subsampling	0.836	0.545	0.536
RF	Bootstrap	0.918	0.7	0.69
RF	Bootstrap	0.957	0.795	0.846
RF	Bootstrap	0.957	0.797	0.792
Ensemble		Moyenne ± Écart-type (ET)	Moyenne ± Écart-type (ET)	Moyenne ± Écart-type (ET)
		0.82 ± 0.07	0.54 ± 0.14	0.53 ± 0.15



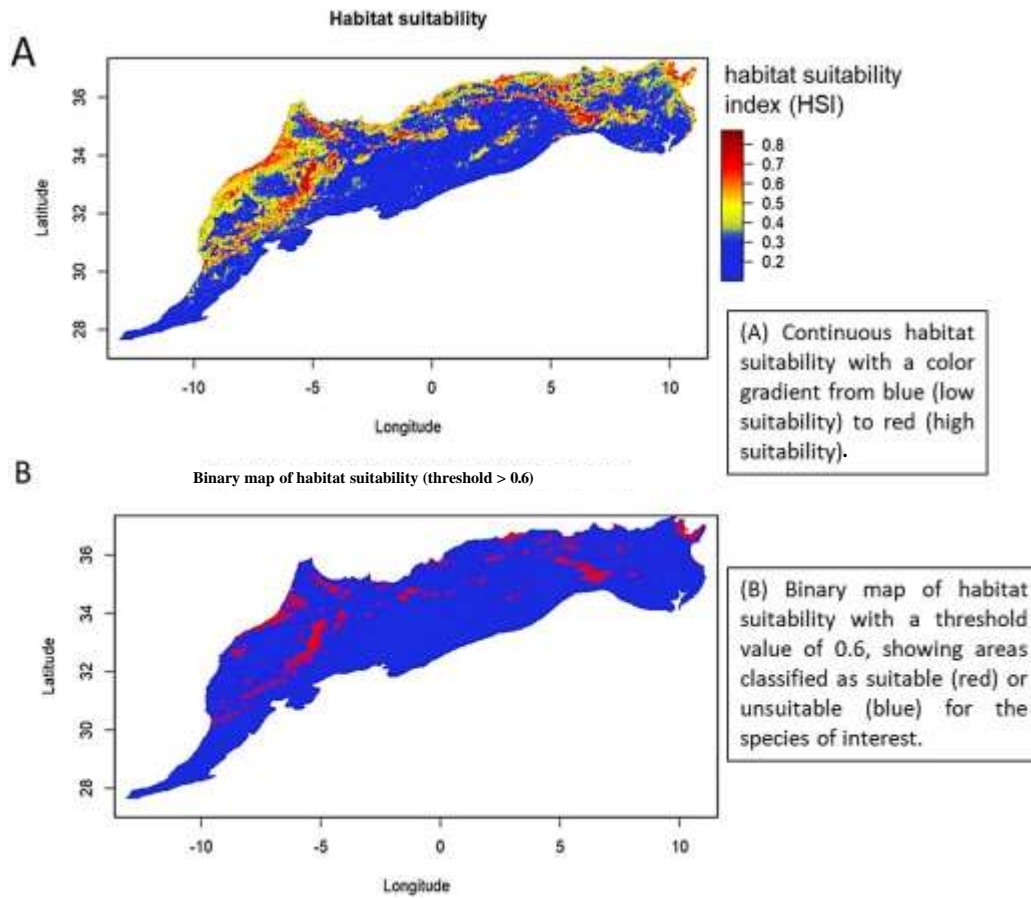
**Figure 10.** Histogrammes illustrant les analyses descriptives des caractéristiques climatiques et environnementales liées au point d'occurrence de la Pie du Maghreb



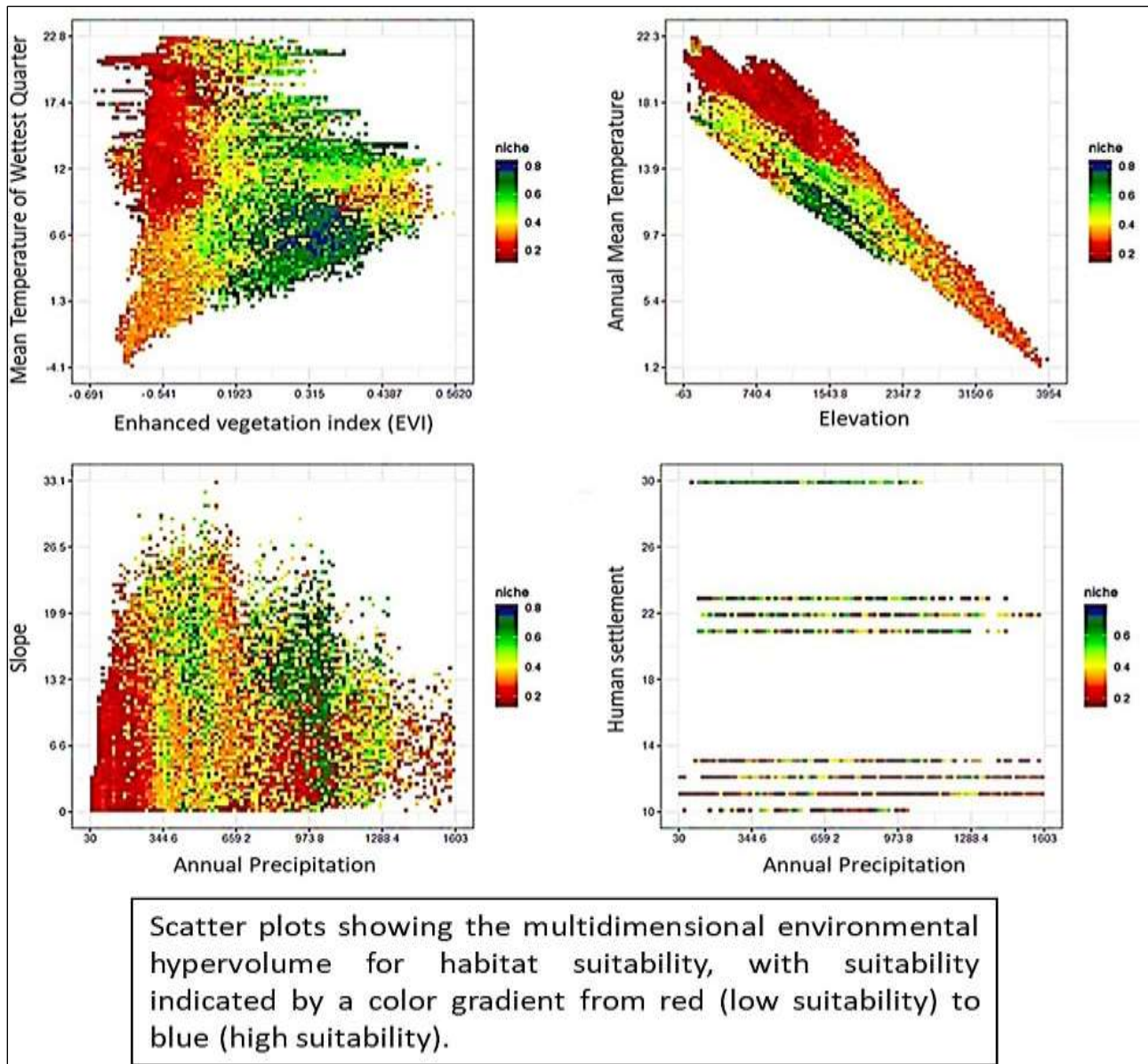
**Figure 11.** Importance des variables (basée sur la métrique de corrélation) du modèle d'ensemble

La zone de haute convenance se concentre dans une plage de températures modérées allant de 1,3 °C à 12 °C durant le trimestre le plus humide (bio8), accompagnée d'une densité de végétation moyenne et d'une plage d'altitude comprise entre 750 et 2300 m. La température annuelle (bio1) varie de 7 °C à 14 °C. De plus, la zone adaptée présente une précipitation annuelle moyenne (bio12) d'environ 900 mm et un niveau modéré d'occupation humaine (smode) correspondant à une cellule de grille rurale (Figure 13).

On a observé des relations positives entre la convenance de l'habitat de *Pica mauritanica* et plusieurs variables explicatives, notamment l'EVI, l'occupation humaine et la pente. Inversement, les précipitations annuelles (bio12) et la température moyenne du trimestre le plus sec (bio8) ont montré des relations négatives avec l'adéquation de l'habitat. De plus, la probabilité d'adéquation de l'habitat a présenté une légère augmentation dans la plage d'altitude de 1000 à 3000 m et pour une pente inférieure à 5 % (Figure 14).



**Figure 12.** (A) Répartition actuelle de la Pie du Maghreb en Afrique du Nord, (B) carte binaire de l'aptitude de l'habitat avec un seuil  $> 0,6$ .



**Figure 13.** Graphiques bidimensionnels de l'hypervolume de niche de *Pica mauritanica* avec les variables les plus influentes

## 2.4. Discussion

### 2.4.1. Modélisation par SDM

La préservation de la biodiversité aviaire est une préoccupation majeure dans le contexte actuel. Notre étude visait à évaluer des modèles de distribution des espèces afin de prédire les zones à haute convenance pour *Pica mauritanica* en Afrique du Nord, en utilisant des méthodes de modélisation de niche écologique qui ont démontré une grande capacité à prédire la répartition des

oiseaux dans des situations réelles, même dans des zones peu connues (A. T. Peterson et al., 2002). Notre étude représente la première évaluation prédictive de la distribution de *Pica mauritanica* en Afrique du Nord. Les résultats montrent une forte corrélation entre les prédictions des zones à haute convenance et les valeurs élevées de l'aire sous la courbe. Notre modèle est comparable à l'étude utilisant les SDM réalisée par (Brambilla & Ficetola, 2012). Cependant, l'AUC peut être trompeuse lorsqu'il s'agit de jeux de données déséquilibrés, et la statistique kappa est sensible à la prévalence, contrairement au TSS (Allouche et al., 2006). Par conséquent, l'intégration de cette approche multi-métrique permet de mieux comprendre dans quelle mesure le modèle se généralise à différents aspects des données, renforçant ainsi la fiabilité globale du processus d'évaluation.

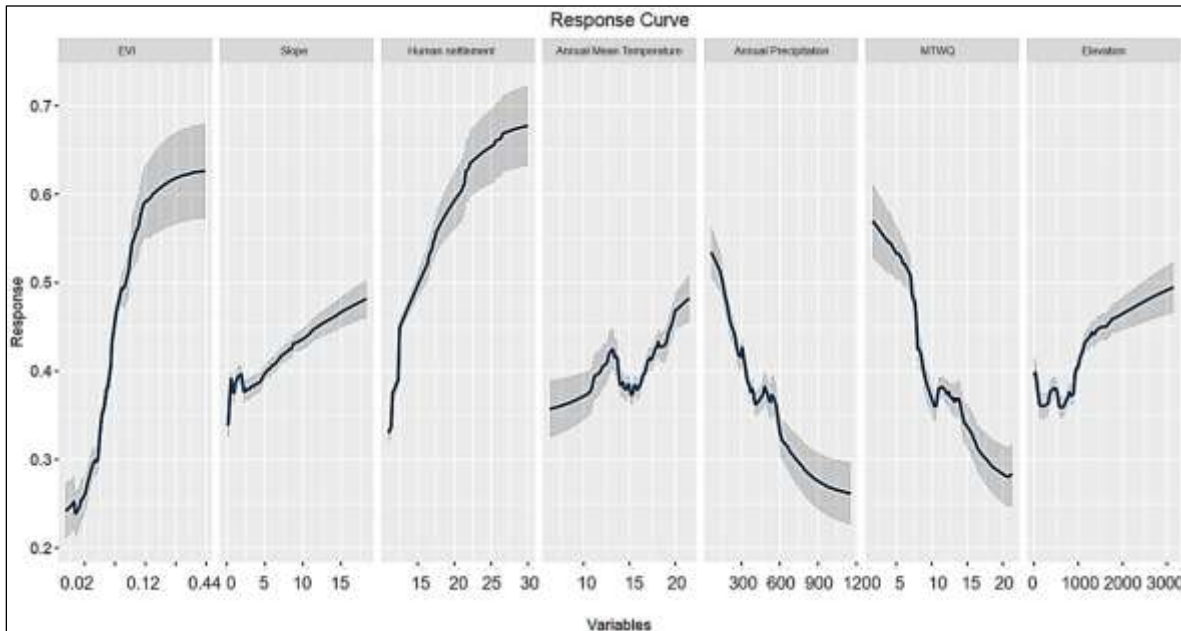
De plus, plusieurs facteurs tels que l'incertitude positionnelle (Naimi et al., 2011), l'autocorrélation spatiale et le biais d'échantillonnage dû aux variations dans l'effort d'échantillonnage (Baker et al., 2022), la détection imparfaite (Guillera-Arroita et al., 2015) ou les biais inhérents aux plateformes publiques d'occurrences telles que GBIF (Beck et al., 2014) représentent des obstacles importants pour modéliser avec précision les distributions des espèces et interpréter les schémas écologiques. Relever ces défis nécessite une combinaison d'approches méthodologiques et de mesures de contrôle de la qualité des données.

Des stratégies pour atténuer le biais d'échantillonnage peuvent inclure des plans d'échantillonnage explicitement spatialisés, l'intégration de techniques de correction du biais d'échantillonnage dans les processus de modélisation (Inman et al., 2021), la prise en compte de connaissances complémentaires d'experts (Boyd et al., 2023), ainsi que l'utilisation de filtres spatiaux et d'un fond de groupe cible pondéré (Gutierrez-Velez & Wiese, 2020).

### **2.4.2. Distribution de la convenance de l'habitat**

La carte binaire de la convenance de l'habitat révèle de nombreuses zones isolées pour *Pica mauritanica* en Afrique du Nord. On peut ainsi suggérer que la Pie du Maghreb en Afrique du Nord forme une métapopulation, répartie en petits groupes sur des parcelles dispersées dans la région, conformément à la théorie de (Opdam, 1991). Les populations de la Pie du Maghreb sont géographiquement isolées, avec davantage de sites de nidification du côté ouest que du côté est de l'Algérie. Étant donné que les plus petits fragments forestiers peuvent ne pas être en mesure de soutenir la biodiversité autant que des fragments plus étendus (Torezan et al., 2020), nous pouvons

considérer que *Pica mauritanica* devient plus vulnérable à mesure que les parcelles hautement adaptées se réduisent et s'isolent davantage.



**Figure 14.** Courbes de réponse des variables explicatives incluses dans le modèle de distribution de l'espèce (SDM) pour *Pica mauritanica*. (MTWQ : température moyenne du trimestre le plus humide).

Par conséquent, nous pouvons considérer la situation de *Pica mauritanica* comme étant similaire à celle de la Pie d'Asir, *Pica asirensis*, qui fait face à la fragmentation de son habitat en raison de multiples facteurs tels que le développement résidentiel, les activités récréatives, les routes et autres infrastructures (Boland & Burwell, 2020). De plus, la répartition de *Pica mauritanica* en Afrique du Nord est nettement fragmentée et restreinte, avec une seule population résiduelle subsistant en Tunisie (Nefla et al., 2021) et seulement quelques populations identifiées sur la face orientale de l'Algérie. Par conséquent, en cas de fragmentation supplémentaire de l'habitat en Afrique du Nord, en particulier dans la région orientale, la vulnérabilité des populations de *Pica mauritanica* serait exacerbée.

### Indice de végétation amélioré (EVI)

L'analyse des longueurs d'onde a révélé une corrélation positive entre la biomasse végétale et la valeur de l'indice de végétation (Galidaki et al., 2017). L'EVI a présenté la contribution la plus élevée en tant que variable dans notre modèle. La distribution fréquentielle de l'EVI variait entre 0,19 et 0,5, excluant délibérément les valeurs extrêmes (tanto élevées que faibles). En ce qui

concerne la couverture végétale, la Pie du Maghreb sélectionne spécifiquement des zones partiellement entourées de végétation. Cependant, elle tend à éviter aussi bien les régions densément boisées que les paysages dépourvus de végétation. Des observations similaires ont été rapportées pour *Pica pica* par (Kamburova, 2004) en Bulgarie et à Séoul, en Corée du Sud, par (Kang et al., 2012). Ces espèces privilégiaient des arbres isolés ou de petits groupes d'arbres à proximité de zones ouvertes dans les parcs et jardins, tout en évitant les parcs dépourvus d'espaces ouverts. Par ailleurs, (Kamburova, 2004) a noté que, bien que *Pica pica* fût présente dans les zones urbaines, elle manifestait une préférence pour la nidification et l'alimentation dans les espaces verts urbains. En Tunisie, la seule population reproductrice de la Pie du Maghreb a été observée en bordure des terres agricoles, où les nids étaient principalement construits sur des arbustes épineux tels que *Searsia tripartita* et *Ziziphus lotus* (Nefla et al., 2021). De même, en Algérie, la population reproductrice située à proximité des zones agricoles de Sidi Chaib construit ses nids dans l'arbuste pérenne épineux *Lycium shawii*.

### Paramètres topographiques et climatiques

Dans cette étude, nous avons constaté que l'altitude moyenne était de 951,02 m, avec une fréquence concentrée entre 1000 et 1600 m d'altitude. Nos résultats s'alignent sur des recherches antérieures menées sur la Pie bavarde eurasiatique. Par exemple, une étude dans la vallée de la rivière Pitarque en Espagne par (Ponz & Gil-Delgado, 2004) a montré que l'habitat de *Pica pica* était réparti le long d'un gradient altitudinal allant de 970 à 1442 m, correspondant à une zone bioclimatique méditerranéenne. D'autre part, (Boland & Burwell, 2020). ont rapporté que les nids de *Pica asirensis* étaient majoritairement situés à des altitudes supérieures à 2150 m, avec des températures élevées. En Inde, (Khan et al., 2022) ont indiqué que les sites de nidification de *Pica pica* se situaient sur un gradient altitudinal allant de 2750 m à 3450 m avec des températures très basses, ce qui est supérieur à nos valeurs (1000–1600 m en Afrique du Nord). Par ailleurs, diverses études ont présenté des résultats contradictoires concernant les variations altitudinales des habitats de nidification pour différentes espèces de Pies à travers le monde. En Corée du Sud (Séoul), les sites de nidification des Pies se situaient à une altitude relativement basse de 30 m (Kang et al., 2012).

Les variations altitudinales de l'habitat de nidification ont été observées chez plusieurs espèces de Pies, notamment *Pica asirensis* en Arabie Saoudite, *Pica pica* en Inde, *Pica sericea* en

Corée du Sud et *Pica mauritanica* en Afrique du Nord. Ces variations pourraient également s'appliquer à d'autres populations de *Pica pica* dans différentes régions du globe. Les différences de préférences altitudinales entre ces populations pourraient potentiellement s'expliquer par diverses conditions climatiques, notamment les niveaux de température et la quantité de précipitations, qui sont influencés par des facteurs géographiques et topomorphologiques, créant ce que l'on appelle un gradient pluvio-thermique altitudinal (Douguédroit & De Saintignon, 1984). Il apparaît que la corrélation négative entre la précipitation annuelle et la convenance de l'habitat s'explique par les variations de précipitations printanières, des précipitations printanières plus abondantes pouvant potentiellement nuire au succès de la nidification pendant la période des oisillons (Nefla et al., 2021)

De plus, notre modèle a indiqué qu'une pente inférieure à 20 % était adaptée, ce qui est comparable à l'espèce endémique saoudienne *Pica asirensis*, où l'on a observé des pentes inférieures à 30 % (Boland & Burwell, 2020).. La plupart des stations étudiées étaient situées dans des régions bioclimatiques semi-arides, constat qui concorde avec l'étude de (Nefla et al., 2021) sur la population relicte de la Pie du Maghreb en Tunisie. Par ailleurs, la vaste répartition géographique des espèces de Pies, s'étendant de l'Amérique au nord-ouest, inclut plusieurs populations isolées (Kryukov et al., 2017). Chacune de ces populations se caractérise par des conditions bioclimatiques uniques dues à leur situation géographique spécifique et aux conditions environnementales locales. En résumé, la variabilité altitudinale des habitats de nidification observée parmi les différentes espèces et populations de Pies peut être attribuée à une combinaison de facteurs, incluant des conditions climatiques liées aux influences géographiques et topomorphologiques, ainsi qu'aux diverses adaptations écologiques dont font preuve ces populations étendues et géographiquement distinctes.

### **Occupation humaine**

La fréquence maximale se situait entre 10 et 12, ce qui indique que les occurrences de l'espèce et les sites de nidification étaient principalement situés à proximité de petits villages et de fermes. Une observation similaire a été rapportée en Espagne, où (Ponz & Gil-Delgado, 2004) ont étudié une population proche d'une activité d'élevage de taureaux. Ce constat est également en accord avec l'étude de (Nefla et al., 2021) sur les Pies du Maghreb en Tunisie. Bien que la population tunisienne ait été trouvée plus près d'une ferme dans un habitat rural, les résultats

suggèrent que, même dans les milieux ruraux, les Pies choisissent des sites de nidification à proximité des activités humaines. Par conséquent, pour assurer la survie durable des populations d'oiseaux des terres agricoles, nous préconisons la préservation des pratiques agricoles traditionnelles, étant donné que ces oiseaux sont principalement impactés par l'intensification agricole et les changements d'utilisation des terres (Nefla et al., 2021).

(Kamburova, 2004) s'est concentré sur *Pica pica* dans les zones urbaines. De plus, d'autres études ont rapporté que *Pica pica* niche sur des constructions humaines et des pylônes électriques (Y. Lu et al., 2008). Cependant, dans les onze stations visitées en Algérie, ces comportements de nidification n'ont pas été observés pour *Pica mauritanica*. L'espèce maghrébine n'est pas aussi généraliste que d'autres espèces de Pies, ce qui pourrait expliquer sa moindre adaptation aux environnements anthropisés, où la répartition de *Pica mauritanica* se concentre principalement dans les zones agricoles à proximité des régions rurales.

Notre approche méthodologique, basée sur l'intégration des données d'occurrence, topographiques et climatiques, a permis d'affiner la précision de nos modèles. Les variables sélectionnées ont montré une influence significative sur la répartition des espèces d'oiseaux dans la région étudiée, notamment l'indice de végétation amélioré ; toutefois, il est important de reconnaître les limites de notre étude. Comme le souligne (Boland & Burwell, 2020), le modèle d'habitat présenté dans ce contexte est reconnu pour sa simplicité, puisqu'il repose sur des données restreintes. Malgré ses limites inhérentes, ce modèle représente une initiative proactive visant à évaluer et cartographier rapidement l'habitat potentiel de la Pie du Maghreb. Le modèle de distribution des espèces (SDM) dépend des données d'occurrence et des variables environnementales, soulevant des questions quant à la généralisation de nos résultats à d'autres contextes géographiques. En effet, les variables environnementales peuvent varier significativement d'une région à l'autre, ce qui peut entraîner des imprécisions lorsque les modèles sont appliqués en dehors de leur contexte d'origine (A. T. Peterson & Soberón, 2012). De plus, les espèces peuvent présenter des adaptations locales qui ne sont pas capturées par des modèles entraînés dans d'autres zones (Guisan et al., 2017). Par ailleurs, la qualité et l'exhaustivité des données d'occurrence des espèces peuvent être inégales, certaines régions manquant de données complètes, ce qui conduit à des prédictions peu fiables (Elith et al., 2011).

Le changement climatique et les conditions environnementales dynamiques compliquent encore davantage les prédictions, car les SDM s'appuient souvent sur des données historiques statiques (C. D. Thomas et al., 2004). La transférabilité du modèle représente un autre défi, puisque les relations espèce-environnement peuvent varier d'une région à l'autre, réduisant ainsi la performance du modèle lorsqu'il est appliqué ailleurs (Rödder & Lötters, 2010). Les interactions biotiques, qui ne sont généralement pas incluses dans les SDM, peuvent également varier régionalement et influencer la répartition des espèces (Wisz et al., 2013). L'autocorrélation spatiale et le biais d'échantillonnage dans les données d'occurrence peuvent également conduire à un surapprentissage et à une diminution de la généralisabilité (Boria et al., 2014). Pour pallier ces limites et améliorer l'applicabilité du modèle à divers contextes régionaux, des études futures pourraient se concentrer sur le raffinement du modèle en intégrant davantage de variables influentes spécifiques à différentes échelles d'habitat. Des recherches ultérieures pourraient également explorer l'efficacité de l'identification de variables influentes supplémentaires sur les espèces d'oiseaux à l'échelle des microhabitats.

### **Exploitation des nouvelles plateformes de télédétection pour le suivi des habitats**

Les changements d'usage des terres, associés au changement climatique, jouent un rôle crucial dans l'influence de la répartition des espèces en modifiant la convenance de leur habitat. La perte et la fragmentation des habitats, résultant de la déforestation et de l'urbanisation, conduisent à un déclin des populations et à une isolation génétique, modifiant ainsi les interactions entre les espèces et leur répartition (Fahrig, 2003). De plus, le changement climatique oblige les espèces à déplacer leurs habitats vers les pôles et à des altitudes plus élevées, à la recherche de conditions de température et de précipitations plus adaptées (Parmesan & Yohe, 2003). Dans ce contexte, la télédétection offre des perspectives précieuses sur la dynamique des habitats, permettant la détection des changements actuels et la projection des tendances futures.

Cela facilite à son tour le développement de stratégies de conservation éclairées afin de protéger la biodiversité face aux défis environnementaux. La récente mise en œuvre des modèles de distribution des espèces sur la plateforme Google Earth Engine peut s'avérer précieuse, notamment pour les pays moins développés économiquement, pour surveiller et analyser l'évolution des habitats au fil du temps (Crego et al., 2022). L'intégration de plateformes avancées telles que Google Earth Engine, associée à des frameworks comme GEE\_extract, permet la

préparation de séries temporelles de données (Gorelick et al., 2017). Les chercheurs peuvent ainsi comprendre l'évolution des habitats en traitant des séries temporelles de données satellitaires, ce qui permet de détecter et de quantifier les changements dans la végétation, les étendues d'eau et d'autres caractéristiques de l'habitat (Valerio et al., 2024). Cette avancée renforce la capacité à suivre et à prédire les déplacements des espèces ainsi que la convenance des habitats pour la gestion environnementale.

En dépit des défis liés à la convenance des habitats, l'application des techniques de modélisation de la distribution des espèces dans un cadre écologique présente plusieurs avantages et implications. Parmi ceux-ci, on peut citer l'établissement de zones prioritaires pour la gestion, l'identification des principaux facteurs environnementaux, la prédiction des déplacements d'aire de répartition en raison du changement climatique (Khwarahm, 2020), ainsi que le suivi de la dynamique des populations et des interactions biotiques (Guisan & Thuiller, 2005). Ainsi, ces modèles peuvent éclairer des stratégies de gestion proactives pour soutenir la conservation de la biodiversité et atténuer l'impact du changement climatique (Hama & Khwarahm, 2023).

### 2.5. Conclusion

De nos jours, la répartition de *Pica mauritanica* est discontinue, avec notamment des populations plus isolées dans le nord-est de l'Afrique en raison de la fragmentation de ses habitats naturels causée par divers facteurs. Dans cette situation critique, il est urgent de fournir des informations concernant la répartition actuelle de l'espèce à travers l'Afrique du Nord afin d'évaluer la distribution et la vulnérabilité de son habitat pour la Pie du Maghreb. Notre étude a examiné les résultats concernant la relation entre les préférences d'habitat et la vulnérabilité de l'habitat de *Pica mauritanica* à l'échelle de l'Afrique du Nord, sur la base des variables environnementales utilisées dans le modèle. La discontinuité des parcelles d'habitats à haute convenance, qui est plus fragmentée dans les situations réelles, explique la vulnérabilité de l'espèce. Toutefois, en reconnaissant les limites, notre étude emploie un modèle d'habitat reconnu pour sa simplicité, reposant sur des données restreintes. Malgré ces limitations inhérentes, le modèle constitue une initiative proactive pour l'évaluation rapide et la cartographie des habitats potentiellement adaptés pour *Pica mauritanica*. Des recherches futures pourraient explorer l'efficacité de l'identification de variables plus influentes sur l'espèce à différentes échelles d'habitat. Sur la base de ces résultats de distribution potentielle, des travaux de terrain plus étendus restent nécessaires pour explorer les

exigences en microhabitat et estimer la taille des populations, afin de déterminer la vulnérabilité et le statut de conservation des populations du Maghreb à travers l'Afrique du Nord. Par ailleurs, des études génétiques pourraient s'avérer utiles pour comprendre la diversité au sein des populations et la connectivité potentielle entre les différentes populations.

**Chapitre 3. Microhabitat préférences de nidification de la Pie en  
Algérie**

### 3.1. Introduction

La sélection de l'habitat est un concept clé en écologie qui explique comment les animaux choisissent des environnements maximisant leur aptitude, c'est-à-dire leur survie et leur succès reproductif (Uboni et al., 2017). Cette théorie suggère que les animaux choisissent activement des habitats offrant les meilleurs compromis entre des ressources telles que la nourriture, l'abri et la protection contre les prédateurs, tout en minimisant les risques liés à la concurrence et aux menaces environnementales (Loucif et al., 2021). Un habitat intègre des facteurs physiques et environnementaux spécifiques essentiels à la survie et à la reproduction d'une espèce, tandis que l'utilisation de l'habitat décrit comment les espèces répondent à leurs besoins liés à leur histoire de vie au sein de ces habitats ((Block & Brennan, 1993). Comprendre la sélection de l'habitat est crucial pour analyser la répartition des espèces d'oiseaux, leur survie et leur succès reproductif, car cela implique un processus décisionnel complexe visant à optimiser l'aptitude (Rosenzweig, 1981)

Les oiseaux choisissent minutieusement des sites de nidification offrant une disponibilité alimentaire adéquate et une protection contre les prédateurs (Jones, 2001), recherchant activement des conditions optimales plutôt que d'occuper des habitats de manière aléatoire (Farris et al., 2010). De plus, étudier la sélection de l'habitat est essentiel pour les populations d'oiseaux dispersées spatialement, car la fragmentation influence de manière significative leurs préférences d'habitat, particulièrement lorsque la quantité d'habitat tombe en dessous de seuils critiques (Bosco et al., 2021).

La théorie de la fragmentation de l'habitat suggère qu'à mesure que les habitats se divisent et se réduisent en taille, les espèces rencontrent des difficultés accrues pour trouver des sites de nidification adaptés, entraînant un décalage entre la disponibilité de l'habitat et les exigences en matière de reproduction, ce qui pourrait menacer leur survie à long terme et accroître leur vulnérabilité ainsi que le risque de déclin des populations (Fahrig, 2003). De plus, la sélection du site de nidification n'est pas un processus uniforme, mais un processus multifacette qui varie considérablement en fonction des caractéristiques du paysage, des besoins spécifiques de chaque espèce et des pressions environnementales (Antonov & Atanasova, 2002; Calderón, 2021)

Alors que le comportement de nidification et les préférences d'habitat de la Pie bavarde (*Pica pica*) ont été largement étudiés dans divers environnements (Antonov & Atanasova, 2002;

Birkhead, 1991), *Pica mauritanica*, une espèce endémique et écologiquement significative en Afrique du Nord, reste peu comprise. Une seule étude (Nefla et al., 2021) a exploré l'écologie de reproduction d'une population relique en Tunisie, laissant ainsi une lacune importante de connaissances concernant sa sélection de site de nidification et son utilisation de l'habitat sur l'ensemble de son aire de répartition, notamment en Algérie, où la fragmentation de l'habitat pose des menaces croissantes. De plus, les recherches sur l'habitat de *Pica mauritanica* en Algérie se sont principalement concentrées sur la modélisation de son adéquation à l'échelle macro-habitat, laissant en suspens la question cruciale de ses préférences en micro-habitat. Ce manque de connaissances est particulièrement préoccupant compte tenu du déclin des populations de Pies en Afrique du Nord, surtout en Algérie et en Tunisie (Mederbal et al., 2024).

Examiner la sélection du micro-habitat de *Pica mauritanica* à travers les zones écologiques de l'Algérie est essentiel pour comprendre ses adaptations environnementales (Doligez et al., 2008). Une meilleure compréhension de la sélection du micro-habitat est également cruciale pour la gestion de la conservation, car elle permet d'identifier les ressources vitales et les conditions essentielles à la survie et à la reproduction des espèces (Bourski, 1996). Étant donné que *Pica mauritanica* pourrait être particulièrement vulnérable à la perte d'habitat (Mederbal et al., 2024) combler cette lacune de connaissance est primordial.

