

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche Scientifique
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Badji Mokhtar Annaba University
Université Badji Mokhtar – Annaba
Faculté des Sciences



جامعة باجي مختار – عنابة

كلية العلوم

Département : BIOLOGIE

قسم : البيولوجيا

Thèse

Présentée pour obtenir le diplôme de

Doctorat Troisième Cycle

Filière : Ecologie et Environnement

Spécialité : Biologie et Ecologie Animale

KACHABIA El Khansa

Thème :

*Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers
sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien,
pour les passereaux migrateurs hivernants*



Thèse soutenue le 30 Avril 2026 devant le jury composé de :

01	BELABED Adnene	Prof.	Université Badji Mokhtar Annaba	Président
02	BAKARIA Fatiha	MCA	Université C. Bendjedid El Tarf	Directrice
03	BENYACOUB Slim	Prof.	Université Badji Mokhtar Annaba	Co-directeur
04	MAAZI Mohamed Cherif	Prof.	Université M ^{ed} C. Messaadia S. Ahras	Examineur
05	BOULAHBAL Raouf	MCA	Université C. Bendjedid El Tarf	Examineur
06	BOUKHROUFA Mehdi	MCA	Université Badji Mokhtar Annaba	Examineur

Année universitaire 2025-2026

Remerciements

J'exprime ma profonde gratitude à l'ensemble des personnes et des institutions ayant contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce travail de recherche.

*Je tiens à adresser mes remerciements les plus sincères à Madame **Bakarîa Fatîha**, ma directrice de thèse, pour la rigueur de son encadrement, la pertinence de ses orientations scientifiques et la constance de son soutien tout au long de ce parcours. Son exigence intellectuelle et ses conseils avisés ont été déterminants dans la conduite et l'aboutissement de ce travail.*

*Je souhaite également exprimer ma sincère reconnaissance au professeur **Benyacoub Slîm**, co-directeur de cette thèse, pour la qualité de son accompagnement, la justesse de ses recommandations et l'intérêt soutenu qu'il a porté à ce travail.*

*Je suis particulièrement honorée de la présence des membres du jury : Monsieur **Belabed Adnene**, Monsieur **Boulahbal Raouf**, Monsieur **Boukheroufa Mehdi** et Monsieur **Maazi M^{ed} Cherif**, auxquels j'adresse mes remerciements respectueux pour l'intérêt qu'ils ont bien voulu accorder à ce travail, ainsi que pour la qualité de leurs évaluations et de leurs remarques éclairées.*

*Mes remerciements vont également au Professeur **Francesco Porcellî**, de l'Université Aldo Moro de Bari (Italie), pour m'avoir fait l'honneur de m'accueillir au sein de son laboratoire et pour la qualité de l'encadrement scientifique dont j'ai bénéficié au cours de mes séjours de recherche.*

*J'adresse mes remerciements au Professeur **Bensouilah Mourad**, qui m'a accueillie au sein du laboratoire EMMAL et m'a apporté son soutien tout au long de ce travail.*

Dédicaces

Je dédie humblement ce travail de doctorat à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce parcours.

*À mon père **Mouhamed**, pour son amour constant et son soutien inébranlable, véritable pilier tout au long de mon chemin.*

*À ma mère **Naïma**, source d'inspiration et de courage, dont la présence bienveillante m'a guidée avec sagesse.*

*À mon frère **Oussama**, pour ses efforts continus, ses encouragements sincères et son engagement à mes côtés.*

*À mes sœurs **Rahil, Anfal et Allaa Errahman**, pour leur affection, leur patience et leur appui indéfectible.*

C'est grâce à eux que j'ai pu avancer, persévérer et franchir chaque étape avec foi et détermination.

*À mes directeurs de recherche et à Monsieur **Bensouilah Mourad** pour leur encadrement, leur rigueur scientifique et leurs conseils éclairés.*

*À mes collègues et amis **Khadidja, Ahlam, Fatma, Sofiene et Abd El Kader**, pour leur bienveillance, leur écoute et leurs encouragements.*

À tous ceux et celles qui croient en la force du savoir et de la persévérance.

El Khansa

Résumé

Cette étude, conduite de novembre 2021 à mars 2022 dans le Parc National d'El Kala (nord-est de l'Algérie), analyse les relations entre la disponibilité des ressources trophiques entomologiques et la distribution des passereaux migrateurs hivernants au sein de cinq formations végétales issues de la dégradation des subéraies à chêne-liège : subéraie avec sous-bois, subéraie sans sous-bois, maquis arboré, maquis moyen et pelouse d'altitude.

L'inventaire avifaunistique, réalisé par Échantillonnage Ponctuel Simple (EPS), a permis de recenser douze espèces de passereaux hivernants ou de passage. Les effectifs et la richesse spécifique les plus élevés sont enregistrés dans les formations les plus structurées — subéraie avec sous-bois et maquis arboré —, tandis que la subéraie sans sous-bois demeure constamment la moins attractive. Sur le plan entomologique, 1 597 individus ont été collectés, répartis en 7 ordres et 36 familles, avec une nette dominance des Coléoptères. Les formations boisées complexes concentrent l'essentiel de la richesse et de l'abondance entomologique, contrairement aux milieux ouverts et à la subéraie sans sous-bois, significativement appauvris.

La mise en parallèle des deux composantes révèle une convergence remarquable : la complexité structurale de la végétation, en particulier la densité du sous-bois, constitue le principal déterminant commun de la diversité entomologique et de la richesse aviaire hivernante. Ces résultats soulignent l'urgence d'une gestion conservatoire intégrée, préservant l'ensemble des strates végétales comme condition fondamentale du maintien de la biodiversité hivernale dans les écosystèmes forestiers méditerranéens.

Mots clés : N-E Algérie- Parc National d'El Kala- subéraies sempervirentes, passereaux hivernants, Ressource insectes – sélection de l'habitat.

Abstract

This study, conducted from November 2021 to March 2022 within El Kala National Park (north-eastern Algeria), investigates the relationship between the availability of entomological trophic resources and the distribution of wintering migratory passerines across five vegetation types representing a degradation gradient of cork oak woodland: cork oak forest with understorey, cork oak forest without understorey, tall arborescent maquis, medium maquis, and upland grassland.

Avifaunal surveys, carried out using the Simple Point Count method (SPC), yielded twelve passerine species recorded as winterers or passage migrants. The highest abundances and species richness were consistently recorded in the most structurally complex formations — cork oak forest with understorey and tall arborescent maquis — whereas the cork oak forest without understorey remained the least attractive habitat throughout the wintering season. From an entomological standpoint, 1,597 individuals were collected, distributed across 7 orders and 36 families, with a marked dominance of Coleoptera. Structurally complex woodland formations harboured the greatest entomological richness and abundance, in sharp contrast to open habitats and the cork oak forest without understorey, which were significantly impoverished.

The parallel analysis of both biological components reveals a striking convergence: vegetation structural complexity — and in particular understorey density — emerges as the primary shared determinant of entomological diversity and wintering avian species richness. These findings highlight the urgent need for integrated conservation management that preserves the full complement of vegetation strata as a fundamental prerequisite for sustaining winter biodiversity in Mediterranean forest ecosystems.

Keywords: Northeastern Algeria; El Kala National Park; evergreen cork oak forests; wintering passerines; insect resources; habitat selection.

ملخص

تتناول هذه الدراسة، التي أجريت في الفترة الممتدة من نوفمبر 2021 إلى مارس 2022 في الحظيرة الوطنية للقالبة وتوزيع (Trophic resources) (شمال شرق الجزائر)، تحليل العلاقات القائمة بين وفرة الموارد الغذائية الحشرية الجوائم المهاجرة المشتية ضمن خمس تشكيلات نباتية ناتجة عن تدهور غابات البلوط الفليني: غابة بلوط فليني ذات غطاء نباتي تحتية، غابة بلوط فليني خالية من الغطاء التحتي، أحرش شجرية، أحرش متوسطة، ومروج جبلية. اعتمد جرد عشيرة الطيور على طريقة العينة النقطية البسيطة مما سمح بتسجيل اثني عشر نوعاً من الطيور الجوائم المشتية أو العابرة. وقد سُجّلت أعلى معدلات الوفرة العددية والغنى النوعي في التشكيلات الأكثر تعقيداً من الناحية الهيكلية – وهي غابة البلوط الفليني ذات الغطاء التحتي والأحرش الشجرية – بينما ظلت غابة البلوط الفليني الخالية من الغطاء التحتي هي الأقل استقطاباً للطيور بشكل مستمر. أما على الصعيد الحشري، فقد تم جمع 1,597 عينة تتوزع على 7 رتب و36 فصيلة، مع هيمنة واضحة لرتبة غمديات الأجنحة وتتركز معظم الثروة والوفرة الحشرية في التشكيلات الغابية المعقدة، على عكس الأوساط المفتوحة وغابات البلوط الفليني المجردة من الغطاء التحتي التي شهدت نضوباً ملحوظاً. تكشف المقارنة بين المكونين عن تقارب لافت؛ إذ يعتبر التعقيد الهيكلي للغطاء النباتي، ولا سيما كثافة الطبقة التحتية، المحدد الرئيسي للمشتية، والغنى الطيري المشتية. وتؤكد هذه النتائج على ضرورة تبني إدارة صونية متكاملة تعمل على حماية هذه الطبقات النباتية، باعتبارها شرطاً أساسياً للحفاظ على التنوع البيولوجي الشتوي في النظم البيئية الغابية المتوسطة.

الكلمات المفتاحية: شمال شرق الجزائر، الحظيرة الوطنية للقالبة، غابات البلوط الفليني الدائمة الخضرة، الجوائم المشتية، الموارد الحشرية، اختيار الموائل.

Sommaire

N°	Titre	Page
	Introduction générale	1
	Aperçu sur les Subéraie dans le monde et en Algérie	9
I	Matériel et méthodes	
I.1	Présentation de la région et des sites d'étude	
I.1.1	Présentation de la région d'étude	12
I.1.2	Réseau hydrographique du PNEK	13
I.1.3	Climat de la région	14
I.1.4	Bioclimats du PNEK	15
I.1.5	Topographie du Parc National d'El Kala	19
I.1.6	Formations Végétales dominante	21
I.1.7	La biodiversité du parc national d'El Kala	24
I.2	Présentation des sites d'étude	26
I.2	Matériel et méthodes d'étude 'Oiseaux'	
I.2.1	Matériel	31
I.2.2	Méthode relative (Echantillonnage ponctuel simple (EPS))	31
I.2.3	Traitement des résultats 'Suivi des espèces'	35
I.3	Méthode d'étude 'Insectes'	
I.3.2.1	Matériel	39
I.3.2.2	Méthodologie	39
I.3.2.3	Traitement des résultats	40
I.3.2.3.1	Analyse des données entomologiques - indices écologiques	41
II	Résultats	44
II.1	Résultats et Discussion oiseaux migrateurs hivernants	
II.1.1	Composition du peuplement	44
II.1.2	Description des espèces étudiées	45
II.1.2.1	Le Rouge-gorge familier <i>Erithacus rubecula</i>	45
II.1.2.2	Le Rouge-queue noir <i>Phoenicurus ochruros</i>	46
II.1.2.3	Le Pouillot fitis <i>Phylloscopus trochilus</i>	46
II.1.2.4	Le Pouillot véloce <i>Phylloscopus collybita</i>	47
II.1.2.5	Le Pouillot siffleur <i>Phylloscopus sibilatrix</i>	48
II.1.2.6	La Fauvette mélanocéphale <i>Currucamelanocephala</i>	49
II.1.2.7	La Fauvette à tête noire <i>Sylvia atricapilla</i>	50
II.1.2.8	La Grive mauvis <i>Turdus iliacus</i>	51
II.1.2.9	La Grive musicienne <i>Turdus philomelos</i>	52
II.1.2.10	Le Pipit farlouse <i>Anthus pratensis</i>	53
II.1.2.11	La Bergeronnette grise <i>Motacilla alba</i>	54
II.1.2.12	L'Étourneau sansonnet <i>Sturnus vulgaris</i>	55
II.1.3	Variabilité mensuelle de l'abondance du peuplement des passereaux hivernants par formation végétale	56
II.1.4	Variabilité spatiale de l'abondance du peuplement des passereaux hivernants	59
II.1.5	Les Tendances mensuelles des espèces (phénologie d'hivernage)	62
II.1.5.1	Le rouge -gorge	62

II.1.5.2	Le rouge queue noir	63
II.1.5.3	Le Pouillot fitis	64
II.1.5.4	Le Pouillot véloce	65
II.1.5.5	Le Pouillot siffleur	66
II.1.5.6	La fauvette mélanocéphale	66
II.1.5.7	La Fauvette à tête noire	67
II.1.5.8	Grive mauvis	68
II.1.5.9	Grive musicienne	69
II.1.5.10	Bergonnette grise	70
II.1.5.11	Pipite farlouse	71
II.1.5.12	Étourneau sansounet	72
II.1.6	Evolution spatiale des passereaux hivernants	72
II.1.7	Les indices de structure du peuplement hivernant	76
II.1.7.1	Fréquence d'occurrence des espèces par milieu	76
II.1.7.2	Les Fréquences relatives (abondances relatives) des hivernants	78
II.1.7.3	Analyse comparée des fréquences d'occurrence et des fréquences relatives chez les passereaux hivernants	78
II.1.8	Indices de diversité de Shannon et d'équitabilité de Piélou	80
II.1.9	Variation temporelle des assemblages de passereaux dans différentes formations végétales	81
	Discussion des résultats passereaux migrateurs hivernants	84
II.2	Résultats partie ressource trophique (Insectes)	90
II.3.1	Composition du peuplement hivernal de l'Entomofaune	90
II.3.2	Variation mensuelle des paramètres écologiques de la diversité locale	92
II.3.3	Abondance mensuelle des insectes par ordre	92
II.3.4	Diversité spatiale de l'abondance des insectes	93
II.3.5	Variations mensuelles hivernale de la diversité alpha et de la répartition taxonomique	94
II.3.6	Variations spatiales des paramètres écologiques	96
II.3.7	Analyse de la variation de la diversité bêta (Indice de Whittaker)	97
II.3.8	Modèles écologiques et différenciation des habitats : une analyse des correspondances de la communauté d'insectes	98
II.3.9	Classification hiérarchique des communautés d'insectes	100
II.3.10	Complémentarité écologique des sites basée sur la composition taxonomique	100
	Discussion des résultats de l'étude de l'Entomofaune	103
	Discussion générale	105
1	Structuration et organisation des peuplements de passereaux hivernants	105
2	Diversité et organisation des communautés d'insectes	106
3	Comparaison de la structuration des communautés de passereaux hivernants et des peuplements d'insectes dans les cinq formations végétales	107
	Conclusion et perspectives	111
	Références bibliographiques	116

Liste des Figures

N°	Titre	Page
1	Aire de répartition du chêne liège (<i>Quercus suber</i>)	10
2	Répartition des forêts de chêne liège en Algérie	11
3	Situation du Parc National dans la wilaya d'el Tarf	12
4	Réseau hydrographique du PNEK	14
5	Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen	15
6	Carte des étages bioclimatiques du Parc National d'El Kala	18
7	Carte des pentes de la région d'El kala	19
8	Les classes d'altitude du Parc National d'El Kala	21
9	Carte des formations forestières du Parc National d'El Kala	23
10	Zones clés pour des populations significatives d'espèces migratrices d'oiseaux mondialement menacées dans le Hotspot du bassin méditerranéen	26
11	Zone d'étude et localisation des stations échantillonnées	30
12	Exemples de distribution des EPS (STOC-EPS)	33
13	Distribution des EPS (présente étude)	33
14	Carte de distribution du Rouge-gorge familier	45
15	Carte de distribution du Rouge-queue noir	46
16	Carte de distribution du Pouillot fitis	47
17	Carte de distribution du Pouillot véloce	48
18	Carte de distribution du Pouillot siffleur	49
19	Carte de distribution de la fauvette mélanocéphale	50
20	Carte de distribution de la fauvette à tête noire	51
21	Carte de distribution de la Grive mauvis	52
22	Carte de distribution de la Grive musicienne	53
23	Carte de distribution du Pipit farlouse	54
24	Carte de distribution de la Bergeronnette grise	55
25	Carte de distribution de l'Etourneau sansonnet	56
26 (a-d)	Tendances mensuelles de diversité et abondance du peuplement hivernants	58
27 (a-d)	Evolutions temporelle des hivernants par milieu	61
28	Tendance mensuelle des effectifs du Rouge-gorge	63

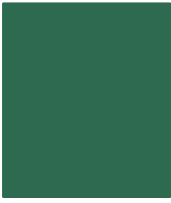
29	Tendance mensuelle des effectifs du Rouge-queue noir	64
30	Tendance mensuelle des effectifs du Pouillot fitis	65
31	Tendance mensuelle des effectifs du Pouillot véloce	65
32	Tendance mensuelle des effectifs du Pouillot siffleur	66
33	Tendance mensuelle des effectifs de la fauvette mélanocéphale	67
34	Tendance mensuelle des effectifs de la fauvette à tête noire	68
35	Tendance mensuelle des effectifs de la Grive mauvis	69
36	Tendance mensuelle des effectifs de la Grive musicienne	69
37	Tendance mensuelle des effectifs de la Bergeronnette grise	70
38	Tendance mensuelle des effectifs du Pipit farlouse	71
39	Tendance mensuelle des effectifs de l'Étourneau sansonnet	72
40	Evolution spatiale des passereaux hivernants	75
41 (a et b)	Indices de diversité de Shannon et d'équitabilité de Pielou	80
42 (a-e)	Évolution mensuelle des assemblages de passereaux : ACP	83
43	Tendances mensuelles de l'abondance des insectes	92
44	Evolution mensuelle Abondance des insectes par ordre	93
45	Diversité abondance spatiales des insectes	94
46 (a et b)	Diagramme biplot d'analyse des correspondances	99
47	Diagramme de Venn	102

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
1	Répartition spatiale et temporelle des EPS	34
2	Espèces de passereaux hivernants et de passage rencontrées dans toutes les formations	44
3	Fréquence d'occurrence des espèces par milieu	77
4	Fréquences relatives des espèces par milieu	78
5	Abondance des insectes dans les cinq formations	91
6	Variations mensuelles des paramètres de la structure des insectes	95
7	Variations spatiales des paramètres écologiques	97

Liste des photos

N°	Titre	Page
1 (a et b)	La subéraie et sa strate arbustive	27
2 (a et b)	La subéraie sans sous-bois	28
3 (a et b)	Le maquis arboré	28
4 (a et b)	Le maquis moyen	29
5 (a et b)	La pelouse	29
6	Préparation des échantillons pour l'identification	40



Introduction



Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

Introduction générale

Importance des forêts de chêne-liège dans le bassin méditerranéen

Le bassin méditerranéen constitue l'un des principaux foyers mondiaux de biodiversité, reconnu comme un « hotspot » en raison de sa richesse spécifique élevée et de son taux d'endémisme remarquable (Myers et al., 2000). Cette singularité biologique s'explique par une histoire biogéographique complexe, marquée par des fluctuations climatiques quaternaires et des interactions prolongées entre l'homme et les milieux naturels (Blondel & Aronson, 1999). Dans ce contexte, les formations forestières sempervirentes jouent un rôle structurant majeur dans l'organisation des paysages et des communautés biologiques, en assurant à la fois des fonctions de régulation écologique, de maintien de la biodiversité et de fourniture de services écosystémiques essentiels.

Parmi ces formations forestières, les subéraies (*Quercus suber* L.) occupent une place centrale dans le bassin méditerranéen occidental. Leur distribution couvre principalement le sud-ouest de l'Europe (Espagne, Portugal, sud de la France, Italie) et l'Afrique du Nord (Maroc, Algérie, Tunisie), où elles se développent sous des conditions climatiques caractérisées par une alternance marquée entre une saison sèche estivale et une saison humide hivernale (Natividade, 1950 ; Aronson et al., 2009). Ces forêts s'installent préférentiellement sur des sols acides, souvent siliceux, présentant une grande plasticité écologique qui leur permet de coloniser des substrats variés et de tolérer des conditions climatiques contrastées.

En Algérie, les chênaies sempervirentes, notamment celles à Chêne-liège, constituent l'un des écosystèmes forestiers les plus représentatifs du nord-est du pays. Elles s'inscrivent dans un contexte de climat méditerranéen humide, caractérisé par une alternance entre sécheresse estivale et humidité hivernale, et s'intègrent dans une mosaïque d'habitats allant des forêts denses aux maquis clairs et aux pelouses ouvertes. Ces formations couvrent environ 350 000 hectares, principalement situées dans les wilayas de Jijel, El Tarf, Guelma, Skikda, Annaba et Souk Ahras (Messaoudene et al., 2014).

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

Rôle socio-économique des subéraies

Au-delà de leur valeur patrimoniale, les subéraies assurent des fonctions sociales et économiques importantes. Le chêne-liège est une espèce d'intérêt économique majeur du fait de l'exploitation de son écorce, le liège, utilisé dans de nombreux secteurs tels que l'emballage, la construction et l'aéronautique. Le liège constitue une ressource renouvelable : sa récolte, effectuée tous les 9 à 12 ans, ne nécessite pas l'abattage de l'arbre, ce qui en fait une activité durable à long terme (**Pereira, 2007**). Les subéraies jouent ainsi un rôle central dans les économies rurales méditerranéennes, en générant des revenus et en contribuant à la lutte contre l'exode rural. Par ailleurs, les forêts de chêne-liège sont associées à un patrimoine culturel fort, transmis par des savoir-faire sylvicoles traditionnels, des usages ancestraux tels que le pâturage, la récolte de plantes médicinales et la chasse, ainsi que par des paysages culturels reconnus (**Díaz et al., 1997**).

Complexité structurale et biodiversité des subéraies

Les subéraies climaciques se distinguent par une organisation verticale et horizontale complexe, intégrant plusieurs strates végétales (arborée, arbustive et herbacée). Cette stratification favorise la coexistence de nombreuses espèces végétales et animales en offrant une diversité de niches écologiques (**Bugalho et al., 2011**). La strate arbustive, souvent composée d'espèces sclérophylles telles que : *Erica arborea*, *Arbutus unedo* ou *Pistacia lentiscus*, joue un rôle fondamental dans le fonctionnement de ces écosystèmes. Elle constitue à la fois un habitat, un refuge contre la prédation et un support pour les ressources trophiques, notamment les arthropodes. La litière forestière, quant à elle, représente un compartiment clé pour la biodiversité du sol, abritant une grande diversité d'invertébrés.

Cette complexité structurelle est renforcée par les pratiques agro-sylvo-pastorales traditionnelles, qui ont contribué à façonner des paysages en mosaïque, alternant zones boisées, clairières et formations arbustives (**Díaz et al., 1997 ; Bugalho et al., 2011**). Il est aujourd'hui reconnu que l'hétérogénéité spatiale constitue un facteur déterminant de la diversité biologique, en particulier pour les communautés aviaires (**Tellería & Pérez-Tris, 2004 ; Tews et al., 2004**).

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

Dégradation des subéraies et transformations des paysages méditerranéens

Malgré leur importance écologique et socio-économique, les subéraies méditerranéennes sont soumises à une dynamique de dégradation progressive, résultant de l'action combinée de facteurs anthropiques et climatiques. Sur l'ensemble du bassin méditerranéen, ces écosystèmes subissent une régression de leur surface et de leur intégrité écologique sous l'effet conjugué de la déforestation, des pratiques agricoles extensives, de l'expansion urbaine et des effets du changement climatique global. Ce dernier se manifeste par une élévation des températures moyennes annuelles, une prolongation des périodes de sécheresse estivale et des modifications substantielles du régime des précipitations, affectant directement les processus écologiques et la résilience des formations forestières (**Bencherif, 2020 ; San-Miguel-Ayanz et al., 2022**).

À ces facteurs abiotiques, s'ajoutent des pressions biotiques croissantes. Le surpâturage entrave significativement la régénération naturelle du chêne-liège, compromettant à terme le renouvellement des peuplements (**Bencherif, 2020**). La prolifération de pathogènes végétaux et d'insectes phytophages, ainsi que l'augmentation de la fréquence des attaques fongiques, notamment par des champignons pathogènes du genre *Phytophthora* ou *Diplodia*, constituent des menaces sanitaires majeures pour ces écosystèmes (**Daas et al., 2016 ; Younsi et al., 2021**). Parmi les perturbations les plus destructrices, les incendies de forêt occupent une place centrale : de plus en plus récurrents et intenses, ils compromettent gravement la reprise post-incendie des peuplements de chêne-liège, en affectant non seulement les tissus végétaux aériens, mais aussi les structures souterraines et les propriétés du sol (**Tepley et al., 2018 ; Castro Rego et al., 2021 ; Lopes et al., 2024**).

Sous l'effet combiné de ces pressions, les forêts climaciques cèdent progressivement la place à des formations secondaires de hauteur variable — maquis, clairières et milieux ouverts —, dans un processus de régression accentué par l'aridité post-incendie qui freine la régénération naturelle et favorise l'installation durable d'un couvert arbustif peu résilient (**Tassin, 2012 ; Baudena et al., 2015 ; Bouazza, 2021**).

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

Cette dynamique conduit à une simplification structurelle des habitats et à une modification des conditions trophiques, susceptibles d'affecter profondément la biodiversité, en particulier les espèces dépendantes de structures forestières complexes.

C'est notamment le cas de l'avifaune migratrice, dont les oiseaux quittent leurs quartiers de reproduction à la recherche de sites d'hivernage offrant des conditions trophiques et climatiques favorables, et dont la distribution hivernale est directement conditionnée par la qualité et la disponibilité des habitats forestiers résiduels.

Migration des passereaux : une stratégie adaptative face à la variabilité environnementale

La migration constitue une réponse adaptative majeure à la variabilité spatio-temporelle des ressources. Chez les oiseaux, elle se manifeste par des déplacements saisonniers entre des zones de reproduction et des zones d'hivernage (Alerstam et al., 2003). Ce phénomène concerne une proportion importante de l'avifaune mondiale et est particulièrement marqué chez les passereaux (Somveille et al., 2018). Les passereaux insectivores, en particulier, dépendent fortement de la disponibilité des ressources trophiques, qui fluctuent en fonction des saisons. La migration leur permet d'éviter les périodes de pénurie alimentaire en se déplaçant vers des régions où les conditions demeurent favorables (Newton, 2008). Le déclenchement de ce comportement repose sur des mécanismes internes, notamment les rythmes circannuels, et sur des signaux environnementaux tels que la photopériode et la température (Gwinner, 1996 ; Bradshaw & Holzapfel, 2007), qui permettent aux oiseaux d'anticiper les variations saisonnières et d'ajuster leur calendrier migratoire.

Les quartiers d'hivernage : un maillon clé du cycle annuel

Si les zones de reproduction ont longtemps concentré l'essentiel des recherches ornithologiques, les quartiers d'hivernage demeurent encore peu étudiés, notamment, pour les espèces de passereaux forestiers et plus particulièrement en Afrique du Nord (Miholcsa & Csörgő, 2016). Or, ces sites d'hivernage apparaissent aujourd'hui comme un élément déterminant du cycle de vie des espèces migratrices.

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

En effet, le succès de la migration post-nuptiale et de l'hivernage dépend intrinsèquement de la disponibilité d'habitats de qualité, tant le long du parcours migratoire que sur les lieux d'hivernage eux-mêmes. Ces sites doivent fournir des ressources alimentaires stables, prévisibles et abondantes, tout en minimisant les coûts de thermorégulation (**Villén-Pérez et al., 2014**).

La qualité des sites d'hivernage renforce la fidélité au site d'une année sur l'autre — phénomène bien documenté chez plusieurs espèces (**Greenwood, 1980 ; Sherry & Holmes, 1996**) — et influence directement la survie des individus, leur condition corporelle et leur succès reproducteur ultérieur (**Marra et al., 1998 ; Holmes, 2011**).

Importance des ressources trophiques hivernales : focus sur les insectes

En hiver, les insectes représentent une ressource trophique essentielle pour de nombreux passereaux. Leur disponibilité dépend fortement des caractéristiques de l'habitat, notamment de la structure de la végétation et des conditions microclimatiques (**Blondel et al., 1990 ; Hutto, 1998**). Dans les subéraies et les maquis, la litière, la strate arbustive et les microhabitats associés constituent des réservoirs importants de biodiversité entomologique (**Prodon et al., 1983 ; Jones, 1998**). Ces ressources sont particulièrement cruciales pour les espèces insectivores strictes, dont la présence hivernale est directement conditionnée par le maintien d'une biomasse entomologique suffisante, mais elles bénéficient également aux espèces à régime alimentaire mixte qui complètent leur alimentation par des invertébrés en période de faible disponibilité en fruits et graines (**Herrera, 1984 ; Wolda, 1988**). La structure de la végétation apparaît ainsi comme un déterminant commun de la diversité entomologique et de la richesse avifaunistique hivernale, en offrant simultanément des microhabitats favorables aux insectes et des conditions de refuge pour les oiseaux (**Knuff et al., 2020 ; Moreno-Fernández et al., 2021**).

Contexte régional : le Parc National d'El Kala

Le Parc National d'El Kala constitue un site d'étude particulièrement pertinent pour l'analyse des interactions entre habitats, ressources trophiques et avifaune hivernante. Situé dans l'extrême nord-est de l'Algérie, ce parc présente une grande diversité d'écosystèmes, incluant

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

des subéraies relativement bien conservées ainsi que leurs formations de dégradation successives — maquis arborés, maquis moyens et pelouses. Cette mosaïque de milieux offre un gradient écologique idéal pour étudier l'influence de la structure des habitats sur les communautés biologiques, en permettant des comparaisons entre des formations à complexité structurale contrastée. De plus, la position biogéographique de cette région, à la croisée des routes migratoires méditerranéennes, en fait un site stratégique pour les oiseaux migrants paléarctiques en transit ou en hivernage, ce qui renforce l'intérêt scientifique et conservatoire de cette étude.