À cette fin, nous avons mené une étude de terrain complète à travers le nord de l'Algérie afin d'examiner les facteurs clés influençant la sélection du micro-habitat de *P. mauritanica* pendant la saison de reproduction. Plus précisément, nous avons évalué comment la disponibilité de nourriture et d'eau, l'abri, et la proximité des établissements humains façonnent les préférences de nidification. Cette étude vise à identifier les déterminants de la sélection de l'habitat et à évaluer comment les préférences évoluent le long d'un gradient paysager allant des habitats périurbains aux habitats ruraux. Ces résultats sont essentiels pour comprendre le comportement écologique de *P. mauritanica* dans le contexte de la fragmentation de l'habitat et contribuent à des comparaisons plus larges avec les schémas globaux observés chez les espèces de Pies.

### 3.2. Matériel et méthodes

#### 3.2.1. Zone d'étude et collecte de données

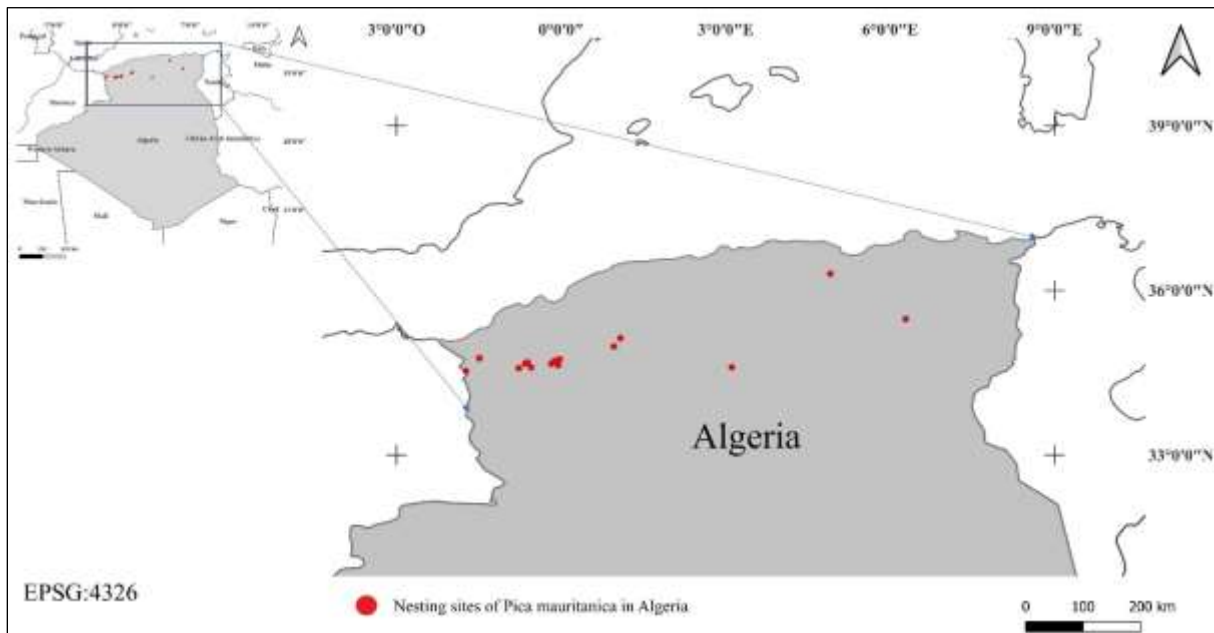
Une enquête de terrain a été réalisée dans le nord de l'Algérie (Figure 15), de mars 2022 à juin 2024, durant laquelle un total de 175 nids a été localisé sur 14 sites distincts. Dans un habitat périurbain distinctif près du village de Sidi Chaib, dans le nord-ouest de l'Algérie, 74 nids ont été documentés, situés principalement sur le côté est dans une zone agricole. De plus, 101 nids ont été identifiés dans des habitats ruraux répartis sur 13 sites dans le nord de l'Algérie, soulignant l'adaptabilité de l'espèce tant aux environnements influencés par l'homme qu'aux paysages naturels. Chaque site de nidification a été examiné au moins une fois, et le nombre maximal de nids accessibles a été enregistré, en tenant compte de l'accessibilité des sites et des contraintes sur le terrain. Cet effort a permis d'assurer la détection la plus complète possible des nids, reflétant la rareté de l'espèce et sa répartition fragmentée à travers plusieurs sous-populations dans le nord de l'Algérie.

Il est important de noter que les 175 nids représentent le nombre maximum trouvé sur les 14 sites enquêtés, et non le nombre total de nids dans l'ensemble de la région. L'enquête a pu passer à côté de certains nids en raison des limitations des méthodes de détection, telles que les zones inaccessibles ou les nids dissimulés au sein d'une végétation dense. Par conséquent, le nombre réel de nids de *Pica mauritanica* dans la zone élargie pourrait être plus élevé, et le chiffre de 175 nids doit être considéré comme une estimation minimale. L'étude reconnaît la possibilité que d'autres nids existent en dehors des zones enquêtées, soulignant ainsi la répartition fragmentée de l'espèce et les défis inhérents à une détection exhaustive des nids dans des paysages complexes.

Pour chaque nid, une série de variables environnementales a été enregistrée, incluant les coordonnées géographiques à l'aide d'un GPS, l'espèce de l'arbre support, la hauteur de l'arbre et celle du nid. Les mesures ont d'abord été prises via des photographies de terrain, puis les hauteurs et distances nécessaires ont été calculées à partir de ces images. La distance entre le nid et le sommet de l'arbre a ainsi pu être déterminée avec précision, surmontant ainsi les contraintes inhérentes au travail sur le terrain. La forme de la couronne de l'arbre et les caractéristiques des branches supportant le nid ont été évaluées pour chaque espèce à partir d'études antérieures (tableau en Annexe), en tenant compte du fait que la couronne soit de forme ronde ou irrégulière, que les

branches soient rigides ou modérément flexibles, ainsi que de la densité de la couronne observée sur le terrain pour chaque nid.

De plus, les emplacements GPS d'entités vitales et d'infrastructures à proximité des nids, telles que les fermes, les habitations, les oueds, la végétation herbacée, les routes, les arbres et les vergers, ont été documentés sous forme de shapefiles à l'aide d'un GPS et ensuite numérisés avec Google Earth Pro. Les coordonnées géographiques ont été utilisées pour calculer les distances minimales entre chaque nid et les entités environnantes enregistrées, en utilisant l'outil v.distance dans QGIS 3.24.2. Ces mesures de distance ont permis de mieux comprendre le contexte spatial des sites de nidification et leur proximité avec des éléments clés du paysage, lesquels peuvent influencer la sélection de l'habitat et la survie des nids (Bennett et al., 2009).



**Figure 15.** La répartition de sites de nidification de *Pica mauritanica* dans le nord de l'Algérie

#### 3.2.2. Variables environnementales

Pour quantifier les caractéristiques environnementales entourant chaque nid, plusieurs variables clés ont été extraites, notamment l'Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI), la pente et l'exposition à l'aide de Google Earth Engine (GEE) (Gorelick et al., 2017). De plus, les données d'altitude ont été obtenues depuis <https://www.gpsvisualizer.com/>. L'Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI), une métrique de télédétection largement utilisée

pour évaluer la santé de la végétation (Pettorelli et al., 2005), a été calculé pour la période du 1<sup>er</sup> janvier 2022 au 1<sup>er</sup> juillet 2024. Toutes les images Sentinel-2 disponibles avec une couverture nuageuse inférieure à 10 % ont été utilisées durant cette période. La valeur moyenne du NDVI a été calculée pour une zone de pixels de 10 m x 10 m afin d'évaluer le couvert végétal entourant chaque nid, dans le but de quantifier la densité de la végétation autour des nids. En outre, les données d'altitude, de pente et d'exposition ont été extraites d'un modèle numérique d'élévation (DEM) pour mieux comprendre les facteurs topographiques influençant la sélection du site de nidification (McCune & Keon, 2002).

#### 3.2.3. Préparation et analyse des données

Des sites de nidification représentatifs, présentant un nombre de nids relativement élevé, ont été sélectionnés en fonction de leur emplacement (qu'ils se situent en plein cœur des forêts, à proximité de fermes dans des habitats ruraux ou dans des zones périurbaines) afin de saisir la variabilité des conditions environnementales. Des valeurs moyennes ont été calculées pour éviter les chevauchements dans les visualisations graphiques, puis utilisées dans l'analyse factorielle multiple (MFA), intégrant une variété de variables environnementales pour conserver la complexité des données tout en améliorant leur interprétabilité (Escofier & Pages, 1994).

#### 3.2.4. Analyses statistiques

Analyse Factorielle Multiple (AFM) et Analyse de regroupement

Notre étude s'est appuyée sur l'Analyse Factorielle Multiple (AFM), qui combine l'Analyse en Composantes Principales (ACP) et l'Analyse des Correspondances Multiples (ACM). Les analyses ont été réalisées à l'aide du package FactoMineR (Lê et al., 2008) et du package Factoshiny (Vaissie et al., 2021) afin d'explorer les relations entre diverses caractéristiques de l'habitat et des nids.

L'AFM a été réalisée avec des groupes actifs de variables représentant l'alimentation (distances à la végétation herbacée et aux vergers), l'eau (distance au wadi), les infrastructures (distances aux fermes, aux pistes, aux routes et aux habitations) ainsi que les caractéristiques de la couronne (forme de la couronne et spécificités de celle de l'arbre). Des groupes supplémentaires comprenaient l'espèce support, les catégories d'espaces verts ouverts, les habitats et les caractéristiques communes de la couronne.

Le Clustering Hiérarchique sur les Composantes Principales (HCPC) est une méthode efficace qui combine l'Analyse Factorielle Multiple (MFA), le clustering hiérarchique et la partition afin d'identifier et de décrire des groupes homogènes au sein d'un jeu de données complexe (Husson et al., 2010). Cette méthode a été appliquée aux résultats obtenus de la MFA. Dans cette analyse, l'étape de consolidation a été délibérément désactivée afin de maintenir une correspondance claire entre les clusters identifiés et la structure arborescente hiérarchique, ce qui améliore l'interprétabilité des résultats par rapport aux dimensions de la MFA. Étant donné que l'analyse reposait sur les résultats de la MFA, la métrique de distance euclidienne a été sélectionnée pour le clustering. Cette mesure est particulièrement adaptée à la MFA car elle correspond à la nature continue des facteurs extraits lors de l'analyse (Escofier & Pages, 1994).

Le nombre optimal de clusters a été déterminé en utilisant le diagramme de gain d'inertie proposé par l'interface Factoshiny. Cette approche repose sur le principe de sélectionner le nombre de clusters (C) pour lequel la diminution de l'inertie devient significativement moindre lors du passage de C à C+1, assurant ainsi un équilibre entre la cohérence des clusters et leur interprétabilité.

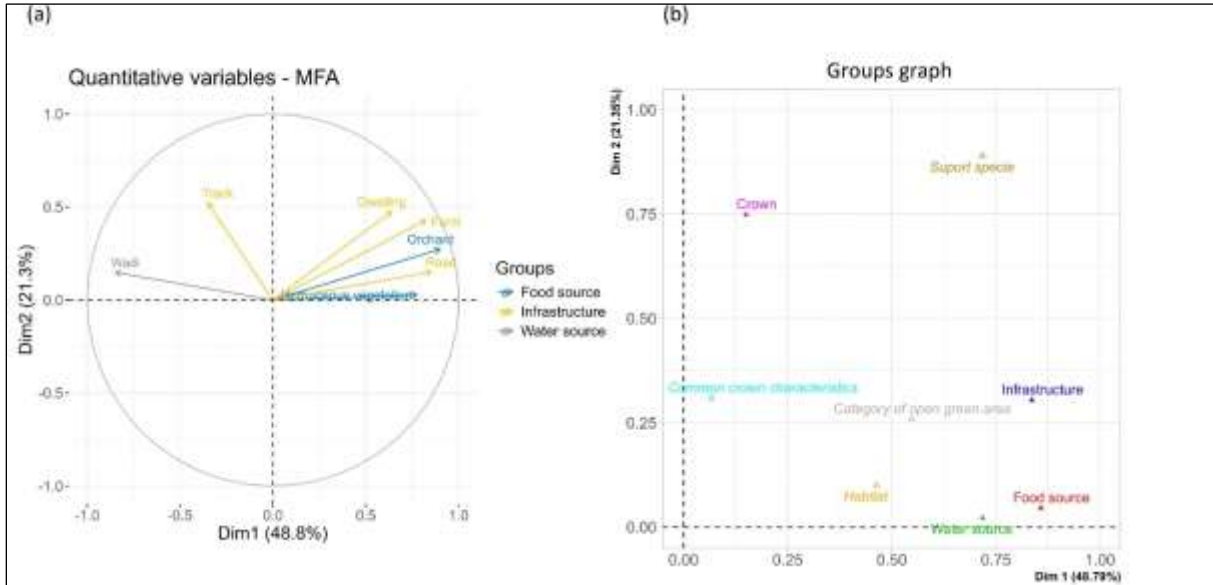
Pour évaluer les différences entre les habitats périurbains et ruraux, des tests t ont été utilisés (lorsque les hypothèses de normalité et d'homoscédasticité étaient respectées) afin de comparer les variables quantitatives, incluant les distances par rapport aux éléments clés et divers paramètres liés aux nids. Des tests du chi-carré ont été réalisés pour analyser les associations entre variables catégorielles. Par ailleurs, des matrices de corrélation ont été calculées pour les variables relatives à la hauteur des nids.

### 3.3. Résultats

La carte factorielle de l'AFM (Figure 16 a) illustre la distribution des nids selon différentes caractéristiques d'habitat, les dimensions Dim1 (48,8 % de la variance) et Dim2 (23,3 % de la variance) expliquant une part significative de la variation. Cela met en évidence l'influence potentielle de la structure de la végétation environnante et de l'arbre support sur les préférences de nidification dans les habitats ruraux et périurbains.

Dans le graphique individuel de l'AFM (Figure 16 b), les points de données représentent les traits environnementaux et végétatifs de diverses espèces, avec des valeurs  $\cos^2$  codées par couleur





**Figure 17.** Analyse MFA des préférences de nidification de *Pica mauritanica* : association des groupes avec les axes 1 et 2.

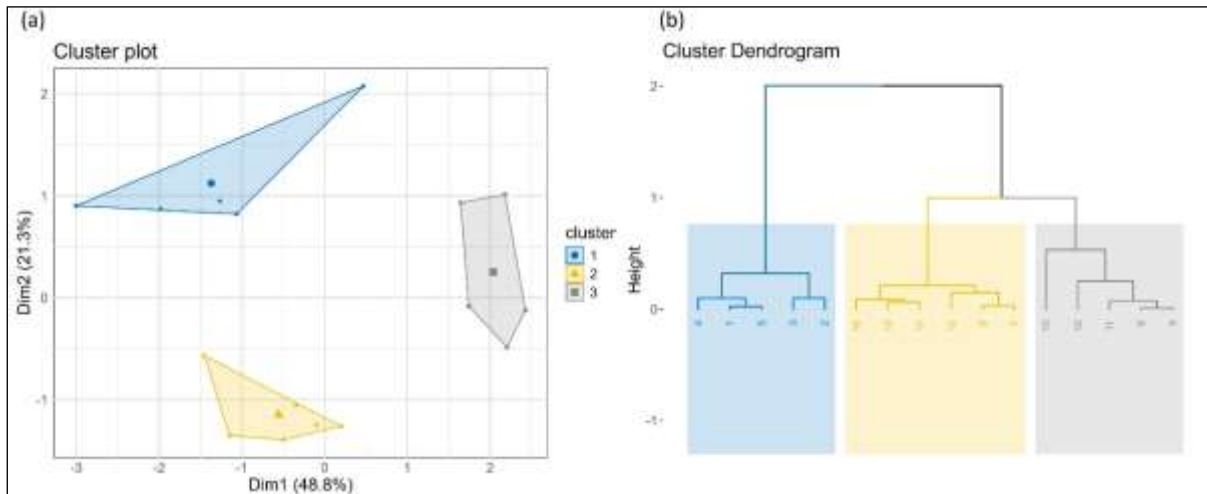
Résultats du clustering :

L'analyse des habitats de nidification de *Pica mauritanica* met en évidence trois clusters distincts, influencés par des facteurs environnementaux et structurels, avec un seuil de signification de 0,05 (Tableau 10, Figure 18).

- Le Cluster 1 regroupe les nids situés dans des zones agro-pastorales, caractérisés par la présence d'arbres Boxtorn *Lycium shawii* utilisés pour la protection. L'espèce se nourrit d'invertébrés, de céréales, de fruits et de petits vertébrés.
- Le Cluster 2 concerne des nids implantés dans des systèmes semi-naturels à proximité des infrastructures humaines, et qui tirent profit de sources alimentaires et hydriques à la fois naturelles et créées par l'homme.
- Le Cluster 3 rassemble des nids situés dans des zones forestières naturelles, plus proches des sources d'eau.

**Tableau 10.** Contribution des variables environnementales et structurales aux regroupements dans l'analyse des sites de nidification de *Pica mauritanica* à un seuil de signification de 0,05.

Parametres	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Catégorie of open green area = cereal agricultural land	0.17	2.56	-2.82
Catégorie of open green area = clearing	-0.17	-2.56	2.82
Crown.shape = Irregulier	2.19	-1.26	-0.768
Crown shape = round	-2.19	1.26	0.768
Specificity of the tree crown = none-spiny	-2.82	2.56	0.17
Specificity of the tree crown = spiny	2.82	-2.56	-0.17
Farm	-0.573	-2.36	3.04
Herbaceous vegetation	-2.14	-0.73	2.9
Orchard	-1.31	-2.16	3.57
Road	-1.75	-2	3.84
Track	2.51	-1.01	-1.46
Wadi	2.12	-0.000129	-2.12



**Figure 18.** Regroupement des résultats MFA concernant les préférences de nidification de *Pica mauritanica* : (a) dendrogramme de regroupement, (b) graphique de regroupement.

Les tests t (Tableau 11) ont montré que les sites de nidification de *Pica mauritanica* diffèrent entre les habitats périurbains et ruraux, les nids en milieu rural se trouvant plus près des fermes et des vergers, tandis que ceux en milieu périurbain sont situés plus près des sources d'eau et des infrastructures. Malgré une élévation et une densité de végétation (NDVI) similaires, ces résultats suggèrent...

**Tableau 11.** Résultats du test t comparant les variables environnementales et structurelles entre les habitats périurbains et ruraux pour les sites de nidification de *Pica mauritanica*.

Variable	T value	P value	Peri-urban mean ± (SD)	Rural mean ± (SD)
Farm	-12.6	<0.001	86.44±52.02	1009.08±731.05
Dwelling	-18	<0.001	209.08±99.03	3868.37±2043.87
Wadi	6.69	<0.001	162.67±106	67.63±71.11
Elevation	-10.3	<0.001	1101.38±8.39	1209.49±105.49
NDVI	-0.67	0.5	0.17±0.03	0.17±0.05
Herbaceous vegetation	-5.06	<0.001	4.27±5.18	52.79±96.2
Track	1.24	0.22	133±65.88	117.18±102.91
Road	-8.39	<0.001	232.8±87.9	1400.91±1394.68
Closest tree	7.74	<0.001	172.1±184.78	5.81±3.88
Orchard	-12.7	<0.001	166.97±226.46	1509.35±1030.29
Support height	-8.44	<0.001	2.28±0.28	3±0.79
Nest height from ground	1.05	0.29	1.96±1.59	1.75±0.77
Nest height from top	-4.51	<0.001	0.81±0.2	1.05±0.48
Slope	-8.15	<0.001	1.68±0.92	4.37±3.14

Les résultats indiquent des schémas distincts dans la sélection des sites de nidification des Pies en fonction des types d'habitat et des caractéristiques des arbres (Tables 12 et 13).

L'espèce support de nidification correspondait généralement à l'arbre le plus abondant et dominant dans chaque site, comme le montrent les nids étudiés. En milieu périurbain, 84 % des nids se trouvaient sur du *Lycium shawii*, tandis que les habitats ruraux favorisaient le Cade

(*Juniperus oxycedrus*, 43 %) et le Chêne vert (*Quercus ilex*, 39 %) ( $\chi^2 = 173,00$ ,  $p < 0,001$ ). Les nids sur des formes de couronne irrégulières reposaient principalement sur du *Lycium shawii* (58 %) ( $\chi^2 = 173,00$ ,  $p < 0,001$ ), et des préférences significatives pour des canopées épineuses ont été notées, avec 63,79 % des nids situés dans ces zones ( $\chi^2 = 173,00$ ,  $p < 0,001$ ). Le Chêne kermès (*Quercus coccifera*) et (*Juniperus oxycedrus*) dominaient les habitats ruraux, tandis que le (*Lycium shawii*) prédominait dans les zones périurbaines ( $\chi^2 = 336,24$ ,  $p = 8,96 \times 10^{-34}$ ). Globalement, les nids étaient principalement construits sur des branches rigides (95,43 %) et sur divers supports, incluant l’Amande (*Prunus dulcis*), le Mastiquier de Chios (*Pistacia lentiscus*), l’Olivier (*Olea europaea*), le Pin d’Alep (*Pinus halepensis*) et le Cyprès (*Cupressus sempervirens*).

**Tableau 12.** Résultats du test du chi carré pour l'association entre les espèces de support de nidification et les caractéristiques de la couronne, la forme de la couronne et l'habitat.

Canopy and habitat	P-value	N	Nest support species	Percentage (%)
None-spiny canopy	<0.001	62	<i>Quercus ilex</i>	63%
			<i>Prunus dulcis</i>	3%
			<i>Pistacia lentiscus</i>	18%
			<i>Olea europaea</i>	16%
Spiny canopy	<0.001	111	<i>Quercus coccifera</i>	6%
			<i>Lycium shawii</i>	55%
			<i>Juniperus oxycedrus</i>	39%
Round canopy	<0.001	67	<i>Quercus ilex</i>	58%
			<i>Quercus coccifera</i>	10%
			<i>Pistacia lentiscus</i>	16%
			<i>Olea europaea</i>	15%
Irregulier canopy	<0.001	106	<i>Lycium shawii</i>	58%
			<i>Juniperus oxycedrus</i>	41%
			<i>Prunus dulcis</i>	2%
Rural	<0.001	100	<i>Juniperus oxycedrus</i>	43%
			<i>Quercus ilex</i>	35%
			<i>Quercus coccifera</i>	7%
			<i>Pistacia lentiscus</i>	11%
Peri-urban	<0.001	73	<i>Lycium shawii</i>	84%
			<i>Prunus dulcis</i>	3%
			<i>Olea europaea</i>	14%

## Chapitre 4 : Microhabitat préférences de nidification de la pie en Algérie

**Tableau 13.** Répartition des espèces support de nidification entre les habitats ruraux et périurbains et les différents sites.

Habitat	Support	Total (n)	Site													P-value	
			DJS	SBDA	SBDB	SBDC	SBM	SBOS	SBT	SLS	SAH	TFSB	TM	TFG	SBSC		SHA
Rural	<i>Juniperus oxycedrus</i>	43	10 (23%)	7 (16%)	5 (12%)	4 (9%)	3 (7%)	2 (5%)	9 (21%)	3 (7%)	-	-	-	-	-	-	<0.001
	<i>Pistacia lentiscus</i>	11	-	-	-	-	-	-	3 (27%)	5 (45%)	2 (18%)	1 (9%)	-	-	-	-	<0.001
	<i>Quercus ilex</i>	39	10 (26%)	-	3 (8%)	-	-	-	7 (18%)	5 (13%)	-	2 (5%)	3 (8%)	5 (13%)	-	4 (10%)	<0.001
	<i>Quercus coccifera</i>	7	-	-	-	-	-	-	-	2 (29%)	-	-	-	3 (43%)	-	2 (29%)	0.01
Peri-urbain	<i>Lycium shawii</i>	61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	61 (100%)	-	<0.001
	<i>Olea europea</i>	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10 (100%)	-	<0.001
	<i>Prunus dulcis</i>	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 (100%)	-	0.02

Le pourcentage correspond à la proportion de nids soutenus par une espèce donnée dans un site spécifique, par rapport au nombre total de nids soutenus par cette même espèce dans l'ensemble des nids enregistrés dans l'étude. Les abréviations des dites en annexe.

La matrice de corrélation a révélé une forte corrélation positive entre la hauteur du support et la hauteur du nid par rapport au sol (0,91) ainsi qu'au sommet (0,92), avec une corrélation modérée (0,69) entre la hauteur du nid par rapport au sol et par rapport au sommet dans les nids de *Pica mauritanica*, caractérisés par des canopées denses (92,57 %). De plus, des nids de Pies ont été enregistrés sur divers types de végétation.

### 3.4. Discussion

#### 3.4.1. Préférences d'habitat, stratégies de nidification et adaptabilité environnementale de *Pica mauritanica*.

La répartition des populations de Pies étudiées est étroitement liée aux habitats influencés par l'homme, comme en témoigne leur préférence pour la nidification à proximité des établissements ruraux et des paysages agro-pastoraux (Figure 33), (Mederbal et al., 2024). Cette tendance est observée dans différentes régions, y compris en Bulgarie (Kamburova, 2004), en Corée du Sud (Kang et al., 2012) et aux États-Unis (Bock & Lepthien, 1975), démontrant une préférence généralisée des Pies pour la proximité des zones habitées. Cependant, contrairement à la *Pica pica*, hautement adaptable et capable de prospérer en milieu urbain en ajustant ses comportements de nidification et en utilisant les espaces verts urbains, *Pica mauritanica* se trouve majoritairement en zones périurbaines et rurales (Figure 34 et 35), évitant les régions urbanisées et faisant face aux menaces de la fragmentation de l'habitat ainsi qu'à la transformation des paysages agricoles (Mederbal et al., 2024; Šálek et al., 2020; Xu et al., 2020) . De plus, plusieurs études (Ciebierra et al., 2021; Jokimäki et al., 2017; Kamburova, 2004; Šálek et al., 2020) ont observé que, bien que *Pica pica* soit présente en milieu urbain, elle continue de manifester une préférence pour les espaces verts tant pour la nidification que pour l'alimentation.

Dans les habitats ruraux, des recherches antérieures ont mis en évidence l'importance des clairières cultivées en tant que zones clés de nidification pour diverses espèces de corvidés (Boland & Burwell, 2020; Ponz & Gil-Delgado, 2004). De manière similaire, en Algérie, *Pica mauritanica* a été observée en train de chercher de la nourriture dans des espaces verts à proximité des sites de nidification, ainsi que dans des paysages où l'élevage ovin est prépondérant. Cela suggère que les Pies sont attirées par ces environnements agricoles en quête de nourriture, d'eau et de supports de nidification adéquats.

Dans l'ensemble des sites de nidification évalués, *Pica mauritanica* a sélectionné plusieurs espèces d'arbres dans les deux types d'habitats, confirmant ainsi sa capacité à adapter la sélection de son site de nidification en fonction de la disponibilité locale (Antonov & Atanasova, 2002; Tatner, 1982b). Dans les habitats ruraux, *Juniperus oxycedrus* et *Quercus ilex* étaient les supports les plus fréquemment utilisés, représentant respectivement 41,58 % et 38,61 % des nids. Ces résultats concordent avec les constatations antérieures qui documentent l'utilisation d'espèces similaires par d'autres populations de *Pica mauritanica* en Afrique du Nord (Nefla et al., 2021). De même, la végétation des sites de nidification de *Pica asirensis* en Arabie Saoudite était dominée par le genévrier (Boland & Burwell, 2020). En outre, selon (Ponz & Gil-Delgado, 2004) la végétation des sites de nidification de *Pica pica* en Espagne se composait de forêts de chênes portugais (*Quercus faginea*), avec des zones plus réduites de *Quercus ilex*. Quant à la population tunisienne, l'espèce végétale Tripartite Sumac, *Searsia tripartita*, constitue 76,5 % des supports de nidification. Dans les habitats périurbains, *Lycium shawii* prédominait avec 82,43 % des nids, suivi de *Olea europaea* à 13,51 %. *Quercus ilex* et *Juniperus oxycedrus* étaient omniprésents dans tous les habitats ruraux évalués, représentant les espèces de végétation naturelle. Cependant, dans les habitats périurbains, on trouve soit *Lycium shawii* servant de délimitation pour les terres agricoles, soit *Olea europaea* et *Prunus dulcis* en tant qu'arbres fruitiers.

Presque tous les nids de *Pica mauritanica* ont été construits sur des branches rigides avec des canopées fermées et denses, soulignant l'importance de choisir des

espèces supports appropriées. Notamment, les nids de *Pica mauritanica* sont relativement volumineux, avec une moyenne de  $0,25 \pm 0,04 \text{ m}^3$  (Nefla et al., 2021). Comme les Pies réutilisent fréquemment leurs nids (Antonov & Atanasova, 2003), le choix du support de nidification est crucial pour le succès reproducteur. Des canopées denses offrent en effet une excellente protection contre les conditions climatiques rigoureuses et les prédateurs, favorisant ainsi la survie des poussins, surtout lorsque la canopée est épineuse (McKilligan, 2005; Senma & Acharya, 2009) .

De plus, des haies bien entretenues, présentant une structure buissonnante et épineuse (de 2 à 3 m de haut), sont très prisées en milieu périurbain, tandis que dans les paysages ruraux, des arbres épineux dispersés sont préférés. Par ailleurs, des haies non sévèrement taillées, conservant une structure buissonnante et épineuse sur une hauteur de 2 à 3 m (Wilson et al., 2009), sont significativement appréciées par les Pies en milieu périurbain. Dans les habitats ruraux, des canopées épineuses dispersées semblent également être favorisées par les nids recensés.

En outre, les Pies évaluées ont aussi montré une préférence pour les supports non épineux disponibles, comme cela a été rapporté en Europe, contrairement à la population tunisienne (Nefla et al., 2021). Toutefois, ces espèces présentaient des canopées denses avec des branches rigides capables de soutenir le nid.

La hauteur des nids, tant en milieu périurbain que rural, présentait une forte corrélation avec la hauteur des arbres, reflétant la capacité de *Pica mauritanica* à adapter ses stratégies de nidification aux conditions disponibles. De plus, les faibles valeurs de NDVI autour des nids indiquent une préférence pour des zones relativement ouvertes, ce qui améliore la visibilité et facilite l'accès aux terrains d'alimentation. Cela est en accord avec le comportement de nidification observé chez d'autres espèces de *Pica*, telles que *Pica pica*, qui privilégient également des arbres isolés ou situés dans des espaces dégagés (Kamburova, 2004; Kang et al., 2012)

Les environnements ruraux évalués sont plus accidentés que leurs homologues périurbains. Malgré ces différences, les nids restent exposés dans toutes les directions, à l'image de *Pica asirensis* en Arabie Saoudite, qui niche dans des zones montagneuses

avec des pentes inférieures à 30 % (Boland & Burwell, 2020). En Espagne, *Pica pica* habite des régions situées entre 970 et 1442 mètres dans la vallée de la rivière Pitarque (Ponz & Gil-Delgado, 2004). En revanche, les sites de nidification de *Pica pica* en Inde se trouvent à des altitudes nettement supérieures, comprises entre 2750 et 3450 mètres (Khan et al., 2022), tandis que *Pica pica sericea* en Corée du Sud niche à seulement 30 mètres (Kang et al., 2012)

Ces variations altitudinales illustrent l'adaptabilité écologique des différentes populations de Pies et soulignent comment la sélection du site de nidification est influencée par une combinaison de facteurs environnementaux et de disponibilité des ressources (Kryukov et al., 2017).

Les différences entre les types d'habitats étaient significatives, et l'arbre hiérarchique généré offre une représentation claire des relations hiérarchiques entre les clusters, facilitant une compréhension approfondie des trois clusters. Ces schémas soulignent l'adaptabilité de l'espèce aux habitats naturels comme aux habitats modifiés par l'homme, reflétant ses stratégies de nidification flexibles en réponse à l'hétérogénéité environnementale.

Le Cluster 1 regroupe des nids situés dans des paysages agro-pastoraux caractérisés par une végétation herbacée et des champs céréaliers. Dans ce contexte, l'espèce privilégie des arbres épineux tels que le *Lycium shawii* pour le support de nidification, offrant une protection structurelle contre les prédateurs et les perturbations humaines (McKilligan, 2005; Senma & Acharya, 2009). La proximité de ces nids par rapport aux fermes et aux vergers suggère la capacité de l'espèce à exploiter des ressources anthropiques, notamment l'eau provenant des puits et des systèmes d'irrigation utilisés pour les activités agricoles. Des études antérieures ont documenté que le régime alimentaire de *Pica mauritanica* se compose principalement d'invertébrés, tels que les Lépidoptères et les Coléoptères, en plus de céréales, de fruits et de petits vertébrés (Díaz-Ruiz et al., 2015; Roos, 2004), ce qui pourrait refléter la disponibilité de ces ressources dans les paysages étudiés.