Problématique et objectifs de l'étude

Malgré l'importance stratégique du Maghreb dans les réseaux de migration paléarctique, notamment en tant que zone de convergence des couloirs migratoires atlantique et méditerranéen, les études portant sur l'écologie hivernale des passereaux en Afrique du Nord demeurent rares et fragmentaires. Cette méconnaissance est particulièrement marquée en Algérie, région qui, en raison de la diversité de ses paysages forestiers et de son positionnement biogéographique, pourrait jouer un rôle crucial dans l'accueil des espèces migratrices en hiver. Par ailleurs, le déclin et la fragmentation progressifs des forêts de chêne-liège soulèvent une question conservatoire urgente : ces formations résiduelles maintiennent-elles encore les conditions nécessaires à l'accueil et au maintien des passereaux hivernants ?

Dans quelle mesure les forêts relictuelles et les formations de dégradation du Parc National d'El Kala conservent-elles leur rôle de refuges trophiques et d'habitats de qualité pour les passereaux migrants durant la période hivernale ?

Pour répondre à cette question, la présente étude se fixe un objectif général : analyser les conditions trophiques, représentées ici par les communautés d'insectes, et la répartition spatiale ainsi que l'abondance des passereaux migrants hivernants au sein des différentes formations végétales issues de la dégradation des subéraies à chêne-liège, en testant l'hypothèse que les formations les plus denses et les plus structurées constituent les habitats hivernaux les plus attractifs et les plus fonctionnels.

Les objectifs spécifiques sont les suivants :

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

1. Évaluer l'abondance et la diversité des insectes, composante centrale du régime trophique hivernal, dans cinq formations végétales contrastées — subéraies, maquis et pelouses — de la région de Bougous au sein du Parc National d'El Kala.
2. Analyser la richesse spécifique, l'abondance et la dynamique saisonnière des passereaux migrants hivernants dans ces mêmes formations végétales.
3. Comparer les résultats obtenus pour les deux composantes étudiées — insectes et oiseaux — par formation végétale, afin d'identifier les habitats les plus favorables en période hivernale et d'évaluer le degré de variation entre diversité entomologique et richesse avifaunistique.

Structure du manuscrit

Afin de répondre à la problématique posée et d'atteindre les objectifs fixés, ce travail est organisé en trois chapitres principaux, articulés de manière progressive et complémentaire.

Le **premier chapitre** est consacré à la présentation de la zone d'étude. Il offre une description détaillée du cadre géographique, climatique et écologique du Parc National d'El Kala, en mettant en évidence la diversité et la complexité des formations végétales prospectées. Les cinq stations retenues — subéraie avec sous-bois, subéraie sans sous-bois, maquis arboré, maquis moyen et pelouse — y sont caractérisées sur le plan floristique et structural, afin d'établir le gradient de complexité végétale qui constitue le fil conducteur de l'ensemble de l'étude.

Le **deuxième chapitre** expose la méthodologie adoptée pour l'échantillonnage des deux compartiments biologiques étudiés. Il décrit les protocoles mis en œuvre pour le suivi des communautés d'insectes, d'une part, et des peuplements de passereaux hivernants, d'autre part, en précisant les techniques d'inventaire, le calendrier des relevés et les méthodes d'analyse statistique utilisées pour traiter et interpréter les données recueillies.

Le **troisième chapitre** présente l'ensemble des résultats obtenus, organisés en deux volets distincts.

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

Le premier volet porte sur la richesse spécifique, de l'abondance et de la dynamique saisonnière des passereaux hivernants dans les cinq formations végétales.

Le second volet traite de la diversité et la composition des communautés entomologiques dans les mêmes habitats. Chaque volet est accompagné d'une discussion partielle.

Enfin, une **discussion générale** vient clore ce travail en articulant les résultats des deux compartiments biologiques dans une perspective intégrative. Elle examine la convergence entre la diversité entomologique et la richesse avifaunistique à travers le gradient de complexité structurale des habitats, et propose des éléments de réflexion pour la conservation des formations forestières du nord-est algérien, en soulignant notamment le rôle irremplaçable des subéraies structurellement complexes comme refuges hivernaux de biodiversité.



- *Aperçu sur les Subéraies*



Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

Aperçu sur les subéraies dans le monde est en Algérie

Les subéraies ou Forêts de Chêne-liège (*Quercus suber* L.)

Les forêts de chêne-liège, communément appelées subéraies, constituent l'un des écosystèmes forestiers les plus remarquables et les plus caractéristiques du bassin méditerranéen. Elles représentent un patrimoine naturel d'une valeur inestimable, à la fois sur le plan écologique, économique et culturel. Le chêne-liège (*Quercus suber* L.), arbre à feuilles persistantes appartenant à la famille des Fagacées, se distingue par une adaptation remarquable aux conditions climatiques méditerranéennes, notamment la sécheresse estivale prononcée et les hivers doux et humides.

Répartition géographique mondiale des subéraies

À l'échelle mondiale, les forêts de chêne-liège couvrent une superficie totale estimée à environ 2.687.000 hectares, répartis exclusivement dans sept pays, du bassin méditerranéen occidental (**Fig. 1**). Cette distribution géographique restreinte confère à ces écosystèmes un caractère endémique au sens biogéographique du terme, faisant de la région méditerranéenne le seul berceau naturel de cette essence forestière.

La distribution des subéraies entre les sept pays producteurs est fortement inégale, avec une concentration majeure dans la péninsule ibérique et en Afrique du Nord : Le Portugal se positionne comme le premier pays détenteur de subéraies au monde, avec **736.000 hectares**, représentant près d'un tiers (32,5 %) de la superficie mondiale totale.

Cette prédominance portugaise se reflète également dans la production mondiale de liège, le pays assurant à lui seul plus de **50 %** de la production mondiale de ce matériau. L'Espagne arrive en deuxième position avec **501.000 ha** (22,1 %), formant ainsi avec le Portugal un bloc ibérique qui totalise à lui seul plus de **54 %** de la superficie mondiale des subéraies. Ils sont suivis par l'Italie et la France avec respectivement **151.000 ha** (6,7 %) et **100.000 ha** (4,4 %),

Sur la rive sud de la Méditerranée, l'Algérie occupe une place de premier plan avec **350.000 ha** (18,1 %), se classant au troisième rang mondial. Ses subéraies sont concentrées

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

principalement dans les régions Nord, principalement, le Nord-Est, constituant des massifs forestiers d'une grande richesse écologique. Le Maroc suit avec **277.000 ha** (12,2 %), notamment dans les régions de la Mamora, du Rif et du Moyen Atlas.

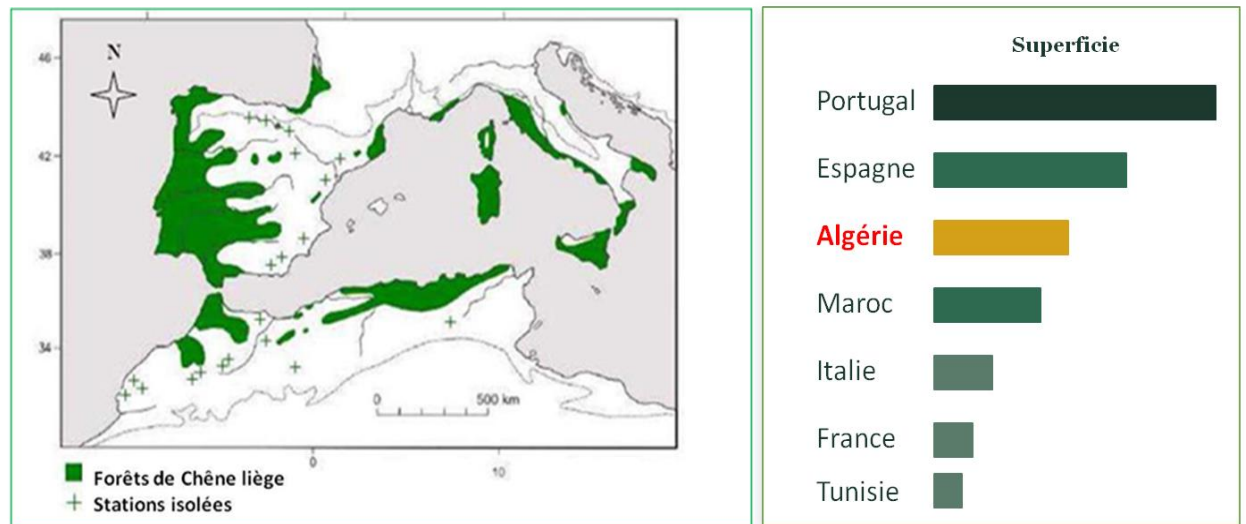


Figure 1. Aire de répartition du chêne liège (*Quercus suber*) (Quezel et Medail, 2003)

Patrimoine subéricole en Algérie

L'Algérie, le plus grand pays d'Afrique, possède une diversité écosystémique forestière, s'étendant de la côte méditerranéenne aux confins sahariens. Ces forêts, bien que couvrant une proportion relativement faible du territoire national (environ 4,1 millions d'hectares, soit environ 1,7% de la superficie totale, en comptant les forêts, les maquis et les reboisements) (**Banque Mondiale, 2023**), sont cruciales pour la conservation de leur biodiversité, la fourniture de services écosystémiques et leurs contributions socio-économiques aux communautés locales.

Le patrimoine forestier algérien est caractérisé par une mosaïque d'espèces, le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) dominant une part significative (environ 68%) et le chêne-liège (*Quercus suber*) étant une autre espèce prééminente (environ 21%) (**Banque Mondiale, 2023**). D'autres espèces importantes incluent le pin maritime, le cèdre de l'Atlas, le chêne vert, le chêne zeen et diverses espèces d'arbustes du maquis.

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

Les forêts de chêne liège revêtent une importance particulière en Algérie. Principalement situées dans les zones bioclimatiques humides et sub-humides, de l'atlas tellien de Tlemcen à Souk-Ahras.

Historiquement, la superficie des subéraies algériennes était estimée entre 440 000 et 480 000 hectares, répartis sur 23 wilayas du nord du pays. Cependant, les inventaires forestiers nationaux ont révélé une régression significative de ces forêts. L'inventaire de 2003, a confirmé la tendance à la baisse, avec une superficie subéricole estimée à 357 000 hectares, dont 242 098 hectares de vieilles futaies (Bouhraoua et al., 2014).

Les régions subéricoles par excellence se situent au Centre-Est du pays (Tizi-Ouzou, Béjaia, Jijel, Skikda, Annaba, El-Tarf, Guelma, Souk-Ahras) (Fig.2). Viennent ensuite les subéraies situées à l'Ouest, principalement à Tlemcen, Oran, Mascara, Chlef, Aïn Defla, Tipaza et Boumerdès (Jijel, 90 000 hectares, Skikda, 80 000 ha, El Tarf, 70 000 ha, Annaba, 60 000 ha et Tizi Ouzou, 23 000 ha (Banque mondiale, 2023).

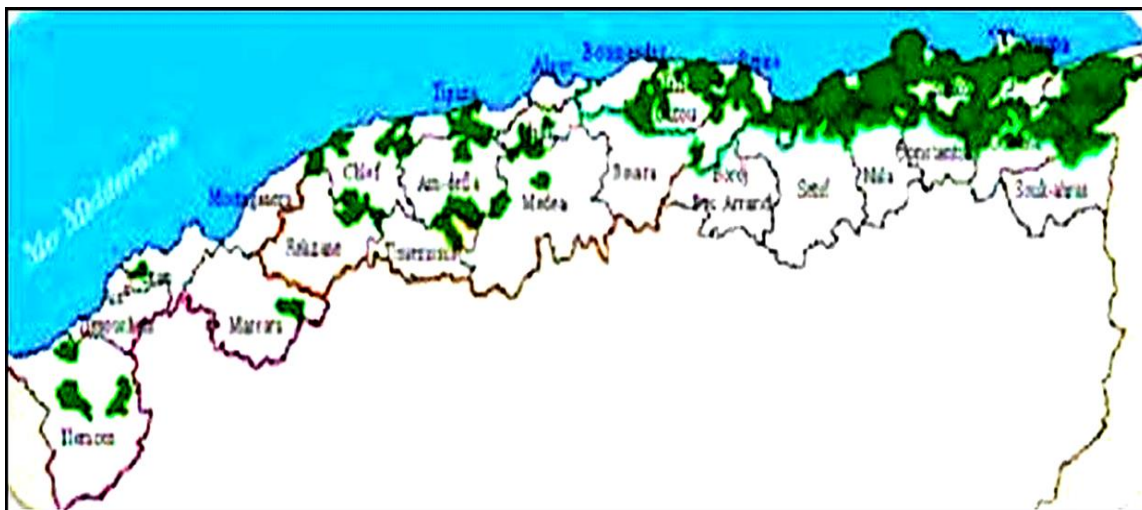


Figure 2. Répartition des forêts de chêne liège en Algérie

I.

• *Matériel et méthodes*



I.1

Région et Sites d'étude



Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrateurs hivernants

I. Matériel et méthodes

I.1 Présentation de la Région (Parc National d'El Kala)

L'étude a été menée au niveau du Parc National d'El Kala, créée en 1983, par le décret n° 83-462 du 23 juillet 1983 (JO, 1983). Situé à l'extrême nord-est de l'Algérie entre 36°55' et 36°90' N et 08°16' et 08°43' E, occupant une superficie de 78438 ha, représentant presque le tiers de la superficie de la wilaya d'El Tarf. Cette aire protégée inclue les communes suivantes : Boutheldja, Ain El Assel, El Kala, El Aioun, Bougous, Souarekh, Ramel Souk et Zitouna (Fig.3).

Le parc est délimité au nord par la mer Méditerranée, à l'est par la frontière algéro-tunisienne à l'ouest par la plaine d'Annaba et au sud par les montagnes de Medjerda.

Cette aire protégée a été classée 'Réserve de la biosphère' en 1990, par l'UNESCO dans son programme 'Man and Biosphere' (Bakaria, 2013). Il fait également partie des hotspots de la Méditerranée occidentale, connue par sa grande diversité paysagère et un patrimoine biologique des plus diversifiés et des plus vulnérables (Médail & Quézel 1997 ; Stevenson & Moore, 1988 ; Benyacoub & al., 1998).

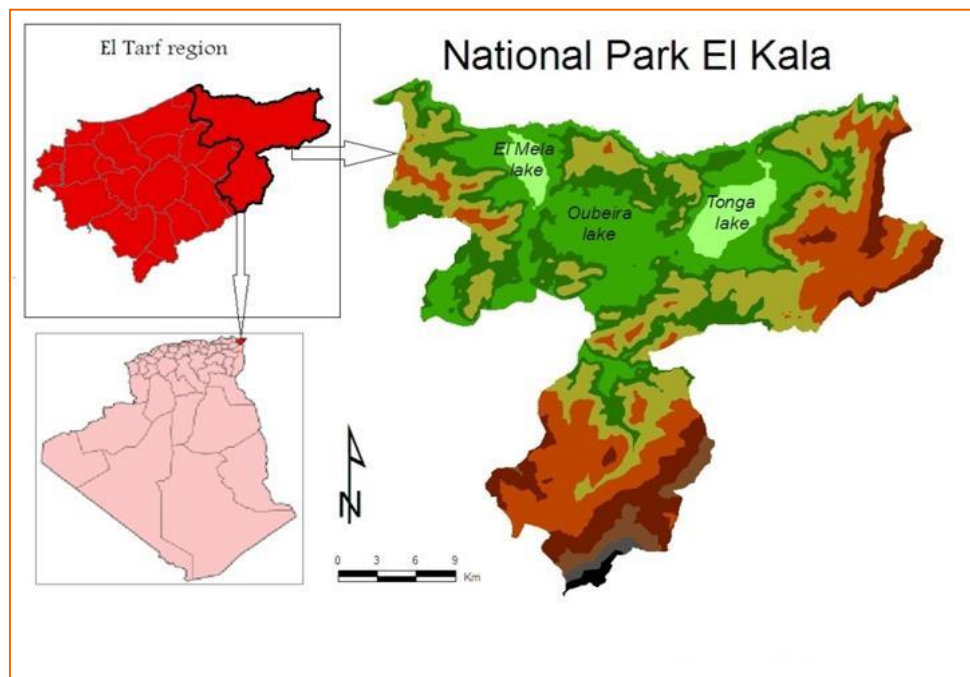


Figure 3. Situation du Parc National dans la wilaya d'el Tarf (Pech et Diaf, 2022)

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

I.1.2 Réseau hydrographique du PNEK

Le PNEK est caractérisé par un réseau hydrographique important, constitué de lacs (lac Tonga, lac Oubeira, lac Mellah et lac Mexa), d'un barrage et des oueds dont les plus importants sont El-Kebir, El Eurg, Bougous et El-Aroug (**Benyacoub & al., 1998**) (**Fig. 4**).

En plus de nombreuses zones humides naturelles (Tonga, Oubeira, Mellah, lac bleu) et artificielles (barrages Mexa et Bougous), le réseau hydrographique est très important et est organisé en 3 systèmes.

La région d'El Kala a la particularité d'abriter le complexe de zones humides le plus important du Maghreb. La taille et le caractère de salinité de ces zones favorise une richesse faunistiques et floristiques, particulièrement importante. Les principales zones humides de la région sont les lacs : Tonga (2400 ha), Oubeira (2200) et Mellah (860 ha). Et le marais de la Mekhada (8900 ha), le Lac des Oiseaux (40 ha), le Lac bleu, le marais de Bouredim et le lac de barrage Mexa.

- La partie sud-est est drainée par 3 oueds : Bougous, Ballouta, et El Kebir qui constitue le collecteur principal : il alimente les nappes alluviales et dunaires.
- La partie orientale est caractérisée par plusieurs oueds en général à faible débit, ils s'écoulent en majorité dans la plaine d'Oum Teboul.
- La partie ouest est généralement parcourue par de nombreux Oueds (El Aroug, Mellah, Reguibet, Boumerchen, Dey El Graa...), qui se déversent dans le lac Mellah et Oubeira.

Les sources sont également présentes et dont les plus importantes sont celles de Bouglez, Bourdim et Oued L'bhaim (**B.N.E.F., 1984**).

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrateurs hivernants

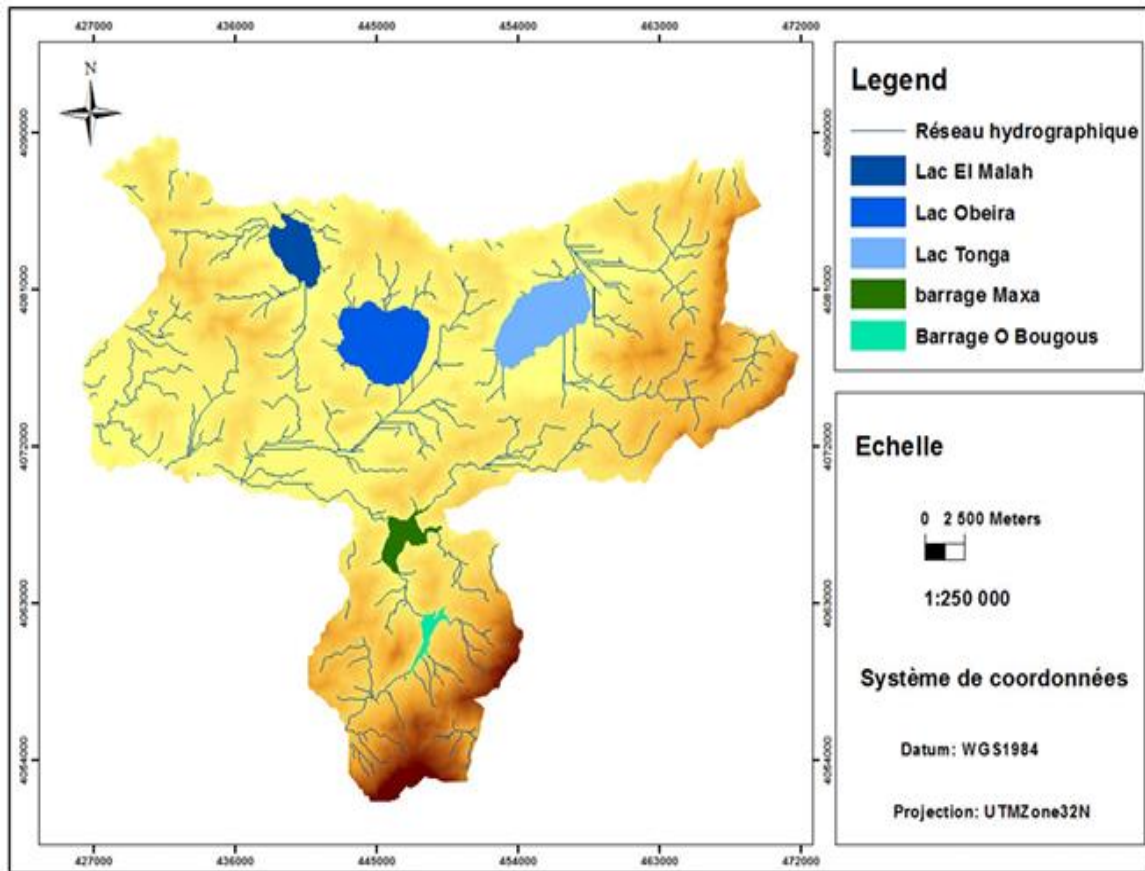


Figure 4. Réseau hydrographique du PNEK (Khallel, 2019)

I.1.3 Climat de la région

Le climat de la région d'El Kala est de type méditerranéen avec une saison pluvieuse s'étalant de novembre à avril avec un bilan hydrique positif, et une longue saison sèche et chaude, de mai à octobre.

La température situe la région d'El Kala dans le méditerranéen chaud. Elle est caractérisée par une température moyenne annuelle de 18,08°C.

Les mois les plus froids sont janvier et février (13°C en moyenne), alors que juillet et août sont les plus chauds (26 °C en moyenne). Les températures les plus douces sont observées en octobre, novembre, avril et mai (Brahmia, 2002). Les températures les plus basses sont naturellement enregistrées en altitude durant l'hiver au djebel Ghorra (Bougous).

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

D'une manière générale la période hivernale se caractérise par des vents dominants de régime Nord et Nord-Ouest forts à modérés. Ils sont chargés en humidité et en précipitations importantes venues de l'Atlantique. A partir du printemps et en été, leur direction devient Nord-Est et trouve son origine dans le gonflement de l'anticyclone des Açores (Benyacoub, 1993). Enfin, le sirocco combiné à un état de déficit hydrique assèche l'atmosphère et favorise ainsi, lorsqu'il est associé aux températures élevées, les incendies de forêts (Benyacoub, 1993).

Le diagramme Ombrothermique de la région d'étude montre l'existence de deux périodes humides, et une période sèche au cours de l'année, qui s'étale comme suit: Les périodes humides comprises entre le mois de Janvier et Mai et la seconde entre la Septembre et Décembre, et la période sèche entre le mois Mai et Septembre (Fig.5).

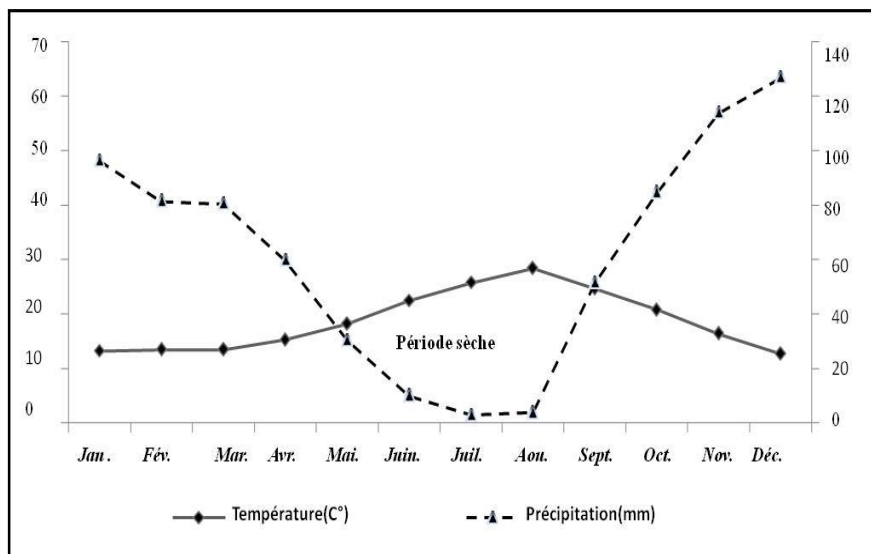


Figure 5. Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausse

I.1.4 Bioclimats du Parc National d'El Kala

I.1.4.1. Le bioclimat comme déterminant de la distribution des espèces

Le bioclimat constitue l'un des facteurs écologiques les plus structurants dans la distribution spatiale et temporelle des êtres vivants. Il intègre l'ensemble des variables climatiques — température, précipitations, humidité relative, ensoleillement — qui agissent de manière

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

combinée sur les organismes vivants et leurs habitats. Selon **Daget (1977)**, le bioclimat méditerranéen se définit avant tout par l'alternance d'une saison sèche et chaude et d'une saison humide et fraîche, cette alternance conditionnant l'ensemble des cycles biologiques des espèces animales et végétales.

Les formations végétales sont directement modelées par les conditions bioclimatiques. Chaque étage bioclimatique correspond à une combinaison spécifique de conditions thermiques et hydriques qui favorise le développement d'associations végétales caractéristiques. **Quézel & Médail (2003)** ont montré que les gradients bioclimatiques méditerranéens déterminent la répartition altitudinale et latitudinale des principales formations forestières, incluant les subéraies, les zénaies et les formations à Oléo-lentisque. La végétation constitue ainsi un bioindicateur fiable des conditions bioclimatiques locales.

En Algérie, **Bagnouls & Gaussen (1953)** et **Emberger (1955)** ont développé des outils de classification bioclimatique — notamment le quotient pluviothermique d'Emberger — qui ont permis de cartographier avec précision les étages de végétation et de comprendre leur dynamique en réponse aux variations climatiques.

La région d'El-Tarf, comprenant le Parc National d'El Kala, se localise dans l'étage bioclimatique sub-humide à hiver chaud, à la limite de l'étage humide. Les facteurs topographiques ont largement déterminé des sous-étages qui influencent eux-mêmes la diversité phytosociologique des habitats et des étages bioclimatiques de végétation (**Toubal, 1986**). Selon **Quézel & Santa (1962)**, la région représente l'une des zones floristiques les plus riches d'Algérie, dont de nombreuses espèces endémiques et reliques tertiaires.

Du littoral au massif forestier de la Medjerda, **Toubal (1986)** distingue trois étages bioclimatiques principaux, auxquels correspondent des groupements végétaux caractéristiques (**Fig. 6**).

a/ Étage Sub-humide à Hiver Chaud

Cet étage correspond à l'étage thermo-méditerranéen tel que défini par **Ozenda (1975)** (*in* Toubal, 1986). Il occupe la frange littorale et les basses collines côtières, où les températures

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

hivernales restent douces et les précipitations annuelles sont comprises entre **600 et 800 mm**. Les gelées y sont exceptionnelles et de courte durée.

Sur le plan phytogéographique, cet étage correspond aux formations thermophiles caractéristiques :

- **L'aire de l'Oléo-lentisque à Caroubier** (*Olea europaea* var. *sylvestris* — *Pistacia lentiscus* — *Ceratonia siliqua*) au niveau de la mer et dans les basses plaines côtières
- **L'aire de l'Oléo-lentisque à Myrte** (*Pistacia lentiscus* — *Myrtus communis*) à un niveau altitudinal supérieur, entre 100 et 300 m environ

b/ Étage Humide à Hiver Chaud à Tempéré

Cet étage correspond au méso-méditerranéen décrit par **Ozenda (1975)**. Il s'étend sur les collines et massifs forestiers de moyenne altitude, entre **300 et 700 m** environ, avec des précipitations annuelles allant de 800 à 1200 mm et des températures hivernales modérées. C'est l'étage le mieux représenté dans le Parc National d'El Kala, couvrant la majeure partie des grands massifs forestiers.

Il correspond à l'**aire du chêne-liège** (*Quercus suber* L.) et selon **Toubal (1986)** et **Benslimane et al. (2008)**, le chêne-liège s'associe en deux groupements distincts selon le complexe des conditions d'humidité et de sol :

✚ **Groupement à *Quercus suber* et *Pistacia lentiscus*** : au niveau le plus thermophile et à basse altitude (300–500 m). Ce groupement occupe les versants exposés au sud et les basses pentes, là où les conditions de chaleur et de sécheresse estivale sont les plus accentuées. Il se caractérise par un cortège floristique thermophile incluant *Pistacia lentiscus*, *Myrtus communis*, *Smilax aspera* et *Phillyrea angustifolia*.

✚ **Groupement à *Quercus suber* et *Cytisus triflorus*** : au niveau le moins thermophile et à haute altitude, à partir de 500 à 700 m. Ce groupement, plus mésophile, s'installe sur les versants exposés au nord et les zones d'altitude supérieure, où les conditions d'humidité sont plus favorables. Il intègre des espèces mésophiles comme *Cytisus triflorus*, *Erica arborea*, *Calluna vulgaris* et *Pteridium aquilinum*.

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

c/ Étage Humide à Hiver Frais

Cet étage correspond à l'étage supra-méditerranéen d'**Ozenda (1975)**, qui règne au-delà de 800 à 900 m d'altitude, notamment sur les sommets du massif de la Medjerda et les reliefs les plus élevés du parc. Les précipitations y sont importantes, les hivers sont rigoureux avec des chutes de neige occasionnelles, tandis que les étés restent relativement frais et humides.

Il s'agit de l'**aire du Chêne zeen** (*Quercus faginea* subsp. *mirbeckii*), essence caducifoliée qui forme ici des zénaies caractéristiques en association avec une flore mésophile diversifiée de *Cytisus triflorus*, *Rubus ulmifolius*, *Crataegus monogyna*, *Rosa canina*, *Lonicera implexa*, *Hedera helix*.

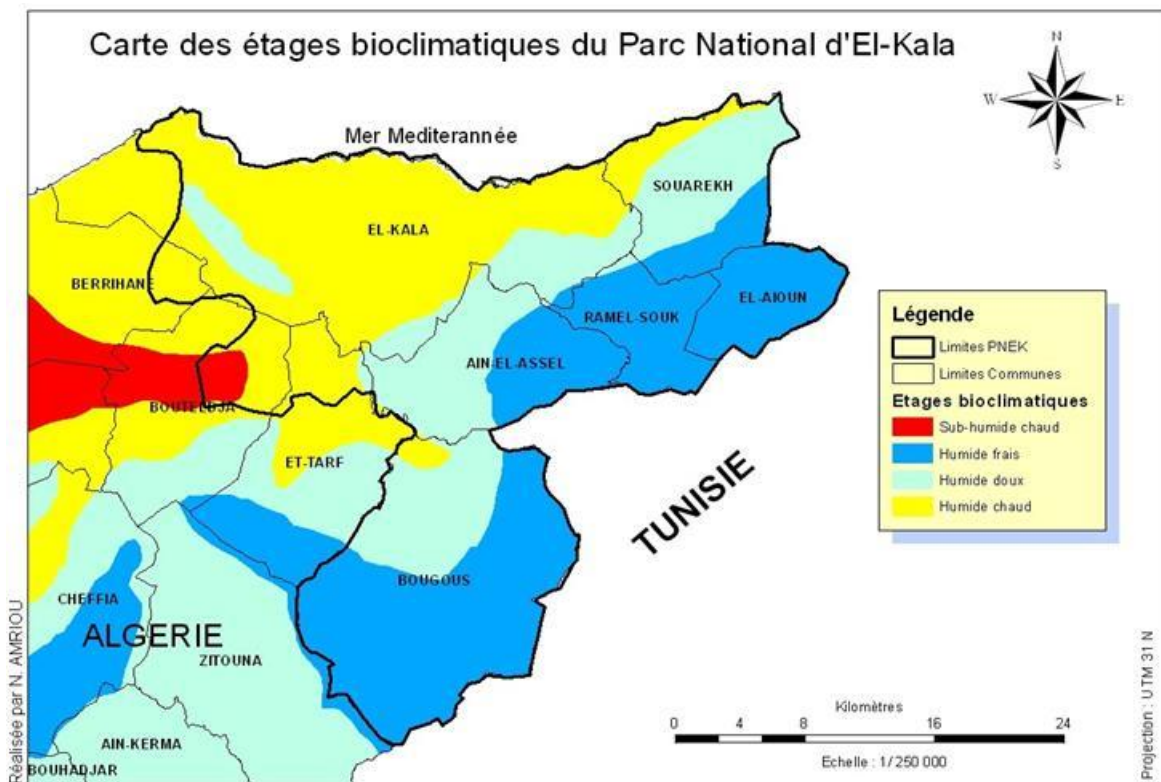


Figure 6. Carte des étages bioclimatiques du Parc National d'El Kala (PNEK, 2011)

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

I.1.5 Topographie du Parc National d'El Kala

Le relief du Parc National d'El Kala

Il se caractérise par un pendage important : 09% de pentes faibles, 11% moyennes et 80% fortes à très fortes, constituant un trait majeur de la physionomie d'un paysage montagneux (B.N.E.D.E.R, 1992), (Fig. 7). Ce paysage est fortement parcouru par un réseau hydrographique bien développé en altitude pour acheminer ses eaux vers le domaine des plaines au Nord (Bentouili, 2007).

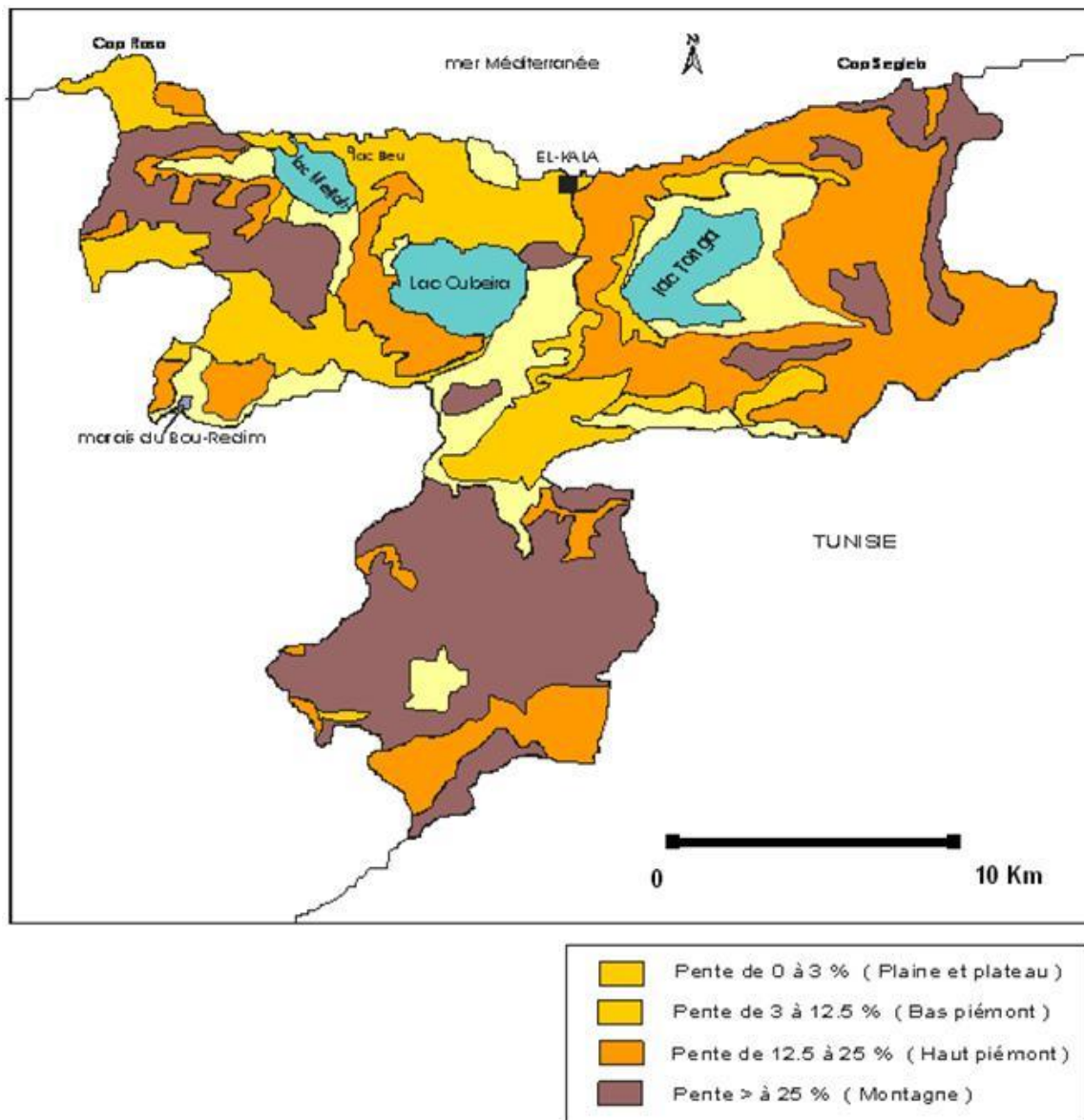


Figure 7. Carte des pentes de la région d'El kala (Bentouili, 2007)

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

Le relief se compose d'une série de dépressions, dont certaines sont occupées par des formations lacustres ou palustres, et des hautes collines aux formes variées. On y observe des dômes, des escarpements, et des alignements de crêtes généralement couverts par une végétation dense (Belair (De), 1990). Du nord au sud, on distingue :

- Un cordon dunaire littoral qui s'étend d'Ouest en Est sur une longueur de 40 km et se prolonge vers le sud jusqu'au pied du Djebel Segleb. Il est formé essentiellement de sables quaternaires.
- Les dunes littorales dans la partie occidentale, les dunes sub-littorales à l'Est et les dunes intérieures à sable rougi par les dépôts d'oxyde de fer plus à l'Est.
- Les plaines sub-littorales : elles présentent un relief plat ondulé marqué surtout par les dépressions lacustres et marécageuses (Lacs: Tonga, Mellah, Oubeïra). L'altitude n'y dépasse pas 60 m.
- Les montagnes telliennes (Monts de la Medjerda) : Le long de la frontière algéro-tunisienne, les Monts de la Medjerda constituent une barrière topographique d'orientation SW-NE dont le point le plus élevé culmine à 1406 m (Djebel M'Sid). L'altitude s'abaisse progressivement vers le Nord-Est pour atteindre 1041 m à Djebel Dir, 1202 m à Kef Rokba « Ghorra el Hammam » et 821 m à Kef Mzaza.

La ligne topographique de la Medjerda est la troisième barrière topographique qui longe le bassin versant dans sa partie sud. Elle porte des escarpements rocheux et son versant nord (Algérien) en pente forte, a un commandement de 500 m et plus. En revanche, Kef Rokba domine une topographie plane qui s'élève de 450 à 500 m sur l'ensemble des massifs de

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

cette région. Elle recoupe les sommets des chaînons de direction SW-NE et crée à certains endroits de véritables plateaux (**Fig.8**).

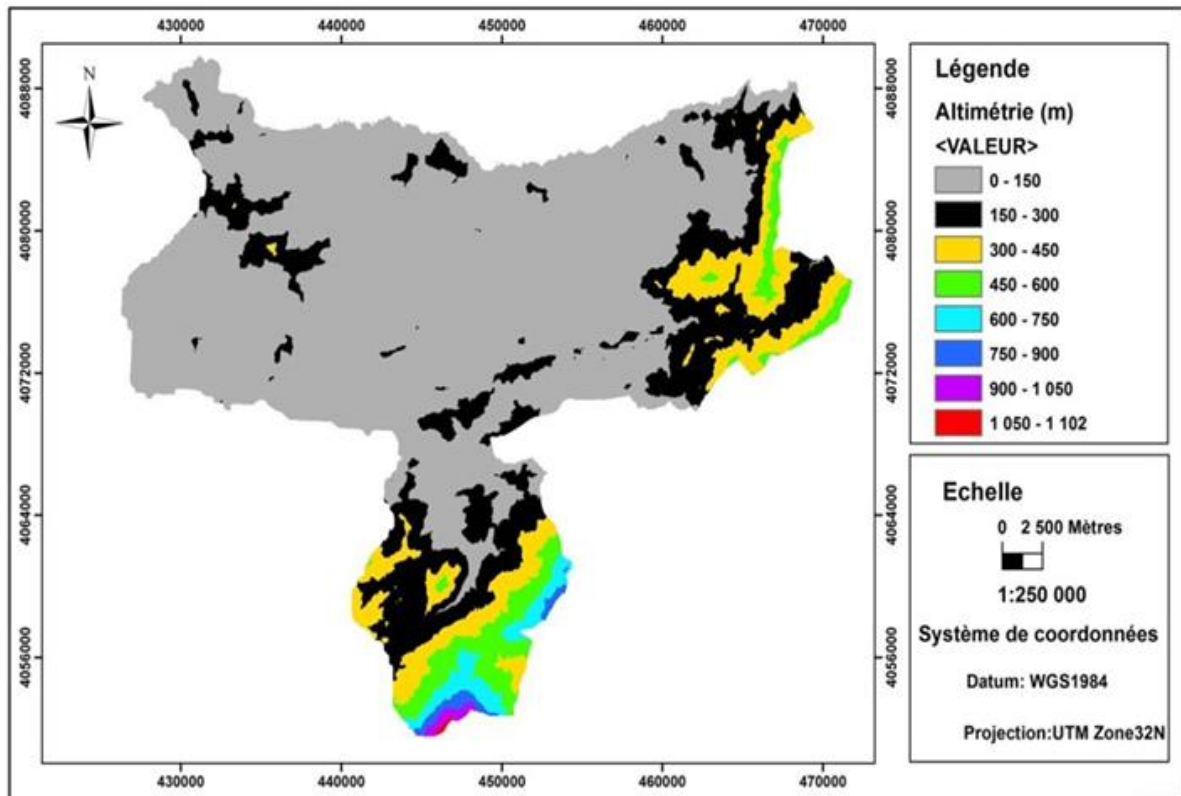


Figure 8. Les classes d'altitude du PNEK (Source : Khallef, 2019)

I.1.6 Formations Végétales dominante de la wilaya d'El Tarf

Le massif forestier couvre une superficie de 54 000 ha soit 70% de la superficie totale du parc (**Fig.9**), il est composé essentiellement par des peuplements forestiers représentés par :

La série du Chêne liège

C'est la série la plus importante du PNEK (48,75 % de sa surface forestière), elle s'étend de zéro jusqu'à 900 m d'altitude sur les versants Nord et Nord-Est avec une superficie de 34.167 ha. La végétation qui l'accompagne est composée essentiellement du cortège suivant : *Erica arborea*, *Pistacia lentiscus*, *Phillyrea angustifolia*, *Cytisus triflorus*, *Callycotome villosa* (**Brahmia ,2002**).

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

La série du Chêne zeen

Cette série est limitée au niveau des stations fraîches et humides, elle se trouve entre 900 et 1202 m d'altitude avec une superficie de 4.325 ha (~8%) de la surface forestière du PNEK. Rencontrée surtout dans le massif du Ghorra, elle est essentiellement composée de : *Ilex aquifolium*, *Erica arborea*, *Cytisus triflorus*, *Crateagus manogyna*, *Myrtus communis*, *Laurus nobilis* (Toubal, 1986).

La série du Chêne kermes

Cette série occupe surtout les dunes littorales qui s'étendent de cap Rosa au Cap Segleb. Le Chêne kermes joue un rôle important dans la fixation des dunes. Son cortège floristique est caractérisé par la présence de *Quercus coccifera*, *Pistacia lentiscus*, *Halimium halimifolium*, *Chamaerops humilis*. Cette formation occupe une superficie de (~5% de la surface forestière du PNEK).

La série du Pin maritime

Cette série occupe les collines sub-littorales et les basses montagnes. Le Pin constitue une essence de reboisement de la région. Les incendies favorisent sa propagation par libération et dispersion des propagules. Il est souvent accompagné de *Quercus suber*, *Erica arborea*, *Myrtus communis*, *Phillyrea angustifolia*, *Cistus salvifolius*, *Arbutus unedo*. Cette formation occupe une superficie de (~10% de la surface forestière du PNEK).

Les ripisylves

La région d'El Kala renferme plusieurs types de ripisylves, les aulnaies de pleine, formations uniques en Afrique du Nord, les forêts rivulaires à peuplier blanc, les plus importantes en superficie, les Frênaies (Bensettiti & Lacoste, 1999 ; Belouahem-Abed & al., 2011). Cette formation occupe (~5% de la surface forestière du PNEK).

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrateurs hivernants

Les Tourbières

Les tourbières sont des marécages acides résultant d'une longue période de fortes poussées, où des sols tourbeux se forment. Elles abritent une variété d'espèces végétales, notamment des arbres tels que le saule et l'aulne, qui cohabitent avec des magnocariçaias comprenant des plantes comme le *Cyperus*, les scirpes et le carex. Les tourbières de la région abritent un nombre considérable d'espèces rares, parmi lesquelles on peut citer *Alnus glutinosa*, *Salix pedicellata*, *Salix triandra*, *Ranunculus flammula*, *Rhynchospora glauca*, *Cyperus flavescens*, *Carex pendula*, *Heliosciadum crassipes*, *Linaria cirrhosa* (Benyacoub & al. 1998).

Les reboisements

Les reboisements de Pin maritime *Pinus pinaster*, de Pin pignon (parasol) *P. pinea*, de Pin d'Alep *P. halipensis*, au niveau du cordon dunaire et le Cyprès chauve *Taxodium distichum*, au niveau de la rive nord du lac Tonga.

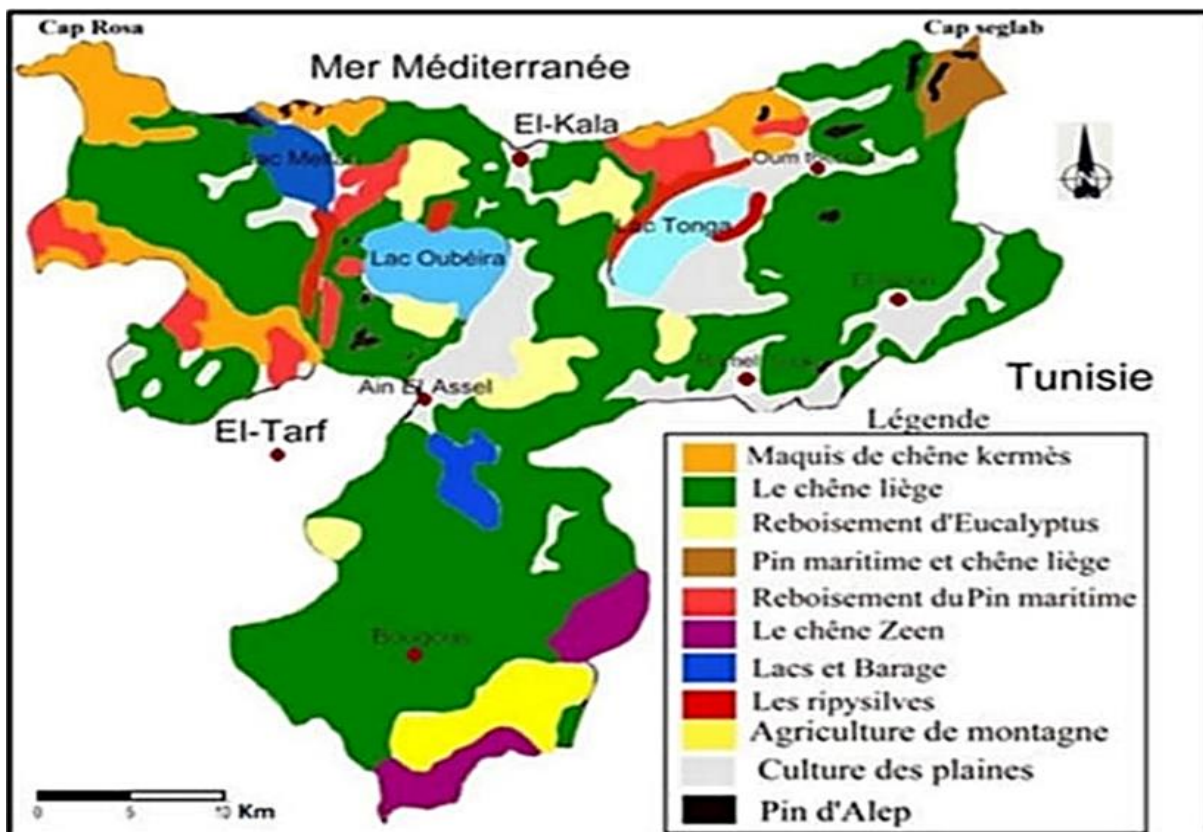


Figure 9. Carte des formations forestières du Parc National d'El Kala

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

I.1.7 La biodiversité du parc national d'El Kala

Flore

La région d'El Kala recense plus de 850 espèces végétales, représentant près du tiers de l'ensemble de la flore algérienne. Cette richesse floristique comprend 65 algues, 110 champignons, 40 mousses, 25 fougères et 545 Spermatophytes (de Bélair, 1990), auxquels s'ajoutent 30 familles regroupant 175 espèces de lichens corticoles (Boutabia, 2016). Cette diversité floristique exceptionnelle s'explique par la coexistence d'espèces à affinités européenne, méditerranéenne, africaine et tropicale (Quézel & Santa, 1962).

Faune

Mammifères

Le Parc National d'El Kala abrite une faune remarquablement diversifiée (Benyacoub *et al.*, 1998). On y dénombre au moins 44 espèces de mammifères, dont plusieurs sont protégées ou rares en Afrique du Nord. Parmi les plus emblématiques figure le Cerf de Barbarie (*Cervus elaphus barbarus*), seul cervidé indigène du continent africain et véritable symbole du parc. On y rencontre également le Sanglier (*Sus scrofa*), le Chacal doré (*Canis aureus*), la Genette commune (*Genetta genetta*), la Mangouste ichneumon (*Herpestes ichneumon*), le Porc-épic (*Hystrix cristata*), le Renard roux (*Vulpes vulpes*), le Chat sauvage (*Felis silvestris*), la Belette (*Mustela nivalis*), la Loutre d'Europe (*Lutra lutra*), ainsi que de nombreuses espèces de micromammifères.

Herpétofaune

L'herpétofaune du parc est également remarquable. Elle comprend plusieurs espèces de tortues terrestres et aquatiques, diverses espèces de lézards méditerranéens, ainsi que de nombreuses espèces de couleuvres et d'amphibiens, parmi lesquels des grenouilles, des crapauds et des tritons.

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

Ichtyofaune et faune marine

Les lacs et les zones humides du PNEK accueillent une diversité notable de poissons d'eau douce, tandis que la zone côtière recèle une faune marine également riche et variée.

Invertébrés

Les invertébrés constituent une composante considérable de la biodiversité du parc. Ils sont représentés notamment par une grande diversité d'insectes, de mollusques et de crustacés.

Avifaune

Le Parc National d'El Kala est particulièrement réputé pour la richesse de son avifaune, avec plus de 200 espèces recensées, tant sédentaires que migratrices, aquatiques et terrestres (**Benyacoub et al., 1998**).

Les passereaux représentent la composante la plus importante de l'avifaune du PNEK. En effet, environ 80 % des espèces recensées appartiennent à l'ordre des Passeriformes (**Benyacoub et al., 1998**), incluant des espèces sédentaires, des migrants nicheurs, des migrants hivernants et des migrants de passage. Les migrants hivernants peuvent être des migrants stricts ou partiels.

Le Parc National d'El Kala s'inscrit dans le hotspot de biodiversité du bassin méditerranéen, qui compte quelque **600 espèces d'oiseaux**, dont 16 endémiques. Le bassin méditerranéen constitue l'une des zones clés pour l'avifaune migratrice mondiale, en particulier pour les espèces menacées (**BirdLife International, 2010**) (**Fig. 10**).

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrateurs hivernants

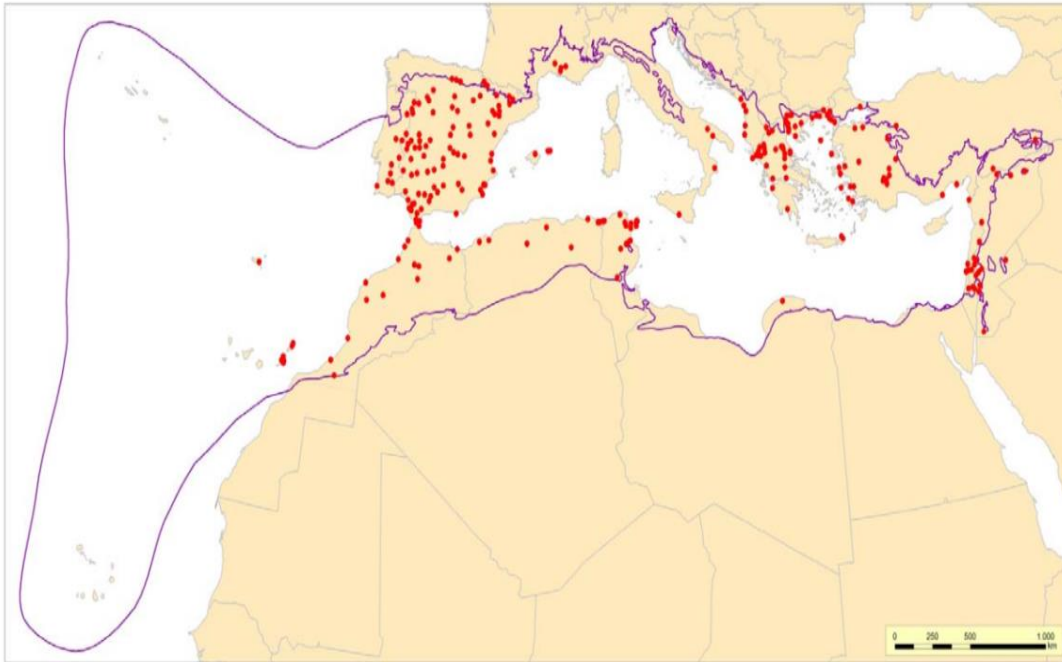


Figure 10. Zones clés pour des populations significatives d'espèces migratrices d'oiseaux mondialement menacées dans le hotspot du bassin méditerranéen (BirdLife international, 2010)

I.2 Présentation des sites d'étude

La présente étude a été menée au niveau du secteur de gestion de Bougous du Parc National d'El Kala et située à 20 Km au sud-est d'El Tarf et à 10 Km, à vol d'oiseau de la frontière tunisienne. La commune de Bougous est traversée du nord au sud par l'oued Bougous qui prend source au sud de djebel Oum Driss à une altitude de 1150 m, au sud-ouest de djebel Dhir 1041 m et à l'est par djebel Ghorra à 1202 m. (**Fig.11**).

Le long de son parcours l'oued Bougous reçoit un affluent important L'oued Berla et divers chenaux. Les formations géologiques que traverse l'oued sont marquées par le complexe argilo gréseux du numidien (**Handouzi, 2011**).

Au Nord, vers le barrage de Mexa, la rencontre de deux affluents l'oued Ballota et l'oued Bougous forme l'Oued Kebir, les deux oueds (Bougous et Ballota) drainent les eaux d'un bassin versant d'une superficie de 668 km². La commune de Bougous est la seule commune d'Algérie qui possède deux barrages Mexa et Bougous.

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrateurs hivernants

Le site d'étude 1

Il s'agit d'une **subéraie avec sous-bois** d'une superficie d'environ 1400 m² à 36°39'2.25 "N et 8°21'45.18" E. à 277 m d'altitude. Cette formation correspond à la notion de forêt au sens strict du terme et se caractérise par la présence de la strate arborée, de la strate buissonnante et de la strate herbacée. La strate arborescente est constituée d'arbres *Quercus suber*, pouvant atteindre les 18 m de hauteur, avec un recouvrement moyen d'environ 75%. Le sous-bois est haut et dense, caractérisé par plusieurs plantes qui fleurissent et fructifient en Hiver. *Phillyrea angustifolia*, *Arbutus unedo*, *Myrtus communis*, *Crataegus monogyna*, *Erica arborea*, *Rosa canina*, *Lonicera implexa*, *Cistus salvifolius*, *Cistus monspeliensis*, *Lavandula stoechas*. (**Photo 1 a et b**).



Photos 1 (a et b). La subéraie et sa strate arbustive

Le site d'étude 2

Il s'agit d'une **subéraie sans sous-bois**, située à 36° 37' 3.14" N et 8°21'43.47 E", à 600 m d'altitude, elle couvre une superficie d'environ 18200 m². Cette formation se caractérise par une canopée assez régulière d'une hauteur maximale de 20 m.

La couverture arborée moyenne est de 80%, la strate arbustive est très faible, constituée de quelques pieds de *Daphne gnidium* et de mousses et des fougères épiphytes et *Crataegus monogyna* rabougris et épars (**Photo 2 a et b**).

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrateurs hivernants



Photos 2 (a et b). La subéraie sans sous-bois

Le site d'étude 3

C'est un **maquis haut arboré**, situé à 36° 44' 0.99 "N et 8° 22' 4.41"E, à 220 m d'altitude et d'une superficie de plus de 30500 m², la strate arborée de *Quercus suber*, y est très clairsemée avec un recouvrement ne dépassant pas 10 %, la taille des arbres est modérée, 7 m en moyenne de hauteur. La strate arbustive est un maquis, caractérisé par la composition typique de ce type de structure : *Pistacia lentiscus*, *Arbutus unedo*, *Myrtus communis*, *Phillyrea angustifolia*, *Erica arborea*, *Calycotome villosa*,...etc. (**Photo 3 a et b**).



Photos 3 (a et b). Le maquis arboré

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

Le site d'étude 4

Il s'agit d'un **maquis moyen**, situé à 36° 43' 53.94" N et 8°22' 43.67" E, à 196 m d'altitude, d'une superficie de plus de 24400 m², *Pistacia lentiscus*, *Myrtus communis*, *Cistus monspelliensis*, *Erica arborea*, *Lavandula stoechas*, *Arbutus unedo*, . La hauteur moyenne ne dépasse pas 2 m pour un recouvrement moyen de 80 % (**Photo 4 a et b**).