Le Cluster 2 représente un environnement hybride dans lequel *Pica mauritanica* niche dans des systèmes semi-naturels intégrant des éléments agricoles et naturels. Dans ce cluster, les nids se situent plus près des infrastructures humaines, incluant les fermes, les routes, les terres cérésières et les vergers, tandis que l'espèce s'appuie sur un mélange de sources alimentaires et hydriques naturelles et anthropiques. Les Pies exploitent des arbres fruitiers et des invertébrés, puisant de l'eau tant dans les cours d'eau naturels que dans des systèmes d'irrigation artificiels, démontrant ainsi leur adaptabilité aux environnements modifiés par l'homme (Díaz-Ruiz et al., 2015; Ponz & Gil-Delgado, 2004).

Enfin, le Cluster 3 regroupe des nids situés dans des environnements plus naturels et forestiers où l'influence humaine est minimale. Ces nids se trouvent généralement à proximité de sources d'eau naturelles telles que les oueds, soulignant l'importance de l'accès à l'eau douce dans la sélection de l'habitat (Boland & Burwell, 2020). Dans ces paysages forestiers, *Pica mauritanica* se nourrit principalement de proies naturelles, notamment des insectes et de petits vertébrés, ainsi que de graines issues de plantes indigènes (Tatner, 1983), favorisant principalement les clairières au sein des forêts plutôt que les terres cérésières. L'espèce fait preuve de flexibilité dans la sélection d'arbres épineux et non épineux dans ces environnements, la sélection étant davantage déterminée par la disponibilité que par une préférence stricte pour des espèces spécifiques.

### 3.4.2. Défis de conservation et limites de l'étude

Malgré son adaptabilité, *Pica mauritanica* fait face à d'importants défis de conservation en raison de sa répartition fragmentée et isolée, avec des populations concentrées dans l'ouest de l'Afrique du Nord et quelques vestiges à l'est. Globalement, sur l'ensemble des trois clusters, *Pica mauritanica* exploite efficacement une diversité de sources alimentaires et hydriques, adaptant ses stratégies de recherche de nourriture aux exigences de conditions environnementales variées. Alors que *Pica mauritanica* module ses préférences de microhabitat en fonction des ressources disponibles, *Pica pica* démontre une capacité remarquable à prospérer dans des paysages anthropisés.

Cette dernière espèce niche souvent sur de hautes structures artificielles, telles que des pylônes électriques et des bâtiments, lorsque les sites de nidification naturels se font rares (Y. Lu et al., 2008). En revanche, *Pica mauritanica* présente un comportement de nidification plus spécialisé, utilisant exclusivement la végétation comme support de nid, même dans des environnements urbanisés. Cette spécificité limite son adaptabilité aux milieux influencés par l'homme. Par exemple, malgré la présence de végétation non épineuse en Tunisie, *Pica mauritanica* évite préférentiellement ces supports (Nefla et al., 2021), ce qui reflète sa forte dépendance aux habitats naturels.

En outre, les Pies préfèrent généralement nicher dans des parcs de taille moyenne à grande, dotés d'arbres plus hauts et de canopées étendues, qui offrent une protection et une stabilité essentielles à leurs nids (Chang & Lee, 2016). Lorsque des arbres adéquats font défaut, *Pica pica* peut aisément s'adapter en utilisant des structures élevées, tandis que *Pica mauritanica* reste confinée aux zones dotées d'une végétation suffisante, soulignant l'importance de la sélection de l'habitat dans leurs stratégies de survie. Ce contraste met en lumière la flexibilité écologique de *Pica pica* par rapport à la nature plus spécialisée de *Pica mauritanica*, notamment dans les paysages urbanisés.

Malgré son adaptabilité, *Pica mauritanica* fait face à d'importants défis de conservation en raison de sa répartition fragmentée et isolée, avec des populations concentrées dans les régions occidentales de l'Afrique du Nord et quelques vestiges dans l'est.

Cette fragmentation accroît la vulnérabilité de l'espèce à la consanguinité et à la dégradation des habitats, rappelant les défis rencontrés par la Pie d'Asir (Boland & Burwell, 2020; Nefla et al., 2021; Opdam, 1991; Torezan et al., 2020). Des modélisations récentes par (Mederbal et al., 2024) soulignent les risques associés aux habitats fragmentés, mettant en lumière l'urgence de traiter ce problème. Notre étude actuelle apporte des éclairages supplémentaires sur les caractéristiques spatiales qui contribuent à la répartition de *Pica mauritanica* dans des zones hautement fragmentées d'Algérie, spécifiquement le long d'un gradient rural-périurbain. Ces résultats sont essentiels pour proposer des stratégies de conservation efficaces. Une approche

multifacette est indispensable, impliquant la restauration des habitats par l'expansion des zones protégées, la gestion des activités humaines pour réduire la dégradation des habitats, l'engagement des communautés locales dans les efforts de conservation et la réalisation de recherches continues afin d'adapter les stratégies, notamment en ce qui concerne le suivi du succès reproducteur. En intégrant ces mesures, il sera possible d'améliorer la connectivité des habitats, d'atténuer la fragmentation et de garantir la survie à long terme de l'espèce.

Cette étude présente plusieurs limites qui méritent d'être soulignées. Tout d'abord, le champ géographique s'est limité au nord de l'Algérie, excluant les populations du Maroc et de la Tunisie, qui pourraient présenter des conditions écologiques différentes influençant les populations de *Pica mauritanica* (Mederbal et al., 2024). De plus, la recherche s'est principalement concentrée sur les caractéristiques des sites de nidification, en négligeant certains aspects comportementaux essentiels tels que les stratégies de recherche de nourriture et l'évitement des prédateurs, qui peuvent avoir une influence significative sur la sélection de l'habitat. Par ailleurs, les données observationnelles ont été recueillies sur une période spécifique, soulignant la nécessité d'un suivi à long terme pour mieux comprendre le comportement et la dynamique écologique de l'espèce à travers différentes saisons. En outre, l'étude pourrait sous-estimer le nombre réel de nids en raison des difficultés à détecter les nids dans des zones difficiles d'accès et des potentielles erreurs de mesure liées à l'utilisation de photographies de terrain, ce qui pourrait affecter la représentativité des résultats pour l'ensemble de la région. Aborder ces limites dans de futures recherches permettrait d'obtenir une compréhension plus complète de *Pica mauritanica* et de ses exigences en matière d'habitat.

### 3.5. Conclusion

Cette étude apporte des éclairages précieux sur les préférences en matière de sites de nidification de *Pica mauritanica* dans des paysages périurbains et ruraux fragmentés en Algérie, comblant ainsi un déficit majeur dans notre compréhension de l'adaptation de l'espèce à la fragmentation des habitats. Nos résultats révèlent que *Pica*

*mauritanica* privilégie les espaces verts ouverts, en particulier ceux associés aux activités agro-pastorales humaines, soulignant ainsi son adaptabilité remarquable aux environnements modifiés. La recherche met en évidence que la fragmentation de l'habitat a entraîné des différences notables dans l'utilisation des habitats entre les zones périurbaines et rurales, l'espèce affichant une préférence distincte pour les régions influencées par les activités humaines. Bien que *Pica mauritanica* partage certaines caractéristiques avec d'autres espèces de Pies à l'échelle mondiale, ses comportements sont façonnés de manière unique par le paysage algérien, reflétant des pressions écologiques et des opportunités spécifiques. Ces conclusions sont cruciales pour élaborer des stratégies de conservation ciblées visant à atténuer les effets de la fragmentation des habitats.

**Tableau 14.** Caractéristiques des espèces support

Espèce	Houpier	Caracteristiques des Branches	Reference(s)
<i>Quercus ilex</i>	Rond	Rigide	(Lintunen & Kaitaniemi, 2010; Ramírez-Valiente et al., 2014)
<i>Quercus coccifera</i>	Rond	Rigide	(Sun & Chen, 1999)
<i>Juniperus oxycedrus</i>	Irregulier	Rigide	(Spector & Putz, 2006)
<i>Pinus halepensis</i>	Irregulier	Rigide	(Isik & Isik, 1999)
<i>Cupressus sempervirens</i>	Colonnaire	Rigide	(Avramidou et al., 2017)
<i>Pistacia lentiscus</i>	Rond	Moyennement rigide	(Kostas et al., 2021)
<i>Olea europaea</i>	Rond	Rigide	(Read & Stokes, 2006)
<i>Prunus dulcis</i>	Rond	Rigide	(Ozden Keles, 2020)
<i>Lycium shawii</i>	Irregulier	Rigide	<a href="https://www.floraofqatar.com/lycium_shawii">https://www.floraofqatar.com/lycium_shawii</a>

## **Chapitre 4. Paramètres de la reproduction**

### 4.1. Introduction

La Pie du Maghreb (*Pica mauritanica*) est une espèce d'oiseau emblématique endémique de l'Afrique du Nord (Kryukov et al., 2017; Song et al., 2018), où elle joue un rôle écologique essentiel et sert de symbole régional de biodiversité. Face aux changements environnementaux rapides en Afrique du Nord (Hirche et al., 2011), comprendre son écologie reproductive est crucial pour élaborer des stratégies de conservation efficaces (Crossin & Williams, 2021), d'autant plus que la perte et la fragmentation des habitats menacent son succès reproducteur.

Historiquement, comme mentionné également par (Nefla et al., 2021), *Pica mauritanica* était largement répandue à travers le Maghreb, avec des enregistrements documentant des populations au Maroc, en Algérie et en Tunisie (Bergier et al., 2017; Isenmann et al., 2005). Cependant, au cours du siècle dernier, la fragmentation de l'habitat et l'augmentation des pressions environnementales ont réduit et isolé ces populations. Des modélisations récentes (Mederbal et al., 2024) suggèrent un déclin continu de la population, avec des extinctions locales probables dans des habitats dégradés. Un gradient d'abondance d'ouest en est est évident, l'espèce étant la plus abondante dans l'ouest du Maroc, moins courante en Algérie, et de plus en plus rare et fragmentée en Tunisie. Les populations situées dans l'est de l'Algérie et en Tunisie subissent des pressions accrues, avec moins de sites de reproduction adaptés et des groupes plus petits et plus isolés (Mederbal et al., 2024).

Malgré son importance écologique, *Pica mauritanica* reste peu étudiée comparativement à ses proches eurasiennes, laissant certains aspects critiques de sa biologie reproductive mal compris. Bien que des preuves suggèrent un déclin de la population, les recherches sur la saison de reproduction de l'espèce demeurent rares. Notamment, une seule étude a investigué ses paramètres reproductifs, en se concentrant sur la population relique de Tunisie (Nefla et al., 2021). En Algérie, aucun suivi scientifique de la saison de reproduction de la Pie du Maghreb n'a été réalisé, ce qui entraîne d'importantes lacunes concernant la chronologie de la nidification, la taille des couvées, le succès d'éclosion et les facteurs influençant les résultats reproductifs.

Ce manque de données entrave l'élaboration de stratégies de conservation efficaces durant cette période cruciale du cycle de vie de l'espèce.

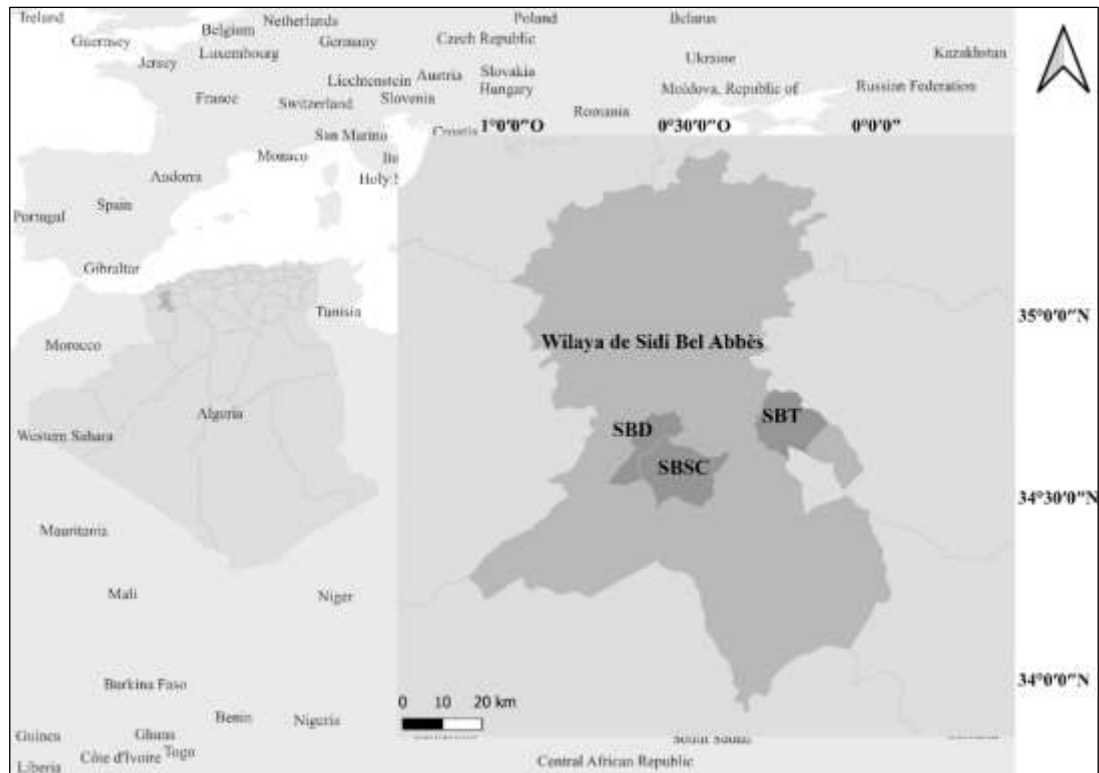
La présente étude vise à combler ces lacunes en examinant les paramètres reproductifs de *Pica mauritanica* au sein de la population de Sidi Chaib. Plus précisément, la recherche décrira la sélection des sites de nidification, la taille des couvées, le succès d'éclosion ainsi que la survie des jeunes, fournissant ainsi de nouvelles données essentielles pour orienter les efforts de conservation. Par ailleurs, l'étude explorera la manière dont les Pies s'adaptent aux paysages modifiés par l'homme, en examinant l'influence de ces habitats sur la sélection des sites de nidification et en évaluant si la proximité des activités agro-pastorales affecte les résultats reproductifs. En générant des données détaillées et spécifiques au site concernant la saison de reproduction, cette recherche vise à contribuer à la préservation de cette espèce endémique unique et à soutenir des stratégies de gestion adaptées à la complexité de l'écologie reproductive de la Pie du Maghreb.

## 4.2. Matériel et Méthodes

### 4.2.1. Zone d'étude

Pour l'étude des paramètres reproductifs, une attention particulière a été portée à l'évaluation de l'écologie de nidification au sein de la population de Sidi Chaib, principalement durant la saison de reproduction 2023. Cette population est située à proximité du village de Sidi Chaib (34°35'45.38"N, 0°32'38.82"W) dans la wilaya de Sidi Bel Abbès. La zone d'étude s'étend sur environ 200 hectares et se caractérise par un climat méditerranéen semi-aride, avec une température annuelle moyenne d'environ 16,29°C et des précipitations annuelles avoisinant les 291,87 mm. Ces valeurs ont été obtenues via Climate Engine pour la période 2014–2024 (consulté le 20 février 2025). La zone se situe à une altitude d'environ 1100 mètres. Le paysage est principalement composé de zones agro-pastorales, où la population locale pratique des activités agro-pastorales. L'espèce dominante observée était *Lycium shawii*, couramment utilisée comme haie épineuse délimitant les parcelles agricoles. De plus, *Cupressus sempervirens* était fréquemment présent, servant de brise-vent et de séparateur, tandis

que *Olea europaea* et *Prunus dulcis* ont été identifiés comme des espèces fruitières dans la région. Les pratiques agricoles comprenaient l'élevage, l'apiculture, la culture de céréales (blé et orge), ainsi que le maraîchage avec des cultures telles que les pommes de terre, les poivrons et les oignons.



**Figure 19.** Situation géographique des sites de nidification étudiés de *Pica mauritanica* dans le nord-ouest de l'Algérie

#### 4.2.2. Collecte des données sur les nids

Les nids occupés et inoccupés ont été géolocalisés à l'aide d'un appareil GPS, et l'espèce de l'arbre support a été enregistrée. Les nids actifs, définis comme ceux contenant des œufs ou des oisillons, ont été identifiés grâce à des relevés systématiques effectués tout au long de la saison de reproduction. Dès qu'un nid actif était repéré, il était suivi 2 à 3 fois par semaine afin de documenter les paramètres reproductifs clés et de garantir l'exactitude des données recueillies. La hauteur de chaque nid a été mesurée à l'aide d'un instrument gradué, permettant de déterminer la distance verticale entre le sol et la base du nid, ainsi que la distance jusqu'au sommet de l'arbre. Les

coordonnées des nids actifs ont été utilisées pour calculer les distances entre les nids à l'aide du logiciel QGIS.



**Figure 20.** Répartition géographique des nids monitorés de *Pica mauritanica* à Sidi Chaib

Le volume du nid (en litres) a été calculé selon la formule suivante :

$$V = (4/3) \times (\pi \times a \times b^2)/1000,$$

où  $a$  représente le rayon le plus grand de l'ellipse du nid (en cm), et  $b$  correspond à la moitié de la largeur du nid (en cm) (J. J. Soler et al., 1995).

### 4.2.3. Collecte des données reproductives

Les données reproductives ont été recueillies à l'aide d'une caméra endoscopique afin de surveiller le contenu des nids sans provoquer de perturbation. Cette méthode non invasive a permis d'observer les œufs, les oisillons et les signes de prédation, tout en facilitant la comparaison des dates de ponte et des stades de développement. Les paramètres reproductifs ont été évalués pour 13 nids actifs accessibles au sein de la population de Sidi Chaib. Ces paramètres incluaient la taille de la couvée, le succès d'éclosion, le succès d'envol ainsi que le calendrier des événements de ponte, d'éclosion et d'envol. Pour chaque nid, les données suivantes ont été enregistrées : la date du premier œuf pondu, la taille totale de la couvée (nombre

d'œufs) et le nombre d'oisillons ayant survécu jusqu'à 25 jours après l'éclosion, ce dernier critère servant d'indicateur opérationnel pour l'envol. Une couvée était considérée comme complète lorsqu'aucun œuf supplémentaire n'était observé lors de deux visites consécutives. Les nids étaient classés comme infructueux s'ils étaient trouvés vides avant les dates estimées d'éclosion ou d'envol, ou si des œufs ou oisillons endommagés étaient présents. La période d'incubation a été estimée à 15 jours (Nefla et al., 2021).

À des fins de comparaison, un site de nidification rural, Ain Nour, a également été étudié afin d'examiner d'éventuelles différences dans les dates de ponte entre les deux environnements. La population rurale est située dans la wilaya de Sidi Bel Abbès, à 34 km au sud-est de Sidi Chaib. Ces populations ont été suivies sur la même période. Les prédateurs ont été identifiés en examinant l'état des nids, l'absence de traces spécifiques indiquant une prédation par des serpents, comme décrit par (Klug et al., 2010).

#### **4.2.4. Analyse des données des paramètres reproductifs**

Les paramètres reproductifs ont d'abord été analysés de manière descriptive afin de constituer le premier jeu de données de référence sur la biologie reproductive de *Pica mauritanica* dans le nord-ouest de l'Algérie. Les données ont été résumées en utilisant des moyennes, des écarts-types et des plages, permettant ainsi de caractériser le comportement de nidification et le succès reproducteur de l'espèce.

Pour explorer les facteurs influençant le succès de la nidification, nous avons employé l'algorithme Extreme Gradient Boosting (XGBoost), un modèle d'apprentissage automatique performant, reconnu pour sa précision et son efficacité en termes de calcul dans des tâches de régression complexes (Bakhtiari et al., 2024; Laphrom et al., 2024; Rafat, 2024). La variable de réponse était le nombre de poussins envolés (Fledj\_Chcks), tandis que les variables prédictives incluaient le risque de prédation (Pred\_eggs, Pred\_chicks, et le Pred), la localisation du nid (Nest\_Ground, Nest\_top), le volume du nid (Vol) et la distance jusqu'au nid le plus proche (Dist\_closest\_nest). Le modèle a été entraîné sur 100 cycles de boosting, en utilisant

l'erreur quadratique comme fonction objectif (reg:squarederror). Les hyperparamètres ont été définis avec une profondeur maximale de l'arbre de 6 et un taux d'apprentissage (eta) de 0,3, les calculs étant parallélisés sur deux threads. La robustesse du modèle a été assurée par une validation croisée, et la performance a été évaluée à l'aide de l'erreur quadratique moyenne (RMSE), où des valeurs plus faibles indiquent une meilleure précision prédictive (Luo & Li, 2023).

Pour interpréter les résultats du modèle, nous avons évalué l'importance des variables via le Gain et les explications additives de type SHAP (SHapley Additive exPlanations), qui attribuent à chaque prédicteur une contribution additive à la prédiction finale (Bakhtiari et al., 2024). Cette combinaison d'apprentissage automatique et d'interprétabilité nous a permis de quantifier l'influence des facteurs écologiques et spatiaux sur le succès d'envol. Tout au long de l'analyse, nous avons intégré des connaissances écologiques spécifiques au domaine afin de contextualiser les résultats et d'affiner les interprétations si nécessaire (Rafat, 2024). Toutes les analyses ont été réalisées avec R (v4.2.2) en utilisant les packages xgboost (Chen & Guestrin, 2016) et SHAPforxgboost (Liu & Just, 2019).

### 4.3. Résultats

#### 4.3.1. Nids

Un total de 74 nids a été localisé sur le site de nidification de Sidi Chaib, dont 13 (17,57 %) étaient actifs durant la saison de reproduction 2023, avec un nid présentant une couvée de remplacement. Tous les nids étaient supportés par l'espèce *Lycium shawii*, utilisée comme séparation entre différents champs agro-pastoraux, positionnés à une hauteur de  $1,59 \pm 0,28$  m du sol et à  $0,87 \pm 0,43$  m du sommet de l'arbre. La distance la plus courte entre deux nids actifs était de 18,497 m. En supposant un territoire circulaire, la taille minimale estimée du territoire pour un nid est de 268,72 m<sup>2</sup>. En moyenne, le volume des nids était de  $0,22 \pm 0,06$  m<sup>3</sup>, avec une plage variant de 0,10 m<sup>3</sup> à 0,31 m<sup>3</sup>.

**Tableau 15.** Paramètres des nids de la population de Sidi Chaib durant la saison 2023

Caractéristiques des nids	Valeurs
Nids actifs	13
Couvées de remplacement	1
Hauteur du nid (m) $\pm$ SE	1,59 $\pm$ 0,28
Distance du sommet du nid (m) $\pm$ SE	0,87 $\pm$ 0,43
Volume du nid (m <sup>3</sup> ) $\pm$ SE	0,22 $\pm$ 0,06
Plage de volume du nid (m <sup>3</sup> )	0,10 – 0,31
Distance au nid le plus proche (m) $\pm$ SE	43,19 $\pm$ 37,30
Plage de distance au nid le plus proche (m)	18,50 – 123,46

#### 4.3.2. Données reproductives

La saison de reproduction a duré 104 jours, débutant le 26/02/2023, depuis le premier nid actif enregistré jusqu'au dernier poussin envolé. La taille moyenne de la couvée était de  $5,85 \pm 1,34$ , 76,92 % des nids contenant 5 ou 6 œufs. Le taux d'éclosion était d'environ 63 %, et 69 % des nids ont réussi à voir au moins un poussin s'envoler. Cinquante-quatre pour cent des nids ont été pondus durant les deux premières semaines de mars, 15 % lors de la dernière semaine de février, 15 % lors de la dernière semaine de mars, et 15 % durant la seconde moitié d'avril. Soixante-dix-sept pour cent des œufs éclos l'ont été entre la deuxième et la dernière semaine de mars, et 67 % des poussins se sont envolés entre le 12 et le 22 avril. Une différence de 33 jours a été observée entre la ponte du premier œuf dans la population de Sidi Chaib et celle dans la population d'Ain Nour.

**Tableau 16.** Paramètres de la reproduction de la population de Sidi Chaib durant la saison 2023

<b>Performances reproductives</b>	<b>Chronologie de la reproduction</b>
Plage de taille de couvée	4 – 9
Couvée modale	5 – 6
Nombre total d'œufs pondus dans la colonie	75
Nombre total de poussins dans la colonie	48
Nombre total de poussins envolés dans la colonie	28
Taille moyenne de la couvée $\pm$ SE	5,85 $\pm$ 1,34
Taux d'éclosion des œufs (%)	63,16 %
Succès d'éclosion $\pm$ SE	3,69 $\pm$ 1,80
Taux d'envol (%)	58,33 %
Succès d'envol $\pm$ SE	2,16 $\pm$ 2,15
Succès de reproduction (%)	36,84 %
Taux de non-éclosion des œufs (%)	23,68 %
Date de ponte minimale	26/02/2023
Date de ponte maximale	25/04/2023
Plage de dates de ponte	58
Date d'éclosion minimale	12/03/2023
Date d'éclosion maximale	08/05/2023
Plage de dates d'éclosion	57
Date d'envol minimale	12/04/2023
Date d'envol maximale	10/06/2023
Plage de dates d'envol	59
Plage de la saison	104

### 4.3.3. Prédation

La prédation a été observée tout au long de la saison de reproduction. La chronologie n'a pas eu d'effet significatif sur la prédation, toutefois, la prédation sur les œufs et sur les poussins a significativement influencé le succès d'envol.

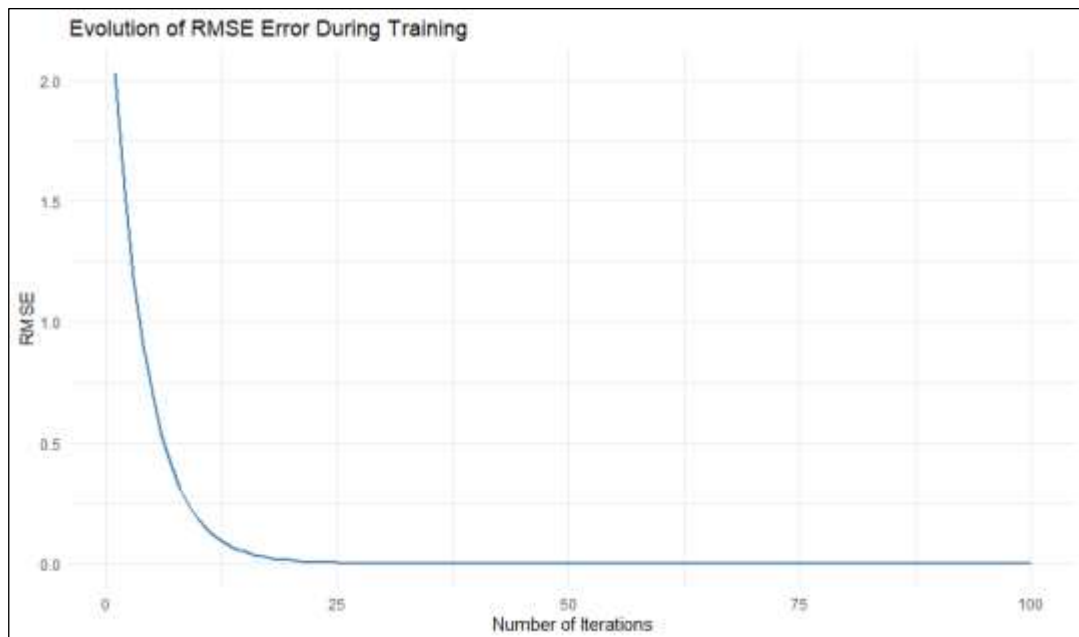
**Tableau 17.** Paramètre de prédation de la population de sidi chaib durant ant la saison 2023

<b>Paramètres de prédation</b>	<b>Valeurs</b>
Taux de prédation des œufs (%)	19,73 %
Prédation des œufs ± SE	1,15 ± 1,46
Plage de prédation des œufs	0 – 4
Taux de prédation des poussins (%)	43,75 %
Prédation des poussins ± SE	1,61 ± 1,76
Plage de prédation des poussins	0 – 5
Taux de prédation de la colonie (%)	47,37 %
Prédation de la colonie ± SE	2,78 ± 2,49
Plage de prédation de la colonie	0 – 6
Proportion moyenne d'œufs prédatés par nid ± SE	0,20 ± 0,27
Proportion moyenne de poussins prédatés par nid ± SE	0,44 ± 0,46
Proportion de nids affectés par la prédation (%)	61,54 %
Proportion de nids affectés par la prédation des œufs (%)	46,15 %
Proportion de nids affectés par la prédation des poussins (%)	53,85 %

#### 4.3.4. Modèle XGBoost

##### 4.3.4.1. Performance du modèle et dynamique d'entraînement

Le modèle XGBoost a été entraîné en utilisant une fonction de perte basée sur l'erreur quadratique, avec une profondeur maximale de 6 et un taux d'apprentissage ( $\eta$ ) de 0,3 sur 100 itérations. Le suivi de l'évaluation par RMSE montre une diminution rapide de l'erreur, passant de 2,03 lors de la première itération à 0,0005 lors de la dernière, avec une stabilisation dès la 25ème itération. Ces résultats témoignent d'une forte convergence du modèle et d'un apprentissage efficace. Le modèle a intégré sept variables prédictives et présente une erreur finale minimale, ce qui indique un bon ajustement et peu ou pas de surapprentissage.



**Figure 21.** Évolution du RMSE pendant l'entraînement du modèle en fonction du nombre d'itérations

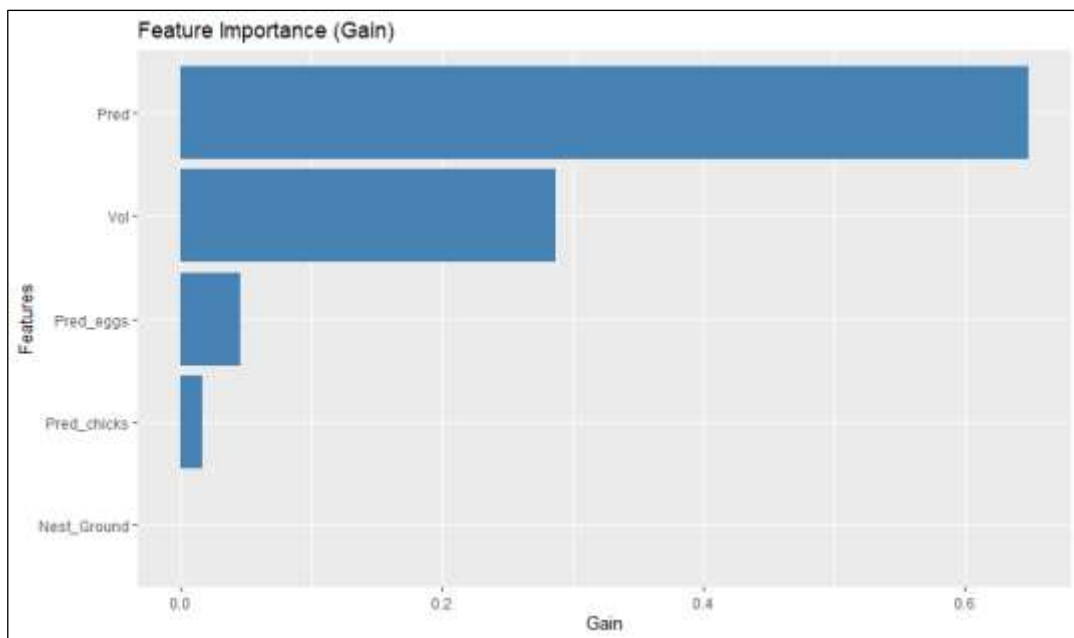
##### 4.3.4.2. Prédictions du modèle

Le modèle XGBoost a généré des prédictions allant d'environ 0,0001 à 5, démontrant ainsi sa capacité à différencier divers niveaux de succès de nidification.

Les valeurs prédites sont bien réparties, avec plusieurs prédictions proches de 0, 1, 3 et 5, ce qui suggère que le modèle capture efficacement les variations des issues de nidification. L'erreur minimale enregistrée lors de la phase d'entraînement renforce la fiabilité de ces prédictions.

#### 4.3.4.3. Analyse de l'importance des variables

L'analyse de l'importance des variables basée sur le gain confirme que la prédation (Pred) est la variable la plus influente (64,9 %), suivie du volume du nid (Vol) avec 28,8 %, en accord avec les résultats obtenus par SHAP. Les variables liées à la prédation, notamment Pred\_eggs (4,6 %) et Pred\_chicks (1,7 %), apportent une contribution modérée, tandis que la variable Nest\_Ground présente une influence minimale (<0,01 %). Les métriques de couverture et de fréquence viennent soutenir le rôle dominant de Pred et Vol dans la prédiction du succès de nidification.