Photos 4 (a et b). Le maquis moyen

Le site d'étude 5

Il s'agit d'une **pelouse**, située à 36° 36' 54.98" N et 8°21'58.15" E, à 659 m d'altitude, d'une superficie d'environ 33600 m², correspondant à la phase finale de dégradation des forêts de chêne liège, où les plantes ligneuses ont entièrement disparu, laissant place à des espèces annuelles comme l'asphodèle *Asphodelus microcarpus*, dont la tige pubescente peut atteindre 50 cm, le Trifolium, thapsia *Thapsia garganica* (**Photo 5 a et b**).



Photos 5 (a et b). La pelouse d'altitude

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervivents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

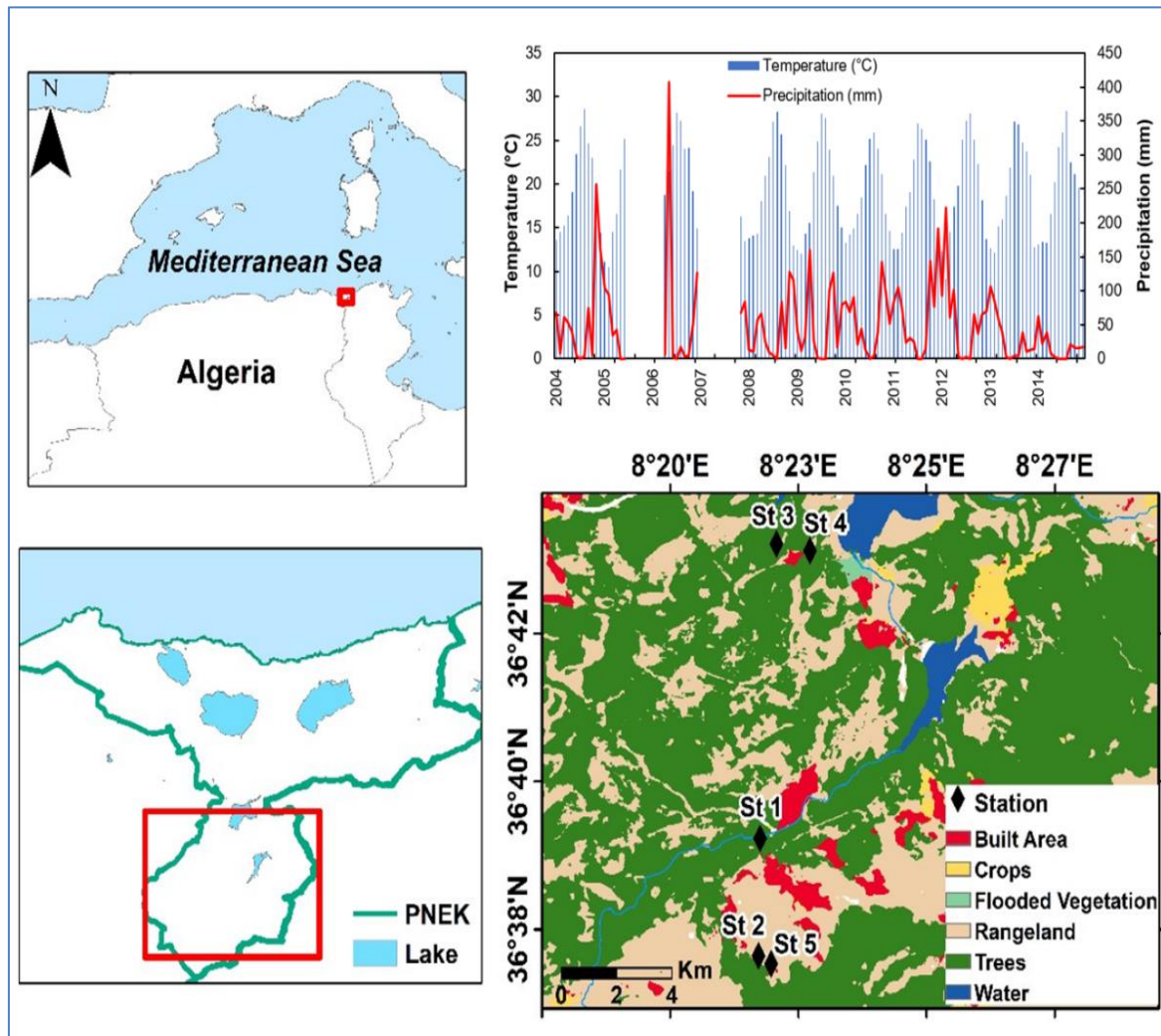
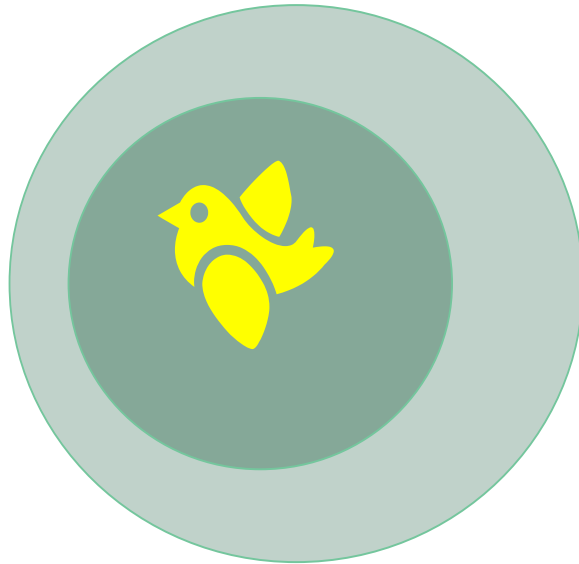


Figure 11. Zone d'étude et localisation des stations échantillonnées ; les informations sur la couverture terrestre ont été dérivées de l'imagerie Sentinel-2 de l'ESA à une résolution de 10 m (2024), les données météorologiques ont été fournies par l'ONM (2 : 021).

1.2

Matériel et Méthodes *'Passereaux'*



Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

I.2.1 Matériel et méthodes d'étude des oiseaux

I.2.1.1 Matériel

- Une paire de jumelle
- Un appareil photo de type (Nikon P900), zoom × 83 : pour l'identification et la documentation photographique
- Un guide d'identification des oiseaux d'Europe, de l'Afrique du Nord et du moyen orient
- Une fiche de terrain portant (numéro du relevé EPS, les conditions météorologiques,
- Un Chronomètre, pour respecter le temps d'écoute
- Un appât sonore pour stimuler le chant des espèces discrètes (téléphone)

I.2.1.2 Méthode relative (Echantillonnage ponctuel simple (EPS))

A/ Principes généraux

Contrairement aux méthodes absolues, les méthodes relatives — dites méthodes de sondage — renseignent sur l'abondance dite « relative » des espèces d'oiseaux. Elles sont généralement employées sur de vastes territoires, lorsque les méthodes de dénombrement absolu ne peuvent être mises en œuvre (Saloy, 2014). Elles permettent de comparer les abondances relatives des espèces entre elles, entre habitats et dans le temps, sur la base d'une corrélation linéaire étroite entre l'abondance relative mesurée et l'abondance réelle pour une espèce donnée. Ces méthodes reposent soit sur des itinéraires-échantillons (lignes-transects, IKA), soit sur des points d'écoute (IPA, EFP, EPS).

Nous avons retenu la méthode de l'Échantillonnage Ponctuel Simple (EPS), qui, selon Leroy (2007), constitue une variante des Indices Ponctuels d'Abondance (IPA), développée par Blondel & al. (1970) et adaptée par Spitz (1982) au recensement de l'avifaune en milieu montagnard. La différence entre les deux méthodes réside dans le nombre de points d'écoute : un seul point pour l'EPS, contre deux pour l'IPA.

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrateurs hivernants

Smith & Twedt (1999) et **Currie & al. (2005)** ont démontré que les EPS demeurent pertinents pour analyser la structure et la composition des communautés hivernantes, notamment dans une approche comparative entre habitats. Ils servent également à évaluer les tendances d'évolution des effectifs reproducteurs des espèces communes (**Bibby & al., 2000**), ainsi que les tendances des oiseaux hivernants migrateurs, longtemps négligés dans la littérature (**Prodon, 1988 ; Loughbegnon & al., 2008**).

La méthode des EPS est largement utilisée par le CRBPO (Centre de Recherches par le Bagueage des Populations d'Oiseaux) dans le cadre du programme **STOC-EPS** (Suivi Temporel des Oiseaux Communs), et élargie au suivi des populations d'oiseaux en période hivernale selon le protocole **SHOC** (Suivi Hivernal des Oiseaux Communs), dont l'objectif est de représenter les variations temporelles et géographiques des espèces communes en hiver.

Dans ce contexte, les EPS constituent un outil robuste pour caractériser les assemblages de passereaux hivernants et mettre en évidence le rôle fonctionnel des différentes formations végétales dans leur accueil et leur répartition. Afin de limiter les biais liés à la variabilité de la détectabilité, les conditions d'échantillonnage ont été rigoureusement standardisées : horaire matinal, conditions météorologiques favorables, durée constante des points d'écoute, avec multiplication des répétitions (**Bibby et al., 2000**).

B/ Plan d'Échantillonnage et Protocole des EPS — Adaptation Méthodologique

Le plan d'échantillonnage standard du protocole **SHOC** repose sur un tirage aléatoire de carrés géographiques de 2 km × 2 km (mailles de 4 km²), similaire au protocole STOC-EPS, afin de garantir une représentation impartiale des habitats.

À l'intérieur de chaque carré, l'observateur définit 10 transects d'environ 300 mètres chacun (soit 3 km au total), placés bout à bout ou en deux séries de cinq, traversant les différents habitats présents, sans en privilégier certains (**Fig. 12**).

La répétition annuelle du suivi se pratique sur le même carré chaque hiver, avec deux passages : l'un en décembre et l'autre en janvier, à des dates fixes (± 3 jours).

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrateurs hivernants

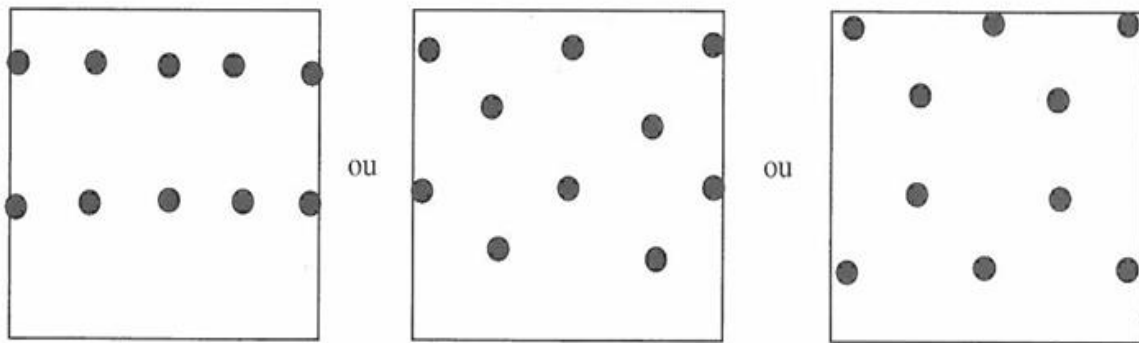


Figure 12. Exemples de distribution des EPS dans 1 carré de 2X2 km selon le protocole STOC-EPS. (Julliard et Jiguet, 2002)

Pour la présente étude, nous avons appliqué cette méthode mais avec des carrés de 2 km X 2 km (mailles de 4 km²), et chaque carré ne traverse qu'une formation homogène à la fois.

Dans chaque carré nous avons appliqué le protocole proposé en 1989, cité dans (Julliard et Jiguet, 2002), avec un nombre de points d'écoute de 15, qui ont été distribués de façon homogène, soit alignés ou de façon aléatoire sur toute sa surface, en respectant la distance d'au moins 300 m, entre 2 points EPS (Fig. 13).

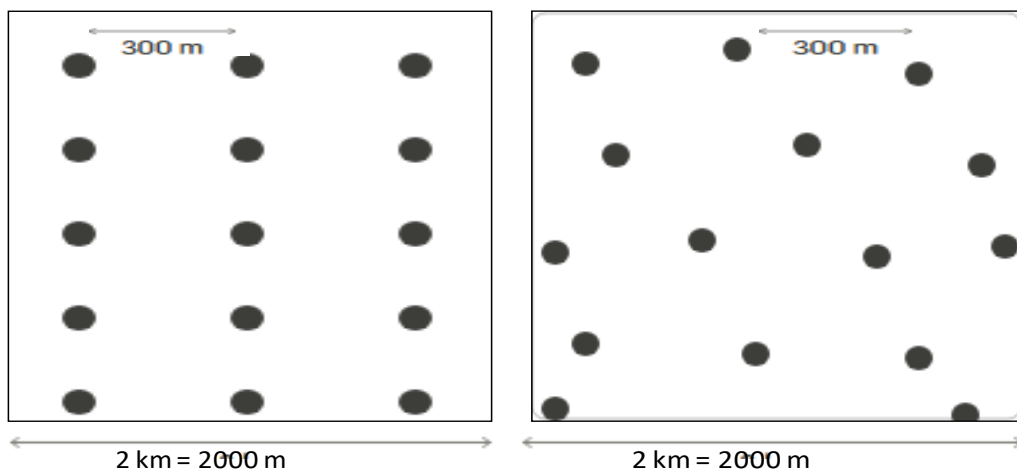


Figure 13. Distribution des EPS dans 1 carré de 2x2 km selon le protocole STOC-EPS. (Présente étude)

La répétition des EPS dans cette étude s'est faite dans les memes carrés s'est faite 1 fois par mois de Novembre 21 à Mars 2022 (5 mois) (Tableau 1), le suivi mensuelle sur les mêmes

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrateurs hivernants

carrés, nous permet d'évaluer les tendances d'évolution des abondances des espèces hivernantes et donc leur phénologie d'hivernage (375 EP) pour toute la saison. .

Tableau 1. Répartition spatiale et temporelle des EPS

Habitat \ Mois	Nov. 2021	Déc. 2021	Jan. 2022	Fév. 2022	Mar. 2022
S1 – Subéraie + ss-bois	15 EPS	15 EPS	15 EPS	15 EPS	15 EPS
S2 – Subéraie sans sous-bois	15 EPS	15 EPS	15 EPS	15 EPS	15 EPS
S3 – Maquis arboré	15 EPS	15 EPS	15 EPS	15 EPS	15 EPS
S4 – Maquis moyen	15 EPS	15 EPS	15 EPS	15 EPS	15 EPS
S5 – Pelouse	15 EPS	15 EPS	15 EPS	15 EPS	15 EPS

15 Points d'écoute par habitat/mois	5 Habitats étudiés	5 Mois d'étude	375 Total EPS réalisés
--	---------------------------------	-----------------------------	-------------------------------------

Protocole des points d'écoute (EPS)

➤ **Protocole SHOC-EPS**

Chaque point d'écoute dure 5 minutes, pendant lesquelles l'observateur reste stationnaire et note tous les oiseaux qu'il entend ou qu'il voit — posés ou en vol — sur une fiche portant également les informations relatives à l'habitat échantillonné (**Tanguy et Gourdain, 2011**).

➤ **Protocole présente étude**

Pour les besoins de cette étude, nous avons appliqué le même protocole, mais seules les espèces de passereaux, migratrices strictes ou partiellement migratrices ont été retenues.

Étant donné qu'en hiver les oiseaux sont éparpillés et non cantonnés pour la reproduction, les observations sont comptabilisées en nombre d'individus et non en couples (**Frochot, 1971**) ; le nombre de contacts avec une espèce en un point donné constitue ainsi une mesure de l'abondance relative de cette espèce dans le milieu.

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

Pour chacun des 15 points d'écoute par formation végétale, nous avons pris en compte la structure de la végétation. Parallèlement, dans chacune des formations végétales, des prélèvements mensuels d'insectes ont été réalisés afin de déterminer les potentialités trophiques qu'offrent ces milieux.

I.2.1.3 Traitement des résultats 'Suivi des espèces'

Pour exploiter les résultats plusieurs indices écologiques de composition sont utilisés telles que la richesse totale, l'abondance relative ainsi que les fréquences d'occurrence et la constance.

Les indices écologiques de composition combinent le nombre d'espèces ou la richesse totale et leur abondance, exprimée en fréquence ou en densité d'individus présents dans le peuplement. L'abondance est représentée par l'abondance relative et la fréquence par la constance ou fréquence d'occurrence.

I.2.1.3.1 Richesse spécifique totale

La richesse totale S est le nombre total d'espèces que comporte le peuplement pris en considération dans un écosystème donné. Dans ce cas il correspond au nombre d'espèces observées (**Ramade & al., 1984**). Dans la présente étude, la richesse totale n'indique que le nombre des espèces de passereaux migrants stricts et les migratrices partielles.

I.2.1.3.2 Abondance relative (Fréquence centésimale)

Cette fréquence reflète l'importance numérique des espèces au sein d'un peuplement. (**Ramade & al., 1984**). Elle est représentée par le pourcentage des individus d'une espèce n_i par rapport à l'ensemble des individus N toutes espèces confondues. selon la formule :

$$F (\%) = \frac{n_i \cdot 100}{N}$$

Où :

n = nombre total des individus d'une espèce

N = nombre total des individus de toutes les espèces présentes.

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

I.2.1.3.2 Fréquence d'occurrence des espèces (ou indice de constance) :

La fréquence d'occurrence (Fo) ou constance (C) de chaque espèce a été calculée pour chacune des formations végétales. Il s'agit du rapport du nombre de contacts de chaque espèce sur le nombre de points d'écoute dans chaque type d'habitat. Elle est exprimée en pourcentage (**Dajoz, 1982**).

$$C (\%) = \frac{P_i}{P} \times 100$$

Où :

P_i est le nombre des relevés contenant l'espèce étudiée,

P est le nombre total des relevés

I.2.1.3.3 Analyse comparée des fréquences d'occurrence et des fréquences relatives chez les passereaux hivernants

La confrontation des fréquences d'occurrence (FO) et des fréquences relatives (FR) constitue une approche complémentaire pour caractériser la structure des communautés aviaires hivernantes et appréhender les stratégies écologiques adoptées par les espèces (**Blondel, 1975 ; Legendre & Legendre, 2012**).

Les indices qui permettent de caractériser la structure d'un peuplement. Nous avons retenu l'indice de Shannon-Weaver (**Blondel, 1979**) et l'équitabilité de Pielou

I.2.1.3.4 Indice de diversité de Shannon-Weaver (H')

Il s'agit d'un indice de structure d'un peuplement (**Blondel, 1979**), il mesure la richesse spécifique et l'abondance relative des espèces dans chaque formation végétale :

Plus H' est élevé, plus la communauté est diversifiée, c'est-à-dire composée de nombreuses espèces réparties de façon équilibrée.

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

I.2.1.3.5 L'équitabilité de Pielou (E)

Cet indice exprime le degré d'uniformité de cette répartition : E proche de 1, indique que toutes les espèces sont représentées en proportions similaires, tandis qu'une valeur faible signale la dominance de quelques espèces.

I.2.1.3.6 Analyse statistique : Analyse en Composantes Principales (ACP)

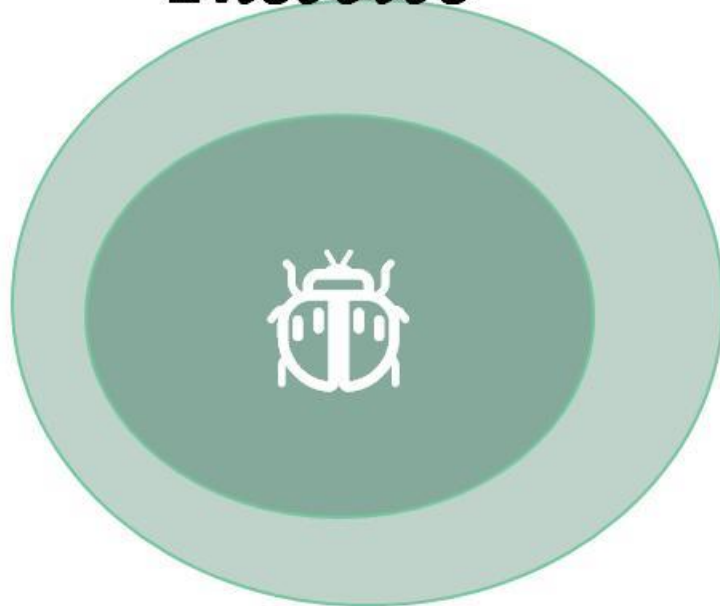
Afin de résumer la structure multivariée des données environnementales et biologiques collectées dans les différentes formations végétales étudiées (subéraies, maquis, pelouses), une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été réalisée. Cette méthode a permis de réduire la dimensionnalité des variables explicatives tout en conservant l'essentiel de la variance présente dans les données, facilitant ainsi l'interprétation écologique des gradients environnementaux.

L'analyse a été réalisée à l'aide du logiciel R (package *FactoMineR*), et les axes principaux ont été interprétés en fonction de leurs contributions relatives à la variance totale expliquée. Les scores des sites (ou des relevés) sur les deux premiers axes ont ensuite été utilisés pour identifier des structures de regroupement ou des gradients écologiques significatifs.

Les contributions des variables aux axes factoriels, ainsi que la projection des sites dans l'espace des composantes, ont été interprétées pour explorer les relations entre la composition avifaunistique, la structure de la végétation, et l'offre trophique dans les différentes formations à chêne-liège et habitats associés.

1.3

Matériel et Méthodes *'Insectes'*



Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

I.3.2 Méthode d'étude les insectes

Les insectes sont les organismes dominants sur Terre en termes de diversité et d'abondance (Szujewski, 1987 ; Wilson, 1992 ; Miller, 1993). Ils constituent une composante essentielle des réseaux trophiques, contribuant à l'équilibre des cycles biogéochimiques (Tallamy, 2010 ; Scudder, 2017), en effet, en tant qu'herbivores, détritvires ou prédateurs, ils convertissent la matière végétale ou d'autres ressources primaires en biomasse animale consommable par les oiseaux insectivores. Cette conversion énergétique permet le transfert d'énergie du niveau primaire vers les niveaux supérieurs (Strong & al., 1984). Par ailleurs, la diversité des guildes d'insectes (phytophages, saprophages, coprophages, etc.) assure une continuité trophique sur l'ensemble de l'année dans les milieux hétérogènes (Barbaro & Battisti, 2011).

Les insectes, jouent un rôle capital dans le maintien des populations d'oiseaux insectivores. Ils constituent une source alimentaire riche en protéines, lipides, acides aminés essentiels et micronutriments, particulièrement durant les phases larvaires (Ricklefs, 1974 ; Blem, 1990).

La disponibilité et la diversité des insectes influencent directement le comportement alimentaire, la phénologie, la distribution spatiale et la dynamique des populations aviennes, en particulier chez les espèces migratrices hivernantes, mais la dégradation des habitats, le changement climatique et l'utilisation de pesticides affectent négativement les populations d'insectes (Hallmann et al., 2017), entraînant des répercussions en cascade sur les oiseaux insectivores. Plusieurs études ont documenté un déclin des populations d'oiseaux migrants en lien avec une réduction de la ressource trophique durant les périodes critiques, notamment en période de reproduction et d'hivernage (Bowlin & al., 2010 ; Møller, 2019).

Enfin, de nombreux travaux soulignent l'impact négatif des perturbations anthropiques sur les populations d'insectes, notamment la fragmentation des habitats, l'usage intensif de pesticides et le changement climatique (Hallmann et al., 2017). Ces pressions peuvent entraîner une baisse significative de la biomasse entomologique, avec des répercussions directes sur les oiseaux insectivores, en particulier les migrants. Le déclin observé chez certaines espèces d'oiseaux transsahariens a été associé à une réduction de la disponibilité trophique durant les phases critiques de leur cycle biologique, notamment l'hivernage et la reproduction (Bowlin et al., 2010 ; Møller, 2019).

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

Dans un contexte de changements globaux, l'étude des interactions oiseaux-insectes représente un enjeu crucial pour la conservation de la biodiversité. Pour ce faire, nous avons entrepris, durant la période hivernale, de décembre 2021 à mars 2022, une étude la richesse et de l'abondance des insectes dans les cinq formations végétales sus-citées, pour cerner la **disponibilité trophique** de ces milieux pour les passereaux hivernants dans ces milieux ?

Une comparaison entre les sites en abondance des oiseaux et celle des insectes peut révéler – ne serait de façon descriptive – les mécanismes écologiques sous-jacents à la répartition des espèces, et nous permettre d'orienter les stratégies de conservation.

II.3.2.1 Matériel

- ✚ Des pots de Yoghourt
- ✚ Boîtes en plastique.
- ✚ Des gants
- ✚ Des pinces entomologiques
- ✚ Des aiguilles qui facilitent la manipulation des spécimens.
- ✚ Une loupe binoculaire
- ✚ Filet entomologique

II.3.2.2 Méthodologie

Durant la période hivernale, de décembre 2021 à mars 2022, nous avons employé deux méthodes d'échantillonnage :

- La méthode de recherche active qui consiste à collecter des spécimens sur les feuilles, les troncs, sous les pierres et parmi les débris végétaux
- La méthode des pièges Barber, particulièrement adaptée pour les espèces actives à l'interface sol/végétation (**Barber, 1931**).

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrateurs hivernants

Dans chacune des cinq formations végétales, nous avons installé 30 pièges Barber par mois, disposés en rangées de 10 pièges, espacés les uns des autres de 10 mètres, cette disposition permet d'obtenir des estimations fiables de la diversité dans un habitat homogène (**Ward & al., 2001 ; Császár & al., 2018**).

Compte tenu des nombreuses contraintes associées à l'identification des espèces dans le groupe hautement diversifié des insectes forestiers, nous avons également privilégié des approches alternatives, telles que l'identification supra-spécifique (genres ou familles) (**Bouget, 2009**), l'identification des taxons a été limitée au niveau des familles, une approche à la fois fiable et pratique (**Beattie & Oliver, 1996**).

Les spécimens récoltés ont été identifiés à l'aide de clés d'identification dans les laboratoires de l'Université Badji Mokhtar d'Annaba (Algérie) et de l'Université de Bari Aldo Moro, DiSSPA, section d'Entomologie et Zoologie (Italie).



Photo 6. Préparation des échantillons pour l'identification
(Cliché, Kachabia, 2022)

I.3.2.3 Traitement des résultats

L'étude de la diversité entomologique dans différentes formations végétales nécessite le recours à des outils statistiques et écologiques rigoureux. L'analyse des peuplements d'insectes

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

repose sur plusieurs indices permettant d'évaluer la richesse spécifique, l'abondance, la dominance et la diversité des espèces capturées. Ces indices constituent des outils indispensables pour comparer les communautés d'insectes dans les cinq formations végétales étudiées.

I.3.2.3.1 Analyse des données entomologiques — Indices écologiques

A/ Diversité taxonomique

La diversité taxonomique a été évaluée à partir du nombre de familles recensées dans chaque formation végétale, ainsi que de l'abondance totale des individus capturés par habitat et par mois de prélèvement.

A/ Diversité taxonomique

La diversité taxonomique a été évaluée à partir du nombre de familles recensées dans chaque formation végétale, ainsi que de l'abondance totale des individus capturés par habitat et par mois de prélèvement.

B/ Indices de diversité spécifique

Indice de Shannon (H')

La diversité spécifique de chaque peuplement entomologique a été mesurée à l'aide de l'indice de Shannon-Wiener, défini par la formule :

$$H' = - \sum p_i \times \log_2(p_i)$$

où p_i représente la proportion relative de l'espèce i par rapport à l'effectif total. Cet indice est sensible à la fois au nombre d'espèces et à l'équirépartition des individus entre ces espèces.

Équitabilité de Pielou (E)

Afin de mesurer le degré d'équirépartition des individus entre les espèces indépendamment de la richesse spécifique, nous avons calculé l'indice d'équitabilité de Pielou :

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

$$E = H' / \log_2(S) \text{ avec } 0 \leq E \leq 1$$

où S est le nombre total d'espèces recensées. Une valeur de E proche de 1 indique une distribution équilibrée des individus entre les espèces ; une valeur proche de 0 traduit une forte dominance de certaines espèces.

Indice de dominance de Simpson (D)

La dominance a été quantifiée par l'indice de Simpson, qui mesure la probabilité que deux individus tirés au hasard appartiennent à la même espèce :

$$D = \sum n_i(n_i - 1) / N(N - 1)$$

où n_i est l'effectif de l'espèce i et N l'effectif total. Des valeurs élevées de D indiquent une forte concentration des individus au sein d'un petit nombre d'espèces.

C/ Diversité bêta — Indice de Whittaker

Afin de comparer la composition entomologique entre les différentes formations végétales et d'identifier les taxons propres à chaque écosystème, nous avons utilisé la diversité bêta estimée par l'indice de Whittaker. Cet indice permet de quantifier le degré de dissimilarité entre deux peuplements sur la base de leurs diversités respectives. Il est exprimé par la formule suivante :

$$H'\beta = H'\alpha_{12} - 0,5 \times (H'\alpha_1 + H'\alpha_2) \text{ avec } 0 \leq H'\beta \leq 1$$

où $H'\alpha_{12}$ est l'indice de Shannon calculé pour la réunion des deux peuplements, et $H'\alpha_1$, $H'\alpha_2$ les indices calculés séparément pour chaque peuplement.

L'interprétation des valeurs est la suivante :

- **$H'\beta = 0$** : les deux peuplements sont totalement similaires — toutes les espèces sont communes et présentes avec les mêmes effectifs.
- **$H'\beta = 1$** : les deux peuplements sont totalement différents — aucune espèce n'est partagée entre les deux formations.