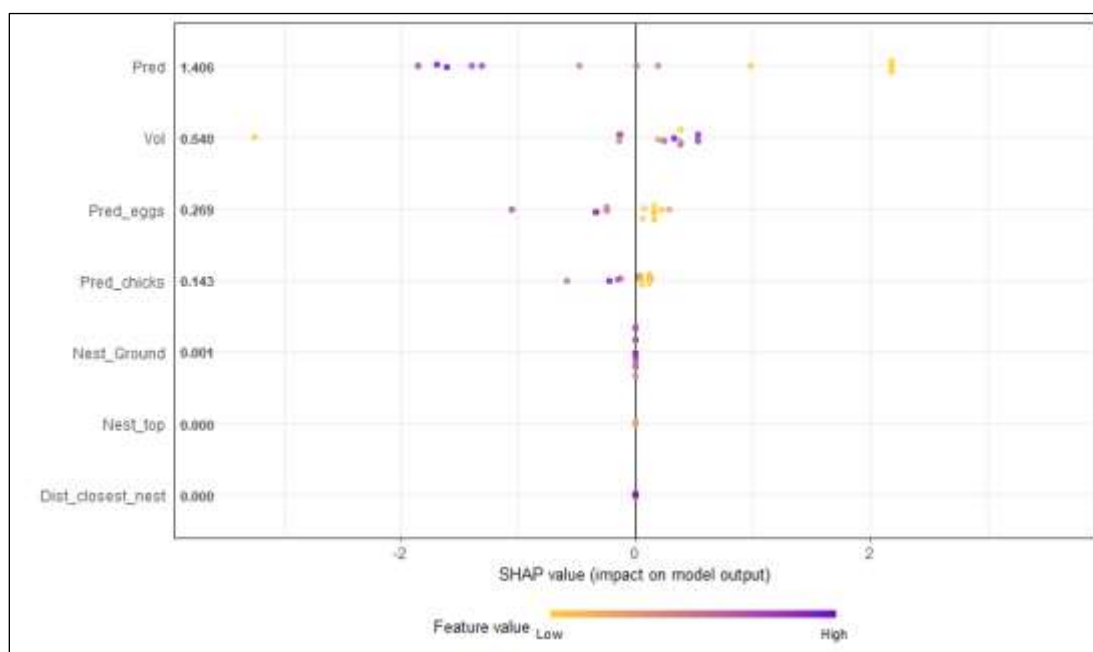


**Figure 22.** L'importance de la contribution des variables sur le succès de la reproduction

#### 4.3.4.4. Valeur SHAP

L'interprétation des valeurs SHAP révèle que la prédation (Pred) a le plus fort impact moyen (1,41), soulignant ainsi son influence dominante sur le succès de

nidification. Le volume du nid (Vol) se positionne comme la deuxième caractéristique la plus importante (0,54), affectant significativement les prédictions, bien que dans une moindre mesure que la prédation. Les variables liées à la prédation, telles que la prédation sur les œufs (Pred\_eggs : 0,27) et sur les poussins (Pred\_chicks : 0,14), contribuent au modèle mais avec un impact relativement moindre. À l'inverse, des variables telles que Nest Ground (0,001), Nest Top (0,00) et Distance to Closest Nest (0,00) ont des effets négligeables, indiquant qu'elles sont de faibles prédicteurs dans ce contexte. Le terme de biais (BIAS0 = 2,15) représente la prédiction de base avant de prendre en compte la contribution individuelle de chaque variable, fournissant ainsi un point de référence pour l'interprétation des résultats du modèle.



**Figure 23.** Contribution additive des prédicteurs aux prédictions finales via SHAP

#### 4.4. Discussion

L'écologie de reproduction de *Pica mauritanica* demeure encore mal comprise. À ce jour, la seule étude réalisée dans ce contexte a été menée en Tunisie par (Nefla et al., 2021). L'objectif principal de la présente étude est de fournir des données supplémentaires sur les paramètres reproductifs et l'utilisation de l'habitat. Les

résultats obtenus représentent les premières données sur les paramètres reproductifs de *Pica mauritanica* dans le nord-ouest de l'Algérie, basées sur une population occupant un habitat complexe remodelé par les activités agro-pastorales de la population locale.

Plus de 83 % de tous les nids ont été construits principalement sur *Lycium shawii*, et tous les nids actifs étaient érigés sur cette même espèce. Nous sommes convaincus que les Pies tendent à sélectionner l'espèce d'arbre la plus disponible, comme cela a été rapporté pour la Pie du Maghreb par (Nefla et al., 2021). De manière similaire, la Pie bavarde (*Pica pica*) a été observée en train de choisir différentes espèces d'arbres pour y nicher, favorisant les espèces dominantes de l'habitat, comme le rapportent (Antonov & Atanasova, 2002; Tatner, 1982a). Par ailleurs, il a été constaté que les espèces non épineuses étaient rarement utilisées par la Pie du Maghreb. Ce constat, également rapporté par (Nefla et al., 2021), concorde avec les résultats antérieurs concernant le rôle de la végétation épineuse dans la réduction du risque de prédation des nids (Šálek et al., 2020; Ueta, 1998). La préférence pour des espèces épineuses, telles que *Lycium shawii*, reflète probablement l'avantage protecteur que ces plantes procurent contre les prédateurs, comme cela a été documenté dans diverses études sur le comportement de nidification des Pies (Ciebiera et al., 2021; Šálek et al., 2020).

Les nids étaient majoritairement positionnés dans la section supérieure-moyenne des arbres, un schéma également relevé par (Nefla et al., 2021) et observé chez les Pies bavardes (*Pica pica*) (Dolenec, 2000). Ce placement stratégique est particulièrement important pour des nids de grande taille, comme ceux des Pies, car il contribue à limiter l'accès des prédateurs (Nefla et al., 2021).

La date de ponte est survenue plus tôt que celle de la Pie bavarde (*Pica pica*) (Tableau 18) et même plus tôt que celle de la population tunisienne. La différence dans la chronologie de reproduction entre la Pie du Maghreb et la Pie bavarde pourrait être influencée par la latitude, qui affecte le calendrier de reproduction. En effet, les Pies des régions méridionales ont tendance à se reproduire plus tôt que celles des régions septentrionales, en corrélation avec les gradients de température (Gibbs, 2007). Cependant, la population d'Ain Nour, située à peu près à la même latitude que la

population de Sidi Chaib, a pondu fin mars, en accord avec les études antérieures sur la Pie bavarde (Tableau 18). Cette différence pourrait être liée à des facteurs microclimatiques, dans la mesure où les environnements périurbains peuvent atténuer les effets inhibiteurs du froid sur le début de la reproduction, permettant ainsi aux Pies de pondre plus tôt (Rollinson & Jones, 2002). Alternativement, elle pourrait être associée à la disponibilité alimentaire. Selon (De Neve, Soler, et al., 2004), la disponibilité de nourriture influence directement les dates de ponte chez de nombreuses espèces, y compris la Pie bavarde, où une supplémentation alimentaire a significativement avancé le début de la ponte (Meijer & Drent, 1999; Nefla et al., 2021).

La taille moyenne de la couvée dans la population de Sidi Chaib se situe dans la moyenne, similaire aux populations françaises et croates (Tableau 18), et légèrement supérieure aux données combinées de 2017–2018 pour la population tunisienne (Nefla et al., 2021). Cependant, les couvées enregistrées en 2017 en Tunisie sont très proches de celles observées à Sidi Chaib en 2023. Le succès d'éclosion et d'envol y était également plus élevé par rapport à plusieurs autres populations, y compris celle de Tunisie, bien que les valeurs soient comparables aux données tunisiennes de 2017. Cette disparité pourrait être due au fait que notre étude ne couvre qu'une seule saison de reproduction, soulignant ainsi la nécessité d'un suivi à long terme pour confirmer ces tendances et explorer les facteurs influençant le succès reproductif.

De plus, nous pensons que le succès reproductif des Pies est façonné par de multiples facteurs environnementaux, notamment la qualité du territoire, les conditions climatiques et la disponibilité alimentaire. La qualité du territoire influence la taille de la couvée et le succès reproductif, la qualité des femelles et des mâles expliquant une part importante de la variabilité reproductrice (Goodburn, 1991). Les conditions climatiques, telles que les intempéries sévères ou les fluctuations de température, affectent le calendrier de reproduction et les taux de survie, comme observé chez la Pie à ailes bleues (*Cyanopica cyanus*) (Canário et al., 2004). La disponibilité de nourriture est également un facteur clé, la détérioration des ressources en fin de saison étant associée à un succès reproductif moindre (De Neve, Soler, et al., 2004). Les Pies

adaptent leurs stratégies en fonction de l'abondance locale des ressources (Ernst, 2015), mettant ainsi en lumière une interaction dynamique entre les contraintes environnementales et la flexibilité comportementale dans la performance reproductive. Cette adaptabilité pourrait expliquer la variabilité temporelle et géographique observée.

La prédation joue un rôle crucial dans la détermination du succès reproductif de *Pica mauritanica*. Les facteurs influençant le risque de prédation sont multiples et interconnectés. Des nids plus volumineux, bien qu'ils puissent offrir des avantages reproductifs potentiels, sont plus visibles et peuvent attirer un plus grand nombre de prédateurs d'œufs (Quesada, 2007; Suvorov et al., 2012). Cela pourrait s'expliquer par une visibilité accrue ou la perception d'une disponibilité supérieure en ressources (Redondo & Castro, 1992; Suvorov et al., 2012). Nous pensons que les prédateurs d'œufs peuvent pénétrer dans des nids relativement plus grands de manière plus aisée et rapide. De plus, des nids situés en hauteur pourraient être soumis à une prédation plus importante, possiblement en raison d'un accès facilité pour les prédateurs grimpeurs ou d'une exposition accrue aux menaces aériennes (Šálek et al., 2020).

La sélection du site de nidification elle-même peut influencer l'accessibilité aux prédateurs. En particulier, le Pie-grièche à poitrine rousse (*Lanius excubitor*) a été identifié comme un prédateur significatif des oisillons de la Pie du Maghreb, conduisant souvent à l'abandon des nids (Nefla et al., 2021). Nos observations concordent avec les résultats de Nefla, puisque nous avons également enregistré des Pie-grièches s'attaquant aux poussins dans la population algérienne, renforçant ainsi l'idée que le partage d'habitats de reproduction peut intensifier les dynamiques de prédation interspécifique.

La prédation sur les œufs et les poussins apparaît comme un facteur limitant majeur du succès de la nidification. Dès qu'un nid est localisé, la probabilité d'échec augmente considérablement, la pression prédatrice pouvant entraîner une chute rapide de la production reproductive (Belkhiri et al., 2024). Les effets en cascade de la prédation sur les œufs et les oisillons peuvent sévèrement réduire le nombre de poussins envolés, la prédation au stade précoce diminuant ainsi le succès reproductif

global. Ces schémas soulignent la nécessité d'un suivi à long terme afin d'évaluer la variabilité interannuelle et de mieux comprendre la dynamique des prédateurs.

Des stratégies de conservation, telles que la surveillance des populations, la gestion de l'impact de la taille et de la visibilité des nids sur la prédation, ainsi que la promotion de structures végétales offrant un camouflage naturel, pourraient s'avérer cruciales pour améliorer les résultats reproductifs dans cette population vulnérable.

### 4.5. Conclusion

Cette étude apporte des éclairages essentiels sur l'écologie reproductive du Maghreb MagPie (*Pica mauritanica*) dans le nord-ouest de l'Algérie, en se focalisant sur la population de Sidi Chaib. Les résultats démontrent que la sélection du site de nidification repose fortement sur l'utilisation de *Lycium shawii*, une espèce végétale épineuse, qui semble offrir une protection efficace contre les prédateurs. Avec une taille de ponte moyenne de 5,85 œufs, un taux d'éclosion d'environ 63 % et un taux de réussite du nichage proche de 58 %, la réussite reproductive globale demeure modérée, principalement en raison de l'impact significatif de la prédation sur les œufs et les poussins.

L'analyse par le modèle XGBoost a permis de mettre en évidence que la variable « prédation » est le facteur le plus déterminant pour le succès du nichage, suivi du volume du nid, confirmant l'importance des pressions de prédation sur la dynamique reproductive. Par ailleurs, la chronologie de ponte, précoce par rapport à d'autres populations régionales et à la Pie bavarde, suggère que des facteurs locaux tels que les conditions microclimatiques et la disponibilité des ressources influencent fortement le début de la reproduction.

Ces constats soulignent la nécessité d'une surveillance continue et de stratégies de conservation ciblées, incluant la gestion des habitats et la réduction des risques de prédation, afin d'assurer la pérennité de cette espèce emblématique dans un contexte de pressions environnementales croissantes. Des recherches futures, en particulier des suivis à long terme, seront indispensables pour mieux comprendre la variabilité

interannuelle et affiner les mesures de gestion visant à optimiser le succès reproducteur de *Pica mauritanica*.

**Tableau 18.** Synthèse bibliographique des paramètres reproductifs de *Pica pica* vs *Pica mauritanica* ((Nefla et al., 2021)

Région	Dimensions des œufs (mm)	Taille moyenne (SD) de la couvée	Succès d'éclosion (oisillons par œuf pondu)	Succès d'envol (oisillons par couvée)	Date de ponte	Source
Belgique	34,60 x 23,70	-	-	-	-	(Verheyen, 1967)
Bulgarie	-	6,38 (1,15)	0,47	1,57 (2,34)	Début avril	(Antonov & Atanasova, 2003)
Croatie	33,43 (1,38) x 23,35 (0,52)	5,91 (1,08)	-	-	-	(Dolenec, 2000)
Espagne	33,10 x 23,30	6,35	-	1,45	Début avril	(De Reyna et al., 1984)
Espagne	-	6,80 (1,14)	0,57	1,84 (2,28)	Mi-avril	(Ponz & Gil-Delgado, 2004)
France	-	5,7	-	-	-	(Balanca, 1984)
Allemagne	33,30 x 23,61	6,7	-	-	-	(Hund & Prinzinger, 1981)
Allemagne	-	-	-	1,2	-	(Sachteleben et al., 1992)
Japon	-	6,19 (1,30)	0,62	0,73	Mi-mars	(Eguchi, 1995)
Kazakhstan	34,50 x 25,10	6	-	-	-	(Smetana, 1978)
Pays-Bas	33,97 (0,16) x 23,94 (0,07)	6,23 (0,89)	0,54	1,67 (1,46)	Mi-avril	(Walters, 1988)
Pologne	33,33 (2,43) x 22,90 (0,68)	6,00 (1,09)	-	1,13	Mi-avril	(Jerzak, 1995)
Slovénie	33,60 (2,75) x 23,20 (0,69)	6,00 (0,93)	-	-	Mi-avril	(Vogrin, 1998)
Tunisie	32,26 (2,05) x 23,01 (3,96)	5,00 (1,09)	0,56	1,69 (1,72)	Début mars	(Nefla et al., 2021)
Ouzbékistan	35,50 x 24,10	6,2	-	-	-	(Abdreimov, 1981)
Grande-Bretagne	-	6,15 (1,09)	0,46	1,72 (2,13)	Mi-avril	(Eden, 1985)
Grande-Bretagne	-	5,60 (1,44)	0,46	1,67	Mi-avril	(Tatner, 1982b)
Grande-Bretagne	-	-	-	0,69-0,94	Mi-mars	(Vines, 1981)

## **Chapitre 5. Vulnérabilité et stratégies de conservation**

## 5.1. Introduction

La vulnérabilité, dans les contextes écologiques et environnementaux, désigne la susceptibilité des écosystèmes aux perturbations ainsi que leur capacité à se rétablir après des chocs. Ce concept recouvre deux dimensions complémentaires : la vulnérabilité écologique, qui évalue le degré de perturbation qu'un écosystème peut absorber et sa capacité de restauration, et la vulnérabilité environnementale, qui intègre l'ensemble des interactions entre les activités humaines et les systèmes naturels (Hou et al., 2022). Cette double approche permet de mesurer la sensibilité des habitats et des espèces aux stress induits tant par le changement climatique que par les pressions anthropiques (Miranda Cebrian et al., 2022; Van Schmidt et al., 2024).

L'analyse de cette vulnérabilité repose notamment sur l'évaluation des conditions des habitats, la rareté des espèces et les modifications structurelles du paysage. Pour les milieux favorables aux oiseaux, des facteurs tels que la perte d'habitat, la fragmentation et la connectivité paysagère illustrent l'importance d'une approche intégrée pour la gestion et la conservation des écosystèmes.

À l'échelle régionale, ces enjeux se retrouvent de manière particulièrement marquée dans le cas de la Pie du Maghreb. Cette espèce évolue dans un contexte de perturbations liées aux facteurs anthropiques et climatiques majeures qui altèrent durablement ses habitats. Dans le nord de l'Algérie, du Maroc et de la Tunisie, les changements d'utilisation des terres, liés à une urbanisation rapide, à l'expansion agricole et à la dégradation forestière, modifiant profondément la niche écologique de l'espèce (Blissag et al., 2024; Bouguerra et al., 2020; Fusco et al., 2021; Tayeb & Kheloufi, 2014).

Par ailleurs, le réchauffement climatique, caractérisé par des températures en hausse et des précipitations aléatoires, aggrave la dégradation de la qualité des habitats et réduit la disponibilité des ressources indispensables (Flesch, 2023). La disparition progressive des sites traditionnels de nidification et d'alimentation, conséquence de l'étalement urbain et de l'expansion agricole, vient renforcer cette vulnérabilité (François et al., 2008).

De surcroît, la dégradation continue des terres, souvent alimentée par des pratiques agricoles non durables et le surpâturage, conduit à la désertification et à une réduction des ressources alimentaires essentielles (Benbrahim et al., 2004; Mendizabal & Puigdefábregas, 2003). Les impacts anthropiques liés à l'utilisation des terres, combinées à l'expansion urbaine et les aménagement agricoles, transforment radicalement les paysages naturels et engendrent des pertes massives d'habitats, compromettant ainsi la biodiversité (Heubes et al., 2011; Jiménez-Franco et al., 2022; Ren et al., 2023; Santos et al., 2024; Tang et al., 2021).

Cette approche intégrée permet de comprendre la vulnérabilité non seulement comme une exposition aux perturbations, mais également comme un indicateur essentiel de la résilience des systèmes naturels face aux défis contemporains.

Bien que les méthodologies adoptées pour l'étude des macrohabitats, les microhabitats et la reproduction aient été détaillées précédemment, cette section se focalise exclusivement sur l'interprétation des résultats en termes de vulnérabilité.

## **5.2. Fondements méthodologiques et pertinence de l'approche selon différents niveaux de perception**

Pour étudier la vulnérabilité de l'espèce de manière fine, l'analyse des facteurs du milieu inhérents est appréhendée selon différents niveaux de perception pour cerner sa résilience globale. Le premier niveau, le macrohabitat, permet d'évaluer l'influence des caractéristiques à grande échelle et des pressions environnementales régionales sur l'espèce. Le deuxième niveau, le microhabitat, se concentre sur les conditions locales, notamment la qualité de l'habitat et la disponibilité des ressources indispensables. Enfin, l'axe de la reproduction fournit un éclairage sur la capacité de renouvellement de la population, en examinant les stratégies reproductives et le succès dans la descendance. Ensemble, ces trois niveaux offrent une compréhension intégrée de la vulnérabilité, essentielle pour identifier les leviers permettant de renforcer la résilience de l'espèce.

Cette structuration en trois niveaux permet donc de mieux comprendre l'impact des perturbations à différentes échelles sur la survie de la Pie du Maghreb. En effet, en distinguant les influences à grande échelle des facteurs locaux et en intégrant les dynamiques reproductives, cette approche, soutenue par divers formes de vulnérabilité, offre une vision globale et détaillée des menaces qui pèsent sur l'espèce et de sa capacité à y faire face.

### 5.3. Analyse de la vulnérabilité par axes

#### 5.3.1. Vulnérabilité liée au Macrohabitat

Au niveau du macrohabitat, de multiples facteurs structurants conditionnent la vulnérabilité de la Pie du Maghreb (*Pica mauritanica*), tant par la modification des ressources alimentaires que les transformations à grande échelle des paysages (Achille et al., 2024). Par exemple, un abandon partiel des zones cultivées peut induire une diversification des proies et accroître la prolifération de certaines espèces de plantes et d'insectes, favorisant parfois l'espèce durant sa période de reproduction (Achille et al., 2024).

Certaines zones se distinguent également comme de véritables foyers de biodiversité. Ainsi, les wadis d'Arabie Saoudite illustrent des milieux spécifiques à forte valeur écologique (Alzandi, 2015), tandis que les espaces verts urbains agissent comme des refuges essentiels, améliorant la connectivité grâce à des réseaux de haies qui facilitent les déplacements et l'accès aux ressources (Aouissi et al., 2021; Mortelliti et al., 2010).

Les transformations du paysage, telles que les changements de couverture du sol, l'urbanisation accélérée, la dégradation des forêts et l'expansion agricole, altèrent considérablement la qualité et la disponibilité des habitats (Blissag et al., 2024; Bouguerra et al., 2020; L. Li et al., 2024). Dans les zones agro-pastorales, la diversité des pratiques agricoles permet parfois de mettre à disposition des ressources alimentaires et des sites de nidification adaptés (Chuluun et al., 2017), tandis que les vergers et systèmes agroforestiers offrent des bénéfices multiples en améliorant la

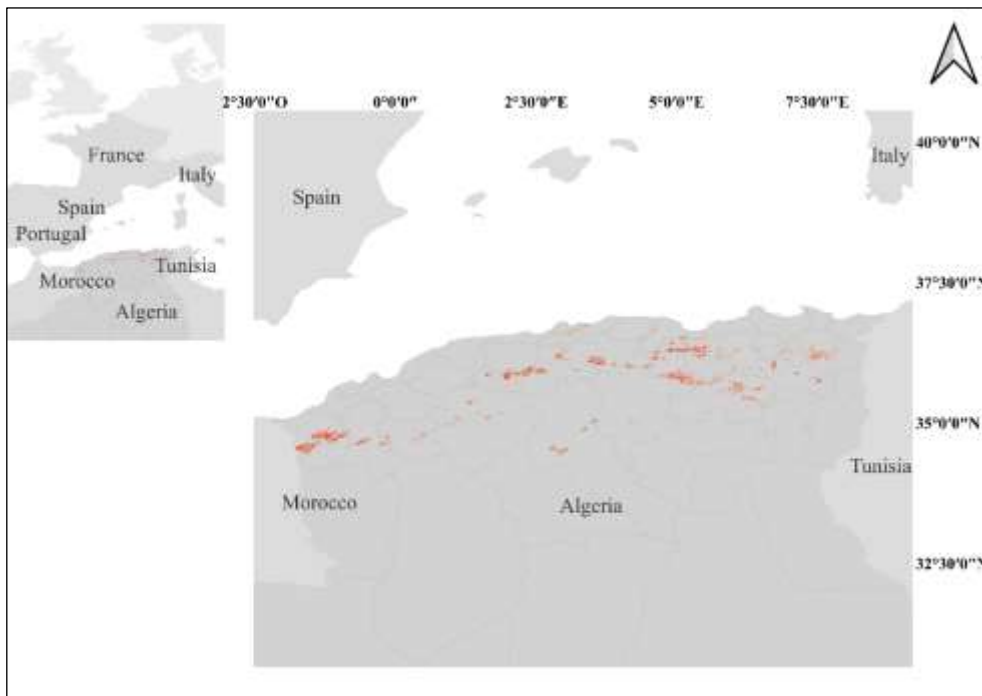
santé des sols et la productivité des cultures (Singh et al., 2018). L'expansion urbaine, en réduisant les espaces verts, modifie également la densité des proies et influence la taille des territoires occupés par la Pie (Kim et al., 2012; L. Li et al., 2024). Par ailleurs, la fragmentation des habitats, qu'elle soit induite par le développement des infrastructures ou par des pratiques agricoles intensives, morcelle les paysages en parcelles plus petites et isolées. Ce morcellement perturbe les processus écologiques, réduit la diversité génétique (Betts et al., 2022; Munir et al., 2018) et, combiné à l'usage intensif de pesticides qui diminue le nombre de proies, affecte directement la capacité d'alimentation et la reproduction (Robillard et al., 2013). L'ensemble de ces pressions, incluant les changements d'utilisation des terres, l'expansion urbaine et agricole ainsi que les effets de bordure, souligne la fragilité du macrohabitat et son impact direct sur l'occupation et la distribution de l'espèce (Kim et al., 2012; Reverter et al., 2021; Tang et al., 2021; Valente et al., 2023).

L'analyse du macrohabitat de la Pie du Maghreb révèle une vulnérabilité accentuée par la fragmentation croissante de son aire de répartition en Afrique du Nord (Opdam, 1991). L'isolement géographique de certaines populations, avec une faible présence dans l'est de l'Algérie et l'existence d'une population relictuelle en Tunisie, intensifie les risques de déclin (Nefla et al., 2021) La réduction et la fragmentation des forêts et les zones agro-pastorales limitent les sites de nidification et les ressources alimentaires essentiels à la survie de l'espèce (Torezan et al., 2020).

La Pie du Maghreb manifeste également une nette affinité pour les paysages semi-ouverts à végétation clairsemée, évitant les forêts denses et les espaces complètement dénudés (Kamburova, 2004; Kang et al., 2012). Cette spécialisation écologique, couplée à l'intensification des pressions anthropiques via l'agriculture et l'urbanisation, amplifie sa vulnérabilité (Nefla et al., 2021) En effet, l'expansion urbaine provoque une destruction significative de l'habitat, tandis que l'expansion agricole fragmente davantage les espaces adaptés à l'espèce, qui tend à privilégier les zones agricoles rurales aux milieux urbains (Mederbal et al., 2024). Par ailleurs, la déforestation liée à l'agriculture, avec environ 70 % de la perte d'habitat attribuée à la

conversion des terres, représente un facteur majeur de dégradation environnementale (Scanes, 2018).

Les fluctuations climatiques, associées aux impacts anthropiques, peuvent parfois dépasser les capacités d'adaptation de la Pie, renforçant ainsi les risques de déclin (Mederbal et al., 2024). L'urbanisation perturbe également les interactions biotiques et les voies de dispersion nécessaires à la survie de l'espèce (Fusco et al., 2021), tandis que la perte et la fragmentation à grande échelle des macrohabitats, tels que les forêts et les terres agricoles, augmentent les risques de prédation, en particulier pour les oiseaux nichant au sol (Holopainen et al., 2024). Enfin, en Algérie, la constitution d'une métapopulation composée de sous-populations isolées rend la Pie du Maghreb particulièrement vulnérable face aux processus de fragmentation (Mederbal et al., 2024)



**Figure 24.** Fragmentation des patches d'habitat potentiel de haute qualité avec une suitability de plus de 80 %

### 5.3.2. Vulnérabilité liée au Microhabitat

La vulnérabilité du microhabitat est étroitement liée à la qualité du site ou le territoire. Les caractéristiques du microhabitat jouent un rôle déterminant dans la survie et la reproduction de la Pie du Maghreb.

La structure locale, notamment la couverture arbustive et la structure de la végétation, améliore la diversité du choix d'habitat par les adultes (Germain et al., 2018). Dans certaines régions, comme le Ladakh, une forte couverture arborée est corrélée à une réduction de la taille des territoires, suggérant une préférence pour des habitats offrant à la fois des ressources alimentaires et des sites de nidification optimaux (Khan et al., 2023).

La configuration locale des sites de nidification influe directement sur les taux de prédation. Ainsi, les caractéristiques des arbres, le type d'espèces, leur hauteur et la densité de leur canopée, permettent de réduire significativement les risques pour les nids, notamment lorsqu'ils sont situés à plus de 5 mètres du sol (Matysioková & Remeš, 2024). Cette protection s'exerce également via une couverture dense de la canopée qui peut retarder le parasitisme, rendant plus difficile la localisation des nids par certains parasites, tels que le coucou (Fiorini et al., 2012). Paradoxalement, les espèces nichant au sol restent particulièrement vulnérables en raison de la structure de la végétation et des stratégies de dissimulation qui influencent leur succès reproducteur (Laidlaw et al., 2020).

Les nids implantés dans des habitats fragmentés se trouvent confrontés à une vulnérabilité accrue. La proximité des lisières dans ces environnements favorise l'accès des prédateurs, notamment des mammifères opportunistes qui intensifient leurs interactions avec les nids (Fernandez et al., 2019; S. H. Peterson et al., 2022; Sedláček et al., 2014). Par ailleurs, la dégradation écologique des habitats fragmentés se traduit par une réduction des ressources alimentaires et une couverture végétale insuffisante, générant ainsi du stress chez les oiseaux nicheurs et diminuant leur succès reproductif malgré quelques adaptations comportementales (Pretelli et al., 2016). La distance des nids par rapport aux ressources vitales, telles que l'eau et la nourriture, joue également

un double rôle : si la proximité des sources améliore l'efficacité de recherche, elle expose en même temps les nids à un risque accru de prédation, notamment dans les zones agricoles.

Dans les environnements urbains et périurbain, bien que les espaces verts puissent offrir une meilleure disponibilité alimentaire, ils exposent la Pie à des prédateurs spécifiques, tels que les corneilles mantelées (Roos, 2004). De plus, lorsque les nids se trouvent dans des emplacements exposés, leur stabilité thermique est compromise, entraînant des fluctuations de température et d'humidité qui accroissent leur vulnérabilité face à la prédation, surtout dans le contexte du changement climatique (Sudyka et al., 2022). Le regroupement des nids, selon, par exemple, les types d'habitats dans les zones agro-pastorales ou les zones forestières, permet d'identifier des schémas distincts de vulnérabilité, tandis que certains effets de bordure montrent que les nids situés près des bords de petites parcelles peuvent présenter des taux de survie plus élevés que ceux implantés en réserves continues (Bandeira & Morante-Filho, 2024; Pretelli et al., 2023).

Enfin, l'influence conjointe de facteurs locaux, tels que la hauteur des arbres, et de facteurs à l'échelle du microhabitat, comme la distance par rapport au bord de la forêt, souligne la nécessité d'une approche multi-échelle dans l'évaluation de la vulnérabilité. Les transformations anthropiques du paysage, la fragmentation croissante des habitats et la raréfaction des supports de nidification représentent ainsi des menaces majeures pour la survie de l'espèce (Díaz-Ruiz et al., 2015; Hanane, 2018).

### **5.3.3. Vulnérabilité via les paramètres de la reproduction**

Les paramètres de la reproduction constituent des indicateurs sensibles de la qualité de l'habitat et de la viabilité de la Pie du Maghreb. En effet, la qualité de l'habitat influe directement sur le succès reproducteur, comme le démontrent la variabilité des taux d'envol observée chez diverses espèces (Airola & Estep, 2022; Colwell et al., 2018). La disponibilité des habitats dédiés à la reproduction conditionne les stratégies adoptées par l'espèce : la diversité des choix des habitats très favorables

par l'espèce favorise les pontes plus abondantes et précoces, tandis qu'une offre limitée des habitats engendre une compétition accrue et retarde la reproduction (Alerstam & Högstedt, 1982).

La dégradation du milieu, principalement liée à la perte et à la fragmentation de l'habitat, conséquences directes de l'urbanisation et des pratiques agricoles, réduit drastiquement la disponibilité des sites de nidification adaptés (Mederbal et al., 2024). Dans les zones agricoles rurales, les types d'habitats privilégiés durant la saison de reproduction, leur dégradation expose la Pie à une pression accrue de prédation, notamment par des prédateurs variés tels que les éperviers, les cobras ou encore par le parasitisme du coucou tacheté (Belkhiri et al., 2024; Mederbal et al., 2024; Nefla et al., 2021; Squalli et al., 2022). De surcroît, la localisation des sites de nidification dans des zones à risque ou à proximité de prédateurs compromet le succès de la reproduction (Boukhriss & Selmi, 2018).

Les conditions environnementales jouent également un rôle majeur. Les vagues de chaleur et autres extrêmes climatiques, particulièrement dans les milieux agricoles exposés, augmentent la mortalité des oisillons et réduisent leur taux de survie (Costa et al., 2023; Lauck et al., 2023). Par ailleurs, des perturbations telles que la dégradation du milieu, la pollution et les fluctuations dans la disponibilité des ressources essentielles influencent négativement les comportements de nidification, conduisant parfois à une suspension temporaire de la reproduction et à une baisse de la taille de la couvée, comme en témoignent certaines données tunisiennes (Nefla et al., 2021; Payo-Payo et al., 2015). Ces stress environnementaux, combinés aux risques de prédation, impactent directement la dynamique des populations sur le long terme (Guild et al., 2024; Öst et al., 2008; Vance et al., 2003).

Face à ces défis, la Pie adopte plusieurs stratégies adaptatives. Sa flexibilité dans le choix des sites de nidification lui permet de coloniser des environnements modifiés, bien que la perte et la fragmentation des habitats demeurent préoccupantes (François et al., 2008; Mederbal et al., 2024). En milieu urbain, par exemple, l'espèce ajuste son comportement en sélectionnant des sites plus élevés afin de limiter les perturbations humaines et de réduire les risques de prédation (Y. Lu et al., 2008; Šálek

et al., 2020). De plus, la qualité intrinsèque des habitats reste déterminante : des milieux riches en ressources alimentaires et dotés de microclimats optimaux favorisent des dates de ponte précoces et un bon succès de la reproduction (Germain et al., 2015). Néanmoins, une réduction de cette qualité augmente le risque de prédation et compromet le succès immédiat de la nidification (Airola & Estep, 2022).

Globalement, l'ensemble des paramètres de la reproduction, influencés par la qualité et la disponibilité des habitats, les conditions climatiques extrêmes, ainsi que la pression prédatrice et environnementale, offrent une vision intégrée de la vulnérabilité de l'espèce. Les impacts cumulatifs de la dégradation de l'habitat menacent non seulement le succès immédiat de la reproduction, mais également la stabilité des populations à long terme, soulignant l'urgence de préserver ces milieux essentiels pour la pérennité des populations d'oiseaux (Airola & Estep, 2022; Mederbal et al., 2024).

### 5.3.4. Vulnérabilité combinée et interactions entre les axes

La vulnérabilité globale de la Pie du Maghreb (*Pica mauritanica*) résulte d'une interaction complexe entre des pressions exercées à différentes échelles, impliquant les modifications du macrohabitat, les spécificités du microhabitat et les paramètres de la reproduction. Des approches intégrées, telles que l'utilisation de techniques de télédétection et d'analyses multicritères, permettent d'appréhender ces interactions en temps réel et d'optimiser la gestion environnementale (Saringatin & Hidayati, 2023). Par ailleurs, l'effet combiné du changement climatique, de la fragmentation des habitats et de l'expansion des activités humaines détériore globalement les conditions de vie de l'espèce, rendant certaines populations particulièrement vulnérables en fonction de leur capacité reproductrice (Vance et al., 2003).

À l'échelle macro, la fragmentation croissante de l'aire de répartition en Afrique du Nord (Opdam, 1991) et l'isolement géographique, notamment dans l'est de l'Algérie et en Tunisie (Nefla et al., 2021), réduisent considérablement les zones favorables et altèrent la connectivité entre les habitats. La réduction et la fragmentation

des forêts et des zones agro-pastorales limitent par ailleurs les sites de nidification et les ressources alimentaires essentiels, compromettant la survie et la reproduction de l'espèce (Torezan et al., 2020). Ces pressions à grande échelle sont amplifiées par des activités humaines telles que l'urbanisation et l'expansion agricole, qui détruisent l'habitat et fragmentent davantage les zones propices, poussant la Pie à éviter les milieux densément urbanisés et les forêts compactes (Fusco et al., 2021; MEDERBAL et al., 2024; Scanes, 2018).

Au niveau du microhabitat, la qualité dégradée des habitats fragmentés se traduit par une limitation des ressources alimentaires et une couverture végétale insuffisante, induisant un stress chez les oiseaux nicheurs et diminuant leur succès reproducteur (Pretelli et al., 2016). Les nids implantés dans ces zones subissent une exposition accrue aux risques de prédation et aux pressions environnementales, notamment en raison de la proximité des lisières (Fernandez et al., 2019; Sedláček et al., 2014). L'intensification agricole favorise également la perte de microhabitats essentiels – tels que les arbres à canopées denses ou les haies naturelles – et les transformations anthropiques du paysage, particulièrement en Algérie, exacerbent cette vulnérabilité (Brambilla, Gustin, et al., 2017; Díaz-Ruiz et al., 2015).

Ces perturbations environnementales cumulées affectent directement les paramètres reproductifs. La perte d'habitat et la fragmentation, induites par l'urbanisation et les pratiques agricoles, altèrent la qualité des sites de nidification et perturbent les interactions écologiques, entraînant une réduction de l'investissement reproducteur (Mederbal et al., 2024; Payo-Payo et al., 2015). Le succès reproducteur – évalué par la taille de la couvée, le taux d'éclosion et le taux d'envol – est étroitement lié à la qualité des macro et microhabitats, tandis que la prédation exercée par des espèces telles que les éperviers, les cobras ou le coucou tacheté représente un défi majeur (Nefla et al., 2021)

Enfin, les effets cumulatifs de la réduction des habitats, associés aux stress environnementaux tels que les inondations (Guild et al., 2024), menacent la stabilité des populations en augmentant les risques d'extinction (Airola & Estep, 2022). La

raréfaction des supports de nidification dans les environnements périurbains et ruraux, conjuguée à la pression humaine croissante due à l'urbanisation et à l'intensification agricole, illustre clairement que la vulnérabilité globale de cette espèce endémique est le fruit d'interactions complexes entre des pressions à grande échelle, locales et reproductives.

## 5.4. Autres formes de vulnérabilité ?

### 5.4.1. Absence de données

L'absence de données actualisées sur l'écologie de la Pie du Maghreb contribue-t-elle à une sous-estimation de sa vulnérabilité ?

L'absence de données récentes sur l'écologie de la Pie du Maghreb (*Pica mauritanica*) contribue probablement à une sous-estimation de sa vulnérabilité et, comme pour de nombreuses espèces, le recours à des bases de données obsolètes ou à des estimations à grande échelle peut masquer des réalités écologiques plus complexes (Abeli et al., 2022). Cette lacune est particulièrement préoccupante pour une espèce endémique confrontée à la perte et à la fragmentation de son habitat, accentuées par l'urbanisation et l'intensification agricole (Mederbal et al., 2024).

La rareté des études écologiques à grande échelle sur la Pie du Maghreb limite la compréhension fine de ses préférences d'habitat et de ses besoins écologiques (D. C. Thomas et al., 2024). En l'absence de données locales précises, il devient difficile d'évaluer correctement le statut de conservation de l'espèce, ce qui peut conduire à des efforts de protection mal orientés ou insuffisants. Par exemple, des recherches sur les oiseaux du Nouveau Monde ont montré que les données locales permettaient une évaluation plus précise de la vulnérabilité que les modèles globaux (M. Lu & Jetz, 2023).

Certaines approches, comme l'analyse des traits fonctionnels, pourraient aider à combler ces lacunes en identifiant des caractéristiques biologiques qui rendent l'espèce plus sensible aux perturbations. Par ailleurs, les avancées en modélisation et

en télédétection offrent des outils prometteurs pour affiner les évaluations, mais ces techniques restent limitées sans mises à jour régulières des données de terrain.

Ainsi, sans un effort accru pour collecter et actualiser les données écologiques sur la Pie du Maghreb, il est probable que sa vulnérabilité réelle demeure sous estimée, compromettant la mise en œuvre de stratégies de conservation adaptées à ses besoins spécifiques.

#### **5.4.2. Exode rurale et agricole**

En quoi l'exode rural et l'abandon des activités agricoles en Algérie remettent-ils en question l'agrobiodiversité, notamment celle de la Pie du Maghreb ?

À l'aide du réseau des ornithologues algériens et des services forestiers, il a été possible de prospecter plusieurs sites de la région d'El Ramka, Relizane. L'un de ces sites, jugé comme potentiellement un site de nidification pour la Pie, se caractérise par une végétation dominée par le chêne vert et le pin d'Alep, avec de multiples fermes abandonnées dispersées dans le massif, en lisière de la forêt, ainsi que des espaces labourables.

La seule piste était celle des propriétaires des fermes abandonnées, présents sur les sites pour des activités agro-pastorales, qui ont plus au moins confirmé la présence de la Pie avant qu'ils ne quittent leurs fermes dans les années 90. Selon plusieurs agropasteurs de la région, la Pie aurait depuis disparu.



**Figure 25.** Spatiocarte du site d'El Ramka



**Figure 26.** Fermes et terres agricoles en lisière avec la forêt de pins et chênes

Afin de pousser cette hypothèse, l'article de (Haïchour & Christopher, 2012) offre une analyse approfondie des transformations de la campagne algérienne, révélant la perte des fonctions culturelles et du cadre de vie à la suite de la colonisation, de l'indépendance et de politiques agricoles souvent inefficaces. Ces bouleversements, traduits par un exode rural et agricole persistant, ont profondément réorganisé le paysage rural algérien. Dans ce contexte, une hypothèse intéressante se dessine : l'exode rural pourrait indirectement accroître la vulnérabilité de la Pie du Maghreb,

une espèce historiquement liée aux activités humaines en milieu rural (Mederbal et al., 2024).

### **Contexte de l'exode rural en Algérie**

Depuis la période coloniale, les bouleversements relatifs à la propriété foncière incluant la spoliation des terres indigènes et la centralisation étatique post indépendance ont généré une frustration persistante parmi les populations rurales. Les politiques agricoles mises en œuvre, notamment lors des périodes 1962–1986, 1987–2004 et 2004–2011, n'ont pas su contrer le dépeuplement progressif des campagnes, entraînant à la fois une modification des pratiques agricoles traditionnelles et une gestion moins coordonnée des espaces ruraux.

### **La Pie du Maghreb : une espèce liée à l'activité rurale**

Au début du XXe siècle, la Pie du Maghreb était largement répandue en Afrique du Nord, avec de nombreuses populations recensées en Algérie, en Tunisie et au Maroc. Les pratiques agricoles traditionnelles contribuaient à la création et à l'entretien de micro (habitats favorables, établissant ainsi une relation étroite entre cette espèce et l'environnement rural façonné par l'activité humaine. Cependant, des observations ultérieures indiquent que la distribution de la Pie s'est considérablement fragmentée et réduite.

### **Impact potentiel de l'exode rural sur la Pie du Maghreb**

La vulnérabilité accrue de la Pie du Maghreb face à l'exode rural repose sur plusieurs mécanismes potentiels. Premièrement, l'abandon progressif des pratiques agricoles traditionnelles modifie le paysage, entraînant la disparition de niches écologiques essentielles à son installation. Deuxièmement, la diminution de la population rurale conduit à une gestion moins coordonnée des espaces naturels, augmentant ainsi le risque de fragmentation des habitats et limitant les échanges génétiques entre populations, ce qui accroît le risque d'extinctions locales. Troisièmement, la perte des interactions écologiques bénéfiques (telles que la création d'abris, de points d'eau ou l'accès à des ressources alimentaires subsidiaires) pourrait supprimer des conditions environnementales cruciales pour la survie de l'espèce. En

somme, la référence à (Mederbal et al., 2024) renforce l'hypothèse selon laquelle le déclin des activités humaines rurales, à travers l'exode, pourrait accentuer la vulnérabilité de la Pie du Maghreb, soulignant ainsi la nécessité de recherches interdisciplinaires pour explorer ces interactions et proposer des stratégies de conservation intégrées.

### 5.4.3. Habitat urbain peu végétalisé

Les villes vertes favorisent-elles l'abondance des Pies ?

Les villes dotées d'espaces verts bien gérés offrent des habitats diversifiés et structurés qui favorisent l'occupation et la richesse des populations aviaires. Des études récentes montrent que la complexité de la structure de la végétation, incluant la richesse en arbres et arbustes, améliore significativement son niveau d'occupation par les oiseaux (Oropeza-Sánchez et al., 2025; Yu et al., 2024).

De plus, la connectivité spatiale entre ces espaces verts facilite la dispersion et l'accès aux ressources, renforçant ainsi la diversité aviaire (Oropeza-Sánchez et al., 2025; Yu et al., 2024). Par ailleurs, une planification urbaine intégrant de larges zones hétérogènes permet d'accueillir aussi bien des espèces synanthropes que des espèces plus sensibles, participant aux efforts de conservation régionale (Chiron et al., 2024; Ventura et al., 2024).

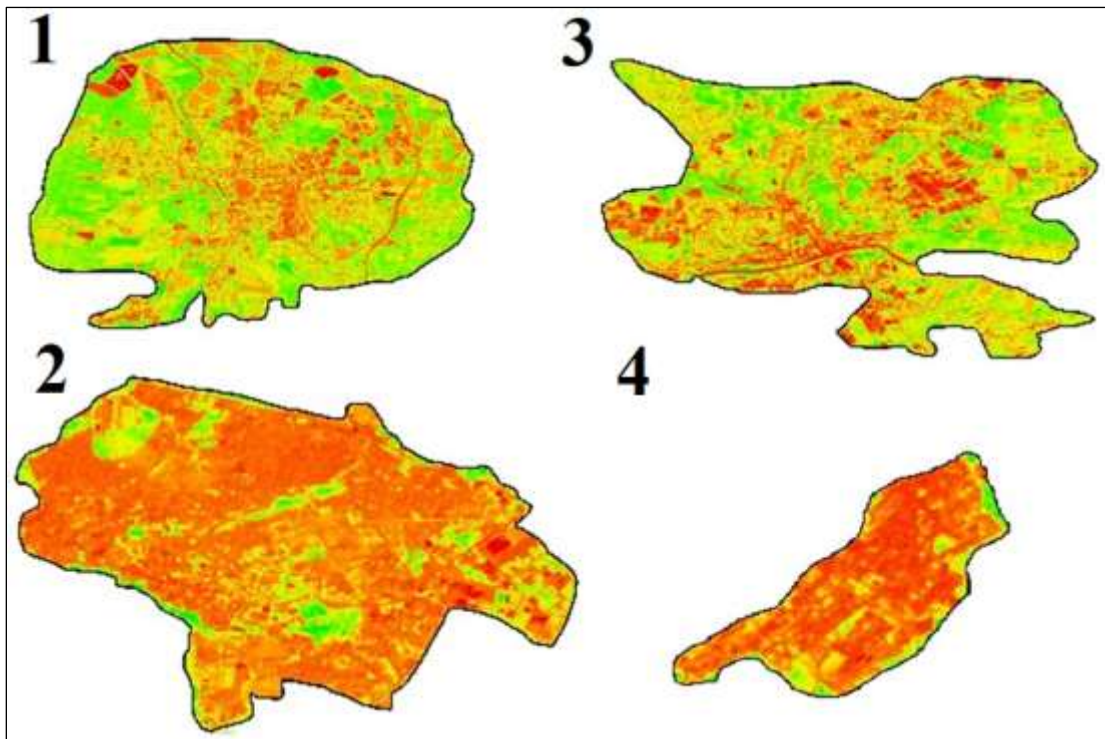
Dans ce contexte, il est légitime de se demander si la Pie bavarde, en tant qu'espèce généraliste, serait plus abondante dans les villes européennes, alors que la Pie du Maghreb occuperait principalement les villes algériennes, ces dernières offrant moins de diversité d'habitats en raison d'un verdissement moindre.

Ces constatations ont été vérifiées à l'aide de l'indice de végétation NDVI, qui a confirmé la prédominance d'espaces verts dans les zones urbaines européennes.

À l'exemple d'études menées par (Jokimäki et al., 2017; Šálek et al., 2020), il a été démontré que les nids de la Pie bavarde se trouvent dans les espaces verts des zones urbaines, ce qui s'explique par la disponibilité d'arbres aptes à supporter les nids et par une offre alimentaire adéquate pendant la période de nidification. Contrairement

aux villes algériennes proches des sites de nidification observés, le taux d'espaces verts y est très faible par rapport aux villes européennes.

Une analyse spatiale du NDVI illustre visuellement la différence entre les zones vertes de la ville de Gorzów Wlkp en Pologne, celles de České Budějovice en Tchéquie, ainsi que les exemples des villes de Freneda et d'El Dhaya en Algérie.



**Figure 27.** Indice de végétation normalisé (NDVI) d'une image Sentinel (résolution 10 m) pour le printemps 2023 : (1) České Budějovice, (2) Freneda, (3) Gorzów Wlkp, (4) El Dhaya

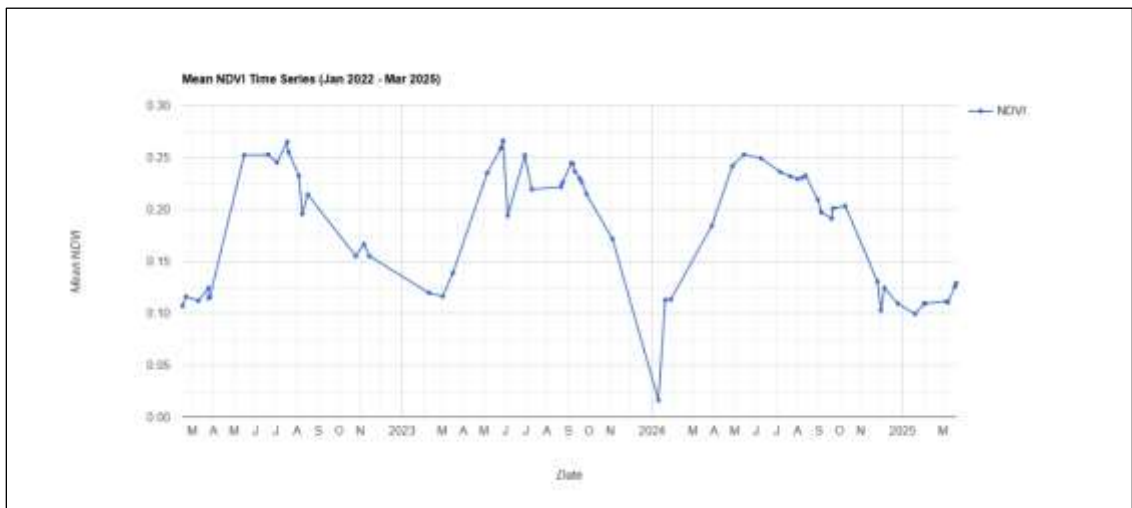
Pour approfondir cette approche d'évaluation quantitative de la végétation, nous avons développé une méthodologie plus fine permettant de comparer les villes sur une période plus longue et à l'aide de graphes calibrés. Celle-ci repose sur l'utilisation de Google Earth Engine pour générer une série chronologique de l'indice NDVI moyen dans les villes étudiées.

Le processus débute par la définition géographique de la région à l'aide d'une géométrie polygonale, ce qui permet de se focaliser sur un secteur spécifique. Ensuite,

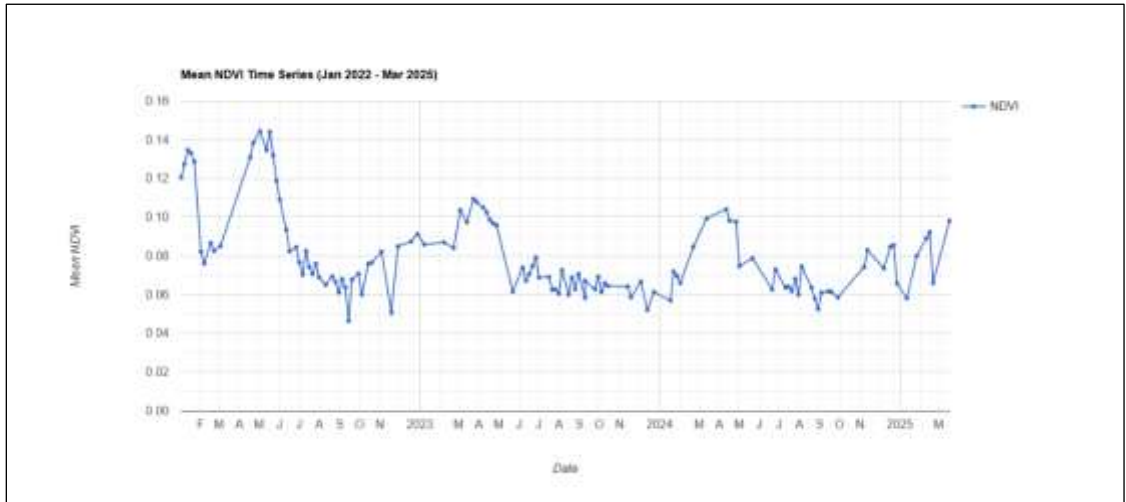
on sélectionne une période allant de janvier 2022 à mars 2025 afin d'analyser l'évolution de la végétation durant cette période.

La méthode exploite les images Sentinel-2, réputées pour leur haute résolution spatiale, en appliquant un filtre permettant d'éliminer les images présentant plus de 10 % de couverture nuageuse. Chaque image est ensuite traitée pour calculer le NDVI, un indice qui quantifie la densité et la vigueur de la végétation.

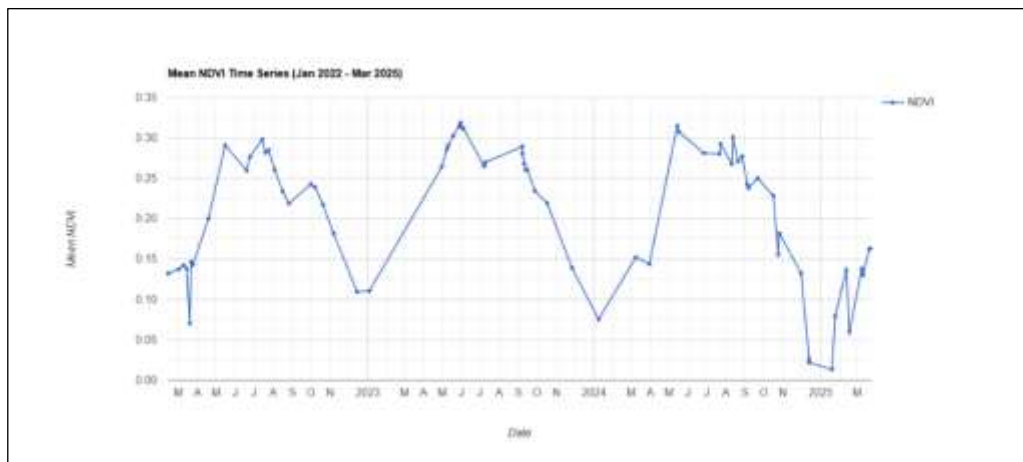
En résultat, une courbe temporelle est générée en calculant la moyenne des valeurs NDVI sur l'ensemble de la région pour chaque image. Cette approche permet d'observer et de confirmer les variations saisonnières et interannuelles de la végétation entre ces villes.



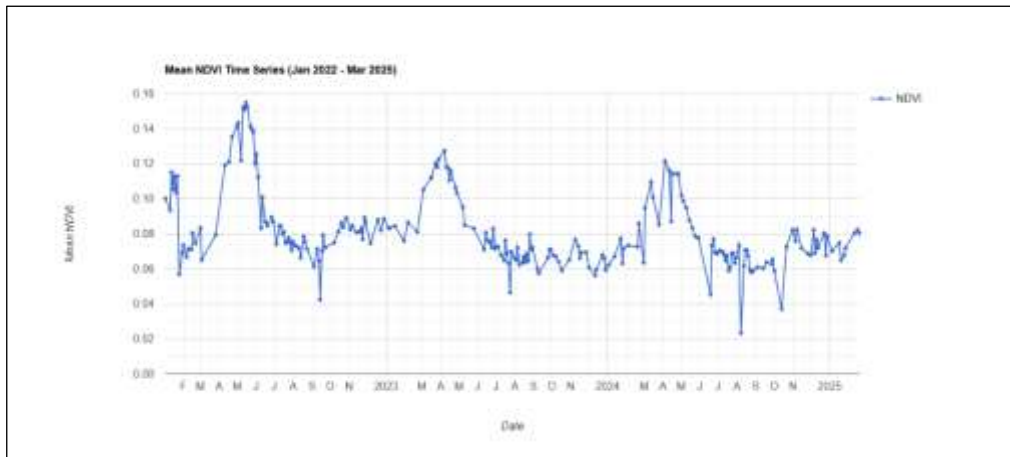
**Figure 28.** Courbe temporelle de la moyenne des valeurs du NDVI pour la ville de České Budějovice



**Figure 29.** Courbe temporelle de la moyenne des valeurs du NDVI pour la ville de Frenda



**Figure 30.** Courbe temporelle de la moyenne des valeurs du NDVI pour la ville de Gorzów Wlkp



**Figure 31.** Courbe temporelle de la moyenne des valeurs du NDVI pour la ville d'El Dhaya

Par ailleurs, la Pie du Maghreb, disposant de moins d'options d'habitats, notamment en milieu urbain, se révèle particulièrement vulnérable face aux pressions environnementales et à la fragmentation des espaces, ce qui limite sa capacité d'adaptation. Néanmoins, pour approfondir cette approche, il faut envisager une évaluation qualitative de la végétation des espaces verts en prenant en considération l'éthologie de l'espèce maghrébine.

#### 5.4.4. Parasitisme

Comment les différents types de parasitisme affectant la reproduction, (ectoparasitaire et endoparasitaire) affectent-ils la survie et le succès reproduction des Pies, et en quoi les facteurs liés à l'habitat (comme l'isolement ou la fragmentation) amplifient-ils leur vulnérabilité ?

En effet, qu'il s'agisse de parasitisme d'ectoparasitisme ou d'endoparasitisme, chacun de ces mécanismes agit sur divers aspects de la physiologie et du comportement des Pies, menant à une diminution de leur succès de la reproduction et à un affaiblissement général des individus.

Le parasitisme de la reproduction, illustré par l'intervention de parasites de couvée comme le grand coucou geai, oblige les Pies à investir des ressources dans l'élevage d'œufs ou de poussins qui ne leur appartiennent pas. Les ressources disponibles, utilisées par des espèces parasites, entraîne une baisse du succès

reproduction, car moins de jeunes propres sont élevés avec succès (M. Soler et al., 1995), De plus, les jeunes femelles, moins aptes à détecter et rejeter les œufs parasites, aggravent ce problème, créant une vulnérabilité accrue dans les populations jeunes (Martínez et al., 2020).

L'ectoparasitisme, fréquent notamment chez les jeunes Pies, a un impact significatif sur la condition corporelle des oiseaux. La présence d'ectoparasites détériore la condition nutritionnelle et affaiblit la réponse immunitaire, ce qui rend les Pies plus susceptibles aux infections et aux agressions extérieures (Blanco et al., 2001). Cette dégradation de l'état de santé général peut, à long terme, réduire la capacité des populations à faire face aux autres stress environnementaux.

Concernant l'endoparasitisme, les parasites internes, tels que les acanthocephales, les ténias ou les hémoparasites, provoquent des dommages directs aux tissus et organes. Par exemple, *Sphaerirostris picae* endommage le tissu intestinal des Pies, entraînant des problèmes de malnutrition et une baisse des réserves énergétiques (Amin et al., 2010). De plus, les endoparasites peuvent affecter négativement le succès de la reproduction, comme démontré chez d'autres espèces aviaires, et entraîner ainsi une baisse des performances corporelles (Hicks et al., 2019; Holand et al., 2015; Martín-Maldonado et al., 2023). Les effets sublétaux, bien que moins immédiats, compromettent la condition physique des oiseaux et leur capacité à résister aux pressions environnementales.

Au sujet de l'interaction entre les facteurs d'habitat, l'impact des différents types de parasitisme sur les populations de Pies est d'autant plus préoccupant lorsqu'il est combiné à des facteurs liés à l'habitat. L'isolement de certaines populations, la perte ou la fragmentation de leur habitat, et l'absence de refuges adéquats augmentent le risque que les pressions parasitaires mènent à des déclinés sévères. Dans ces contextes, la capacité des populations à compenser la perte d'individus par une reproduction efficace est fortement compromise. De plus, des boucles de rétroaction peuvent s'établir, où une mauvaise condition corporelle due à une infection parasitaire favorise une vulnérabilité accrue à de nouvelles infections (Hasegawa et al., 2025). Les effets de la

parasitose s'ajoutent ainsi à ceux d'une dégradation de l'habitat, conduisant potentiellement à des déclin locaux voire à l'extinction de populations lorsque les refuges naturels font défaut.

Pour ce qui est des considérations évolutives, il est également important de noter que des réponses évolutives peuvent se développer chez les Pies pour contrer ces pressions parasitaires. Par exemple, des adaptations telles que l'augmentation des taux de rejet d'œufs parasites chez les femelles plus expérimentées pourraient contribuer à réduire l'impact du parasitisme de la reproduction (Martínez et al., 2020). Toutefois, la complexité des interactions entre les défenses immunitaires, les impacts sur la reproduction et les pressions environnementales rend ces adaptations souvent insuffisantes lorsque les facteurs d'habitat négatifs se combinent avec une action parasitaire virulente.

#### **5.4.5. Isolement géographique et génétique**

**Comment l'isolement géographique contribue-t-il à accroître la vulnérabilité génétique des populations de Pies en Algérie ?**

L'isolement géographique entraîne une fragmentation des populations de *Pica mauritanica*, réduisant ainsi le flux génétique essentiel pour maintenir une diversité génétique robuste. Cette situation, documentée par (Mederbal et al., 2024) en Algérie et (Nefla et al., 2021) en Tunisie, conduit à l'émergence de lignées génétiques distinctes et restreint la capacité des populations à s'adapter face aux changements environnementaux. La limitation des échanges génétiques favorise l'accumulation de mutations délétères et accroît la sensibilité des populations aux changements climatiques et autres perturbations écologiques, compromettant leur résilience et augmentant le risque d'extinction.

Des études complémentaires montrent que la fragmentation induite par des barrières naturelles (telles que les montagnes et les déserts) est souvent associée à une réduction de la diversité génétique dans de nombreux organismes. Par exemple, (Wang et al., 2022) ont démontré chez le Phasian commun que l'isolement par des barrières

topographiques peut aboutir à la formation de clusters génétiques distincts, tandis que les travaux de (Klingler et al., 2021) sur le Pika américain illustrent comment une capacité réduite de dispersion peut limiter la variabilité génétique d'une population. Ces exemples mettent en lumière le risque commun associé à la fragmentation, indépendamment du groupe taxonomique considéré.

En outre, l'effet de dérive génétique tend à être amplifié dans des populations isolées et de petite taille. La dérive génétique peut alors conduire à une fixation rapide d'allèles potentiellement délétères, diminuant encore davantage la diversité génétique et la capacité d'adaptation. Des recherches sur des espèces végétales, telles que celles menées par (Tóth et al., 2019) sur *Pinus cembra*, soulignent que les populations en périphérie, confrontées à un isolement accru, présentent souvent une différenciation génétique marquée. Ces phénomènes observés dans divers taxons suggèrent que des processus similaires sont susceptibles de se produire chez *Pica mauritanica*,

### **5.5. La Pie du Maghreb en Algérie : Une espèce à la croisée des menaces**

La vulnérabilité de la Pie du Maghreb (*Pica mauritanica*) en Algérie résulte d'interactions complexes entre plusieurs types de pression à différents niveaux de perception.

D'une part, à l'échelle macro, la fragmentation de son aire de répartition liée à l'urbanisation, à l'expansion agricole et à la dégradation des forêts et zones agropastorales (Nefla et al., 2021; Opdam, 1991; Torezan et al., 2020) réduit la connectivité des habitats et limite l'accès à des sites de nidification essentiels (Mederbal et al., 2024). L'absence de données actualisées sur son écologie contribue également à une sous-estimation de sa vulnérabilité, entravant la mise en œuvre de mesures de conservation adaptées (Abeli et al., 2022; D. C. Thomas et al., 2024).

D'autre part; à l'échelle du microhabitat, la dégradation de la qualité environnementale, avec la perte de couvert végétal, l'appauvrissement des ressources alimentaires et l'exposition accrue aux risques de prédation, affecte directement le

succès de la reproduction chez l'espèce (Fernandez et al., 2019; Pretelli et al., 2016; Sedláček et al., 2014). Ces facteurs perturbent les interactions écologiques nécessaires pour assurer le bon déroulement de la reproduction, comme en témoignent les réductions constatées dans la taille des couvées et les taux d'éclosion (Payo-Payo et al., 2015).

Par ailleurs, les transformations socio-économiques, telles que l'exode rural et l'abandon des pratiques agricoles traditionnelles (Haïchour & Christopher, 2012), modifient profondément le paysage rural. Cette mutation entraîne la disparition progressive de niches écologiques et la fragmentation des habitats, amplifient la vulnérabilité de la Pie du Maghreb, historiquement liée à un environnement rural façonné par l'activité humaine (Mederbal et al., 2024).

Enfin, les pressions parasitaires, qu'elles soient ectoparasitaires ou endoparasitaires, viennent s'ajouter à ces menaces en affaiblissant la condition physique des individus et en réduisant leur succès de reproduction (Amin et al., 2010; Blanco et al., 2001; Martínez et al., 2020; J. J. Soler et al., 1995).

Globalement, la Pie du Maghreb en Algérie se trouve confrontée à une vulnérabilité cumulée, où la dégradation et la fragmentation des habitats, le manque de données actualisées, les transformations du paysage rural et les pressions parasitaires interagissent pour compromettre sa survie et sa résilience.