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

D/ Analyse statistique : Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) et classification de Ward

Afin d'évaluer les effets des variables temporelles (mois) et spatiales (stations) sur la composition des communautés d'insectes, nous avons eu recours à une analyse de variance à deux critères de classification à modèles fixes, réalisée à l'aide du logiciel R et du package *Rcmdr* (R Core Team, 2024).

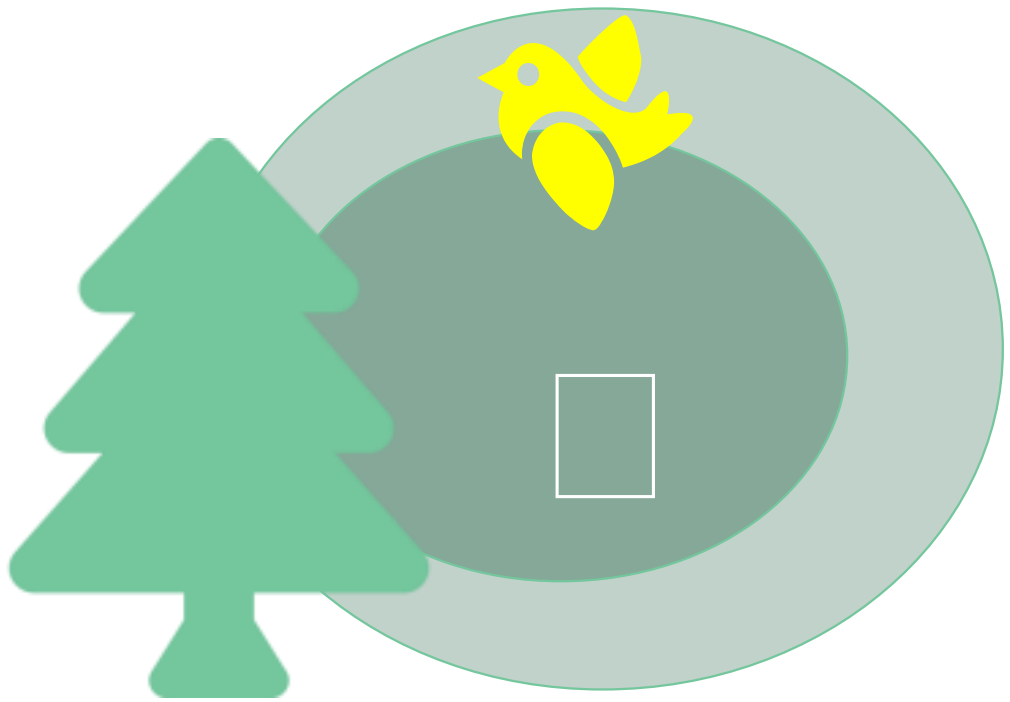
Pour étudier la typologie des formations végétales en fonction de leur composition entomologique, nous avons combiné une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) à une classification hiérarchique ascendante basée sur le critère de Ward, en utilisant le package *FactoMineR* (Pagès, 2020). Cette approche multivariée permet d'organiser les données selon leurs similarités, d'améliorer la lecture des écarts entre sites et entre mois, et d'identifier des patrons écologiques distincts au sein des communautés d'insectes. Elle constitue également un outil pertinent pour l'exploration de la diversité bêta.

Préalablement à l'AFC, un test d'indépendance du Khi-deux a été appliqué pour vérifier l'existence d'une relation significative entre les deux variables qualitatives considérées — stations et familles d'insectes. Ce test a révélé des résultats hautement significatifs ($\chi^2 = 482,25$; ddl = 144 ; $p < 2,2 \times 10^{-16}$), justifiant ainsi le recours à l'AFC.

L'interprétation des axes factoriels a été effectuée en fonction des familles d'insectes présentant les contributions relatives les plus élevées aux valeurs propres de chaque axe, permettant ainsi d'identifier les groupes taxonomiques les plus déterminants dans la structuration des peuplements entre formations.



Résultats



II.1

Résultats Passereaux



**Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents
du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux
migrateurs hivernants**

II.1 Résultats et Discussion oiseaux migrateurs hivernants

II.1.1 Composition du peuplement

Au total, nous avons recensé 12 espèces de passereaux appartenant à l'ordre des Passeriformes, réparties en 6 familles taxonomiques (**Tableau 2**). Ces espèces présentent des stratégies migratoires très diverses : des migrateurs partiels comme le Rouge-gorge ou le Rouge-queue noir, des espèces transsahariennes comme les Pouillots fitis et siffleur, des résidentes méditerranéennes comme la Fauvette mélanocéphale, et des grégaires nordiques comme l'Étourneau sansonnet. Cette diversité de profils reflète bien la position géographique du nord-est algérien, à la croisée des routes migratoires paléarctiques.

La famille la mieux représentée est celle des Phylloscopidae, (3 espèces), suivie par les familles : Motacillidae, Sylviidae, Muscicapidae et Turdidae (2 espèces) et enfin la Famille des Sturnidae avec une seule espèce (**Tableau 2**).

Tableau 2 : Espèces de passereaux hivernants et de passage rencontrées dans toutes les formations (Novembre 2021 à Mars 2022).

N°	Ordre	Famille	Espèce	Code	Nom commun
1	Passeriformes	Muscicapidae	<i>Erithacus rubecula</i>	Erru	Rouge-gorge familier
2			<i>Phoenicurus ochruros</i>	Phoc	Rouge-queue noir
3		Phylloscopidae	<i>Phylloscopus trochilus</i>	Phtr	Pouillot fitis
4			<i>Phylloscopus collybita</i>	Phco	Pouillot véloce
5			<i>Phylloscopus sibilatrix</i>	Phsi	Pouillot siffleur
6		Sylviidae	<i>Curruca melanocephala</i>	Cume	Fauvette mélanocéphale
7			<i>Sylvia atricapilla</i>	Syat	Fauvette à tête noire
8		Turdidae	<i>Turdus iliacus</i>	Tuil	Grive mauvis
9			<i>Turdus philomelos</i>	Tuph	Grive musicienne
10		Motacillidae	<i>Anthus pratensis</i>	Anpr	Pipit farlouse
11			<i>Motacilla alba</i>	Moal	Bergeronnette grise
12		Sturnidae	<i>Sturnus vulgaris</i>	Stvu	Étourneau sansonnet

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

II.1.2 Description des espèces étudiées

Le Rouge-gorge familier *Erithacus rubecula*

Le Rouge-gorge familier est une espèce appartenant à la famille des Muscicapidae. Ce migrateur partiel peut migrer jusqu'en Afrique du Nord de septembre à avril. En France il est principalement sédentaire, mais sa population augmente durant l'hiver par afflux d'individus venant du Nord de l'Europe (Fig. 14).

En hiver, les oiseaux des latitudes les plus élevées (nordiques) migrent vers le sud (Europe méridionale, Afrique du Nord), où ils occupent des habitats boisés, les maquis et les jardins, friches, haies, oliveraies (Cramp & Simmons, 1988) les autres migrateurs se répandent sur le sous-continent indien, la péninsule arabique et le nord-est de l'Afrique. Ce sont de véritables migrateurs.

En Algérie, Un nombre important d'hivernants, s'ajoute à la population sédentaire de septembre à mai, qui se répand dans plusieurs habitats semi-ouverts du Tel (Isenmann & Moali, 2000).

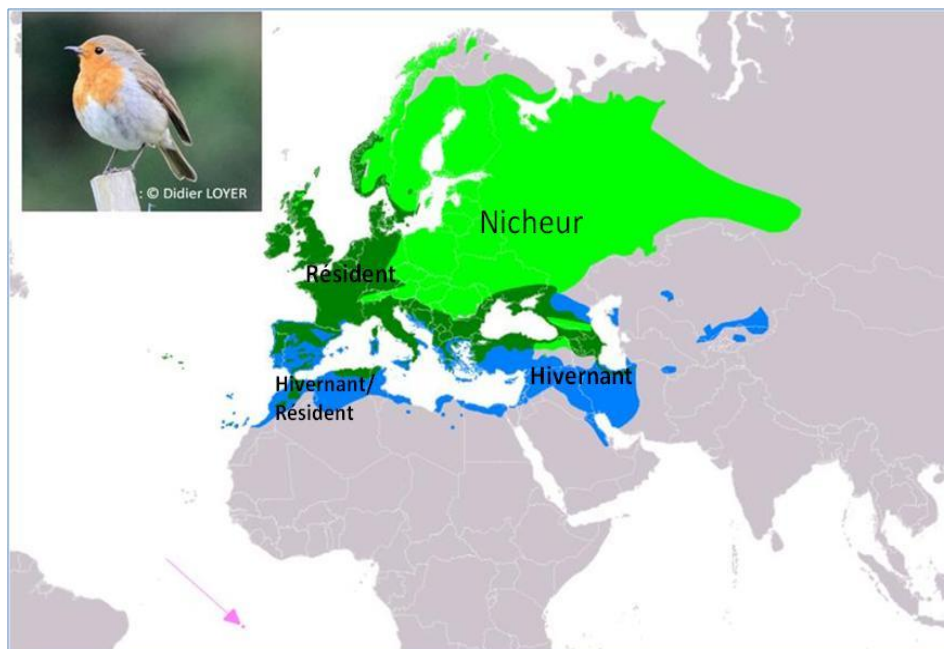


Figure 14. Carte de distribution du rouge-gorge familier *Erithacus rubecula* (IUCN, 2021)

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrateurs hivernants

Le Rouge-queue noir *Phoenicurus ochruros*

Le Rouge-queue noir est une espèce appartenant à la famille des Muscicapidae, Espèce plutôt sédentaire ou à courte distance migratoire, mais des populations du nord migrent vers le sud. Il est cependant migrateur partiel et en hiver, il fréquente les milieux anthropisés, bâtiments, murets, friches, zones rocheuses, notamment en Afrique du Nord (**Del Hoyo & al., 2005**) (**Fig. 15**).

En Algérie, le Roue-queue noir, est signalé nicheur localisé au niveau de quelques points dans tout le pays (**Isenmann & Moali, 2000**). En hiver, des milliers d'individus qui séjournent entre octobre et mars/avril dans toute la zone méditerranéenne de l'Afrique du Nord jusqu'au Sahara septentrionale (**Isenmann & Moali, 2000**).

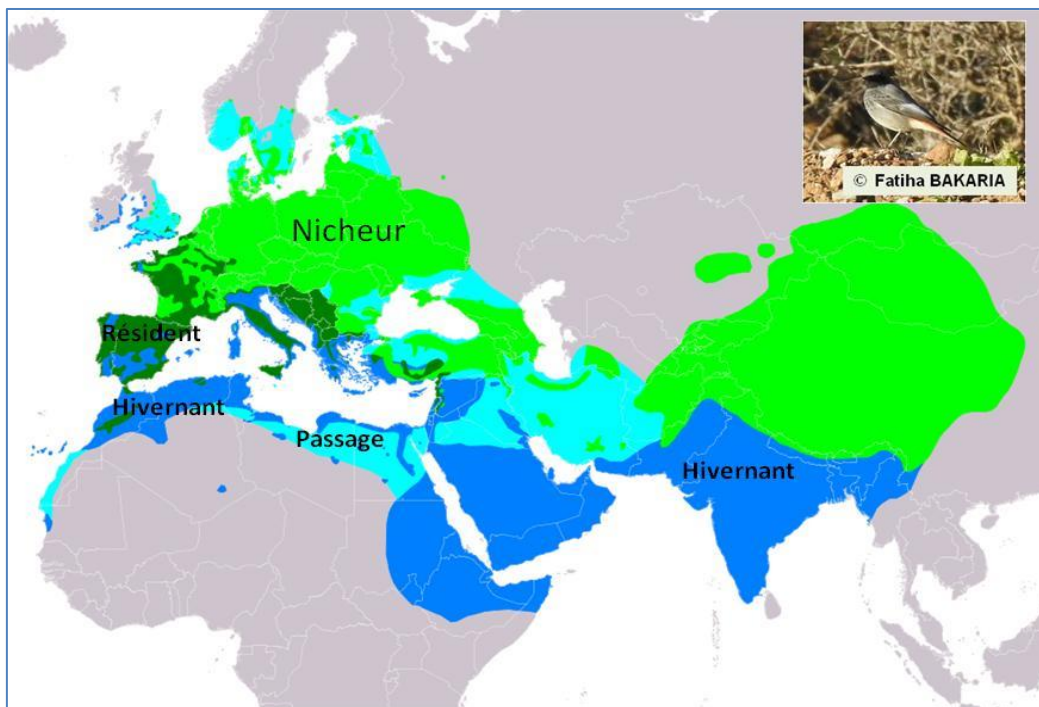


Figure 15. Carte de distribution du Rouge-queue noir (UICN, 2021)

Le Pouillot fitis *Phylloscopus trochilus*

Le Pouillot fitis est une espèce appartenant à la famille des Phylloscopidae. Migrateur transsaharien. Il quitte l'Europe tôt (août-septembre) pour hiverner principalement en Afrique

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

subsaharienne. Il est peu fréquent en Afrique du Nord (migration surtout de passage) (**Fig. 16**).

En Algérie, selon (Heim de Balsac & Mayaud, 1962 et Ledant & al., 1981, *in* **Isenmann & Moali, 2000**), le Pouillot fitis est observé lors du double passage commun partout, particulièrement pendant la migration 'Retour' ou prénuptiale de mi-mars à mi-avril.

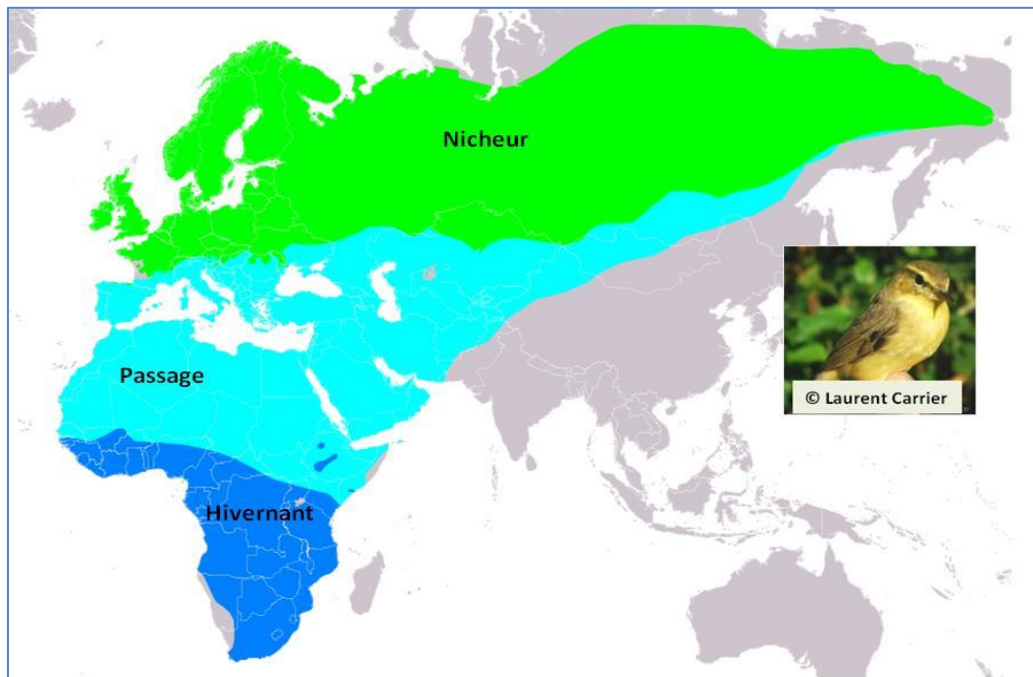


Figure 16. Carte de distribution du Pouillot fitis (UICN, 2021).

Le Pouillot véloce *Phylloscopus collybita*

Le Pouillot véloce est une espèce appartenant à la famille des Phylloscopidae. C'est une espèce migratrice partielle, dont certaines populations ou certains individus hivernent sur place ou effectuent des déplacements limités.

La zone d'hivernage de la population européenne comprend quelques zones côtières d'Angleterre et s'étend du sud des Pays-Bas au pourtour oriental de la Méditerranée jusqu'en Arabie Saoudite, ainsi qu'en Afrique du Nord, dans les oasis sahariennes et jusqu'au nord de la zone sahélienne (<https://inpn.mnhn.fr/>) (**Cramp, 1992**) (**Fig. 17**).

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

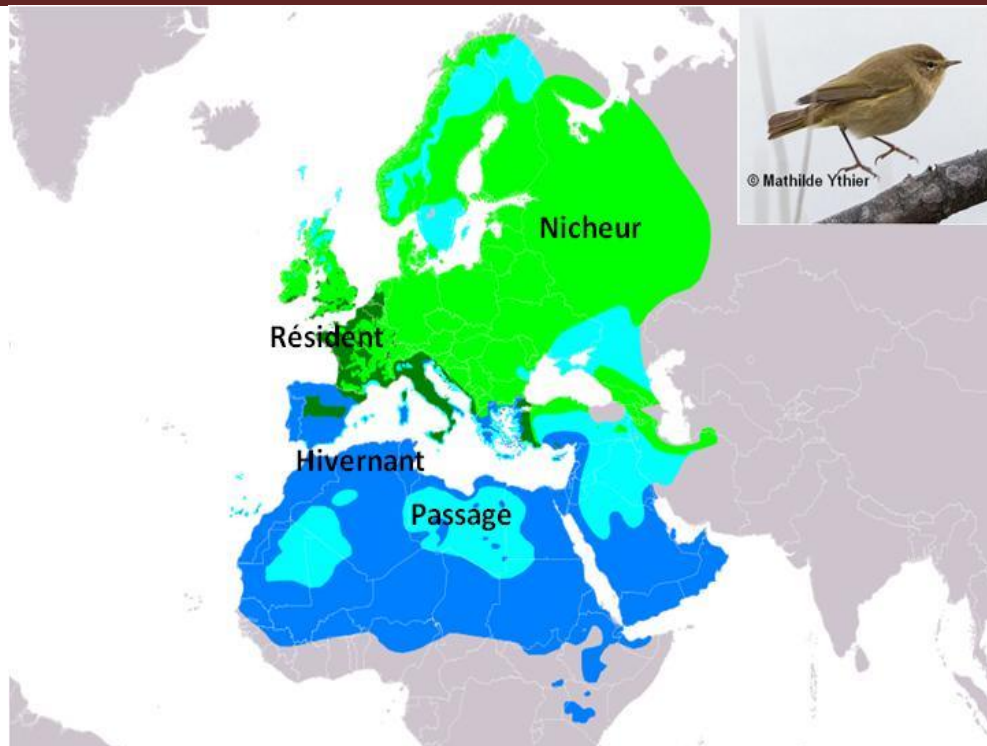


Figure 17. Carte de distribution du Pouillot véloce (IUCN, 2021)

Le Pouillot siffleur *Phylloscopus sibilatrix* (Bechstein, 1793):

Le Pouillot siffleur est une espèce appartenant à la famille des Phylloscopidae. Espèce strictement migratrice, hivernant en Afrique tropicale, donc un migrateur au long cours. Absent en hiver du Maghreb ; seulement de passage en automne, hiverne au niveau des forêts tropicales d'Afrique de l'Ouest et centrale (Moreau, 1972) (Fig. 18).

Le Pouillot siffleur se nourrit d'araignées, de mouches, de mollusques, d'insectes et de leurs larves. En automne, il mange occasionnellement des baies.

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrateurs hivernants

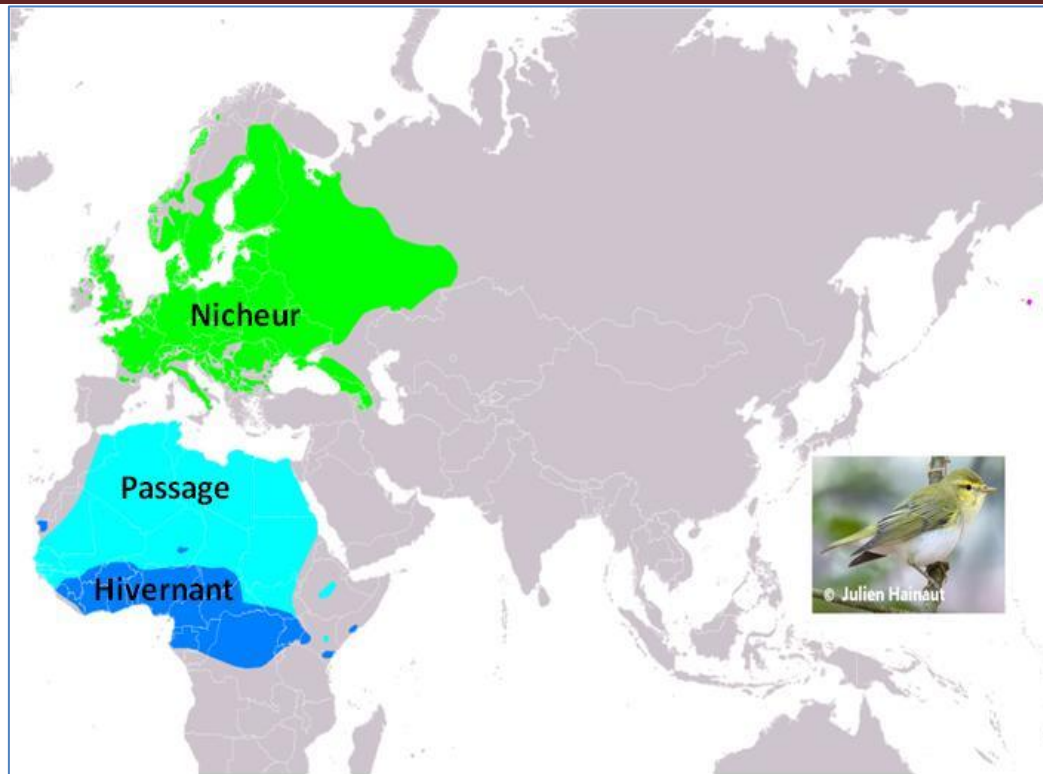


Figure 18. Carte de distribution du Pouillot siffleur ([Pouillot siffleur - Wikiwand](#))

La Fauvette mélanocéphale *Curruca melanocephala* (Gmelin, JF, 1789)

La Fauvette mélanocéphale est une espèce appartenant à la famille des Sylviidae. Espèce méditerranéenne typique, majoritairement sédentaire, avec de légers mouvements saisonniers (**Fig. 19**). Résidente ou migratrice partielle très dépendante du couvert végétal dense, elle fréquente les maquis, fourrés denses, oliveraies.

En Algérie, la fauvette mélanocéphale est nicheuse de la côte aux Hauts Plateaux (**Isenmann & Moali, 2000**). Selon les mêmes auteurs,

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrateurs hivernants



Figure 19. Carte de distribution de la fauvette mélanocéphale

(<https://es.m.wikipedia.org/>)

La Fauvette à tête noire *Sylvia atricapilla*

La fauvette à tête noire est une espèce appartenant à la famille des Sylviidae, elle est partiellement migratrice. Son aire de nidification s'étend depuis la bande littorale du Maghreb à toute l'Europe (hormis le nord de la Scandinavie), à la Turquie, au Caucase et à la Russie jusqu'en Sibérie occidentale. Elle est de plus en plus présente en hiver dans le bassin méditerranéen en raison du réchauffement climatique, migrateur partiel, hivernage croissant en Afrique du Nord (**Fig. 20**).

En Algérie, et en hiver, l'espèce est abondante dans le Nord et même dans toutes les oasis sahariennes (**Isenmann & Moali, 2000**).

La fauvette à tête noire est presque exclusivement insectivore pendant la saison de reproduction. Elle est capable d'extraire les graines des fruits qu'elle mange, faisant d'elle un important propagateur de certaines plantes comme le gui. Elle fréquente les haies, forêts

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

claires, vergers. Elle se nourrit d'insectes et fruits (surtout oliviers, ronces, arbustes) (Lehikoinen & al., 2013).

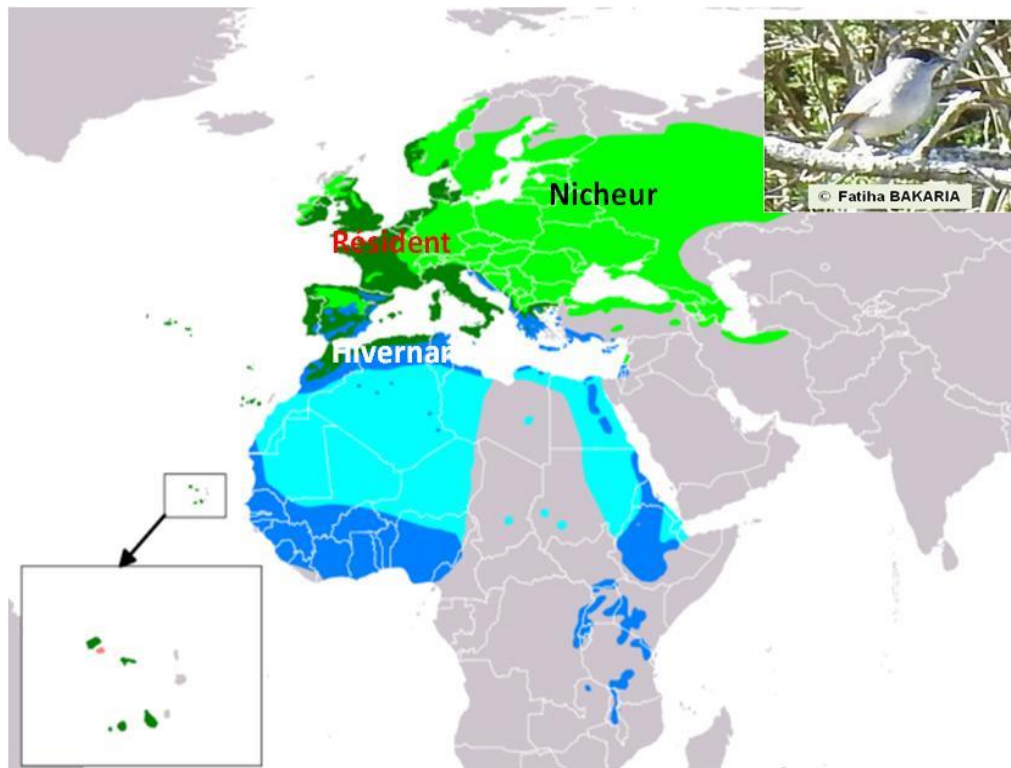


Figure 20. Carte de distribution de la fauvette à tête noire (IUCN, 2018)

La Grive mauvis *Turdus iliacus*

La Grive mauvis est une espèce appartenant à la famille des Turdidae. Migratrice au long cours, hiverne régulièrement dans les zones tempérées à méditerranéenne, fréquentant cultures, bois clairs, pelouses (Cramp, 1988). Avec une présence irrégulière en Afrique du Nord, surtout en années froides (Fig. 21).

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

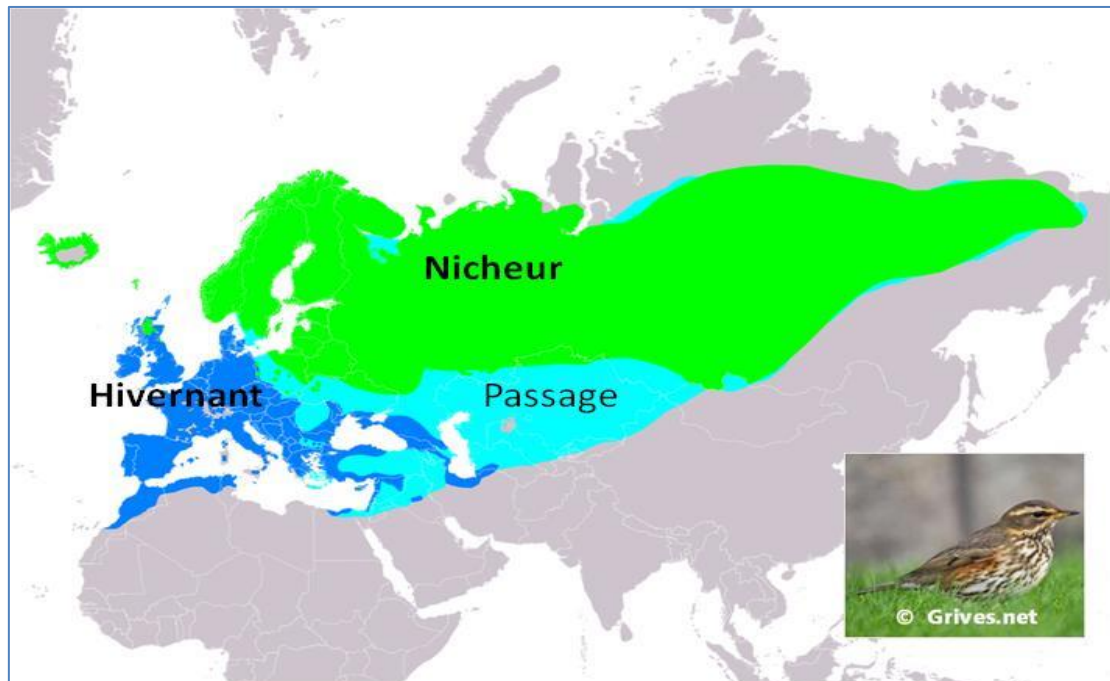


Figure 21. Carte de distribution de la Grive mauvis (IUCN, 2018)

La Grive musicienne *Turdus philomelos* (Brhem.1831)

La Grive musicienne est une espèce appartenant à la famille des Turdidae. Migratrice partielle (Fig. 22), la population nordique migratrice et la population sud-européenne sédentaire ou erratique), elle fréquente les forêts, vergers, zones boisées humides.