## **5.6. Stratégies de conservation**

### **5.6.1. Approches intégrées pour la conservation de la Pie du Maghreb**

Face aux vulnérabilités multiples qui affectent la Pie du Maghreb, l'élaboration de stratégies de conservation ciblées et intégrées est indispensable pour assurer la pérennité de l'espèce.

Ces stratégies doivent englober l'ensemble des facteurs responsables de la vulnérabilité à différents niveaux spatiaux, tant au niveau du macrohabitat qu'au

niveau du microhabitat, en passant par les paramètres de reproduction, afin de répondre aux menaces qui pèsent sur *Pica mauritanica*.

Dans les paysages agricoles, des mesures spécifiques telles que le contrôle des prédateurs et l'aménagement de sites de nidification adaptés ont montré leur efficacité pour améliorer le succès de la reproduction (Kiss et al., 2024). Parallèlement, il est crucial d'identifier et de protéger les zones présentant une forte aptitude écologique, notamment dans les régions où les changements rapides d'utilisation des terres menacent les habitats (Tellería et al., 2014). Certaines zones modifiées par l'homme, comme les vergers et les paysages agro-pastoraux, peuvent constituer de véritables poches d'habitat favorables. L'intégration de pratiques durables d'utilisation des terres et la préservation des espaces verts, y compris les jardins familiaux, renforcent la résilience écologique tout en fournissant des services écosystémiques essentiels (Mallick et al., 2024; Segoli et al., 2008; Tellería et al., 2014).

À l'échelle plus large, la protection des habitats existants et le maintien de corridors écologiques sont indispensables pour éviter l'isolement des populations et préserver la connectivité entre les sites, facilitant ainsi la dispersion et le mouvement entre les zones favorables (Cameron et al., 2022; Opdam, 1991). La lutte contre l'urbanisation et la fragmentation des habitats par une gestion adaptative, basée sur l'identification des menaces locales et la mise en place de solutions spécifiques, demeure une priorité pour maintenir l'intégrité écologique (Mederbal et al., 2024). De surcroît, la préservation des sites de nidification passe non seulement par la création de réserves naturelles, mais également par la protection des arbres à canopées denses et des zones proches des ressources en eau, telles que les oueds, qui offrent des conditions optimales pour la reproduction (Mederbal et al., 2024).

La restauration des habitats constitue un autre levier stratégique. Dans les environnements ruraux et périurbains, l'adoption de techniques agroécologiques, telles que l'agroforesterie, permet de réhabiliter les zones dégradées et de lutter contre la perte des microhabitats essentiels, souvent menacés par l'intensification agricole (Brambilla et al., 2007; Mederbal et al., 2024). Par ailleurs, l'amélioration de la

connectivité entre les espaces naturels et la restauration des habitats fragmentés atténuent les effets négatifs de la fragmentation (Aouissi et al., 2021; Mortelliti et al., 2010).

L'implication active des communautés locales s'avère déterminante pour la réussite de ces stratégies. La participation des acteurs locaux, via des initiatives participatives et des programmes d'éducation et de sensibilisation, contribue non seulement à la restauration des habitats, mais répond également à des enjeux économiques et sociaux locaux. Des initiatives exemplaires, comme celles menées à El Kala (Imene et al., 2019), illustrent comment une gestion collaborative et écoresponsable peut réduire la pression sur les habitats naturels. Une surveillance à long terme des interactions entre urbanisation, agriculture et climat est également indispensable pour ajuster continuellement ces stratégies et garantir la pérennité des populations de la Pie du Maghreb (Mederbal et al., 2024).

Pour préserver la Pie du Maghreb durant la saison de reproduction, il est indispensable de combiner plusieurs stratégies complémentaires. D'une part, la gestion de l'habitat s'avère primordiale. Protéger et adapter les milieux naturels en privilégiant, par exemple, les zones agricoles rurales, habitat de prédilection pour cette espèce (Mederbal et al., 2024), permet d'offrir un environnement propice à l'installation des couples. Des initiatives telles que l'établissement de zones protégées et la mise en œuvre de stratégies de zonage, comme celles proposées dans des études récentes sur la biodiversité (C. D. Thomas et al., 2004) renforcent la préservation des habitats essentiels.

D'autre part, la surveillance du succès de la reproduction joue un rôle essentiel ; un suivi régulier des nids à travers l'analyse de la taille des couvées et le succès de l'envol (Nefla et al., 2021), ainsi que l'étude des périodes de reproduction, offrent la possibilité de cerner les performances enregistrées en début de saison (De Neve, J. Soler, et al., 2004) et, par conséquent, identifier et remédier rapidement aux facteurs limitants. Par ailleurs, la lutte contre les prédateurs et la mise en place de dispositifs d'alimentation complémentaire, comme cela a été démontré dans d'autres contextes

(Komdeur, 1996), permettent d'améliorer significativement les taux de reproduction là où les ressources naturelles sont limitées.

### 5.6.2. Le site Moutas : un modèle de conservation en Algérie

Le site Moutas se distingue comme un habitat de nidification exceptionnel, idéal pour *Pica mauritanica*. Implanté au cœur d'une réserve de chasse clôturée, ce site bénéficie d'une quasi-absence de pression anthropique, garantissant ainsi une protection naturelle optimale de l'habitat. Cette configuration permet de conserver un environnement préservé, essentiel pour la survie et la reproduction de l'espèce.

La méthodologie adoptée sur ce site repose sur une approche intégrée combinant des relevés de terrain et l'utilisation d'outils de télédétection. Grâce à cette double stratégie, il a été possible de caractériser précisément l'habitat et de réaliser une cartographie thématique détaillée, intégrant l'ensemble des facteurs environnementaux qui influencent le microhabitat de *Pica mauritanica*. L'utilisation du Système d'Information Géographique (SIG) offre une vision globale et fine de l'écosystème, transformant ainsi le site Moutas en une référence concrète pour la conservation *in-situ* de l'espèce.

Répliquer ce modèle dans d'autres sites de nidification en Algérie pourrait s'avérer très utile pour la conservation de certaines populations vulnérables. La cartographie élaborée pour le microhabitat de *Pica mauritanica* constitue un outil stratégique permettant d'identifier des zones présentant des caractéristiques écologiques similaires. Cette démarche facilitera également l'introduction contrôlée de l'espèce dans d'autres sites potentiels en Algérie.

L'exemple du site Moutas démontre comment une approche intégrée et méthodique peut être à la fois un levier puissant pour la conservation d'espèces protégées et un modèle reproductible pour étendre ces efforts sur l'ensemble du territoire algérien. En associant protection naturelle, technologies avancées et planification stratégique, ce modèle offre une perspective encourageante pour garantir un avenir durable à la Pie du Maghreb et à la biodiversité régionale.

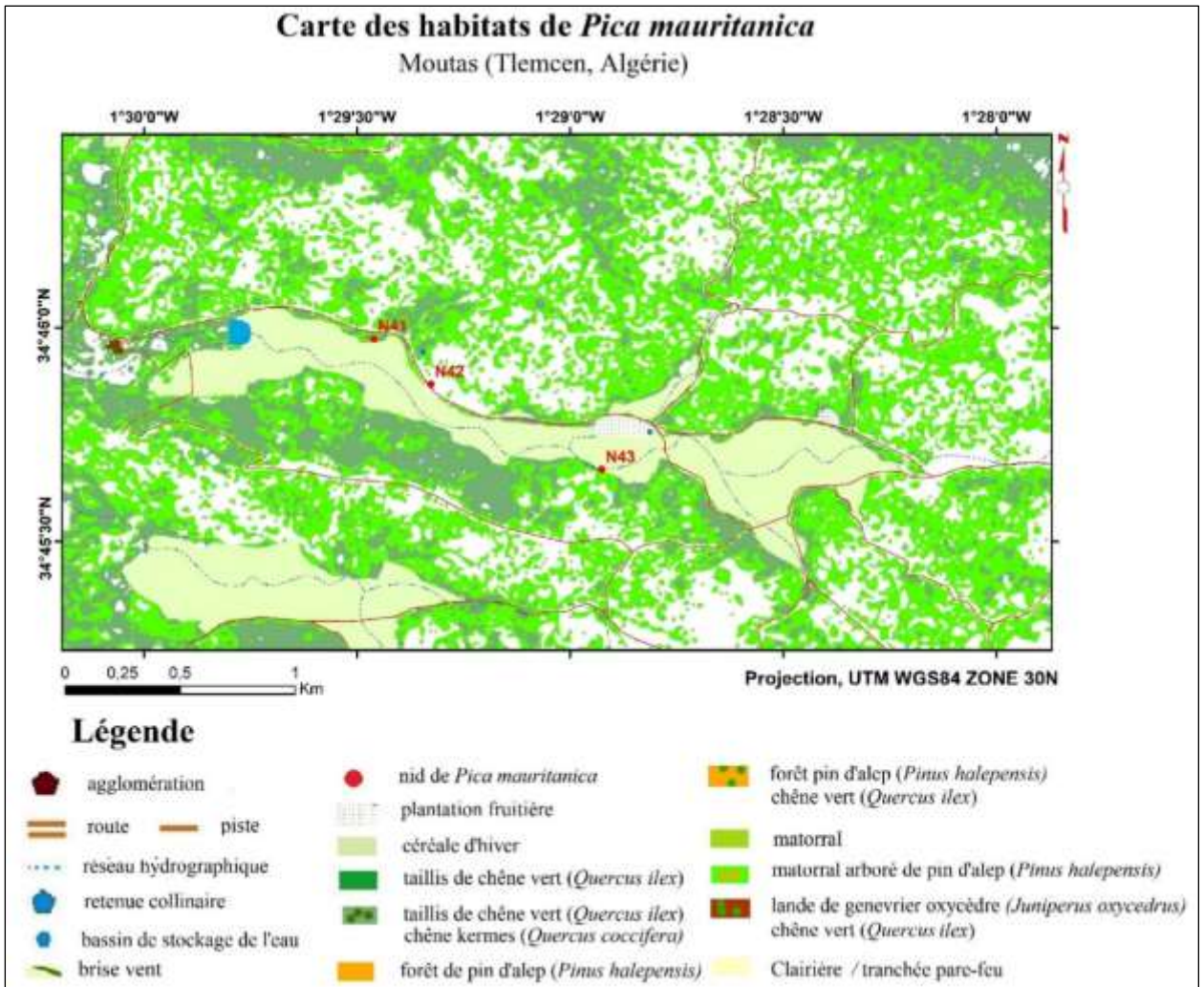


Figure 32. Carte des habitats du site Moutas, Tlemcen

**Tableau 19.** Récapitulatif de la vulnérabilité de la Pie du Maghreb sous les axes étudiés

Niveaux de vulnérabilité	Facteurs clés
<b>Macrohabitat</b>	- Modification des ressources alimentaires (abandon partiel, diversification des proies)
	- Fragmentation due à l'urbanisation, l'expansion agricole et la dégradation forestière
	- Usage intensif de pesticides
	- Perte d'habitats et connectivité réduite
	- Isolement géographique et formation de métapopulations
<b>Microhabitat</b>	- Structure végétale et couverture arborée (incluant la hauteur des arbres et la densité de la canopée)
	- Effets de bordure et modification de l'occupation du sol
	- Qualité locale des sites de nidification
	- Risques liés à l'exposition des nids aux prédateurs
<b>Paramètres de la reproduction</b>	- Qualité et disponibilité des habitats dédiés à la reproduction
	- Impact sur les taux d'envol, la taille des pontes et le timing de la ponte
	- Risques liés au positionnement des nids (proximité des prédateurs, sites à risque)
	- Influence des conditions climatiques extrêmes (vagues de chaleur, inondations)
<b>Vulnérabilité combinée</b>	- Interactions entre les modifications du macrohabitat, les spécificités du microhabitat et les paramètres reproductifs
	- Effet cumulatif du changement climatique et de la fragmentation
	- Perte de connectivité et stress écologique global

## 5.7. Conclusion

En synthèse, la vulnérabilité de la Pie du Maghreb découle d'un ensemble de facteurs interconnectés agissant à différentes échelles. D'une part, les transformations du macrohabitat, induites par l'urbanisation, l'expansion agricole, la dégradation forestière et l'usage intensif de pesticides, compromettent la disponibilité et la qualité des habitats naturels, notamment dans le nord de l'Algérie, le Maroc et la Tunisie

(Blissag et al., 2024; Bouguerra et al., 2020; Smail et al., 2024; Tayeb & Kheloufi, 2014). Ces pressions entraînent la perte d'habitats, la fragmentation et une connectivité réduite, éléments essentiels pour la survie des populations aviaires (Jackson & Fahrig, 2016; Opdam, 1991).

D'autre part, les spécificités du microhabitat, telles que la structure de la végétation, les effets de bordure et les modifications dans l'occupation du sol, viennent accentuer cette fragilité en influençant directement l'occupation des territoires et la sécurité des sites de nidification (Brambilla, Caprio, et al., 2017; Holopainen et al., 2024; Kaasiku et al., 2022). Par ailleurs, les perturbations environnementales, qu'elles se traduisent par des fluctuations dans la disponibilité des ressources ou par l'intensification et l'abandon des pratiques agricoles, affectent négativement les paramètres essentiels de la reproduction, tels le succès de la nidification et les taux d'éclosion, et modifient la dynamique écologique globale (Payo-Payo et al., 2015; Pretelli et al., 2023).

L'interaction des différents facteurs écologiques, renforcée par le changement climatique et la fragmentation des habitats, souligne l'urgence d'adopter une approche holistique et intégrée pour la conservation de l'espèce. Seule une stratégie globale, combinant la protection des grands ensembles naturels, l'optimisation des conditions microhabitataires et l'amélioration des paramètres de la reproduction, pourra répondre efficacement aux pressions anthropiques croissantes. Les stratégies de conservation devront ainsi intégrer la préservation des corridors écologiques, la restauration des habitats dégradés et l'implication active des communautés locales, un levier essentiel pour promouvoir des pratiques respectueuses de l'environnement et soutenir la pérennité des populations de *Pica mauritanica* (Imene et al., 2019; MEDERBAL et al., 2024).

En définitive, la vulnérabilité globale de *Pica mauritanica* résulte d'interactions complexes entre des pressions environnementales à grande échelle et des facteurs locaux. Les perspectives futures en matière de gestion et de recherche devront s'orienter vers des stratégies de conservation intégrée, capables de répondre

aux défis posés par l'urbanisation, l'intensification agricole et les changements climatiques, tout en assurant la connectivité et la qualité des habitats indispensables à la survie et à la reproduction de cette espèce endémique.

## **Discussion générale**

## Discussion générale

Dans un contexte où les milieux naturels du Maghreb se détériorent rapidement, conséquence directe d'une urbanisation effrénée, d'une expansion des activités agro-pastorales et des effets du changement climatique, la présente thèse s'inscrit dans une démarche globale visant à analyser la dynamique écologique de *Pica mauritanica* dans un contexte de fragmentation des habitats en Algérie et dans l'ensemble du Maghreb. Cette étude apparaît essentielle pour repenser la gestion des espèces endémiques face aux pressions environnementales actuelles.

Cette investigation porte sur *Pica mauritanica*, une espèce nettement moins étudiée que son homologue européen, *Pica pica*. Le but principal était d'analyser, de manière intégrée et à divers niveaux, sa répartition, ses choix de nidification, son écologie de reproduction ainsi que sa sensibilité aux menaces dans des milieux fragmentés.

L'approche adoptée repose sur l'intégration de plusieurs facteurs écologiques à différents niveaux de perception complémentaires : la distribution et le macrohabitat, le microhabitat, les paramètres de la reproduction et l'évaluation de la vulnérabilité. En adoptant une démarche comparative et en recourant à des outils modernes tels que les systèmes d'information géographique (SIG) et la modélisation statistique, l'étude cherche à déterminer les préférences écologiques de *Pica mauritanica* en Algérie et à identifier les facteurs fragilisant ses populations. Cette stratégie multi-échelle, fondée sur une riche base de données SIG et un suivi reproductif sur le terrain, permet de mieux comprendre les interactions entre la répartition de l'espèce, les caractéristiques de son habitat et les processus de sa reproduction. Par ailleurs, l'approche pluridisciplinaire, intégrant des analyses descriptives sur le terrain, des analyses spatiales ainsi que des modèles prédictifs et analytiques, fournit des données essentielles pour élaborer des stratégies de conservation adaptées face aux pressions anthropiques.

La recherche a débuté en comparant les similitudes et les différences entre la Pie du Maghreb et la Pie bavarde, cette dernière ayant fait l'objet d'une étude

approfondie dans le chapitre 1. Cette section de la thèse synthétise les informations sur ces deux espèces, sur la morphologie de l'espèce, l'habitat et la reproduction, démontrant clairement que la Pie du Maghreb est nettement moins étudiée que la Pie bavarde.

La comparaison détaillée entre *Pica mauritanica* et *Pica pica* révèle des différences fondamentales tant sur le plan biologique des deux espèces qu'écologique. Alors que le dimorphisme sexuel est clairement établi chez *Pica pica* (Kavanagh, 1988; Lee et al., 2007; Reese & Kadlec, 1982), l'espèce maghrébine se distingue par des adaptations spécifiques aux conditions locales. En effet, des mesures sur le terrain indiquent que *Pica mauritanica* présente des ailes légèrement plus courtes et une queue plus longue, favorisant une meilleure maniabilité dans des environnements complexes et densément végétalisés. De plus, son cri, marqué par un gazouillement rapide, témoigne d'un ajustement comportemental et physiologique aux contraintes environnementales du Maghreb. La répartition limitée de *Pica mauritanica* aux zones semi-arides et agro-pastorales renforce sa vulnérabilité, car toute perturbation locale (déforestation, urbanisation non planifiée) risque d'affecter l'ensemble de la population.

L'élaboration d'une base de données géographique, s'appuyant sur des sources historiques (GBIF, 1930–2025) et complétée par des relevés dans des wilayas telles que Batna, Sétif et Constantine, a permis de reconstituer la dynamique historique et actuelle de la répartition de l'espèce. La collecte de données multisources sur la répartition de la Pie du Maghreb, principalement en Algérie, a été essentielle pour le travail de terrain. En effet, les sorties de prospection menées par les chercheurs et ornithologues ont non seulement orienté les recherches vers la majorité des sites déjà explorés, mais ont également permis la découverte progressive de plusieurs nouveaux sites.

L'analyse de la distribution du macrohabitat a pour but de modéliser la répartition de l'espèce en utilisant des indicateurs de performance (tels que l'AUC, le TSS et le kappa) pour identifier les zones favorables. Un volet central de cette

recherche a été la modélisation de la distribution de l'espèce à l'aide de modèles de distribution des espèces (SDM). Les indicateurs de performance obtenus (AUC allant de 0,704 à 0,957, TSS moyen de 0,54 et kappa moyen de 0,53) sont en accord avec ceux rapportés dans la littérature (Brambilla & Ficetola, 2012; A. T. Peterson et al., 2002). L'analyse des variables environnementales a révélé que l'indice de végétation amélioré (EVI) et l'altitude expliquent à eux seuls environ 68 % de la variabilité observée, soulignant l'importance de la qualité de la végétation et de la topographie dans la sélection des habitats. L'occupation humaine, évaluée à environ 10,2 %, met en lumière l'impact délétère des pressions anthropiques. Par ailleurs, les cartes binaires générées indiquent qu'environ 64 843 km<sup>2</sup> d'habitats adaptés se concentrent principalement en Algérie et au Maroc et la Tunisie offre des espaces plus restreints. La fragmentation, notamment dans l'ouest algérien, constitue ainsi un défi majeur pour la connectivité entre populations.

L'analyse du microhabitat se concentre sur les sites de nidification, en appliquant des méthodes statistiques (Analyse Factorielle Multiple et clustering, ainsi que des tests du chi carré) pour déceler les préférences d'habitat en milieu rural et périurbain. Dans cette optique, l'analyse des préférences de nidification, réalisée à l'aide d'outils statistiques avancés tels que l'Analyse Factorielle Multiple (AFM), le clustering et des tests du chi carré, a permis de dégager des tendances claires quant au choix des sites. L'AFM a expliqué plus de 70 % de la variance via ses deux premières dimensions, soulignant l'influence déterminante de la structure de la végétation et du type de support utilisé. Trois types de sites de nidification ont ainsi été identifiés : des milieux agro-pastoraux dominés par des arbres épineux (ex. *Lycium shawii*), des zones semi-naturelles à proximité d'infrastructures humaines, et des environnements forestiers relativement intacts. En zone périurbaine, près de 84% des nids se trouvent sur des supports naturels spécifiques, tandis qu'en milieu rural, une diversité de supports est observée, avec une prédominance de *Juniperus oxycedrus* (43 %) et de *Quercus ilex* (39 %). La forte corrélation (0,91 à 0,92) entre la hauteur du support et celle du nid atteste de l'importance de la structure de la végétation dans la protection contre les prédateurs et les intempéries (McKilligan, 2005; Senma & Acharya, 2009).

Le volet reproduction vise à affiner l'étude de différents paramètres tels la taille des nids, le calendrier de la ponte et le taux d'envol, en s'appuyant sur des outils de modélisation avancée (XGBoost, SHAP). Ainsi l'étude de l'écologie de la reproduction a permis de fournir des informations pertinentes et précieuses sur la dynamique des populations. En effet, lors de la saison 2023 dans le site de Sidi Chaib dans le territoire de la wilaya de Sidi Bel-Abbès, le suivi de 74 nids a révélé un taux d'activité de 17,57 %, une taille moyenne de couvée de 5,85 œufs, un taux d'éclosion d'environ 63 % et un taux d'envol de 69 %. Toutefois, le succès global des nids reste modéré (36,84 %), principalement en raison d'un taux de prédation élevé affectant près de 47,37 % des nids, le Pie-grièche (*Lanius excubitor*) étant identifié comme un prédateur majeur (Nefla et al., 2021; Šálek et al., 2020). L'utilisation du modèle prédictif, a permis de quantifier l'impact de différents facteurs sur le succès de la reproduction : la prédation représente 64,9 % de l'effet, suivie du volume du nid (28,8 %). De plus, une chronologie de reproduction plus précoce chez *Pica mauritanica* par rapport à *Pica pica* (De Neve, J. Soler, et al., 2004; Rollinson & Jones, 2002) semble constituer une adaptation aux microclimats locaux, sans toutefois compenser les pertes liées à la prédation.

Le volet vulnérabilité de *Pica mauritanica* dans notre recherche intègre l'impact des pressions environnementales et humaines, telles que l'urbanisation, l'expansion agricole, l'usage intensif de pesticides, ainsi que la fragmentation et la perte d'habitats, pour évaluer la connectivité réduite et la formation de métapopulations. Par ailleurs, l'intégration des différentes échelles d'analyse (macrohabitat, microhabitat et paramètres reproductifs) met en lumière la vulnérabilité de *Pica mauritanica*, résultat d'interactions complexes entre facteurs globaux et locaux. À l'échelle du macrohabitat, la transformation rapide des paysages par l'urbanisation, l'agriculture intensive et la déforestation, couplée aux fluctuations climatiques (hausse des températures, modifications des régimes de précipitations), dégrade les habitats essentiels à la survie de l'espèce (Mederbal et al., 2024; Opdam, 1991). Au niveau du microhabitat, la spécificité des supports de nidification et la configuration locale des sites accentuent cette vulnérabilité. Ainsi, même dans des

zones globalement favorables, des conditions locales défavorables, telles qu'une prédation excessive ou la dégradation de la structure de la végétation, peuvent entraîner une baisse significative du succès de la reproduction et compromettre le renouvellement des populations.

L'approche développée dans cette thèse permet de combler des lacunes majeures concernant l'écologie de *Pica mauritanica* en offrant une analyse intégrée de sa distribution, de ses préférences de nidification et de sa dynamique reproductive dans un contexte de fragmentation croissante des habitats au Maghreb. Sur le plan de la distribution et du macrohabitat, la modélisation révèle l'importance des paysages semi-ouverts, caractérisés par des haies, des bosquets et des forêts ouvertes dominées par des essences locales (*Juniperus oxycedrus.*, *Quercus ilex*). L'analyse met en exergue l'influence déterminante de variables telles que l'indice de végétation amélioré (EVI), l'élévation et le peuplement humain, soulignant ainsi l'impact des pressions environnementales et anthropiques (Bouguerra et al., 2020; Kim et al., 2012; Mederbal et al., 2024; Opdam, 1991).

Au niveau du microhabitat, l'étude, qui combine une base de données géographique exhaustive et des modèles de distribution robustes, apporte des précisions supplémentaires en montrant une préférence pour des supports à canopée dense (par exemple, *Lycium shawii* en périurbain et *Juniperus oxycedrus.* ou *Quercus ilex* en milieu rural) corrélée à la hauteur des nids. L'analyse fine des microhabitats et des supports de nidification met également en évidence les effets de bordure et l'importance de la structure de la végétation dans le choix des sites (Germain et al., 2015; Matysioková & Remeš, 2024; Nefla et al., 2021; Pretelli et al., 2023).

Le volet reproduction de la thèse offre des données inédites sur le succès reproduction, dont, notamment, la taille des nids, le calendrier de la ponte et les taux d'envol des jeunes individus de *Pica mauritanica*. L'analyse des paramètres de la reproduction, étayée par diverses références (Airola & Estep, 2022; Mederbal et al., 2024; Nefla et al., 2021; Payo-Payo et al., 2015; Vance et al., 2003), permet de

comprendre comment la qualité des habitats dédiés à la reproduction influe sur les taux d'envol, la taille des pontes et le timing de la ponte.

Dans les territoires de faible qualité du Maghreb, notamment en Algérie, la vulnérabilité de *Pica mauritanica* résulte d'une conjonction de facteurs aggravants ; d'une part, l'absence d'habitats riches en ressources induit une baisse de la diversité des insectes, principale source alimentaire (Díaz-Ruiz et al., 2015; Kryštokofvá et al., 2011), et une pénurie de sites de nidification adéquats, conséquence de la rareté des grands arbres à feuillage dense (Xu et al., 2020) ; d'autre part, la fragmentation de son habitat due à l'urbanisation, à l'expansion agricole et à la dégradation des forêts réduit la connectivité entre populations et renforce l'isolement génétique (Abeli et al., 2022; D. C. Thomas et al., 2024). Ce contexte est aggravé par la disparition des pratiques agricoles traditionnelles liées à l'exode rural (Haïchour & Christopher, 2012) ainsi que par la pression parasitaire (Martínez et al., 2020; M. Soler et al., 1995), conduisant à un déclin du succès de la reproduction et à une détérioration de la condition physique des individus. Ces facteurs, combinés aux pressions anthropiques et aux effets du changement climatique, exposent ces populations à un risque accru d'extinction locale, compromettant ainsi toute tentative de conservation adaptée.

Cette recherche fournit ainsi des pistes concrètes pour la mise en place de stratégies de gestion adaptatives, telles que la création de corridors écologiques et la promotion de pratiques agroécologiques, afin d'assurer la pérennité de cette espèce emblématique du Maghreb.

Pour préserver la Pie du Maghreb durant la saison de reproduction, il est indispensable d'adopter une approche intégrée combinant la protection et la restauration des habitats à toutes les échelles, du macrohabitat au microhabitat. Cette approche intégrée peut être déclinée en différentes actions complémentaires telles le contrôle des prédateurs, la mise en place de sites de nidification adaptés (Kiss et al., 2024) et l'aménagement de zones écologiquement aptes dans des paysages agricoles ou agro-pastoraux (Mallick et al., 2024; Segoli et al., 2008; Tellería et al., 2014). En outre, la création de corridors écologiques et de zones protégées (Cameron et al., 2022;

Opdam, 1991), la promotion de pratiques agroécologiques telles que l'agroforesterie (Cameron et al., 2022; Opdam, 1991) et l'amélioration de la connectivité des habitats (Aouissi et al., 2021; Mortelliti et al., 2010) peuvent être combinés pour assurer le succès de la reproduction, à travers le suivi des nids, l'étude des périodes de reproduction et des dispositifs d'alimentation complémentaire (De Neve, Soler, et al., 2004; Komdeur, 1996; Nefla et al., 2021) et l'implication active des communautés locales (Imene et al., 2019) pour répondre efficacement aux menaces tant locales que globales.

De plus, la caractérisation des populations viables de *Pica mauritanica* en Algérie, comme celle observée dans la réserve de chasse de Moutas, peut fournir des pistes concrètes pour la préservation de ses populations ou des populations dans d'autres sites géographiquement proches. Adopter l'approche consistant à imiter les conditions favorables d'une population pour d'autres groupes de Pies jugés vulnérables, ou assurer la surveillance de certains facteurs de vulnérabilité, constitue une méthode efficace permettant de gagner du temps face à une dynamique rapide et souvent imprévisible.

Plusieurs limites ont été identifiées dans cette étude. Sur le plan du macrohabitat, les biais d'échantillonnage et les incertitudes de positionnement limitent la transférabilité des modèles. Concernant le microhabitat, la portée géographique restreinte à l'Algérie et l'absence d'analyses comportementales (recherche de nourriture, évitement des prédateurs) compliquent la généralisation des résultats. De plus, l'échantillonnage pour l'axe reproduction, réalisé sur un seul site (Sidi Chaib) et sur une seule saison, ne permet pas d'appréhender la variabilité interannuelle. Enfin, dans l'évaluation de la vulnérabilité, le manque de données récentes et la complexité des interactions entre multiples facteurs (fragmentation, usage de pesticides, isolement géographique) rendent difficile une quantification précise des impacts.

Par ailleurs, des limites supplémentaires ont été relevées sur le terrain : les moyens disponibles, bien que cruciaux, sont limités, et l'accessibilité reste restreinte. La détection des nids actifs s'avère difficile, suggérant le besoin d'un réseau plus large

et d'un plus grand nombre de personnes pour des prospections approfondies. De plus, l'absence de matériel sophistiqué, notamment pour le monitoring des nids et l'observation directe des prédateurs (qui, au lieu d'être estimée par les dégâts, pourrait être observée grâce à des nest cameras, stratégie révolutionnaire) constitue une contrainte supplémentaire.

Pour pallier ces limites, plusieurs perspectives de recherche et de conservation sont envisagées. Il serait pertinent d'améliorer les approches méthodologiques en intégrant des variables complémentaires à l'échelle micro-habitat et en recourant à des plateformes de télédétection afin de corriger les biais existants. L'extension géographique de l'étude, avec un suivi à long terme dans d'autres régions, permettrait de généraliser les résultats et de mieux appréhender la variabilité interannuelle.

En Algérie, pour élaborer des stratégies de conservation adaptatives, il ne suffit pas de se baser sur quelques travaux antérieurs. Il n'est pas non plus possible de généraliser les actions car chaque population de *Pica mauritanica* représente un cas particulier, avec ses spécificités et formes de vulnérabilité.

Il serait donc judicieux de fonder un projet national dédié à la Pie du Maghreb Algérienne, en impliquant plusieurs acteurs tels que la Direction générale des forêts, les chercheurs, les associations écologiques et, surtout, les communautés d'agropasteurs vivant dans l'aire de distribution potentielle de la Pie. La collecte de données représente la première priorité. Pour ce faire, il convient de mettre en place une stratégie efficace permettant de gagner du temps tout en améliorant la qualité des données. Cette démarche consisterait à impliquer au maximum les ressources humaines, notamment les agropasteurs, qui, en étant présents en continu dans les milieux ruraux et périurbains, pourraient signaler les occurrences des individus ou des nids.

Les chercheurs et les autorités doivent identifier la formule exacte pour impliquer les riverains dans la préservation de *Pica mauritanica*, à travers des mesures incitatives, en offrant, à titre d'exemple, des avantages aux populations locales lorsqu'elles communiquent avec les services des forêts au sujet des sites de nidification

ou des occurrences de l'espèce. Une fois les données intégrées dans un SIG supervisé par la direction générale des forêts, tout en assurant leur propriété intellectuelle pour éviter tout conflit d'intérêt, il sera possible de mettre en place des programmes de suivi normalisé à l'échelle nationale.

Une autre approche possible concernerait la réutilisation des maisons forestières, généralement situées en lisière de forêt, pour servir de points focaux sur site le monitoring de l'agrobiodiversité, le refuge de *Pica mauritanica* lors de périodes de fortes chaleurs ou de pénurie en eau.

Enfin, une stratégie complémentaire concerne la gestion des espaces verts, notamment via des initiatives de « villes vertes », proches des sites de nidification actifs de *Pica mauritanica*. L'objectif est de créer des refuges pour la biodiversité au sein des petites agglomérations en plantant des arbres adaptés à l'accueil des nids, tout en sensibilisant et impliquant les populations locales.

## **Conclusion générale**

### Conclusion générale

Dans un contexte où les milieux naturels du Maghreb se détériorent rapidement en raison d'une urbanisation galopante, de l'expansion des activités agro-pastorales et des effets du changement climatique, cette thèse s'inscrit dans une démarche globale visant à analyser la dynamique écologique de la Pie du Maghreb (*Pica mauritanica*) dans un environnement en forte fragmentation. L'objectif principal de cette recherche était de mieux comprendre la répartition, les choix de nidification, l'écologie de la reproduction et la sensibilité aux menaces de cette espèce, moins étudiée que son homologue européen.

L'approche adoptée repose sur une stratégie multi-échelle et pluridisciplinaire, qui combine la création d'une base de données géographique exhaustive, l'analyse du macrohabitat et du microhabitat avec un suivi détaillé des paramètres de la reproduction. Grâce à l'intégration d'outils modernes tels que les systèmes d'information géographique et les modèles de distribution, il a été possible de déterminer les zones favorables et d'identifier les principaux facteurs fragilisant les populations, qu'il s'agisse des pressions anthropiques ou des conditions environnementales locales.

L'analyse à grande échelle a permis de mettre en évidence l'importance des paysages semi-ouverts, caractérisés par des haies, des bosquets et des forêts ouvertes, qui favorisent la dispersion et la connectivité entre les populations. Par ailleurs, la modélisation de la distribution a révélé que des variables telles que la qualité de la végétation, l'altitude et l'occupation humaine jouent un rôle déterminant dans le choix des habitats.

Au niveau du microhabitat, l'étude des sites de nidification a montré une nette préférence pour des supports offrant une canopée dense et une structure de la végétation adéquate. Les relevés sur le terrain ont souligné l'importance de la nature du support et de sa hauteur pour protéger les nids contre les prédateurs et les intempéries, autant de facteurs essentiels pour le succès de la reproduction. L'analyse comparative entre les milieux ruraux et périurbains a également permis de dégager des

tendances spécifiques quant aux préférences d'habitat et aux risques liés à la fragmentation locale.

Le suivi des paramètres de la reproduction a apporté des informations précieuses sur la dynamique des populations. En observant la taille des couvées, le calendrier de la ponte et les taux d'envol, il apparaît que la qualité des sites de nidification influe directement sur la réussite de la reproduction. Dans certains cas, une prédation sévère ou/et une dégradation de la structure de la végétation, le succès de la reproduction est compromis et la vulnérabilité de l'espèce est accentuée dans des habitats déjà fragmentés.

L'évaluation globale de la vulnérabilité intègre l'impact cumulatif des pressions environnementales et humaines. La transformation rapide des paysages, la déforestation, l'utilisation intensive de pesticides, l'expansion des activités agricoles ainsi que d'autres facteurs écologiques et socioéconomiques contribuent à isoler les populations, tant sur le plan géographique que génétique, réduisant ainsi la connectivité entre les habitats. Face à ces constats, il apparaît indispensable de mettre en place des stratégies de conservation adaptées. Parmi celles-ci, la création de corridors écologiques, l'amélioration et la restauration des sites de nidification ainsi que l'implication active des communautés locales se révèlent être des leviers essentiels pour renforcer la résilience de l'espèce.

En définitive, cette étude offre une compréhension intégrée de la dynamique écologique de *Pica mauritanica* dans des milieux en constante évolution. En combinant analyses spatiales, modélisations prédictives et suivi de terrain, le travail présenté ici identifie les principaux facteurs de vulnérabilité et propose des pistes concrètes pour inverser les tendances de dégradation. Ces résultats ouvrent la voie à une gestion plus fine et réactive des espèces endémiques, en invitant à l'élaboration d'un projet national impliquant chercheurs, autorités et acteurs locaux, afin de garantir la pérennité de cette espèce emblématique du Maghreb face aux pressions environnementales actuelles.

## Références bibliographiques

- Abdreimov, T. (1981). Birds of deserts and lowlands of Amu Daria. *Tashkent: Pub Fan Uzbetskoy SRR Tashkent*.
- Abeli, T., Sharrock, S., & Albani Rocchetti, G. (2022). Out-of-date datasets hamper conservation of species close to extinction. *Nature Plants* 2022 8:12, 8(12), 1370–1373. <https://doi.org/10.1038/s41477-022-01293-w>
- Achille, G., Gafta, D., Szabó, C., Canzian, F., & Polini, N. (2024). Dietary Shift in a Barn Owl (*Tyto alba*) Population Following Partial Abandonment of Cultivated Fields (Central Apennine Hills, Italy). *Animals*, 14(17), 2562. <https://doi.org/10.3390/ANI14172562/S1>
- Airola, D., & Estep, J. A. (2022). Habitat use and reproductive success of ospreys in central interior California. *California Fish and Wildlife Journal*, 108, e7.
- Alerstam, T., & Högstedt, G. (1982). Bird migration and reproduction in relation to habitats for survival and breeding. *Ornis Scandinavica*, 25–37.
- Allouche, O., Tsoar, A., & Kadmon, R. (2006). Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology*, 43(6), 1223–1232.
- Alzandi, A. (2015). *Conservation of plant diversity at some wadis in south western KSA*. IJPAJX.
- Amin, O. M., Heckmann, R. A., Halajian, A., & Eslami, A. (2010). Redescription of *Sphaerirostris picae* (Acanthocephala: Centrorhynchidae) from magpie, *Pica pica*, in northern Iran, with special reference to unusual receptacle structures and notes on histopathology. *Journal of Parasitology*, 96(3), 561–568.
- Antonov, A., & Atanasova, D. (2002). Nest-site selection in the Magpie *Pica pica* in a high-density urban population of Sofia (Bulgaria). *Acta Ornithologica*, 37(2), 55–66.
- Antonov, A., & Atanasova, D. (2003). Re-use of old nests versus the construction of new ones in the Magpie *Pica pica* in the city of Sofia (Bulgaria). *Acta Ornithologica*, 38(1), 1–4.

- Aouissi, H. A., Petrişor, A.-I., Ababsa, M., Boştenaru-Dan, M., Tourki, M., & Bouslama, Z. (2021). Influence of land use on avian diversity in North African urban environments. *Land*, *10*(4), 434.
- Araújo, M. B., & Peterson, A. T. (2012). Uses and misuses of bioclimatic envelope modeling. *Ecology*, *93*(7), 1527–1539.
- Avramidou, E. V, Doulis, A. G., & Aravanopoulos, F. A. (2017). Linkage and QTL mapping in *Cupressus sempervirens* L. provides the first detailed genetic map of the species and identifies a QTL associated with crown form. *Tree Genetics & Genomes*, *13*, 1–14.
- Baghbadarani, F. A., Barati, A., Abbasi, S., Etezaifar, F., & Amiri, A. (2014). Variability of daily nest survival and breeding success in relation to characteristics of Eurasian magpie (*Pica pica*) nests. *Journal of Natural History*, *48*(11–12), 729–738.
- Baker, D. J., Maclean, I. M. D., Goodall, M., & Gaston, K. J. (2022). Correlations between spatial sampling biases and environmental niches affect species distribution models. *Global Ecology and Biogeography*, *31*(6), 1038–1050.
- Bakhtiari, S., Aldrich, C., Calo, V. M., & Iannuzzi, M. (2024). XGBoost model for the quantitative assessment of stress corrosion cracking. *Npj Materials Degradation*, *8*(1), 126.
- Balanca, G. (1984). Le déterminisme du succès de la reproduction chez une population de pies bavardes (*Pica pica*). *Gibier et Faune Sauvage*.
- Bandeira, E. C., & Morante-Filho, J. C. (2024). Landscape contexts shape the effects of local factors on the predation of artificial bird nests in cocoa agroforests. *Landscape Ecology*, *39*(12), 205.
- Barbet-Massin, M., Jiguet, F., Albert, C. H., & Thuiller, W. (2012). Selecting pseudo-absences for species distribution models: How, where and how many? *Methods in Ecology and Evolution*, *3*(2), 327–338.
- Beck, J., Böller, M., Erhardt, A., & Schwanghart, W. (2014). Spatial bias in the GBIF database and its effect on modeling species' geographic distributions. *Ecological Informatics*, *19*, 10–15.
- Belkhiri, A., Chahlaoui, A., Haddadi, Y., Ahmed, B., Mohsine, S., Moubchir, T., Ouballouk, Y., & Benaddou, M. (2024). Evaluation of bird reproduction and predation impact in Agroecosystem vineyards in the Fes-Meknes region of

- Morocco. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1398(1), 012008.
- Benbrahim, K. F., Ismaili, M., Benbrahim, S. F., & Tribak, A. (2004). Land degradation by desertification and deforestation in Morocco. *Science et Changements Planétaires/Sécheresse*, 15(4), 307–320.
- Bennett, V. J., Beard, M., Zollner, P. A., Fernández-Juricic, E., Westphal, L., & LeBlanc, C. L. (2009). Understanding wildlife responses to human disturbance through simulation modelling: a management tool. *Ecological Complexity*, 6(2), 113–134.
- Bergier, P., Thévenot, M., Qninba, A., & Houllier, J.-R. (2017). *Evolution de l'avifaune d'une zone de contact entre Maroc saharien et non saharien en 60 ans*.
- Betts, M. G., Yang, Z., Hadley, A. S., Smith, A. C., Rousseau, J. S., Northrup, J. M., Nocera, J. J., Gorelick, N., & Gerber, B. D. (2022). Forest degradation drives widespread avian habitat and population declines. *Nature Ecology & Evolution*, 6(6), 709–719.
- Bibby, C. J. (2000). *Bird census techniques*. Elsevier.
- Birkhead, T. R. (1991). The magpies. the ecology and behaviour of Eurasian and yellow-billed magpies. *London: T. & AD Poyser*, 35, 237–245.
- Blanco, G., PUENTE, J. D. E. L. A., Corroto, M., Baz, A., & Colás, J. (2001). Condition-dependent immune defence in the Magpie: how important is ectoparasitism? *Biological Journal of the Linnean Society*, 72(2), 279–286.
- Blissag, B., Yebdri, D., & Kessar, C. (2024). Spatiotemporal change analysis of LULC using remote sensing and CA-ANN approach in the Hodna basin, NE of Algeria. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 133, 103535.
- Block, W. M., & Brennan, L. A. (1993). The habitat concept in ornithology: theory and applications. *Current Ornithology: Volume 11*, 35–91.
- Bock, C. E., & Lepthien, L. W. (1975). Distribution and abundance of the Black-billed Magpie (*Pica pica*) in North America. *The Great Basin Naturalist*, 269–272.
- Boland, C. R. J., & Burwell, B. O. (2020). Habitat modelling reveals extreme habitat fragmentation in the endangered and declining Asir Magpie, *Pica asirensis*,

- Saudi Arabia's only endemic bird (Aves: Passeriformes). *Zoology in the Middle East*, 66(4), 283–294.
- Boria, R. A., Olson, L. E., Goodman, S. M., & Anderson, R. P. (2014). Spatial filtering to reduce sampling bias can improve the performance of ecological niche models. *Ecological Modelling*, 275, 73–77.
- Bosco, L., Cushman, S. A., Wan, H. Y., Zeller, K. A., Arlettaz, R., & Jacot, A. (2021). Fragmentation effects on woodlark habitat selection depend on habitat amount and spatial scale. *Animal Conservation*, 24(1), 84–94.
- Bouguerra, S., Jebari, S., & Tarhouni, J. (2020). Spatiotemporal analysis of landscape patterns and its effect on soil loss in the Rmel river basin, Tunisia. *Soil and Water Research*, 16(1), 39–49.
- Boukhriss, J., & Selmi, S. (2018). Effects of temporal factors, nesting microhabitat and nest position on the survival of passerine nests in a Tunisian oasis habitat. *Ostrich*, 89(4), 321–328.
- Bouletif, H., Chedad, A., & Bendjedidi, A. (2022). Maghreb Magpie *Pica Pica mauritanica* winters in two oases, at the mouth of the Sahara at Aurès Mountains (Biskra and Batna, Algeria): Maghreb Magpie *Pica Pica mauritanica* winters in Algerian oases. *Algerian Journal of Biosciences*, 3(1), 1–4.
- Bourski, O. V. (1996). Bird population dynamics in relation to habitat quality. In *Species Survival in Fragmented Landscapes* (pp. 52–60). Springer.
- Boyd, R. J., Harvey, M., Roy, D. B., Barber, T., Haysom, K. A., Macadam, C. R., Morris, R. K. A., Palmer, C., Palmer, S., & Preston, C. D. (2023). Causal inference and large-scale expert validation shed light on the drivers of SDM accuracy and variance. *Diversity and Distributions*, 29(6), 774–784.
- Brambilla, M., Caprio, E., Assandri, G., Scridel, D., Bassi, E., Bionda, R., Celada, C., Falco, R., Bogliani, G., & Pedrini, P. (2017). A spatially explicit definition of conservation priorities according to population resistance and resilience, species importance and level of threat in a changing climate. *Diversity and Distributions*, 23(7), 727–738.
- Brambilla, M., & Ficetola, G. F. (2012). Species distribution models as a tool to estimate reproductive parameters: a case study with a passerine bird species. *Journal of Animal Ecology*, 81(4), 781–787.

- Brambilla, M., Gustin, M., Vitulano, S., Falco, R., Bergero, V., Negri, I., Bogliani, G., & Celada, C. (2017). Sixty years of habitat decline: impact of land-cover changes in northern Italy on the decreasing ortolan bunting *Emberiza hortulana*. *Regional Environmental Change*, *17*, 323–333.
- Brambilla, M., Rubolini, D., & Guidali, F. (2007). Between land abandonment and agricultural intensification: habitat preferences of Red-backed Shrikes *Lanius collurio* in low-intensity farming conditions. *Bird Study*, *54*(2), 160–167.
- Calderón, J. S. (2021). *Responses of the West European hedgehog to urbanisation: impact on population dynamics, animal movement and habitat selection*. Nottingham Trent University (United Kingdom).
- Cameron, D. R., Schloss, C. A., Theobald, D. M., & Morrison, S. A. (2022). A framework to select strategies for conserving and restoring habitat connectivity in complex landscapes. *Conservation Science and Practice*, *4*(6), e12698.
- Canário, F., Matos, S., & Soler, M. (2004). Environmental constraints and cooperative breeding in the azure-winged magpie. *The Condor*, *106*(3), 608–617.
- Cancellario, T., Miranda, R., Baquero, E., Fontaneto, D., Martínez, A., & Mammola, S. (2022). Climate change will redefine taxonomic, functional, and phylogenetic diversity of Odonata in space and time. *Npj Biodiversity*, *1*(1), 1.
- Caughley, G., & Gunn, A. (1996). *Conservation biology in theory and practice*. (No Title).
- Chang, H.-Y., & Lee, Y.-F. (2016). Effects of area size, heterogeneity, isolation, and disturbances on urban park avifauna in a highly populated tropical city. *Urban Ecosystems*, *19*, 257–274.
- Chen, T., & Guestrin, C. (2016). Xgboost: A scalable tree boosting system. *Proceedings of the 22nd Acm Sigkdd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 785–794.
- Chiron, F., Lorrillière, R., Bessa-Gomes, C., Tryjanowski, P., Casanelles-Abella, J., Laanisto, L., Leal, A., Van Mensel, A., Moretti, M., & Muyschondt, B. (2024). How do urban green space designs shape avian communities? Testing the area–heterogeneity trade-off. *Landscape and Urban Planning*, *242*, 104954.
- Christidis, L., & Boles, W. (2008). *Systematics and taxonomy of Australian birds*. Csiro Publishing.

- Chuluun, T., Altanbagana, M., Ojima, D., Tsolmon, R., & Suvdantsetseg, B. (2017). Vulnerability of pastoral social-ecological systems in Mongolia. *Rethinking Resilience, Adaptation and Transformation in a Time of Change*, 73–88.
- Ciebiera, O., Czechowski, P., Morelli, F., Piekarski, R., Bocheński, M., Chachulska-Serweta, J., & Jerzak, L. (2021). Selection of urbanized areas by Magpie *Pica pica* in a medium size city in Poland. *Animals*, 11(6), 1738.
- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 37–46.
- Colwell, M. A., Raby, K. M., & Feucht, E. J. (2018). Breeding efficiency: a metric for assessing habitat quality and individual performance? *Wader Study*, 125(3), 2018.
- Costa, T. D., de Moraes, J. R. C., Timoteo, J. L., & Rosa, J. (2023). Evaluation of the vulnerability of wild bird populations during heatwave events: implications for biodiversity conservation. *Studies in Health Sciences*, 4(4), 1483–1502.
- Cramp, S., Simmons editors, K. E. L., Brooks, D. C., Collar, N. J., Dunn, E., Gillmor, R., Hollom, P. A. D., Hudson, R., Nicholson, E. M., & Ogilvie, M. A. (1983). *Handbook of the birds of Europe, the Middle East and North Africa. The birds of the Western Palearctic: 3. Waders to gulls*.
- Crase, B., Liedloff, A. C., & Wintle, B. A. (2012). A new method for dealing with residual spatial autocorrelation in species distribution models. *Ecography*, 35(10), 879–888.
- Crego, R. D., Stabach, J. A., & Connette, G. (2022). Implementation of species distribution models in Google Earth Engine. *Diversity and Distributions*, 28(5), 904–916.
- Crossin, G. T., & Williams, T. D. (2021). Using physiology to infer the reproductive status and breeding performance of cryptic or at-risk bird species. *Conservation Physiology*. Oxford University Press, Oxford, 20–34.
- De Neve, L., J. Soler, J., Soler, M., & Pérez-Contreras, T. (2004). Differential maternal investment counteracts for late breeding in magpies *Pica pica*: an experimental study. *Journal of Avian Biology*, 35(3), 237–245.
- De Neve, L., Soler, J. J., Soler, M., Pérez-Contreras, T., Martín-Vivaldi, M., & Martínez, J. G. (2004). Effects of a food supplementation experiment on reproductive investment and a post-mating sexually selected trait in magpies *Pica pica*. *Journal of Avian Biology*, 35(3), 246–251.

- De Reyna, L. A., Recuerda, P., Corvillo, M., & Cruz, A. (1984). Reproduccion de la urraca (*Pica pica*) en Sierra Morena (Andalucia). *Donana Acta Vertebrata.*, 11, 79–92.
- De Silva, H. G., Villafaña, M. G. P., Cruz-Nieto, J., & Cruz-Nieto, M. Á. (2020). Are some of the birds endemic to the Tres Marías Islands (Mexico) species? *Bulletin of the British Ornithologists' Club*, 140(1), 7–37.
- Del Hoyo, J., Elliot, A., Sargatal, J., Christie, D., & De Juana, E. (2018). *Handbook of the birds of the world alive* (Lynx Edicions).
- Díaz-Ruiz, F., Zarca, J. C., Delibes-Mateos, M., & Ferreras, P. (2015). Feeding habits of Black-billed Magpie during the breeding season in Mediterranean Iberia: the role of birds and eggs. *Bird Study*, 62(4), 516–522.
- Dolenec, Z. (2000). Breeding density, nest sites, clutch size and egg dimensions of the magpie (*Pica pica*) in NW Croatia. *Natura Croatica: Periodicum Musei Historiae Naturalis Croatici*, 9(2), 107–114.
- Doligez, B., Boulinier, T., & Fath, D. (2008). Habitat selection and habitat suitability preferences. *Encyclopedia of Ecology*, 5, 1810–1830.
- Donald, P. F., Arendarczyk, B., Spooner, F., & Buchanan, G. M. (2019). Loss of forest intactness elevates global extinction risk in birds. *Animal Conservation*, 22(4), 341–347.
- Donald, P. F., Green, R. E., & Heath, M. F. (2001). Agricultural intensification and the collapse of Europe's farmland bird populations. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 268(1462), 25–29.
- Dormann, C. F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., Carré, G., Marquéz, J. R. G., Gruber, B., Lafourcade, B., & Leitão, P. J. (2013). Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography*, 36(1), 27–46.
- Douguédroit, A., & De Saintignon, M.-F. (1984). Les gradients de températures et de précipitations en montagne. *Revue de Géographie Alpine*, 72(2), 225–240.
- Ebels, E. B. (2003). Speciation in *Pica* magpies. *Dutch Birding*, 25, 103–116.
- eBird. (2022). *eBird: An online database of bird distribution and abundance [web application]*. Ithaca, New York. *eBird*, Cornell Lab of Ornithology. <http://www.ebird.org>.

- Eden, S. F. (1985). The comparative breeding biology of magpies *Pica pica* in an urban and a rural habitat (Aves: Corvidae). *Journal of Zoology*, 205(3), 325–334.
- Eguchi, K. (1995). Seasonal change in breeding success of the Black-billed Magpie *Pica pica sericea*. *Japanese Journal of Ornithology*, 44(2), 73–80.
- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., & Yates, C. J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17(1), 43–57.
- Engler, J. O., Stiels, D., Schidelko, K., Strubbe, D., Quillfeldt, P., & Brambilla, M. (2017). Avian SDMs: current state, challenges, and opportunities. *Journal of Avian Biology*, 48(12), 1483–1504.
- Ernst, D. F. K. (2015). *Environmental Factors Affecting Avian Reproduction and Behavior*. University of California, Berkeley.
- Escofier, B., & Pages, J. (1994). Multiple factor analysis (AFMULT package). *Computational Statistics & Data Analysis*, 18(1), 121–140.
- Ewers, R. M., & Didham, R. K. (2006). Confounding factors in the detection of species responses to habitat fragmentation. *Biological Reviews*, 81(1), 117–142.
- Fahrig, L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 34(1), 487–515.
- Farris, K. L., Zack, S., Amacher, A. J., & Pierson, J. C. (2010). Microhabitat selection of bark-foraging birds in response to fire and fire surrogate treatments. *Forest Science*, 56(1), 100–111.
- Felix, J., Hisek, K., & Becker, G. (1978). Oiseaux des pays d'Europe. (*No Title*).
- Fernandez, C. M., Vera Alvarez, M. D., & Cove, M. V. (2019). Heightened nest loss in tropical forest fragments despite higher predator load in core forest. *Tropical Ecology*, 60, 281–287.
- Fiorini, V. D., Tuero, D. T., & Reborada, J. C. (2012). Dense canopy cover over House Wren (*Troglodytes aedon*) nests increases latency of brood parasitism by Shiny Cowbirds (*Molothrus bonariensis*). *Emu*, 112(1), 55–59.
- Flesch, A. D. (2023). Landcover change and habitat quality mediate impacts of temperature and precipitation on population dynamics of a threatened aridland predator. *Animal Conservation*, 26(4), 464–476.

- François, C., Alexandre, L., & Julliard, R. (2008). Effects of landscape urbanization on magpie occupancy dynamics in France. *Landscape Ecology*, 23(5), 527–538.
- Fujioka, M., & Murayama, H. (2024). The Distribution, Population Size, and Habitat Preferences of a Newly Established Population of the Oriental Magpie *Pica serica* in Tomakomai City, Hokkaido, Northern Japan. *Birds*, 5(4), 656–670.
- Fusco, J., Walker, E., Papaix, J., Debolini, M., Bondeau, A., & Barnagaud, J.-Y. (2021). Land use changes threaten bird taxonomic and functional diversity across the Mediterranean basin: a spatial analysis to prioritize monitoring for conservation. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, 612356.
- Galidaki, G., Zianis, D., Gitas, I., Radoglou, K., Karathanassi, V., Tsakiri–Strati, M., Woodhouse, I., & Mallinis, G. (2017). Vegetation biomass estimation with remote sensing: focus on forest and other wooded land over the Mediterranean ecosystem. *International Journal of Remote Sensing*, 38(7), 1940–1966.
- GBIF. (2021). *The Global Biodiversity Information Facility. GBIF Occurrence Download (09 January 2021)*. <https://doi.org/10.15468/dl.kvrqg>
- Germain, R. R., Schuster, R., Delmore, K. E., & Arcese, P. (2015). Habitat preference facilitates successful early breeding in an open-cup nesting songbird. *Functional Ecology*, 29(12), 1522–1532.
- Germain, R. R., Schuster, R., Tarwater, C. E., Hochachka, W. M., & Arcese, P. (2018). Adult survival and reproductive rate are linked to habitat preference in territorial, year-round resident Song Sparrows *Melospiza melodia*. *Ibis*, 160(3), 568–581.
- Gibbs, H. (2007). Climatic variation and breeding in the Australian Magpie (*Gymnorhina tibicen*): a case study using existing data. *Emu-Austral Ornithology*, 107(4), 284–293.
- Goodburn, S. F. (1991). Territory quality or bird quality? Factors determining breeding success in the magpie *Pica pica*. *Ibis*, 133(1), 85–90.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27.
- Guild, R., Wang, X., Hirtle, S., & Mader, S. (2024). Spatiotemporal and weather effects on the reproductive success of piping plovers on Prince Edward Island, Canada. *Ecology and Evolution*, 14(8), e11581.

- Guillera-Arroita, G., Lahoz-Monfort, J. J., Elith, J., Gordon, A., Kujala, H., Lentini, P. E., McCarthy, M. A., Tingley, R., & Wintle, B. A. (2015). Is my species distribution model fit for purpose? Matching data and models to applications. *Global Ecology and Biogeography*, *24*(3), 276–292.
- Guisan, A., & Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, *8*(9), 993–1009.
- Guisan, A., Thuiller, W., & Zimmermann, N. E. (2017). *Habitat suitability and distribution models: with applications in R*. Cambridge University Press.
- Guisan, A., Tingley, R., Baumgartner, J. B., Naujokaitis-Lewis, I., Sutcliffe, P. R., Tulloch, A. I. T., Regan, T. J., Brotons, L., McDonald-Madden, E., & Mantyka-Pringle, C. (2013). Predicting species distributions for conservation decisions. *Ecology Letters*, *16*(12), 1424–1435.
- Guisan, A., & Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, *135*(2–3), 147–186.
- Gutierrez-Velez, V. H., & Wiese, D. (2020). Sampling bias mitigation for species occurrence modeling using machine learning methods. *Ecological Informatics*, *58*, 101091.
- Haïchour, S., & Christopher, B. (2012). Quelles dispositions prendre afin que la campagne algérienne réapproprie ses fonctions ? (aire de culture et cadre de vie). *International Journal of Advanced Studies and Research in Africa*, *3*(1), 135–156.
- Hama, A. A., & Khwarahm, N. R. (2023). Predictive mapping of two endemic oak tree species under climate change scenarios in a semiarid region: range overlap and implications for conservation. *Ecological Informatics*, *73*, 101930.
- Hanane, S. (2018). Multi-scale turtle dove nest habitat selection in a Mediterranean agroforestry landscape: implications for the conservation of a vulnerable species. *European Journal of Wildlife Research*, *64*(4), 45.
- Hanley, J. A., & McNeil, B. J. (1982). The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. *Radiology*, *143*(1), 29–36.
- Hasegawa, R., Otsuki, Y., Uemura, Y., Furusawa, C., Naka, M., Kanno, Y., & Koizumi, I. (2025). Positive feedback between parasite infection and poor host body condition reduces host survival in the wild. *Functional Ecology*.

- Heubes, J., Retzer, V., Schmidlein, S., & Beierkuhnlein, C. (2011). Historical land use explains current distribution of calcareous grassland species. *Folia Geobotanica*, 46, 1–16.
- Hicks, O., Green, J. A., Daunt, F., Cunningham, E. J. A., Newell, M., Butler, A., & Burthe, S. J. (2019). *Sublethal effects of natural parasitism act through maternal, but not paternal, reproductive success in a wild population*. Wiley Online Library.
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 25(15), 1965–1978.
- Hirche, A., Salamani, M., Abdellaoui, A., Benhouhou, S., & Valderrama, J. M. (2011). Landscape changes of desertification in arid areas: the case of south-west Algeria. *Environmental Monitoring and Assessment*, 179, 403–420.
- Holand, H., Jensen, H., Tufto, J., Pärn, H., Sæther, B.-E., & Ringsby, T. H. (2015). Endoparasite infection has both short-and long-term negative effects on reproductive success of female house sparrows, as revealed by faecal parasitic egg counts. *PloS One*, 10(5), e0125773.
- Holopainen, S., Selonen, V., Krüger, H., Kotanen, J., Laaksonen, T., Miettinen, E., Nurmi, A., Uusihakala, L., & Väänänen, V.-M. (2024). Forest habitat loss and human land use alter predation of artificial ground nests. *Forest Ecology and Management*, 561, 121858.
- Holt, R. D., & Barfield, M. (2010). Metapopulation perspectives on the evolution of species' niches. *Spatial Ecology*, 191–213.
- Hou, K., Tao, W., He, D., & Li, X. (2022). A new perspective on ecological vulnerability and its transformation mechanisms. *Ecosystem Health and Sustainability*, 8(1), 2115403.
- Hund, K., & Prinzinger, R. (1981). Notizen zur Brutbiologie der Elster *Pica pica*, Rabenkrähe *Corvus corone corone* und Dohle *Corvus monedulain* in Württemberg. *Ökol Vögel*, 3, 261–265.
- Husson, F., Josse, J., & Pages, J. (2010). Principal component methods-hierarchical clustering-partitional clustering: why would we need to choose for visualizing data. *Applied Mathematics Department*, 17.

- Imene, D., Pech, P., & Bouzid, T. (2019). What strategies make compatible the stakes of nature conservation and the stakes of economic growth in protected area? Example of El Kala National Park, Algeria. *Geographia Polonica*, 92(2), 233–248.
- Inman, R., Franklin, J., Esque, T., & Nussear, K. (2021). Comparing sample bias correction methods for species distribution modeling using virtual species. *Ecosphere*, 12(3), e03422.
- Isenmann, P., Gaultier, T., El Hili, A., Azafzaf, H., Dlensi, H., & Smart, M. (2005). *Oiseaux de Tunisie/Birds of Tunisia*. SEOF. Paris.
- Isenmann, P., & Thevenot, M. (2020). Endemism in terrestrial bird species of continental North Africa. *Go-South Bulletin*, 17, 161–184.
- Isik, K., & Isik, F. (1999). Genetic variation in *Pinus brutia* Ten. in Turkey. *Silvae Genetica*, 48(6), 293.
- Jackson, N. D., & Fahrig, L. (2016). Habitat amount, not habitat configuration, best predicts population genetic structure in fragmented landscapes. *Landscape Ecology*, 31, 951–968.
- Jerzak, L. (1995). *Breeding ecology of an urban Magpie Pica pica population in Zielona Góra (SW Poland)*. Muzeum i Instytut Zoologii PAN.
- Jerzak, L. (2001). Synurbanization of the magpie in the Palearctic. *Avian Ecology and Conservation in an Urbanizing World*, 403–425.
- Jiménez-Franco, M. V, Graciá, E., Rodríguez-Caro, R. C., Anadón, J. D., Wiegand, T., Botella, F., & Giménez, A. (2022). Problems seeded in the past: lagged effects of historical land-use changes can cause an extinction debt in long-lived species due to movement limitation. *Landscape Ecology*, 37(5), 1331–1346.
- Jokimäki, J., Suhonen, J., Vuorisalo, T., Kövér, L., & Kaisanlahti-Jokimäki, M.-L. (2017). Urbanization and nest-site selection of the Black-billed Magpie (*Pica pica*) populations in two Finnish cities: From a persecuted species to an urban exploiter. *Landscape and Urban Planning*, 157, 577–585.
- Jones, J. (2001). Habitat selection studies in avian ecology: a critical review. *The Auk*, 118(2), 557–562.
- Kaasiku, T., Rannap, R., & Männil, P. (2022). Predation-mediated edge effects reduce survival of wader nests at a wet grassland-forest edge. *Animal Conservation*, 25(5), 692–703.

- Kamburova, N. (2004). Magpie (*Pica pica*) population density and habitat distribution in the city of Sofia. *Ecology of the City of Sofia. Species and Communities in an Urban Environment. Pensoft, Sofia–Moscow*, 451–455.
- Kang, W., Lee, D., & Park, C.-R. (2012). Nest distribution of magpies *Pica pica sericea* as related to habitat connectivity in an urban environment. *Landscape and Urban Planning*, 104(2), 212–219.
- Kavanagh, B. (1988). Discriminating the sex of Magpies *Pica pica* from morphological data. *Ringing & Migration*, 9(2), 83–90.
- Keeley, J. E., Pausas, J. G., Rundel, P. W., Bond, W. J., & Bradstock, R. A. (2011). Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits. *Trends in Plant Science*, 16(8), 406–411.
- Khan, I. A., Kumar, A., & Bhatt, D. (2022). Breeding biology of Eurasian magpie, *Pica pica bactriana* in Kargil region of Ladakh, India. *Journal of Experimental Zoology India*, 25(1).
- Khan, I. A., Kumar, A., Bhatt, D., & Rawal, P. (2023). Tree cover and built-up area regulate the territory size in Eurasian Magpie *Pica pica* in Ladakh, India. *Journal of Threatened Taxa*, 15(7), 23521–23528.
- Khwarahm, N. R. (2020). Mapping current and potential future distributions of the oak tree (*Quercus aegilops*) in the Kurdistan Region, Iraq. *Ecological Processes*, 9(1), 1–16.
- Kim, S., Srygley, R. B., Lee, J. Y., Lee, S., & Choe, J. C. (2012). *Urban and natural components of Korean magpie (Pica pica sericea) territories and their effects on prey density.*
- Kiss, Á., Végvári, Z., Kubelka, V., Monoki, Á., Kapocsi, I., Góri, S., & Székely, T. (2024). Breeding in an agricultural landscape: conservation actions increase nest survival in a ground-nesting bird. *Oryx*, 58(2), 240–249.
- Klingler, K. B., Jahner, J. P., Parchman, T. L., Ray, C., & Peacock, M. M. (2021). Genomic variation in the American pika: signatures of geographic isolation and implications for conservation. *BMC Ecology and Evolution*, 21, 1–19.
- Klug, P. E., Jackrel, S. L., & With, K. A. (2010). Linking snake habitat use to nest predation risk in grassland birds: the dangers of shrub cover. *Oecologia*, 162, 803–813.