L'hivernage au Maghreb est régulier, surtout dans les zones boisées riches en baies (Snow & Perrins, 1998).

Elle utilise plutôt les milieux plus ouverts pendant l'hivernage (maquis et garrigues méditerranéennes, haies, bords de ruisseaux et zones cultivées particulièrement les vignobles) (<https://www.observatoiremigrateurs.com/>)

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

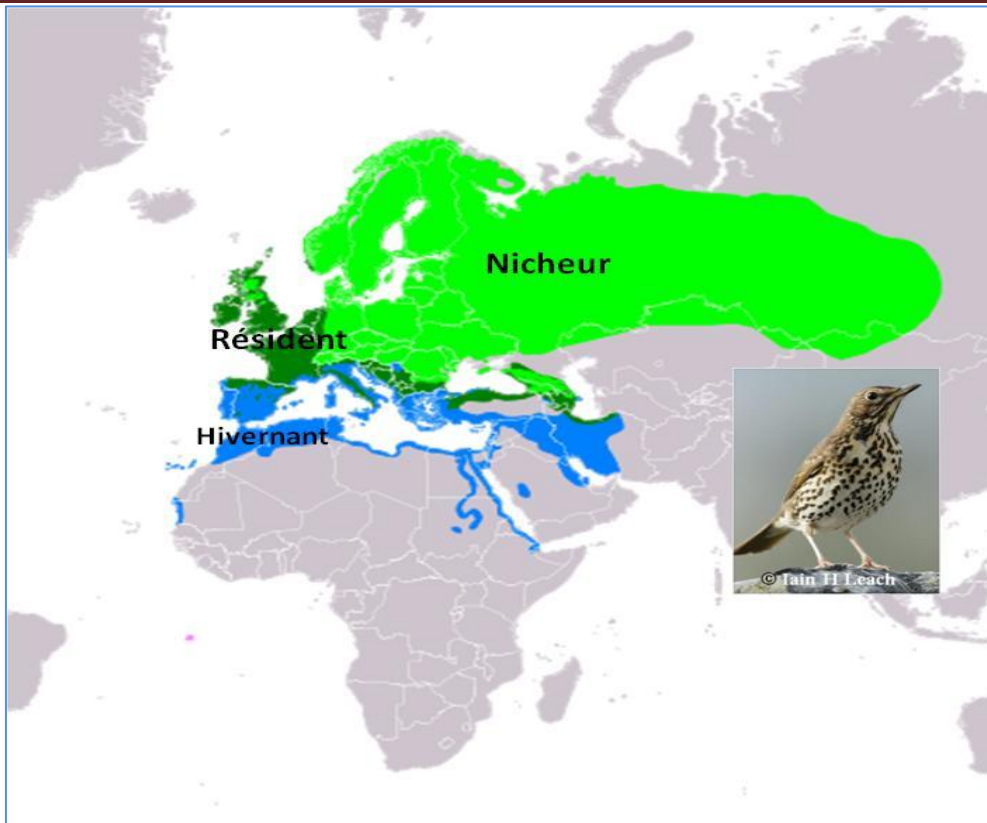


Figure 22. Carte de distribution de la Grive musicienne (UICN version, 2021)

Le Pipit farlouse *Anthus pratensis*

Cette espèce appartient à la famille des Motacillidae, elle hiverne à travers le bassin méditerranéen (**Fig. 23**). En hiver, elle fréquente les prairies, zones agricoles, marais, bords de routes. Il est grégaire ; forme des groupes en hivernage. (**Blotzheim & Bauer, 1985**).

En Algérie, l'espèce hiverne en nombre au Nord et elle est commune jusqu'aux premières oasis (Heim de Balsac & Mayaud, 1962 et Ledant & al., 1981, *in* Isenmann & Moali, 2000),

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrateurs hivernants

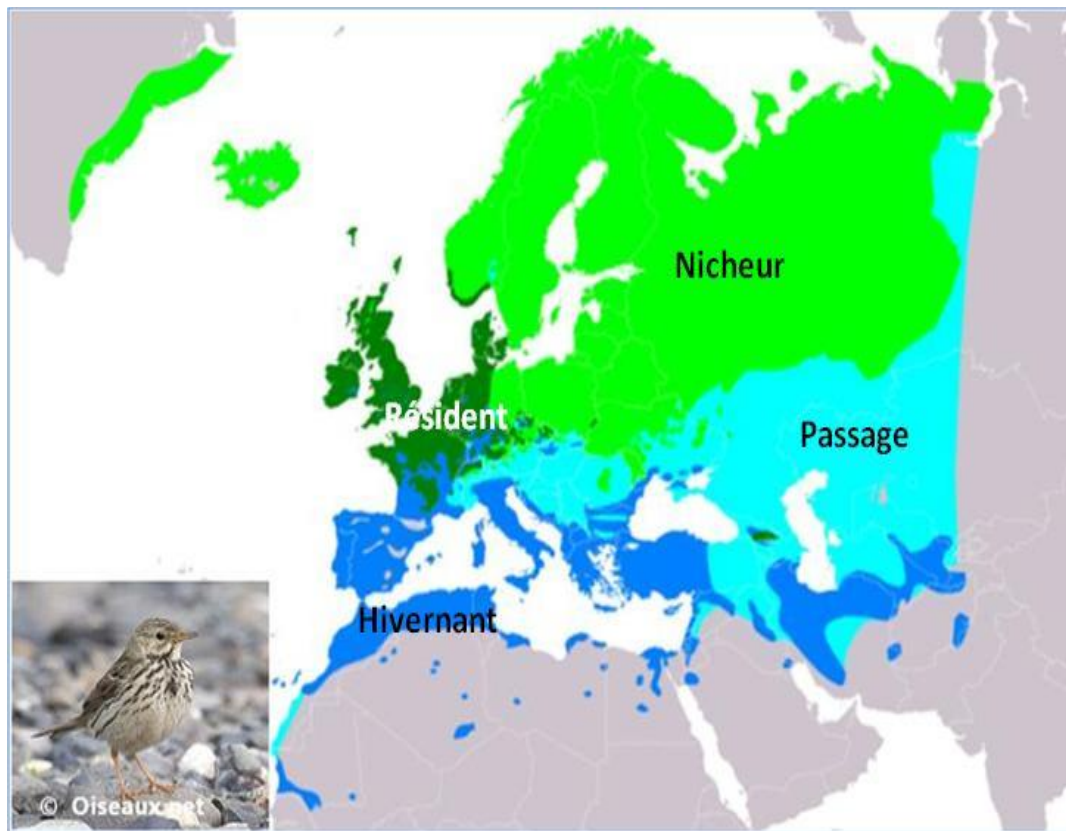


Figure 23. Carte de distribution du Pipit farlouse (UICN, 2019)

La Bergeronnette grise *Motacilla alba* :

C'est une espèce appartenant à la famille des Motacillidae, hiverne dans les régions les plus méridionales (sud péninsule ibérique, côte sud française, îles méditerranéennes). Elle descend jusqu'en Afrique du Nord, tropicale et équatoriale (**Fig. 24**).

Départ en août-septembre, retour en mars-avril. En hiver dans tout le bassin méditerranéen dans les zones ouvertes, bords d'eau, cultures, villages) (**Cramp, 1988**).

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrateurs hivernants



Figure 24. Carte de distribution de la Bergeronnette grise (IUCN, 2021)

L'Étourneau sansonnet *Sturnus vulgaris* Linnaeus, 1758

L'étourneau sansonnet espèce appartenant à la famille des Sturnidae. Les populations du nord migrent massivement vers le sud (**Fig .25**).

En hiver, l'espèce devient extrêmement grégaire avec des rassemblements de plusieurs milliers d'individus en dortoirs (**Feare, 1984**). L'étourneau sansonnet, fréquente les milieux agricoles, urbains, oliveraies.

En Algérie, l'espèce hivernait en abondance au niveau du Tel, de septembre à avril et atteint les premières oasis ((Heim de Balsac & Mayaud, 1962 ; Blondel, 1962 ; Ledant & al., 1981, *in* Isenmann & Moali, 2000).

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

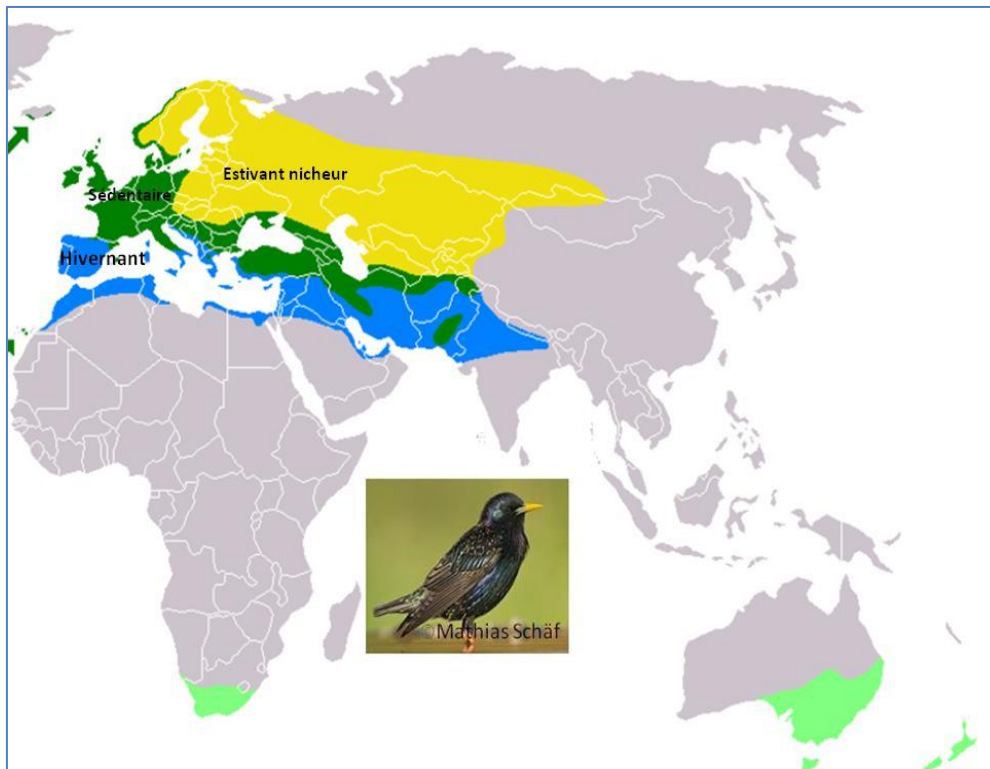


Figure 25. Carte de distribution de l'Etourneau sansonnet

(<https://commons.wikimedia.org/>)

II.1.3 Variabilité mensuelle de l'abondance du peuplement des passereaux hivernants par formation végétale

Novembre : En novembre, la subéraie avec sous-bois (sasb) domine largement avec une abondance de 638 individus et une diversité de 10 espèces, ce qui confirme son rôle de site d'accueil prioritaire en début de saison hivernale. Le maquis arboré (mqar) se distingue comme la deuxième station la plus fréquentée avec environ 300 individus et la diversité la plus élevée du mois (12 espèces). Le maquis moyen (mqmo) et la pelouse (pel) présentent des effectifs modestes, respectivement ~150 et ~110 individus. La subéraie sans sous-bois (sss) enregistre l'abondance la plus faible (~67 individus, diversité = 7), confirmant son faible attrait dès l'entrée en hivernage (**Fig. 26a**).

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

Décembre : Décembre marque le pic d'abondance global de la saison (**Fig. 26b**). La subéraie avec sous-bois (sasb) atteint son maximum avec 691 individus (diversité = 10), traduisant une concentration maximale des hivernants dans cette formation en cœur de saison.

Les maquis (arboré : m qar et moyen : mqmo) maintiennent tous deux des effectifs élevés (~300 individus chacun), avec des diversités respectives de 12 et 11 espèces — ce qui représente les valeurs de diversité les plus élevées enregistrées sur l'ensemble de la période. La pelouse (pel) progresse légèrement (~100 individus, diversité = 8). La subéraie sans sous-bois (sssb) reste la station la moins fréquentée (~40 individus, diversité = 8)

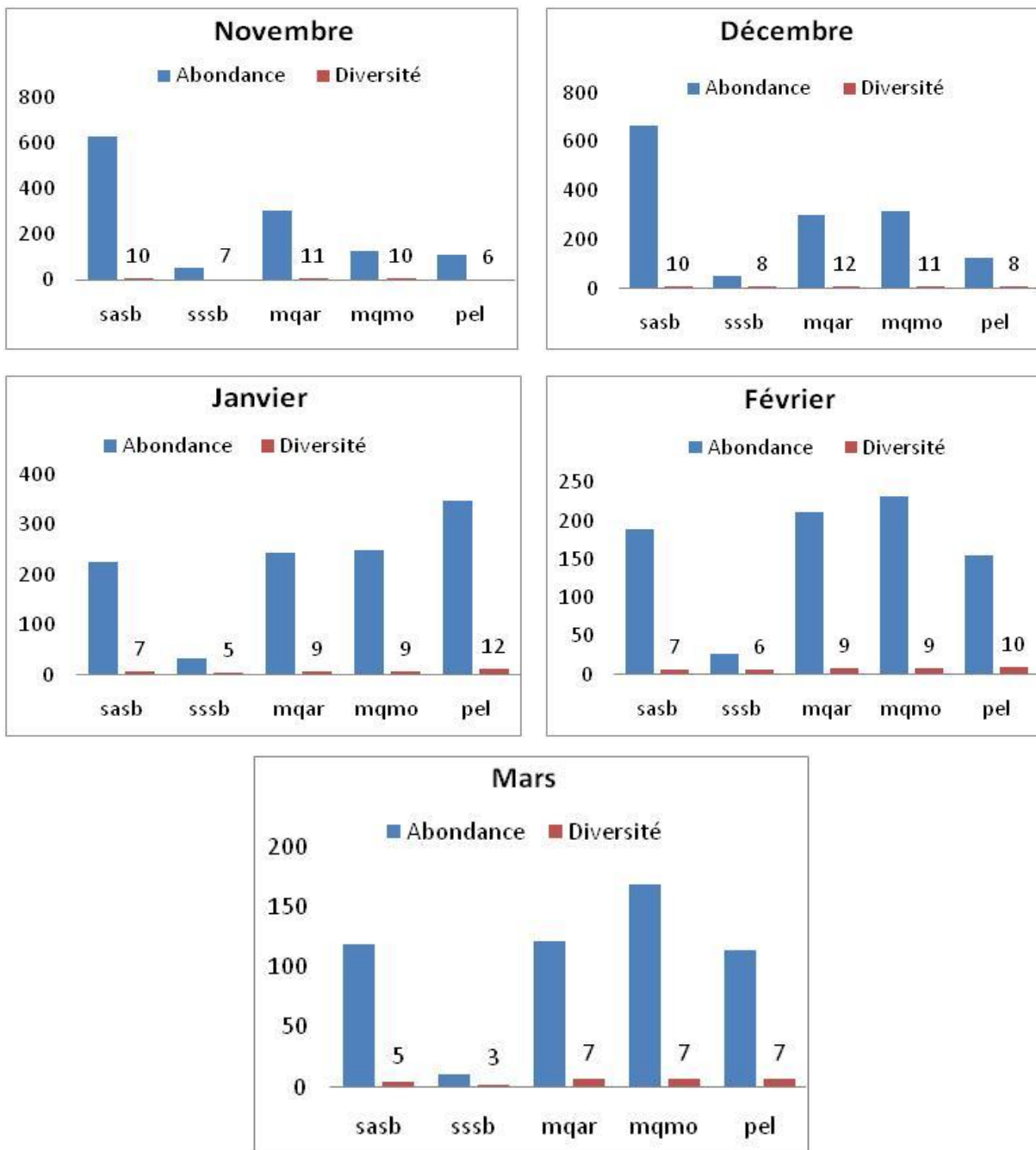
Janvier : Janvier marque un tournant important dans la dynamique du peuplement (**Fig. 26c**). On observe une diminution sensible des effectifs à la sasb (~228 individus) et une légère baisse au m qar (~240 individus) et au mqmo (~249 individus). En revanche, la pelouse (pel) atteint son pic maximal en janvier avec 348 individus et une diversité de 12 espèces, valeur la plus élevée enregistrée pour cette station sur toute la saison. Ce pic tardif est un élément clé : il suggère un report de fréquentation vers la pelouse lorsque les ressources commencent à décliner dans les formations boisées. La subéraie sans sous-bois (sssb) demeure marginale (~67 individus, diversité = 5).

Février : En février, la tendance générale à la baisse se confirme dans la subéraie avec sous-bois (sasb) (~192 individus) et la subéraie sans sous-bois (sssb) (~35 individus, diversité = 6 — valeur la plus basse de la saison pour cette station). En revanche, le maquis moyen (mqmo) (~228 individus) et le maquis arboré (m qar) (~210 individus) maintiennent des effectifs relativement soutenus, ainsi que la pelouse (~155 individus). Le mois février, révèle un rééquilibrage notable entre formations : les milieux ouverts et semi-ouverts (mqmo, pel) résistent mieux à la baisse que les formations boisées denses (**Fig. 26d**).

Mars : Mars correspond au niveau le plus bas de la saison pour l'ensemble des formations, confirmant le départ progressif des hivernants en migration pré-nuptiale (**Fig. 26e**). La subéraie sans sous-bois (sssb) enregistre le minimum absolu avec seulement 11 individus et une diversité de 3 espèces, traduisant un abandon quasi-total de cet habitat peu structuré. La subéraie avec sous-bois (sasb) (~119 individus, diversité = 5) et la pelouse (~114 individus, diversité = 7) maintiennent des effectifs intermédiaires. Le maquis moyen (mqmo) présente

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

paradoxalement l'abondance la plus élevée de mars (~166 individus, diversité = 7), Cette persistance dans le mqmo en fin de saison pourrait indiquer une fidélité de certaines espèces à cette formation jusqu'aux dernières semaines d'hivernage.



Figures 26 (a-e) : Tendances mensuelles de diversité et abondance du peuplement hivernant

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

II.1.4 Variabilité spatiale de l'abondance du peuplement des passereaux hivernants

L'examen détaillé de chaque formation permet de mieux comprendre les mécanismes qui gouvernent l'utilisation différentielle de l'espace par ces communautés aviaires au cours de l'hivernage (**Fig. 27 a-d**).

La subéraie avec sous-bois

Un site majeur d'accueil en début d'hivernage se distingue par une abondance globale nettement supérieure à celle des autres stations (**Fig. 27a**). Les effectifs atteignent des niveaux très élevés en novembre et décembre, dépassant les 600 individus, ce qui témoigne d'un rôle central de cette station comme site d'accueil précoce. Toutefois, une décroissance marquée s'observe à partir de janvier, avec un minimum atteint en mars (~128 individus).

Cette dynamique suggère une utilisation transitoire du site par les hivernants, probablement liée à une concentration initiale des ressources trophiques (fructification, biomasse d'invertébrés) qui décline ensuite, ou à des changements microclimatiques locaux défavorables à partir de la mi-saison.

La subéraie sans sous-bois

Elle présente les effectifs les plus faibles de toute la période d'étude, avec des valeurs comprises entre 11 et 67 individus (**Fig. 27b**). Cette faible densité constante suggère que cette station constitue un habitat peu attractif pour les passereaux en hivernage, potentiellement en raison d'une végétation pauvre, d'une structure simplifiée de l'habitat en plus d'un pâturage.

Le maquis arboré

Le maquis arboré constitue un noyau de stabilité pour les hivernants, il se caractérise par une stabilité relative des effectifs entre novembre et février, avec des abondances avoisinant 300 individus chaque mois (**Fig. 27c**). Une légère baisse est enregistrée en mars.

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

Cette constance suggère un rôle de refuge stable pour les passereaux hivernants, en lien avec une structure d'habitat favorable et des ressources trophiques disponibles de manière continue.

Le maquis moyen

Cette formation présente une dynamique intermédiaire et progressive, les effectifs évoluent de manière plus dynamique (**Fig. 27d**). L'abondance augmente progressivement de novembre à janvier (avec un pic de 316 individus en décembre, puis 249 en janvier), avant de décroître au fil des semaines suivantes.

Cette configuration indique une attractivité maximale en cœur d'hiver, peut-être grâce à une richesse en ressources (baies, insectes hivernants) ou à une bonne protection contre les conditions climatiques. La baisse postérieure pourrait signaler un le début le départ des hivernants vers leur sites de reproduction.

La pelouse

Cette formation présente une configuration singulière, avec un maximum d'abondance atteint en janvier (348 individus), contrairement aux autres stations où les pics se produisent plus tôt. Cette particularité suggère que cette station devient un site de repli pour les oiseaux à mesure que les conditions se dégradent ailleurs (**Fig. 27e**).

Ce comportement pourrait refléter une capacité de cette station à maintenir ou à offrir des ressources alimentaires optimales en période de conditions climatiques rigoureuses. La baisse d'effectifs qui suit ce pic suggère néanmoins un départ des espèces hivernantes.

Cette différenciation spatio-temporelle souligne l'importance de la diversité structurelle des milieux pour la conservation des passereaux hivernants. Elle met également en évidence la nécessité d'adopter une approche multi-habitat dans la gestion écologique de ces formations méditerranéennes.

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrateurs hivernants

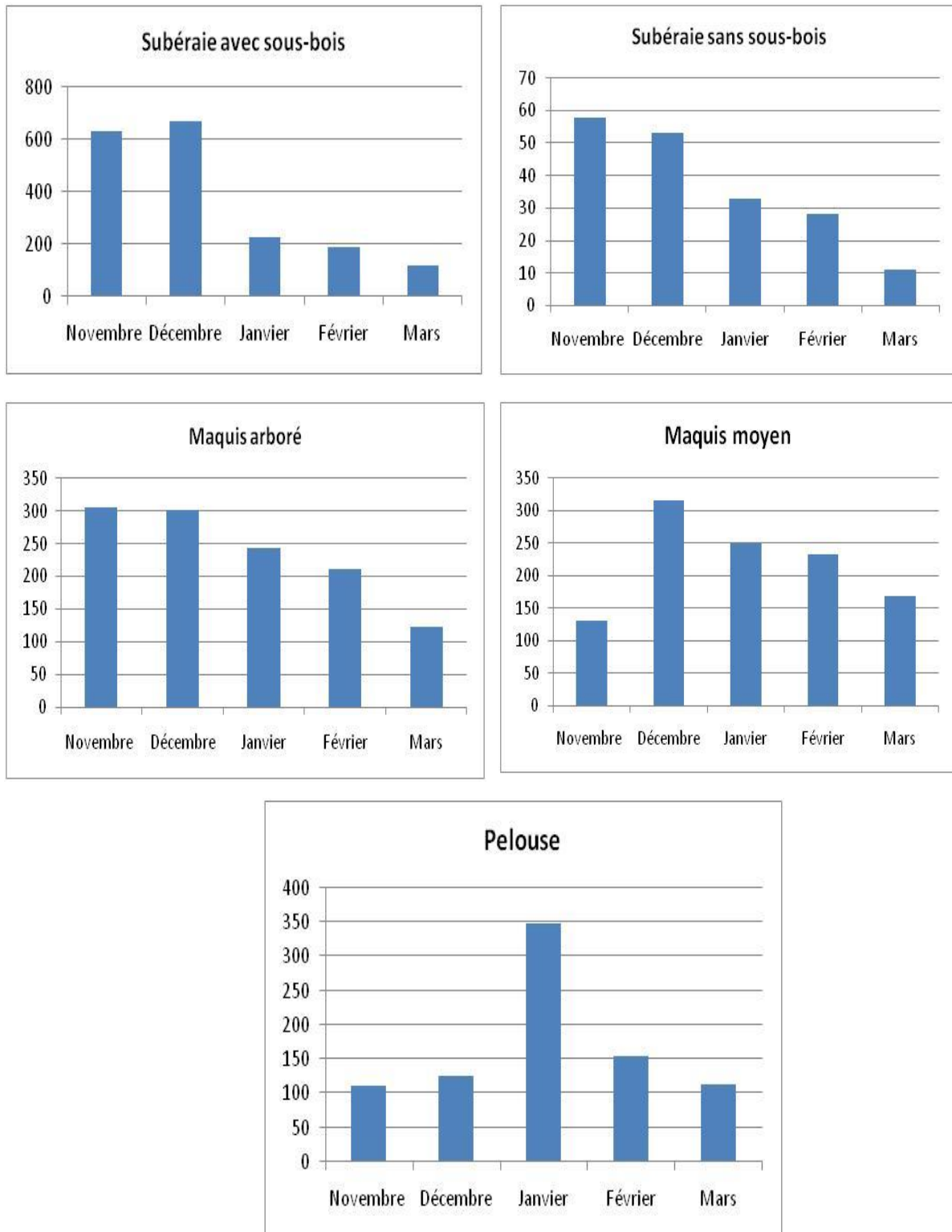


Figure 27 (a-e). Evolutions temporelle des hivernants par milieu

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

L'analyse de la variabilité spatiale de l'abondance des passereaux hivernants révèle des différences marquées, entre les cinq formations végétales étudiées, tant sur le plan des effectifs que de leur dynamique temporelle au cours de la saison d'hivernage. Chaque habitat se distingue par un profil d'occupation qui lui est propre, reflétant des capacités d'accueil contrastées en lien avec la structure de la végétation et les conditions microclimatiques locales.

II.1.5 Les Tendances mensuelles des espèces (pénologie d'hivernage)

En examinant les tendances individuelles, on distingue clairement plusieurs groupes phénologiques (**Fig. 28-39**). Les hivernants classiques comme le Rouge-gorge et la Fauvette à tête noire sont présents de novembre à mars avec un pic en décembre. Le Pouillot véloce, insectivore strict, reste stable de décembre à février avant de repartir vers l'Europe.

L'Étourneau sansonnet se distingue nettement : ses effectifs sont massifs en novembre — plus de 700 individus — puis chutent rapidement, traduisant un comportement de passage grégaire plutôt qu'un véritable hivernage dans ces formations. Enfin, les Pouillots fitis et siffleur ne sont présents que brièvement, confirmant leur statut de migrants de passage effectuant de simples haltes avant la traversée du Sahara.

II.1.5.1 Le Rouge-gorge

En novembre, un effectif de 82 individus est recensé. On observe une augmentation substantielle du nombre d'observations en décembre, atteignant un pic de 219 individus. Suite à ce maximum, une diminution progressive est constatée. En janvier, le nombre d'observations diminue à 172, représentant une baisse d'environ 21.46% par rapport à décembre. Le nombre reste relativement stable en février, avec 173 individus observés, soit une légère augmentation de 0.58% par rapport à janvier.

Finalement, en mars, on observe une diminution notable du nombre d'observations, qui retombe à 89 individus.

La tendance indique un pic d'arrivée en hiver et une diminution progressive avec la migration de retour (**Fig. 28**).

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

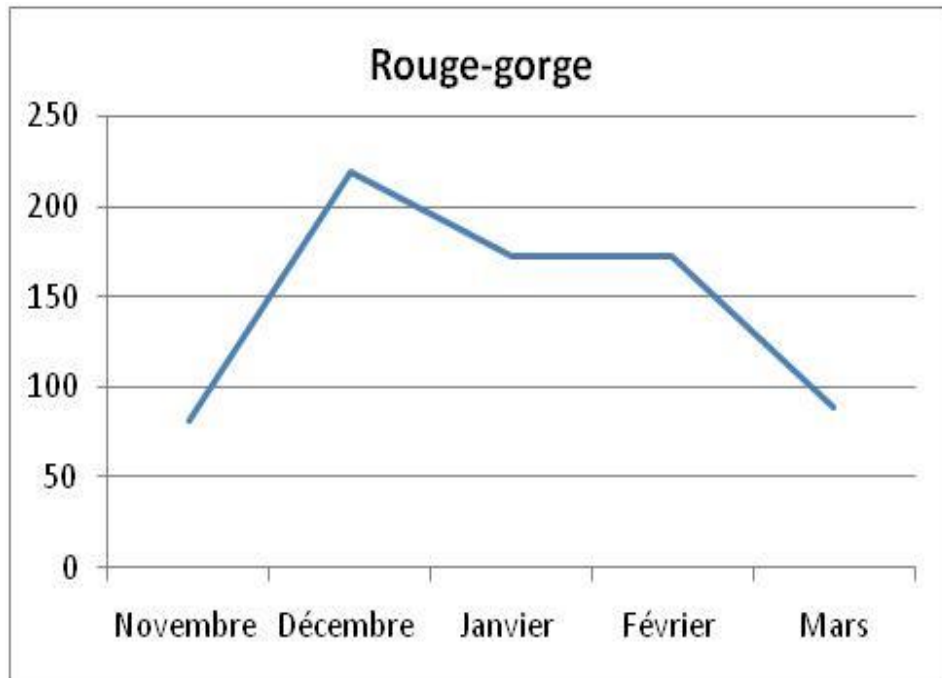


Figure 28. Tendence mensuelle des effectifs du Rouge-gorge

II.1.5.2 Le Rougequeue noir (*Phoenicurus ochruros*)

En novembre, un effectif de 94 individus est recensé. On observe une augmentation du nombre d'observations en décembre, atteignant 115 individus. Suite à ce pic initial, une diminution est constatée en janvier, où le nombre d'observations retombe à 94, égalisant le niveau de novembre. Une baisse plus marquée est observée en février, avec seulement 72 individus recensés, représentant le minimum de la période étudiée. Finalement, en mars, on note une augmentation substantielle du nombre d'observations, atteignant 122 individus, le maximum de la période considérée, illustrant les observations du Rouge-queue noir sur la période allant de novembre à mars révèle une dynamique de présence hivernale fluctuante (Fig. 29).