- Komdeur, J. A. N. (1996). Breeding of the Seychelles magpie robin *Copsychus sechellarum* and implications for its conservation. *Ibis*, 138(3), 485–498.
- Komers, P. E., & Komers, E. J. (1992). Juvenile male magpies dominate adults irrespective of size differences. *Canadian Journal of Zoology*, 70(4), 815–819.
- Kostas, S., Hatzilazarou, S., Pipinis, E., Vasileiadis, A., Magklaras, P., Smyrnioudis, I., Vasilakis, T., Chazakis, M., Anastasiadi, V., & Ziogou, F.-T. (2021). Propagation of *Pistacia lentiscus* var. Chia genotypes and determination of their ornamental traits combined with a genetic analysis using ISSR markers. *Agronomy*, 11(2), 205.
- Kryštokofvá, M., Fousová, P., & Exnerová, A. (2011). Nestling diet of the Common Magpie (*Pica pica*) in urban and agricultural habitats. *Ornis Fennica*, 88(3), 138–146.
- Kryukov, A. P., Goroshko, O. A., Arkhipov, V. Y., Red'kin, Y. A., Lee, S., Dorda, B. A., Kryukov, K. A., Kapun, M., & Haring, E. (2022). Introgression at the emerging secondary contact zone of magpie *Pica pica* subspecies (Aves: Corvidae): integrating data on nuclear and mitochondrial markers, vocalizations, and field observations. *Organisms Diversity & Evolution*, 22(4), 1037–1064.
- Kryukov, A. P., Spiridonova, L. N., Mori, S., Arkhipov, V. Y., Red'Kin, Y. A., Goroshko, O. A., Lobkov, E. G., & Haring, E. (2017). Deep phylogeographic breaks in magpie *Pica pica* across the Holarctic: concordance with bioacoustics and phenotypes. *Zoological Science*, 34(3), 185–200.
- Laidlaw, R. A., Gunnarsson, T. G., Méndez, V., Carneiro, C., Pórisson, B., Wentworth, A., Gill, J. A., & Alves, J. A. (2020). Vegetation structure influences predation rates of early nests in subarctic breeding waders. *Ibis*, 162(4), 1225–1236.
- Laphrom, W., Se, C., Champahom, T., Jomnonkwao, S., Wipulanusatd, W., Satiennam, T., & Ratanavaraha, V. (2024). XGBoost-SHAP and unobserved heterogeneity modelling of temporal multivehicle truck-involved crash severity patterns. *Civil Engineering Journal*, 10(6), 1890–1908.
- Lauck, K. S., Ke, A., Olimpi, E. M., Paredes, D., Hood, K., Phillips, T., Anderegg, W. R. L., & Karp, D. S. (2023). Agriculture and hot temperatures interactively erode the nest success of habitat generalist birds across the United States. *Science*, 382(6668), 290–294.

- Lê, S., Josse, J., & Husson, F. (2008). FactoMineR: an R package for multivariate analysis. *Journal of Statistical Software*, 25, 1–18.
- Lee, S.-I., Jang, H., Eo, S., & Choe, J. C. (2007). Sexual size dimorphism and morphological sex determination in the Blackbilled Magpie in South Korea (*Pica pica sericea*). *J. Ecol. Field Biol*, 30, 195–199.
- Leonardi, M., Colucci, M., Pozzi, A. V., Scerri, E. M. L., & Manica, A. (2024). Tidysdm: Leveraging the flexibility of tidymodels for species distribution modelling in R. *Methods in Ecology and Evolution*, 15(10), 1789–1795.
- Li, J., Hughes, A. C., & Dudgeon, D. (2019). Mapping wader biodiversity along the East Asian—Australasian flyway. *PloS One*, 14(1), e0210552.
- Li, L., Wang, N., Hao, Z., Sun, B., Gao, B., Gou, M., Wang, P., & Pei, N. (2024). Urbanization intensifies the imbalance between human development and biodiversity conservation: Insights from the coupling analysis of human activities and habitat quality. *Land Degradation & Development*, 35(11), 3606–3626.
- Li, X., & Wang, Y. (2013). Applying various algorithms for species distribution modelling. *Integrative Zoology*, 8(2), 124–135.
- Lintunen, A., & Kaitaniemi, P. (2010). Responses of crown architecture in *Betula pendula* to competition are dependent on the species of neighbouring trees. *Trees*, 24, 411–424.
- Liu, Y., & Just, A. (2019). SHAPforxgboost: SHAP Plots for 'XGBoost'. CRAN: Contributed Packages.
- Loucif, K., Maazi, M. C., Houhamdi, M., & Chenchouni, H. (2021). Nest site selection and breeding ecology of the Ferruginous Duck (*Aythya nyroca*) in Algeria. *Global Ecology and Conservation*, 26, e01524.
- Lu, M., & Jetz, W. (2023). *Local evidence is key to assessing biodiversity vulnerability to climate change*.
- Lu, Y., Zhang, Y. X., Sai, D. J., & Zhou, Y. (2008). Nest-selection and urban environment adaption of magpie. *Sichuan Journal of Zoology*, 27, 892–893.
- Luo, Z., & Li, S. (2023). An interpretable prediction model for pavement performance prediction based on XGBoost and SHAP. *Second International Conference on Electronic Information Engineering and Computer Communication (EIECC 2022)*, 12594, 187–194.

- Mallick, M., Singh, P. K., & Pandey, R. (2024). Harvesting resilience: Tribal home-gardens as socio-ecological solutions for climate change adaptation and sustainable development in a protected area. *Journal of Cleaner Production*, *445*, 141174.
- Martínez, J. G., Molina-Morales, M., Precioso, M., & Avilés, J. M. (2020). Age-related brood parasitism and egg rejection in magpie hosts. *The American Naturalist*, *195*(5), 876–885.
- Martín-Maldonado, B., Mencía-Gutiérrez, A., Andreu-Vázquez, C., Fernández, R., Pastor-Tiburón, N., Alvarado, A., Carrero, A., Fernández-Novo, A., Esperón, F., & González, F. (2023). A four-year survey of Hemoparasites from nocturnal raptors (Strigiformes) confirms a relation between Leucocytozoon and low hematocrit and body condition scores of parasitized birds. *Veterinary Sciences*, *10*(1), 54.
- Matysioková, B., & Remeš, V. (2024). Nest predation decreases with increasing nest height in forest songbirds: a comparative study. *Journal of Ornithology*, *165*(1), 257–261.
- McCune, B., & Keon, D. (2002). Equations for potential annual direct incident radiation and heat load. *Journal of Vegetation Science*, *13*(4), 603–606.
- McKilligan, N. (2005). *Herons, egrets and bitterns: Their biology and conservation in Australia*. CSIRO publishing.
- McKinney, M. L. (2006). Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological Conservation*, *127*(3), 247–260.
- Mederbal, K. E., Mena, M., Aouadi, A., Boutabia, L., Bensaâd-Bendjedid, L., Mederbal, K., Bouderbala, A., Chebli, A., & Telailia, S. (2024). Modeling Habitat Suitability and Current Distribution of the Relict Maghreb Magpie (*Pica mauritanica*). *Turkish Journal of Zoology*, *48*(4), 220–232.
- Meijer, T., & Drent, R. (1999). Re-examination of the capital and income dichotomy in breeding birds. *Ibis*, *141*(3), 399–414.
- Mendizabal, T., & Puigdefábregas, J. (2003). Population and land use changes: impacts on desertification in Southern Europe and in the Maghreb. In *Security and Environment in the Mediterranean: Conceptualising Security and Environmental Conflicts* (pp. 687–701). Springer.
- Miller, J. (2010). Species distribution modeling. *Geography Compass*, *4*(6), 490–509.

- Mortelliti, A., Fagiani, S., Battisti, C., Capizzi, D., & Boitani, L. (2010). Independent effects of habitat loss, habitat fragmentation and structural connectivity on forest-dependent birds. *Diversity and Distributions*, *16*(6), 941–951.
- Munir, T., Malik, M. F., Naseem, S., & Azzam, A. (2018). *Habitat fragmentation-a menace of biodiversity: A*.
- Naimi, B., & Araújo, M. B. (2016). sdm: a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. *Ecography*, *39*(4), 368–375.
- Naimi, B., Hamm, N. A. S., Groen, T. A., Skidmore, A. K., & Toxopeus, A. G. (2014). Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling? *Ecography*, *37*(2), 191–203.
- Naimi, B., Skidmore, A. K., Groen, T. A., & Hamm, N. A. S. (2011). Spatial autocorrelation in predictors reduces the impact of positional uncertainty in occurrence data on species distribution modelling. *Journal of Biogeography*, *38*(8), 1497–1509.
- Nauta, J., Simoens, P., Khaluf, Y., & Martinez-Garcia, R. (2022). Foraging behaviour and patch size distribution jointly determine population dynamics in fragmented landscapes. *Journal of the Royal Society Interface*, *19*(191), 20220103.
- Nefla, A., Ouni, R., Selmi, S., & Nouira, S. (2021). Breeding biology of a relictual Maghreb Magpie (*Pica mauritanica*) population in Tunisia. *Avian Research*, *12*, 1–9.
- Opdam, P. (1991). Metapopulation theory and habitat fragmentation: a review of holarctic breeding bird studies. *Landscape Ecology*, *5*, 93–106.
- Oro, D., Bécares, J., Bartumeus, F., & Arcos, J. M. (2021). High frequency of prospecting for informed dispersal and colonisation in a social species at large spatial scale. *Oecologia*, *197*(2), 395–409.
- Oropeza-Sánchez, M. T., Solano-Zavaleta, I., Cuandón-Hernández, W. L., Martínez-Villegas, J. A., Palomera-Hernández, V., & Zúñiga-Vega, J. J. (2025). Urban green spaces with high connectivity and complex vegetation promote occupancy and richness of birds in a tropical megacity. *Urban Ecosystems*, *28*(1), 1–18.
- Öst, M., Wickman, M., Matulionis, E., & Steele, B. (2008). Habitat-specific clutch size and cost of incubation in eiders reconsidered. *Oecologia*, *158*(2), 205–216.

- Ozden Keles, S. (2020). How anatomical and morphological characteristics affect the flexural properties of two angiosperm species at the sapling stage. *BioResources*, *15*(3), 5843.
- Parmesan, C., & Yohe, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, *421*(6918), 37–42.
- Payo-Payo, A., Oro, D., Igual, J. M., Jover, L., Sanpera, C., & Tavecchia, G. (2015). Population control of an overabundant species achieved through consecutive anthropogenic perturbations. *Ecological Applications*, *25*(8), 2228–2239.
- Peterson, A. T., Ball, L. G., & Cohoon, K. P. (2002). Predicting distributions of Mexican birds using ecological niche modelling methods. *Ibis*, *144*(1), E27–E32.
- Peterson, A. T., Navarro-Sigüenza, A. G., & Gordillo, A. (2018). Assumption-versus data-based approaches to summarizing species' ranges. *Conservation Biology*, *32*(3), 568–575.
- Peterson, A. T., & Soberón, J. (2012). Species distribution modeling and ecological niche modeling: getting the concepts right. *Natureza & Conservação*, *10*(2), 102–107.
- Peterson, S. H., Ackerman, J. T., Keating, M. P., Schacter, C. R., Hartman, C. A., Casazza, M. L., & Herzog, M. P. (2022). Predator movements in relation to habitat features reveal vulnerability of duck nests to predation. *Ecology and Evolution*, *12*(9), e9329.
- Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J.-M., Tucker, C. J., & Stenseth, N. C. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology & Evolution*, *20*(9), 503–510.
- Ponchon, A., Grémillet, D., Doligez, B., Chambert, T., Tveraa, T., González-Solís, J., & Boulinier, T. (2013). Tracking prospecting movements involved in breeding habitat selection: insights, pitfalls and perspectives. *Methods in Ecology and Evolution*, *4*(2), 143–150.
- Ponz, A., & Gil-Delgado, J. A. (2004). Biología reproductiva de la urraca *Pica pica* en un área de montaña de Aragón. *Ardeola*, *51*(2), 411–423.
- Pretelli, M. G., Cavalli, M., Chiaradia, N. M., Cardoni, A., & Isacch, J. P. (2023). Location matters: survival of artificial nests is higher in small grassland patches and near the patch edge. *Ibis*, *165*(1), 111–124.

- Pretelli, M. G., Isacch, J. P., & Cardoni, D. A. (2016). Variation in parental care in the spectacled tyrant *Hymenops perspicillatus* is associated with increased nest predation in grassland fragments. *Journal of Ornithology*, *157*, 451–460.
- Quesada, J. (2007). The different roles of the roof density and nest size in the Iberian magpie nest. *Acta Ethologica*, *10*(1), 41–45.
- Rafat, M. T. (2024). Interpretable AI in Tissue Engineering: XGBoost and SHAP for PLGA Scaffold Biocompatibility. *BioRxiv*, 2011–2024.
- Ramírez-Valiente, J. A., Alia, R., & Aranda, I. (2014). Geographical variation in growth form traits in *Quercus suber* and its relation to population evolutionary history. *Evolutionary Ecology*, *28*, 55–68.
- Read, J., & Stokes, A. (2006). Plant biomechanics in an ecological context. *American Journal of Botany*, *93*(10), 1546–1565.
- Redondo, T., & Castro, F. (1992). The increase in risk of predation with begging activity in broods of magpies *Pica pica*. *Ibis*, *134*(2), 180–187.
- Reese, K. P., & Kadlec, J. A. (1982). Determining the sex of Black-billed Magpies by external measurements. *Journal of Field Ornithology*, *53*(4), 417–418.
- Ren, Q., He, C., Huang, Q., Zhang, D., Shi, P., & Lu, W. (2023). Impacts of global urban expansion on natural habitats undermine the 2050 vision for biodiversity. *Resources, Conservation and Recycling*, *190*, 106834.
- Reverter, M., Gomez-Catasus, J., Barrero, A., & Traba, J. (2021). Crops modify habitat quality beyond their limits. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *319*, 107542.
- Robillard, A., Garant, D., & Bélisle, M. (2013). The swallow and the sparrow: how agricultural intensification affects abundance, nest site selection and competitive interactions. *Landscape Ecology*, *28*, 201–215.
- Rödger, D., & Lötters, S. (2010). Explanative power of variables used in species distribution modelling: an issue of general model transferability or niche shift in the invasive Greenhouse frog (*Eleutherodactylus planirostris*). *Naturwissenschaften*, *97*, 781–796.
- Rollinson, D. J., & Jones, D. N. (2002). Variation in breeding parameters of the Australian magpie *Gymnorhina tibicen* in suburban and rural environments. *Urban Ecosystems*, *6*, 257–269.

- Roos, S. (2004). *Nest predation processes and farmland birds: habitat selection and population dynamics of predators and prey* (Issue 301).
- Rosenzweig, M. L. (1981). A theory of habitat selection. *Ecology*, 62(2), 327–335.
- Sachteleben, J., Blick, T., Geyer, A., Kröber, T., & Pönisch, S. (1992). Bruterfolg, siedlungsdichte und raumnutzung der elster (*Pica pica*) in unterschiedlichen habitaten. *Journal Für Ornithologie*, 133, 389–402.
- Šálek, M., Grill, S., & Riegert, J. (2020). Nest-site selection of an avian urban exploiter, the Eurasian magpie *Pica pica*, across the urban-rural gradient. *Journal of Vertebrate Biology*, 70(1), 20081–20086.
- Santos, B. A., Alvarado, F., & Morante-Filho, J. C. (2024). Impacts of urbanization on multiple dimensions of bird diversity in Atlantic forest landscapes. *Global Ecology and Conservation*, 54, e03078.
- Saringatin, S., & Hidayati, I. N. (2023). Integration GIS-MCDA and remote sensing imagery for ecological vulnerability assessment. *AIP Conference Proceedings*, 2654(1).
- Scanes, C. G. (2018). Human activity and habitat loss: destruction, fragmentation, and degradation. In *Animals and human society* (pp. 451–482). Elsevier.
- Sedláček, O., Mikeš, M., Albrecht, T., Reif, J., & Hořák, D. (2014). Evidence for an edge effect on avian nest predation in fragmented afro-montane forests in the Bamenda-Banso Highlands, NW Cameroon. *Tropical Conservation Science*, 7(4), 720–732.
- Segoli, M., Ungar, E. D., & Shachak, M. (2008). Shrubs enhance resilience of a semi-arid ecosystem by engineering and regrowth. *Ecohydrology: Ecosystems, Land and Water Process Interactions, Ecohydrogeomorphology*, 1(4), 330–339.
- Senma, R. C., & Acharya, C. A. (2009). *Nest and nest contents of near threatend Black Headed Ibis (Thriskiornis melanocephalus)*.
- Sibley, C. G., & Monroe, B. L. (1990). Distribution and taxonomy of birds of the world. (*No Title*).
- Singh, P., Gauraha, A. K., & Sahu, K. (2018). Changes in Cropping Pattern of Selected Households of Wadi Programme in Korba District of Chhattisgarh, India. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 7(9), 529–536.

- Smail, M., Boubaker, Z., Sbabdji, M., Mouaissa, H., & Kombate, B. (2024). Detecting land use/land cover changes and forest degradation: A case study of the lower Soummam valley, northern Algeria. *Journal of Forest Science*, 70(3), 122.
- Smetana, N. M. (1978). The ecology of the Magpie in incubation and brooding periods in Naourzum reseriation (Northern Kazakhstan). *Biologia Ptica v Kazakhstanie*, 38, 20–28.
- Soler, J. J., Soler, M., Møller, A. P., & Martínez, J. G. (1995). Does the great spotted cuckoo choose magpie hosts according to their parenting ability? *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 36, 201–206.
- Soler, M., Soler, J. J., Martínez, J. G., & Møller, A. P. (1995). Magpie host manipulation by great spotted cuckoos: evidence for an avian mafia? *Evolution*, 49(4), 770–775.
- Song, G., Zhang, R., Alström, P., Irestedt, M., Cai, T., Qu, Y., Ericson, P. G. P., Fjeldså, J., & Lei, F. (2018). Complete taxon sampling of the avian genus *Pica* (magpies) reveals ancient relictual populations and synchronous Late-Pleistocene demographic expansion across the Northern Hemisphere. *Journal of Avian Biology*, 49(2), jav-01612.
- Spector, T., & Putz, F. E. (2006). Biomechanical plasticity facilitates invasion of maritime forests in the southern USA by Brazilian pepper (*Schinus terebinthifolius*). *Biological Invasions*, 8, 255–260.
- Squalli, W., Mansouri, I., Ousaaid, D., Hmidani, M., Achiban, H., Fadil, F., & Dakki, M. (2022). New Data on Breeding Strategies and Reproductive Success of the Globally Threatened Turtle Dove Co-Occurring with the “Competitive” Collared Dove and the “Predatory” Maghreb Magpie in Olive Orchards. *International Journal of Zoology*, 2022(1), 2864178.
- Stiels, D., & Schidelko, K. (2018). Modeling avian distributions and niches: insights into invasions and speciation in birds. *Bird Species: How They Arise, Modify and Vanish*, 147–164.
- Sudyka, J., Di Lecce, I., & Szulkin, M. (2022). *Microclimate shifts in nest-boxes and natural cavities before, during and after nesting*.
- Sun, S.-C., & Chen, L.-Z. (1999). Architectural analysis of crown geometry in *Quercus liaotungensis*. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 23(5), 433.

- Suvorov, P., Svobodová, J., Koubová, M., & Dohnalová, L. (2012). Ground nest depredation by European Black-billed Magpies *Pica pica*: an experimental study with artificial nests. *Acta Ornithologica*, *47*(1), 55–61.
- Swets, J. A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, *240*(4857), 1285–1293.
- Tang, L., Ke, X., Chen, Y., Wang, L., Zhou, Q., Zheng, W., & Xiao, B. (2021). Which impacts more seriously on natural habitat loss and degradation? Cropland expansion or urban expansion? *Land Degradation & Development*, *32*(2), 946–964.
- Tatner, P. (1982a). Factors influencing the distribution of Magpies *Pica pica* in an urban environment. *Bird Study*, *29*(3), 227–234.
- Tatner, P. (1982b). The breeding biology of magpies *Pica pica* in an urban environment. *Journal of Zoology*, *197*(4), 559–581.
- Tatner, P. (1983). The diet of urban magpies *Pica pica*. *Ibis*, *125*(1), 90–107.
- Tayeb, T. S., & Kheloufi, B. (2014). Land cover dynamics in Beni Chougrane Mountains, north west of Algeria, using remote sensing. *Journal of Basic & Applied Sciences*, *10*, 257–266.
- Tellería, J. L., Fandos, G., López, J. F., Onrubia, A., & Refoyo, P. (2014). Winter distribution of passerine richness in the Maghreb (North Africa): A conservation assessment. *Ardeola*, *61*(2), 335–350.
- Thomas, C. D., Cameron, A., Green, R. E., Bakkenes, M., Beaumont, L. J., Collingham, Y. C., Erasmus, B. F. N., De Siqueira, M. F., Grainger, A., & Hannah, L. (2004). Extinction risk from climate change. *Nature*, *427*(6970), 145–148.
- Thomas, D. C., Ardi, W. H., Chong, Y. H., Thomas, P., & Hughes, M. (2024). Conservation status assessments of species-rich tropical taxa in the face of data availability limitations: insights from Sulawesi Begonia. *Scientific Reports*, *14*(1), 14007.
- Torezan, L. F., Calsavara, L. C., Bochio, G. M., & dos Anjos, L. (2020). Vulnerability of bird species in highly fragmented forests of southern Brazil: implications for conservation. *Ornithology Research*, *28*(4), 233–240.
- Tóth, E. G., Tremblay, F., Housset, J. M., Bergeron, Y., & Carcaillet, C. (2019). Geographic isolation and climatic variability contribute to genetic

- differentiation in fragmented populations of the long-lived subalpine conifer *Pinus cembra* L. in the western Alps. *BMC Evolutionary Biology*, *19*, 1–17.
- Uboni, A., Smith, D. W., Stahler, D. R., & Vucetich, J. A. (2017). Selecting habitat to what purpose? The advantage of exploring the habitat–fitness relationship. *Ecosphere*, *8*(4), e01705.
- Ueta, M. (1998). Azure-winged magpies avoid nest predation by nesting near a Japanese lesser sparrowhawk's nest. *The Condor*, *100*(2), 400–402.
- Vaissie, P., Monge, A., & Husson, F. (2021). Factoshiny: perform factorial analysis from FactoMineR with a shiny application. *R Package Version*, *2*(4).
- Valente, J. J., Rivers, J. W., Yang, Z., Nelson, S. K., Northrup, J. M., Roby, D. D., Meyer, C. B., & Betts, M. G. (2023). Fragmentation effects on an endangered species across a gradient from the interior to edge of its range. *Conservation Biology*, *37*(5), e14091.
- Valerio, F., Godinho, S., Marques, A. T., Crispim-Mendes, T., Pita, R., & Silva, J. P. (2024). GEE\_xtract: High-quality remote sensing data preparation and extraction for multiple spatio-temporal ecological scaling. *Ecological Informatics*, *80*, 102502.
- Van Schmidt, N. D., Shyvers, J. E., Heinrichs, J. A., Saher, D. J., & Aldridge, C. L. (2024). A habitat-centered framework for wildlife climate change vulnerability assessments: Application to Gunnison sage-grouse. *Ecosphere*, *15*(2), e4768.
- Vance, M. D., Fahrig, L., & Flather, C. H. (2003). Effect of reproductive rate on minimum habitat requirements of forest-breeding birds. *Ecology*, *84*(10), 2643–2653.
- Ventura, L., Strubbe, D., & Shwartz, A. (2024). Beyond the concrete jungle: The value of urban biodiversity for regional conservation efforts. *Science of The Total Environment*, *955*, 177222.
- Verheyen, R. (1967). *Oologia belgica*. Institut royal des Sciences naturelles de Belgique.
- Vines, G. (1981). A socio-ecology of magpies *Pica pica*. *Ibis*, *123*(2), 190–202.
- Viviano, A., Mori, E., Manzini, J., Paoletti, E., Hoshika, Y., Cotrozzi, L., Pisuttu, C., Risoli, S., Materassi, A., & Moura, B. B. (2024). The magpie and the grapes: increasing ozone exposure impacts fruit consumption by a common corvid in a suburban environment. *Pest Management Science*, *80*(11), 5491–5499.

- Vogrin, M. (1998). Density, nest site and breeding success of a rural population of the Magpie (*Pica pica*) in NE Slovenia. *Vogelwarte*, 39, 293–297.
- Walters, J. (1988). Broedgegevens van de Ekster *Pica pica*. *Limosa*, 61(1), 33–40.
- Wang, P., Liu, S., Hu, J., Zhang, J., Wang, Z., Xu, J., Yao, H., Wang, B., Chen, D., & Zhang, Z. (2022). Disentangling the relative roles of geographical and ecological factors in driving genomic variations of a widely distributed bird across a longitudinal gradient. *Journal of Avian Biology*, 2022(7), e02979.
- Wilson, J. D., Evans, A. D., & Grice, P. V. (2009). *Bird conservation and agriculture*. Cambridge University Press.
- Wisz, M. S., Pottier, J., Kissling, W. D., Pellissier, L., Lenoir, J., Damgaard, C. F., Dormann, C. F., Forchhammer, M. C., Grytnes, J., & Guisan, A. (2013). The role of biotic interactions in shaping distributions and realised assemblages of species: implications for species distribution modelling. *Biological Reviews*, 88(1), 15–30.
- Xu, Y., Cao, Z., & Wang, B. (2020). Effect of urbanization intensity on nest-site selection by Eurasian Magpies (*Pica pica*). *Urban Ecosystems*, 23, 1099–1105.
- Yu, C., Jiang, X., Liu, R., Tan, Y., & Du, Z. (2024). *Supporting effect of landscape characteristics of urban green ecotone on avian community: A case study of Huangshan City Center*.

## Annexes

### Liste d'observateurs de *Pica mauritanica* en Algérie

**Tableau 20.** Lieux et observateurs des sites historiques et nouveaux de *Pica mauritanica* en Algérie

Lieu	Observateur
Khenchla /Tbessa/ Algérie	HBH
Batna/Algérie	HBH
Boumia/Betna/Algérie	HBM
Timgad/Batna/Algérie	HBM
Inoughissen/Betna/Algérie	RHA
Tazoult/Batna/Algérie	RHA
Djebel Amour-Aflou/Laghouat/Algérie	HBH
Tilrhemt/Laghouat/Algérie	HBH
Reserve Sbgag-Aflou/Laghouat/Algérie	RO, LB, AN, AZ
Forêt Bouran-Aflou/Laghouat/Algérie	RO, LB, AN, AZ
El Bayadh/Naama/Algérie	HBH
Djeniène benzireg/Naama/Algérie	AM
Bou Saada/Msila/Algérie	HBH
Boghar/ Medea/Algérie	HBH
Médéa /Medea/Algérie	HBH
Ksar El Boukharie/Media/Algérie	HMB
Sidi Boutouchent/Tissemsilt/Algérie	HBH
Saïda/Saida/Algérie	HBH
Oued taourira/Saida/Algérie	HS
Maghnia/Tmlemsen/Algérie	HBH
Mont de Tlemsen/Tlemsen/Algérie	HMB
Sidi Jloula/Tlemsen/Algérie	KM
Forêt Gaada/Frenda/Tiaret/Algérie	HBM
Ain kermes/Frenda/Tiaret/Algérie	HS
Aïn El Hadid/Frenda/Tiaret/Algérie	HS
Daira de Tiaret/Tiaret/Algérie	HMB
El Haouass/Djelfa/Algérie	HBM
Djelfa/Djelfa/Algérie	HBM
Djelfa/Djelfa/Algérie	HBM
Djelfa/Djelfa/Algérie	HBM

Aîn Maabed/Djelfa/Algérie	RO, LB, AN, MN, KN
Aîn Maabed/Djelfa/Algérie	HBM
Forêt de Senalba/Djelfa/Algérie	KN, MN
Forêt de Toghersane/Djelfa/Algérie	KN, MN
Maquis de Chebika/Djelfa/Algérie	KN, MN
Philipperville/Skikda/Algérie	RA
El Harrouch/Skikda/Algérie	HBM
El Kala/El-Taref/Algérie	HBM
Est-Jbel Mesaad/Msilla/Algérie	AD
Est-Jbel Mesaad/Msilla/Algérie	
Sid Chaib/Sidi Bel-Abbas/Algérie	ST,
Dhaya/Sidi Bel-Abbes/Algérie	HMB
Tafissour/Sidi Bel-Abbes/Algérie	HMB
TAMALAKA1/Sidi Belabes/Algérie	HS; ST; AB
ROUTE DE TELAGH/Sidi Belabes/Algérie	HS; ST; AB
Monts de tlemecen/Sidi Bel-Abbaes/Algérie	MB
sidi-ali ben-youb/Sidi Bel-Abbaes/Algérie	RT
Jbel Atoch/Sidi Bel-Abbaes/Algérie	RT
Oran/Oran/Algérie	HMB
Aîn Hadjar/Saida/Algérie	
Monts de Amoura/Theniet El Had/Aîn Defla/Algérie	DB
Khemis Milian/Aîn Defla/Algérie	HMB
Khemis Milian/Aîn Defla/Algérie	RAH
Boutechment/Chlef/Algérie	HMB
Dechmia/Bouira/Algérie	MB
Maabid/Bou Arridj/Algérie	HMB
Medjana/Bou Arridj/Algérie	MH
El Achir/Bou Arridj/Algérie	MH
Tiglait/Bou Arridj/Algérie	BH, AB
Guert/Bou Arridj/Algérie	BH, AB
Bordj zemoura/Bou Arridj/Algérie	BH, AB
Dar elbaida/Bou Arridj/Algérie	BH, AB
Ighil Ali/Bejaia/Algérie	MH
Hmar Khadou/Beskra/Algérie	BH

**Liste des observateurs abrégés :**

RO: Ridha Ouni, AN: Aymen Nefla; LB: Laalmi benmokhtar ; HMB; AB: Aymen Boulaaoued;  
ST: Salah Tleilia; MH: Mourad Harzallah; ZI: Zakaria Ibrahimi; NB: Nacer Bendahou; AM:  
Abdelkader Mokhtari; DW: Dahmani Walid ; AA: Antar Ammar; KA: Khaled Ayyach; DHA: Djamel  
Hadj Aissa ; MM: Mohamed Missoum ; HS: Hassan Saadna; AD: Amine Djabari; KN: Kamel Naili;  
AZ: Asem Zerouala; MB: Menad Beddek ; RT: Radhouan Tahri ; MN: Mohamed Nafti ; KM :  
Khadidja Moulay; DB: Djillali Baghloul ; MB: Mohamed Belkacem

### **Abréviations des sites de nidification :**

TM = Tlemcen province, Moutas

TFSB = Tiaret province, Frenda Site B

TFG = Tiaret province, Frenda Gaada

SLS = Saida province, Lala Setti

SHA = Saida province, Hassi Aoun

SBT = Sidi Bel Abbes province, Tafissour

SBSC = Sidi Bel Abbes province, Sidi Chaib

SBOS = Sidi Bel Abbes province, Oued Sbaa

SBM = Sidi Bel Abbes province, Merine

SBDC = Sidi Bel Abbes province, Dhaya Site C

SBDB = Sidi Bel Abbes province, Dhaya Site B

SBDA = Sidi Bel Abbes province, Dhaya Site A

SAH = Saida province, Ain El Hadjar

DJS = Djelfa province, Sen Alba

### **Illustrations**



**Figure 33.** Pratiques agropastorales sur les sites de nidification en milieu périurbain et rural



**Figure 34.** Habitat rural de *Pica mauritanica*



**Figure 35.** Habitat périurbain de *Pica mauritanica*



**Figure 36.** Nid de *Pica mauritanica*



**Figure 37.** Œuf et oisillons de *Pica mauritanica*: photographie par endoscopie