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

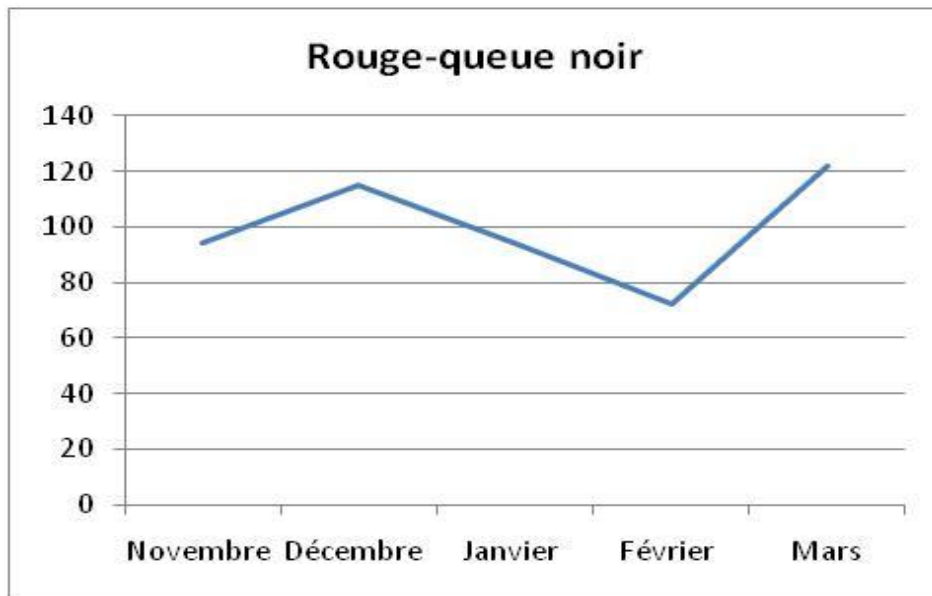


Figure 29. Tendence mensuelle des effectifs du Rouge-queue noir

II.1.5.3 Pouillot fitis (*Phylloscopus trochilus*)

Présente en novembre, un faible effectif de 22 individus. On observe une augmentation marquée du nombre d'observations en décembre, atteignant un pic de 138 individus. Suite à ce maximum, une diminution progressive et substantielle est constatée au cours des mois suivants.

En janvier, le nombre d'observations chute à 75, représentant une réduction d'environ 45.65% par rapport à décembre. Cette tendance à la baisse se poursuit en février, avec 64 individus observés, soit une diminution supplémentaire d'environ 14.67% par rapport à janvier. Finalement, en mars, le nombre d'observations retombe à son niveau initial de novembre, avec 22 individus recensés. Cette tendance suggère un séjour hivernal limité à la période la plus froide (**Fig. 30**).

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

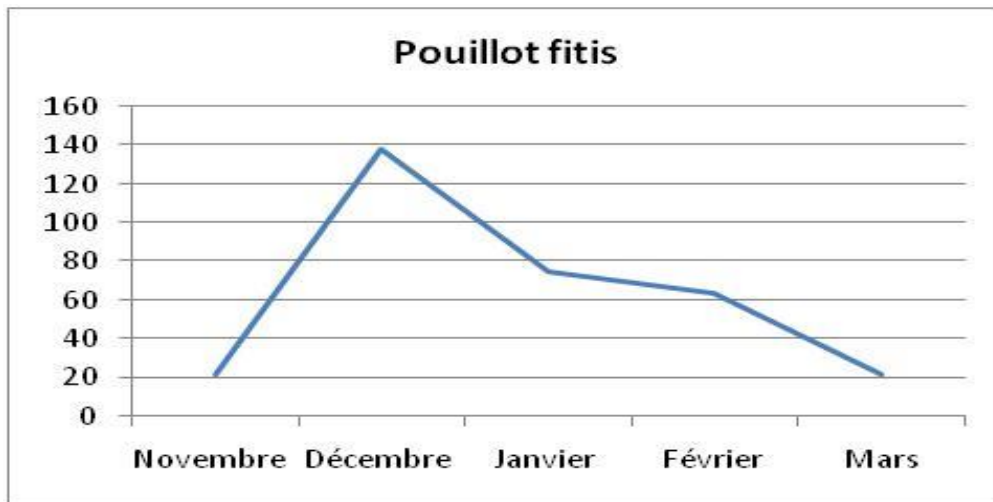


Figure 30. Tendence mensuelle des effectifs du Pouillot fitis

II.1.5.4 Pouillot véloce (*Phylloscopus collybita*)

En novembre, un faible effectif de 20 individus est recensé. On observe une augmentation substantielle du nombre d'observations en décembre, atteignant 100 individus. Cette tendance à la hausse se poursuit en janvier, où le pic d'abondance est observé avec 123 individus. Le nombre d'observations se maintient à un niveau élevé en février, avec 121 individus recensés, indiquant une relative stabilité. Finalement, en mars, une diminution notable est enregistrée, ramenant le nombre d'observations à 87 individus. Cette tendance suggère un séjour hivernal limité à la période la plus froide (**Fig.31**).

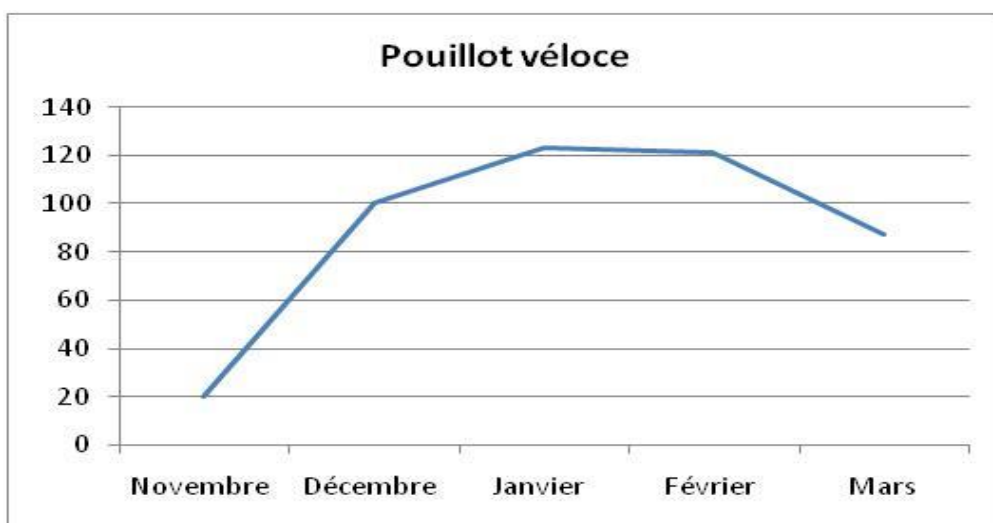


Figure 31. Tendence mensuelle des effectifs du Pouillot véloce

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

II.1.5.1.5 Le pouillot siffleur (*Phylloscopus sibilatrix*)

En novembre, le nombre d'observations s'établit à 41. On note ultérieurement une diminution significative au cours de la période considérée. En décembre, le nombre d'observations chute à 19, représentant une réduction d'approximativement 53.66%.

Cette tendance à la baisse se poursuit en janvier, où le nombre d'individus observés atteint 14, soit une diminution supplémentaire d'environ 26.32% par rapport à décembre et en février), indiquant un hivernage limité à l'automne-début d'hiver et une migration transsaharienne (**Fig. 32**).

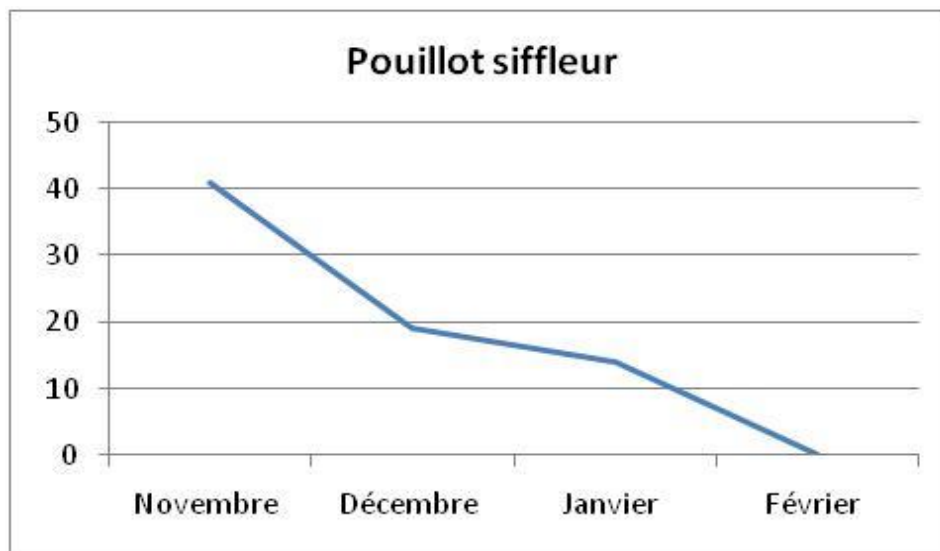


Figure 32 Tendence mensuelle des effectifs du Pouillot siffleur

II.1.5.1.6 La Fauvette mélanocéphale (*Curruca melanocephala*)

En novembre, un effectif de 82 individus est recensé. On observe ensuite une augmentation substantielle du nombre d'observations en décembre, atteignant un pic de 188 individus. Cette phase d'augmentation est suivie d'une diminution progressive au cours des mois suivants. En janvier, le nombre d'observations diminue à 154, ce qui représente une réduction d'environ 18.09% par rapport au pic de décembre. Cette tendance

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

à la baisse se poursuit en février, avec 149 individus observés, soit une légère diminution d'environ 3.25% par rapport à janvier.

Finalement, en mars, on constate une chute plus marquée du nombre d'observations, qui retombe à 81 individus, un niveau comparable à celui observé initialement en novembre. Cette tendance traduit une présence durant l'hiver avec un départ progressif dès février (Fig. 33).

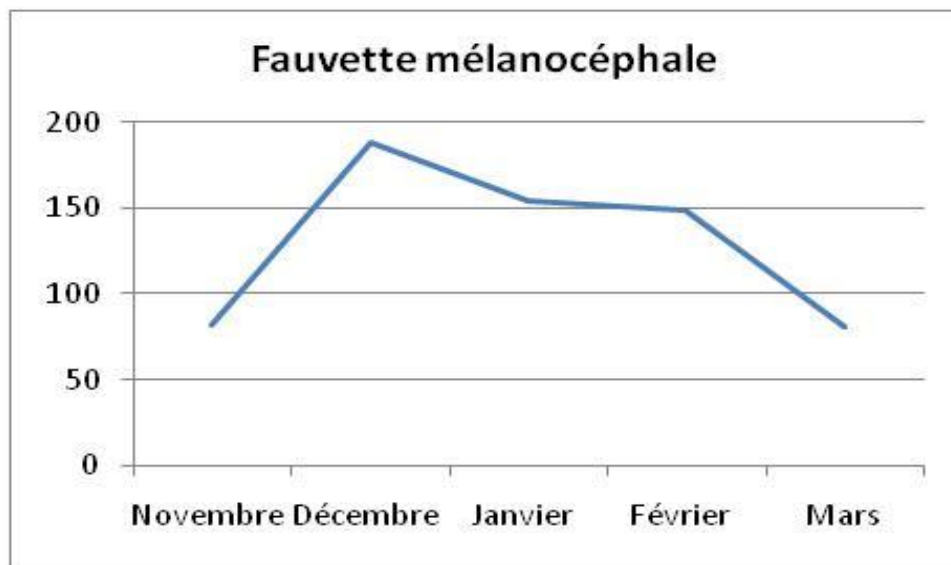


Figure 33. Tendence mensuelle des effectifs de la Fauvette mélanocéphale

II.1.5.1.7 Fauvette à tête noire (*Sylvia atricapilla*)

En novembre, un effectif de 116 individus est recensé. On observe une augmentation significative du nombre d'observations en décembre, atteignant un pic de 174 individus. Cette augmentation initiale est suivie d'une phase de relative stabilité et de légère diminution. En janvier, le nombre d'observations diminue à 145, représentant une baisse d'environ 16.67% par rapport au maximum de décembre. Ce niveau se maintient en février, avec également 145 individus observés. Finalement, en mars, on constate une diminution plus prononcée du nombre d'observations, qui retombe à 95 individus. Cette tendance traduit une présence durant l'hiver avec un départ progressif dès février (Fig.34).

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

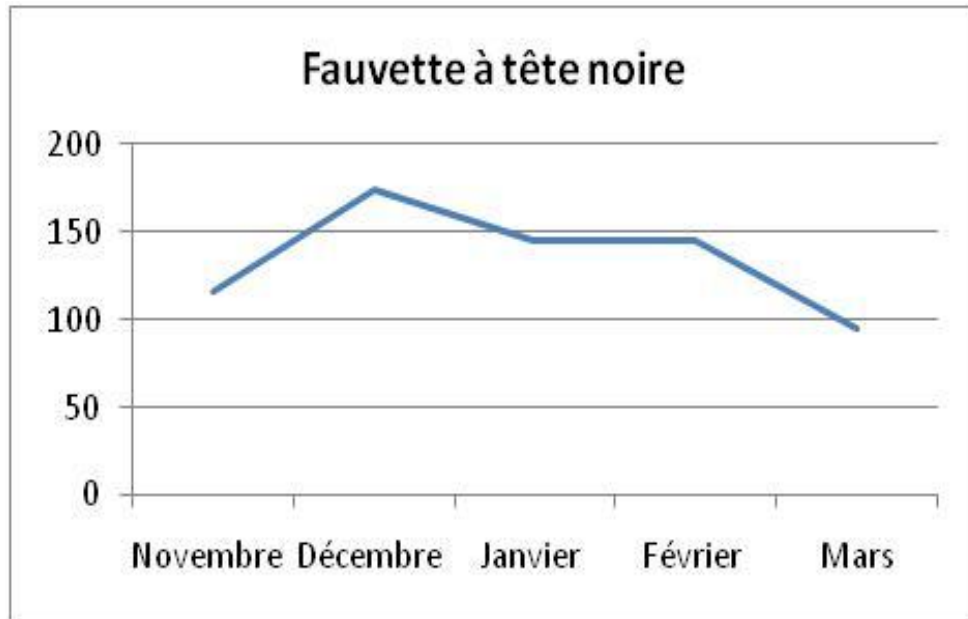


Figure 34. Tendence mensuelle des effectifs de la Fauvette à tête noire

II.1.5.1.8 Grive mauvis (*Turdus iliacus*)

En novembre, un faible effectif de 11 individus est recensé. On observe une augmentation du nombre d'observations en décembre, atteignant un pic de 19 individus. Cette augmentation est suivie d'une diminution progressive et marquée au cours des mois suivants. En janvier, le nombre d'observations chute à 7, ce qui représente une réduction d'environ 63.16% par rapport au maximum de décembre.

La tendance à la baisse se poursuit en février, avec seulement 1 individu observé, soit une diminution significative par rapport à janvier. Finalement, en mars, aucune observation de *Grive mauvis* n'est enregistrée (0). Effectifs très faibles, en forte diminution dès janvier, traduisant un hivernage limité (**Fig.35**).

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrateurs hivernants



Figure 35. Tendence mensuelle des effectifs de la Grive mauvis

II.1.5.1.9 Grive musicienne (*Turdus philomelos*)

En novembre, un faible effectif de 5 individus est recensé et une augmentation progressive du nombre d'observations en décembre, atteignant 13 individus. Le pic d'abondance est atteint en janvier, avec 28 individus. Suite à ce maximum, on constate une diminution rapide en février, avec seulement 7 individus, soit une réduction considérable par rapport à janvier.

Enfin, en mars, aucune observation de la Grive musicienne n'est enregistrée (0). Effectifs très faibles, en forte diminution dès janvier, signalant un hivernage limitée (**Fig. 36**).

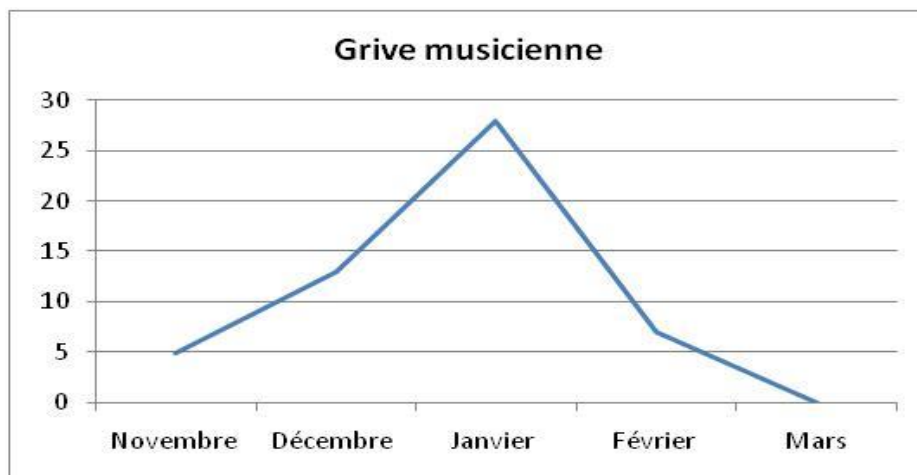


Figure 36. Tendence mensuelle des effectifs de la Grive musicienne

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

II.1.5.1.10 Bergeronnette grise (*Motacilla alba*)

Initialement, en novembre, un faible effectif de 6 individus est recensé. On observe une augmentation notable du nombre d'observations en décembre, atteignant 35 individus. Cette tendance à la hausse se poursuit en janvier, où le pic d'abondance est observé avec 45 individus. Suite à ce maximum, on constate une légère diminution en février, avec 41 individus recensés.

Enfin, en mars, une baisse plus marquée est enregistrée, ramenant le nombre d'observations à 13 individus. Effectifs croissants en hiver, avec un pic en janvier, puis une chute en mars, indiquant un hivernage effectif. (Fig.37).

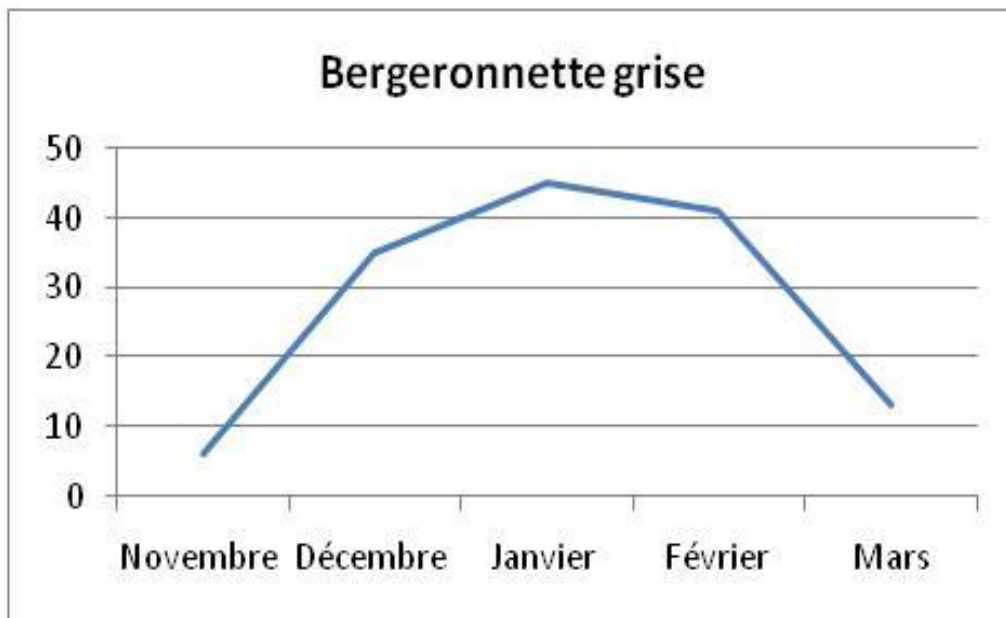


Figure 37. Tendence mensuelle des effectifs de la Bergeronnette grise

II.1.5.1.11 Pipit farlouse (*Anthus pratensis*)

En novembre, un effectif de 35 individus est recensé, puis une augmentation notable du nombre d'observations en décembre, atteignant un pic de 80 individus. Suite à ce maximum, une diminution progressive est constatée au cours des mois suivants. En janvier, le nombre d'observations diminue à 70, représentant une baisse d'environ 12.5% par rapport à décembre.

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

Cette tendance se poursuit en février, avec 45 individus observés, soit une réduction d'environ 35.71% par rapport à janvier. Finalement, en mars, le nombre d'observations continue de diminuer pour atteindre 29 individus.

Le pipit présent en effectif modéré avec une légère décroissance vers mars, suggérant un départ progressif. (**Fig. 38**).

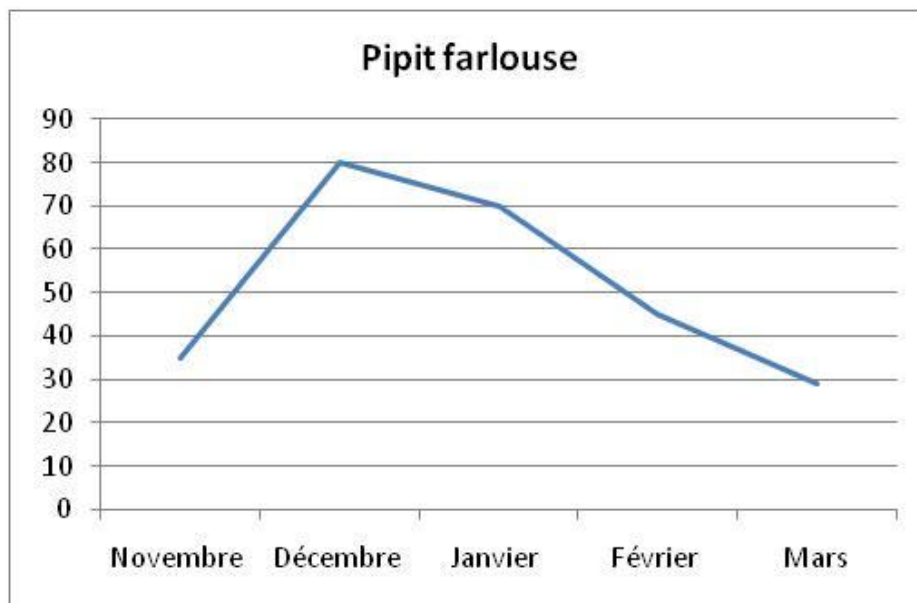


Figure 38. Tendence mensuelle des effectifs du Pipit farlouse

II.1.5.1.12 Étourneau sansonnet (*Sturnus vulgaris*)

Initialement, en novembre, un effectif important de 723 individus est recensé. On observe une diminution substantielle du nombre d'observations en décembre, qui chute à 366 individus, représentant une réduction d'environ 49.38% par rapport au mois précédent.

Cette tendance à la baisse se poursuit en janvier, où le nombre d'observations diminue à 172, soit une nouvelle réduction d'environ 53.01% par rapport à décembre. En février, le nombre d'observations tombe à zéro (0), et cette absence persiste en mars (**Fig. 39**).

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

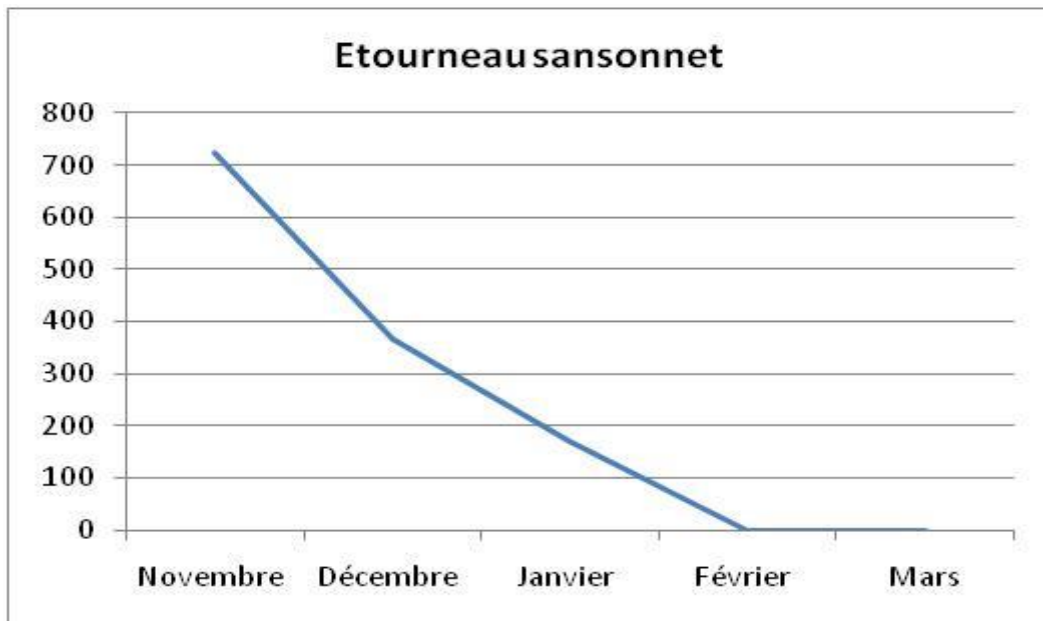


Figure 39. Tendence mensuelle des effectifs de l'Étourneau sansonnet

II.1.6 Evolution spatiale des passereaux hivernants

La répartition spatiale révèle des préférences d'habitat très marquées (**Fig. 40**). Le Rouge-gorge et les deux Fauvettes sont abondants dans les trois formations denses — subéraie avec sous-bois, maquis arboré et maquis moyen — avec des effectifs comparables, signe d'une bonne plasticité écologique au sein des milieux boisés.

Le Pouillot véloce, plus exigeant, se concentre dans les formations les plus riches en insectes. L'Étourneau sansonnet, à l'inverse, domine massivement la subéraie avec sous-bois avec près de 886 individus, en raison de son comportement grégaire et de son exploitation opportuniste des ressources disponibles en début de saison.

II.1.6 Evolution spatiale des passereaux hivernants

II.1.6.1 Rouge-gorge familier (*Erithacus rubecula*)

Présent dans tous les milieux, avec des effectifs élevés dans le Maquis moyen (228), Maquis arboré (223) et la Subéraie avec sous-bois (221). Il s'agit d'une espèce généraliste mais

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

préférant les milieux denses et structurés avec une bonne couverture au sol pour se nourrir et se cacher. Faible effectif en milieu plus ouvert : pelouse (31).

II.1.6.2 Pouillot fitis (*Phylloscopus trochilus*)

Les effectifs de cette espèce sont modérés, Subéraie avec sous-bois (102), Maquis moyen (96) et Maquis arboré (90). Elle préfère les zones semi-ouvertes à feuillages persistants, mais évite les milieux très ouverts comme la pelouse. Des effectifs très faibles dans les milieux ouverts pelouse (12) et subéraie sans sous-bois (21).

II.1.6.3. Pouillot véloce (*Phylloscopus collybita*)

Le Véloce est fortement présent dans la Subéraie avec sous-bois (169) **et** maquis arboré (122). C'est une espèce hivernante commune, liée aux forêts et fourrés riches en insectes, son abondance nettement réduite dans les milieux ouverts comme la pelouse (30).

II.1.6.4. Pouillot siffleur (*Phylloscopus sibilatrix*)

Cette espèce présente une très faible abondance générale, avec un maximum au niveau du maquis arboré (25). Elle préfère les habitats arborés, peu d'affinité pour les milieux ouverts. Pratiquement absent des pelouses (1).

II.1.6.5 Fauvette mélanocéphale (*Curruca melanocephala*)

Espèce abondante dans le maquis moyen (194), arboré (189) et subéraie avec sous-bois (195). Elle présente un lien fort avec les formations arbustives méditerranéennes (maquis) et moins Moins fréquente dans la pelouse (45) et très peu en subéraie sans sous-bois (31).

II.1.6.6 Fauvette à tête noire (*Sylvia atricapilla*)

La répartition de l'espèce est homogène, surtout en maquis arboré (204) **et** subéraie avec sous-bois (198). Elle est espèce assez euryèce, préférant néanmoins les milieux boisés. Elle est peu abondance dans les milieux ouverts comme la subéraie sans sous-bois (48) et la pelouse (46), mais pas absente.

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

II.1.6.7 Grive mauvis (*Turdus iliacus*)

Présente en faibles effectifs dans tous les milieux, le maximum est enregistré dans la subéraie avec sous-bois (13). L'espèce préfère les milieux arborés mais reste généralement peu abondante dans la région.

II.1.6.8 Grive musicienne (*Turdus philomelos*)

L'espèce est présente mais avec des effectifs modestes, dans la Subéraie avec sous-bois (19) et dans la pelouse (15). Plus plasticité écologique, peut fréquenter les milieux ouverts à semi-ouverts.

II.1.6.9 Bergeronnette grise (*Motacilla alba*)

Présente surtout dans la **pelouse (108)**. C'est une espèce strictement liée aux milieux ouverts : pelouses, friches, champs et bords des routes. Pratiquement absente des formations arborées.

II.1.6.10 Pipit farlouse (*Anthus pratensis*)

Distribution typique avec un maximum au niveau de la pelouse (124) et maquis moyen (70). C'est une espèce prairiale, liée aux zones herbacées ouvertes. Présence très faible dans subéraie (12).

II.1.6.11 Étourneau sansonnet (*Sturnus vulgaris*)

Très fort effectif en passage dans la Subéraie avec sous-bois (886) et la pelouse (172). Il s'agit d'une espèce grégarienne, souvent liée aux zones agricoles ou semi-ouvertes riches en ressources. Absent du maquis moyen et subéraie sans sous-bois.

II.1.6.12 Rouge-queue noir (*Phoenicurus ochruros*)

Abondant au niveau de la pelouse (266), le maquis moyen (178), le maquis arboré (53). C'est une espèce rupestre ou des milieux semi-ouverts, hiverne volontiers en milieux ouverts, absent des subéraies.

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

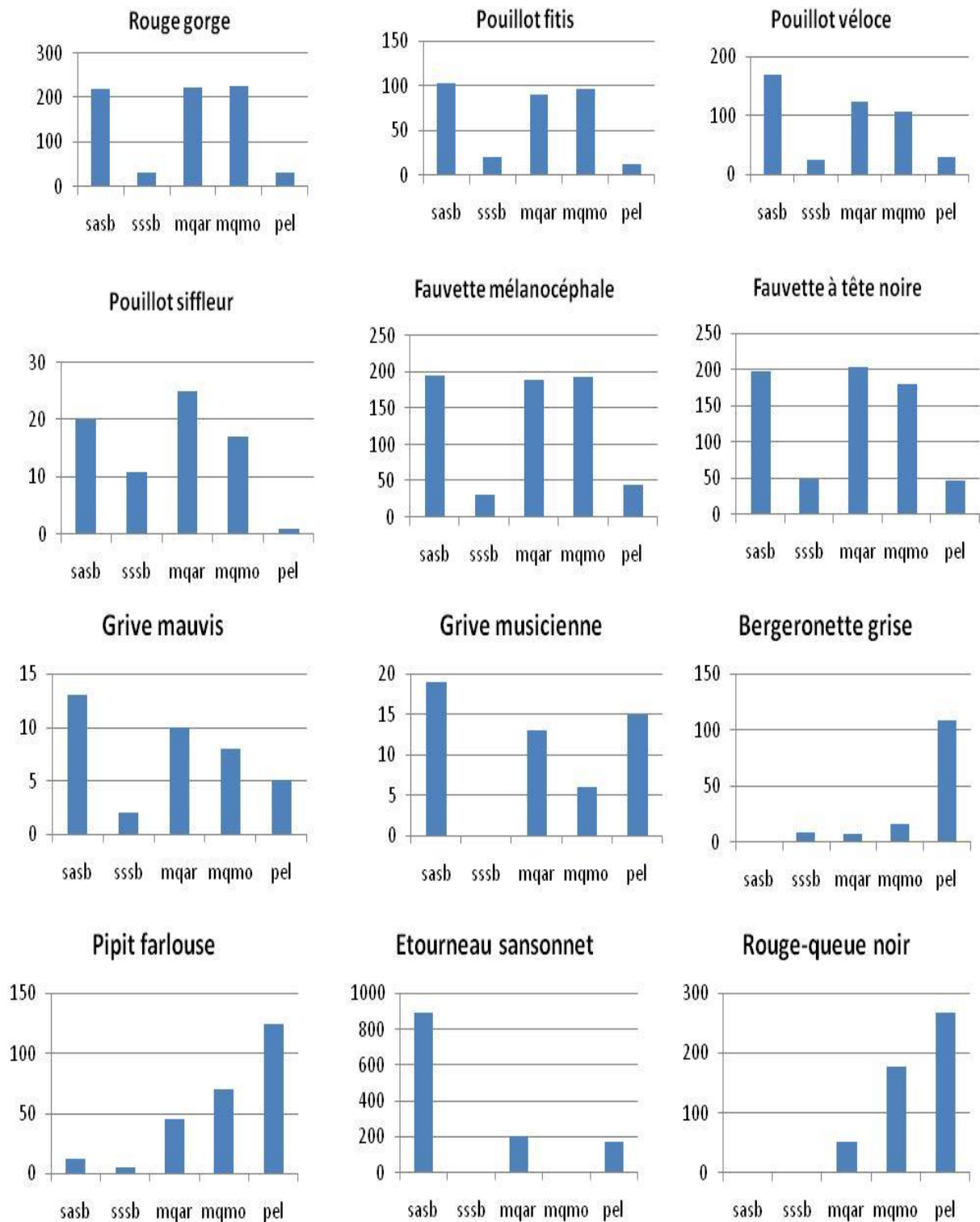


Figure 40. Evolution spatiale des passereaux hivernants

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

II.1.7 Les indices de structure du peuplement hivernant

II.1.7.1 Fréquence d'occurrence des espèces par milieu

L'analyse des fréquences d'occurrence confirme l'existence de deux grands profils écologiques. Les espèces ubiquistes présentes dans presque toutes les formations. À l'opposé, les espèces spécialistes montrent des préférences strictes (**Tableau 3**).

Espèces ubiquistes : Certaines espèces sont présentes dans presque toutes les formations avec des fréquences élevées, ce qui indique une grande plasticité écologique, la Fauvette à tête noire est très fréquente dans les maquis arboré (93,3%), maquis moyen (92,0%) et subéraie avec sous-bois, (90,7%). La Fauvette mélanocéphale montre également une présence importante dans les formations maquis arboré (88,0%), maquis moyen (86,7%) et subéraie avec sous-bois (92,0%).

Espèces spécialistes : D'autres espèces montrent des préférences marquées pour certaines formations telles que le Rouge-queue noir, très fréquent dans la pelouse (92,0%) et maquis moyen (73,3%), mais totalement absent des formations les deux subéraies. La Bergeronnette grise est fortement associée à la pelouse (50,7%), rare dans les autres formations et absente dans la subéraie avec sous-bois. Le Pipit farlouse est particulièrement fréquent dans les pelouses (74,7%) et moyennement fréquent dans le maquis moyen (46,7%).

Gradient de la structure de la végétation : On observe un gradient de distribution des espèces qui correspond à la structure de la végétation, au niveau des formations denses (subéraie avec sous-bois, maquis arboré et moyen) avec une forte fréquence du Rouge-gorge les deux Fauvettes et le Pouillot véloce.

Les formations plus ouvertes pelouse et subéraie sans sous-bois, (pel, sssb) sont caractérisées par une plus forte fréquence de Rouge-queue noir, Pipit farlouse et Bergeronnette grise.

Espèces à distribution restreinte : Certaines espèces présentent des fréquences d'occurrence faibles dans toutes les formations comme l'étourneau sansonnet qui est présent principalement dans la subéraie avec sous-bois, (17,3%), maquis arboré (8,0%) et pelouse (4,0%).

**Potentialités tropiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents
du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux
migrateurs hivernants**

Les deux grives (mauvis et musicienne) ont des fréquences d'occurrence généralement inférieures à 16% dans toutes les formations

Cette analyse des fréquences d'occurrence montre clairement que les différentes espèces de passereaux ne sont pas distribuées uniformément dans les cinq formations végétales étudiées. Ces différences de distribution reflètent probablement les exigences écologiques spécifiques de chaque espèce en termes d'habitat, de ressources alimentaires et de sites de nidification.

Les formations maquis arboré, maquis moyen et subéraie avec sous-bois présentent généralement des fréquences d'occurrence plus élevées pour la plupart des espèces, suggérant que ces milieux plus structurés offrent davantage de niches écologiques. À l'inverse, la subéraie sans sous-bois présente les fréquences d'occurrence les plus faibles pour presque toutes les espèces, ce qui indique un milieu moins favorable pour la communauté de passereaux étudiée.

Cette étude des fréquences d'occurrence constitue une base solide pour des analyses plus approfondies sur les relations entre la structure de la végétation et les communautés d'oiseaux dans ces différents habitats.

Tableau 3. Fréquence d'occurrence des espèces par milieu

Espèce	Code	sasb	Sssb	m qar	Mqmo	Pel
Rouge-gorge	Erru	85,3	24	81,3	93,3	28
Pouillot fitis	Phtr	54,7	21,3	54,7	61,3	12
Pouillot véloce	Phco	81,3	22,7	70,7	60	22,7
Pouillot siffleur	Phsi	18,7	10,7	20	13,3	1,3
Fauvette mélanocéphale	Cume	92	25,3	88	86,7	32
Fauvette à tête noire	Syat	90,7	33,3	93,3	92	34,7
Grive mauvis	Tuil	12	2,7	10,7	8	5,3
Grive musicienne	Tuph	16	0	13,3	8	10,7
Bergeronnette grise	Moal	0	6,7	5,3	13,3	50,7
Pipit farlouse	Anpr	10,7	5,33	30,7	46,7	74,7
Etourneau sansonnet	Stvu	17,3	0	8	0	4
Rouge-queue noir	Phoc	0	0	32	73,3	92

**Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents
du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux
migrateurs hivernants**

II.1.7.2 Les Fréquences relatives (abondances relatives) des hivernants

Les fréquences relatives, qui reflètent l'abondance relative de chaque espèce au sein d'un habitat, apportent un éclairage complémentaire (**Tableau 4**).

En effet, l'analyse des patterns remarquables montre que la subéraie avec sous-bois montre une dominance marquée de l'étourneau sansonnet (48.3%) masquant la diversité réelle du peuplement, la pelouse présente une forte proportion de Rouge-queue noir (31.1%) et le Pipit farlouse (14.5%), caractéristique des milieux ouverts, ce qui illustre la spécialisation de cette formation. Le maquis moyen a une distribution plus équilibrée avec le Rouge-gorge (20.8%) et Rouge-queue noir (16.2%) comme espèces principales. Enfin la subéraie sans sous-bois révèle une surreprésentation de Fauvette à tête noire (26.2%) malgré sa faible diversité globale.

Tableau 4. Les Fréquences relatives des espèces par milieu

Espèce	Code	Sasb	Sssb	m qar	Mqmo	Pel
Rouge-gorge	Erru	12	17,5	18,8	20,8	3,6
Pouillot fitis	Phtr	5,6	11,5	7,6	8,7	1,4
Pouillot véloce	Phco	9,2	13,1	10,3	9,7	3,5
Pouillot siffleur	Phsi	1,1	6	2,1	1,5	0,1
Fauvette mélanocéphale	Cume	10,6	16,9	16	17,7	5,3
Fauvette à tête noire	Syat	10,8	26,2	17,2	16,3	5,4
Grive mauvis	Tuil	0,7	1,1	0,8	0,7	0,6
Grive musicienne	Tuph	1	0	1,1	0,5	1,8
Bergeronnette grise	Moal	0	4,9	0,6	1,5	12,6
Pipit farlouse	Anpr	0,7	2,7	3,8	6,4	14,5
Etourneau sansonnet	Stvu	48,3	0	17,1	0	20,1
Rouge-queue noir	Phoc	0	0	4,5	16,2	31,1

II.1.7.3 Analyse comparée des fréquences d'occurrence et des fréquences relatives chez les passereaux hivernants

Les espèces ubiquistes comme les deux Fauvettes présentent à la fois des fréquences d'occurrence élevées (>85% dans le maquis arboré et la subéraie avec sous-bois et des fréquences relatives importantes (16-17.7%), indiquant une adaptation à divers habitats

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

combinée à une forte capacité compétitive. À l'inverse, le Rouge-queue noir, illustre un paradoxe écologique par sa forte fréquence d'occurrence 92% dans les pelouses (pel), mais sa fréquence relative n'y est que 31.1%, suggérant une présence généralisée mais en densités modérées, probablement liée à des stratégies de niche non-compétitive.

Les spécialistes comme l'Etourneau sansonnet *Stvu* montrent des profils inversés : dans la forêt avec sous-bois (sasb), sa fréquence d'occurrence n'est que 17.3% mais sa fréquence relative atteint 48.3%, révélant des populations denses mais localisées, caractéristique d'une distribution agrégative et de microhabitats spécifiques. Ce pattern correspond au modèle contagieux décrit par **Blondel (1975)** où l'abondance locale compense la rareté spatiale.

L'analyse des espèces indicatrices met en évidence :

La Bergeronnette grise dans les pelouses (50.7% freq. relative) : dominance numérique malgré une occurrence modérée (50.7%), signant une spécialisation trophique.

Le Pipit farlouse (74.7% d'occurrence dans la pelouse : optimisation de la détection spatiale plutôt que de la densité.

La subéraie sans sous-bois présente le plus fort découplage métrique : la fauvette à tête noire y maintient 33.3% d'occurrence mais 26.2% de fréquence relative, témoignant d'une résilience écologique par compensation densitaire dans un habitat marginal. À l'opposé, le Pouillot siffleur montre partout de faibles valeurs (<25%) pour les deux indices, confirmant son statut d'espèce de passage hivernal.

Cette dualité fréquence/abondance souligne la nécessité de méthodes complémentaires en écologie quantitative : la fréquence d'occurrence identifie les espèces bioindicatrices d'habitats, tandis que la fréquence relative révèle les dynamiques compétitives internes aux communautés. Leur croisement permet de discriminer les stratégies écologiques pures (ex: la fauvette mélanocéphale (est généraliste), des adaptations contextuelles (ex: le Rouge-queue noir tolérant).

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrateurs hivernants

II.1.8 Indices de diversité de Shannon et d'équitabilité de Piélu

Les indices de diversité confirment ce que les graphiques précédents suggéraient (**Fig. 41a** et **41 b**).

Le maquis arboré et le maquis moyen présentent à la fois des indices de Shannon et d'équitabilité élevés ($H > 2$, $E \approx 0,85$), traduisant une forte diversité spécifique et une structure communautaire équilibrée.

À l'inverse, la subéraie avec sous-bois affiche une diversité et une équitabilité plus faibles ($H \approx 1,6$; $E \approx 0,7$), ce qui révèle la dominance nette d'une ou deux espèces (notamment l'étourneau sansonnet) et une communauté moins homogène.

La pelouse montre une diversité intermédiaire, marquée par la prépondérance de quelques espèces adaptées aux milieux ouverts (comme le Rouge-queue noir ou l'Étourneau sansonnet), tandis que la forêt sans sous-bois, malgré sa pauvreté en espèces, affiche une équitabilité intermédiaire car les rares espèces présentes se répartissent de manière plus uniforme.

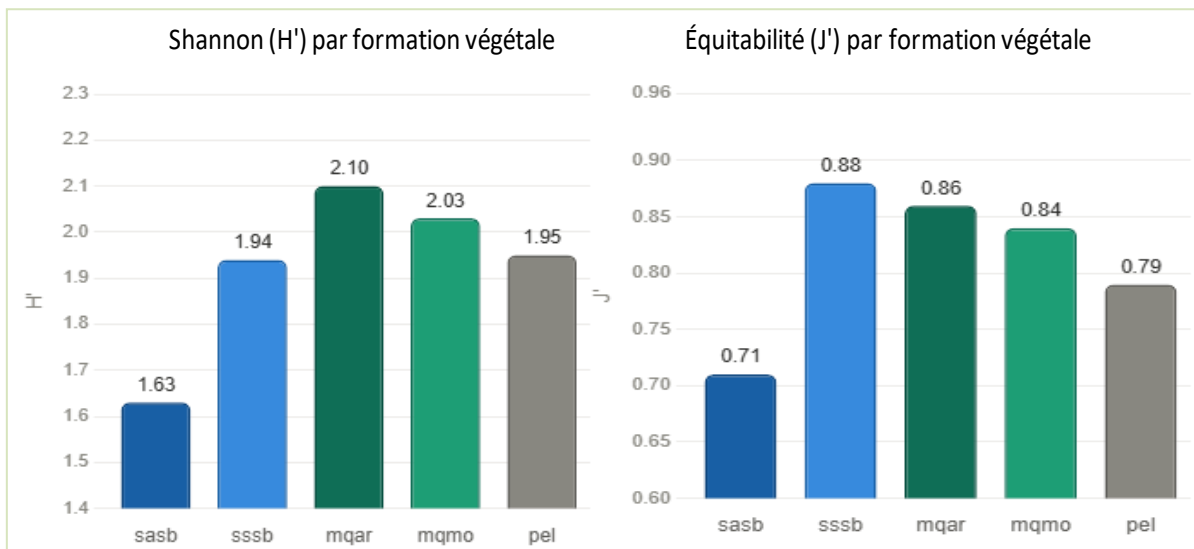


Figure 41 (a et b). Indices de diversité de Shannon et d'équitabilité de Piélu

(sasb=Subéraie avec sous-bois ; sssb=subéraie sans sous-bois ; mqar= Maquis arboré ; mqmo=Maquis moyen ; pel= Pelouse)

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

Les indices montrent que la diversité et l'équilibre des communautés de passereaux varient fortement selon la structure de la végétation : les milieux arborés sont les plus riches et équilibrés, tandis que les milieux ouverts ou dominés par une espèce voient leur diversité et leur homogénéité diminuer. Ces différences traduisent l'influence majeure de la structure de l'habitat sur la composition et la dynamique des communautés aviaires.

II.1.9 Variation temporelle des assemblages de passereaux dans différentes formations végétales (l'Analyse en Composantes Principales)

L'analyse en composantes principales réalisée sur l'ensemble des relevés de passereaux hivernants entre novembre et mars met en évidence des dynamiques spatio-temporelles claires dans la structuration des communautés aviennes selon les types de formations végétales (**Fig. 42 a-e**).

Axe principal (PC1) : une structuration stable des formations

Le premier axe, PC1, oppose de façon stable tout au long de l'hiver la pelouse aux autres formations. Cette séparation est portée par des espèces typiquement prairiales comme la Bergeronnette grise et le Pipit farlouse d'un côté, et des espèces forestières comme le Rouge-gorge et la Fauvette à tête noire de l'autre.

Axe secondaire (PC2) : un changement progressif et saisonnier

Contrairement à PC1, PC2 évolue de novembre à mars : il passe de 13 % de la variance expliquée en novembre à près de 19 % en mars. Cette augmentation traduit une structuration saisonnière croissante, c'est-à-dire que les différences entre les habitats selon PC2 deviennent plus marquées à mesure que l'hiver progresse.

Novembre–Décembre

Le Rouge-gorge familier, la Fauvette mélanocéphale et la Fauvette à tête noire, restent associées à la subéraie avec sous-bois (sasb) et le maquis arboré (mqar). Ces formations ont une signature ornithologique hivernale typique de début d'hiver, avec des espèces forestières ou de lisière à affinité méditerranéenne. Pendant la même période, la subéraie sans sous-bois

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

(sss) et le maquis moyen (mqmo) sont neutres (proches de l'origine sur PC2), donc ni marqués par les espèces précitées, ni par d'autres.

Janvier–Février

Le Pouillot siffleur et la Grive mauvis sont associés à la subéraie sans sous-bois et le maquis moyen qui glissent vers le pôle négatif de PC2. Ce déplacement montre un changement dans la composition spécifique de ces habitats, qui deviennent plus favorables à des espèces à affinité plus nordique ou forestière froide.

Quant au **maquis arboré** qui reste dans le positif de PC2, est caractérisé par la présence du Pipit farlouse et de l'Étourneau sansonnet. Ceci reflète une spécificité propre au maquis arboré, qui ne suit pas le même mouvement que la subéraie sans sous-bois et le maquis moyen.

Mars

Le Pouillot siffleur et la Grive mauvis rejoignent la Subéraie avec sous-bois qui glisse à son tour vers PC2. Ce glissement suggère que cette formation commence à accueillir davantage d'espèces comme le Pouillot siffleur (peut être de retour) et la Grive mauvis, typiques d'habitats plus froids ou plus structurés.

La pelouse, en revanche, garde la même position sur PC1+, montrant que sa composition ornithologique reste stable toute la saison.

On peut conclure que PC1 correspond à une différenciation stable entre la pelouse et les autres formations, pilotée par des espèces granivores des milieux ouverts (Bergeronnette grise et Rouge-queue noir).

Tandis que **PC2** correspond à une différenciation saisonnière, montrant un tournant hivernal dans la répartition des espèces, notamment en janvier-février, une modification progressive des assemblages en fonction des conditions hivernales (climat, ressources) et enfin, certains habitats (la subéraie sans-sous-bois, le maquis moyen, puis la subéraie avec sous-bois)

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrateurs hivernants

deviennent progressivement plus favorables à des espèces typiques de l'hiver profond, tandis que le maquis arboré conserve une signature d'espèces plus généralistes ou méridionales.

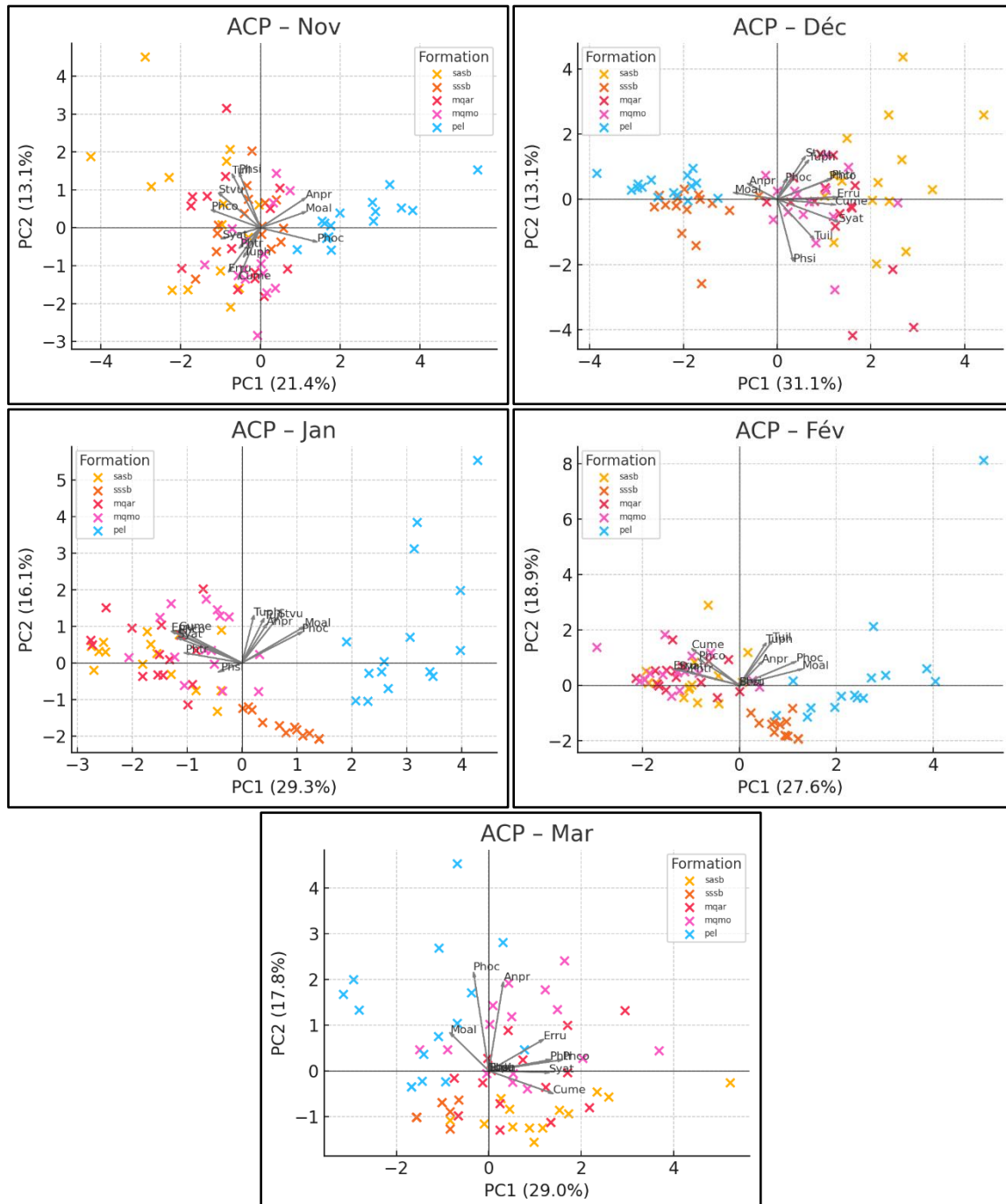


Figure 42 (a-e). Évolution mensuelle (de novembre à mars) des assemblages de passereaux : Analyses en composantes principales

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrateurs hivernants

Discussion des résultats passereaux migrateurs hivernants

Phénologie d'hivernage des passereaux dans l'extrême nord-est de l'Algérie : synthèse

Les dynamiques phénologiques observées chez les passereaux hivernants dans l'extrême nord-est de l'Algérie révèlent une diversité de stratégies temporelles, traduisant l'influence conjointe des caractéristiques écologiques locales et des trajectoires migratoires propres à chaque espèce. Ces différences saisonnières d'abondance s'inscrivent dans un gradient de spécialisation allant des résidents sédentaires aux migrateurs transsahariens, et reflètent la position charnière du Maghreb dans le système migratoire paléarctique occidental (**Berthold, 2001 ; Newton, 2008 ; Tellería & al., 2001**).

Hivernants classiques à présence prolongée

Des espèces comme *Erithacus rubecula* (Rouge-gorge familier) et *Sylvia atricapilla* (Fauvette à tête noire) affichent une présence stable de novembre à février, avec un pic d'abondance en début ou milieu d'hiver. Ce patron, bien documenté chez les hivernants nord-européens établis en Afrique du Nord, s'explique par la douceur relative du climat méditerranéen et la disponibilité hivernale en ressources alimentaires telles que les baies, les invertébrés et les graines (**Carrascal & al., 2001 ; Tellería & al., 1999 ; Blondel & Aronson, 1999**). Le départ précoce de certaines populations dès février, notamment chez *S. atricapilla*, traduit le début du retour pré-nuptial, phénomène également signalé par **Catry et al. (2005)** et confirmé par des études plus récentes montrant une avancée de la date de départ en lien avec le réchauffement climatique (**Rubolini & al., 2007 ; Végvári & al., 2010 ; Lehikoinen & Sparks, 2010**).

Résidents méditerranéens partiellement mobiles

Curruca melanocephala (Fauvette mélanocéphale), espèce typiquement méditerranéenne et souvent sédentaire, montre un pic d'abondance en décembre suivi d'un déclin graduel. Ce comportement pourrait refléter une mobilité locale ou des déplacements vers des habitats plus riches en ressources en fin d'hiver (**Prodon & Lebreton, 1981 ; González & al., 1990**). Cette flexibilité correspond aux stratégies opportunistes fréquemment décrites chez les résidents

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

partiels en zones méditerranéennes semi-arides, où la disponibilité des ressources varie fortement à l'échelle locale et saisonnière (**Herrera, 1984 ; Fonderflick & al., 2010**).

Hivernants insectivores à stabilité moyenne

Phylloscopus collybita (Pouillot véloce), insectivore strict, est régulièrement observé de décembre à février, avec un pic en janvier. Sa relative stabilité hivernale témoigne de sa capacité à exploiter les ressources entomologiques disponibles malgré les contraintes saisonnières, notamment les arthropodes actifs dans la litière et les strates basses de végétation dense (**Wolda, 1988 ; Cuenca & Senar, 2006**). La chute d'effectifs observée en mars suggère le début de sa remontée migratoire vers l'Europe (**Catry & al., 2005 ; Lindström & al., 2019**). Cette espèce constitue ainsi un bon indicateur de la qualité trophique hivernale des habitats, sa présence prolongée étant conditionnée par le maintien d'une biomasse entomologique suffisante (**Holmes & Schultz, 1988 ; Reif & Hanzelka, 2020**).

Espèces généralistes à présence continue

Anthus pratensis (Pipit farlouse) et *Motacilla alba* (Bergeronnette grise) affichent une régularité de présence tout au long de l'hiver. Ces espèces généralistes, tolérantes aux milieux ouverts et peu exigeantes sur le plan structural, illustrent des cas typiques d'hivernants réguliers dans le sud du bassin méditerranéen (**Tellería & Pérez-Tris, 2004**). Leur persistance dans les milieux les moins structurés, tels que la pelouse, s'explique par leur capacité à exploiter visuellement les proies au sol dans des environnements ras (**Cramp & Perrins, 1994 ; Clement & al., 2020**).

Migrateurs de passage à séjour bref

Certaines espèces, telles que le *Pouillot fitis* (*Phylloscopus trochilus*) ou le *Pouillot siffleur* (*P. sibilatrix*), ne sont présentes que ponctuellement, notamment autour de décembre. Leur présence hivernale brève suggère des haltes migratoires transitoires plutôt qu'un véritable hivernage.

Ces comportements sont compatibles avec les stratégies des migrants transsahariens utilisant le Maghreb comme zone de repos avant la traversée désertique (**Berthold, 2001 ; Newton, 2008 ; Tellería & al., 2001**). De telles présences inhabituelles pourraient refléter

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

une plasticité phénologique **accrue** en réponse aux changements climatiques récents (Rubolini & al., 2007 ; Lehikoinen & al., 2013).

Migrateurs partiels sensibles au climat

Phoenicurus ochruros (Rouge-queue noir) et *Turdus philomelos* (Grive musicienne) présentent des dynamiques en cloche, avec une arrivée progressive en novembre, un pic en janvier, puis une chute des effectifs en fin de saison. Ce patron phénologique est fréquemment influencé par les conditions météorologiques locales, notamment les épisodes de froid, qui peuvent provoquer des déplacements intra-méditerranéens vers des zones de refuge plus méridionales (González & al., 1990 ; Tøttrup & al., 2010). Ces mouvements d'origine climatique ont été récemment modélisés dans le cadre des études sur la flexibilité migratoire des passereaux partiellement migrants (Pulido, 2011 ; Fiedler & al., 2015).

Hivernants nordiques sporadiques

Grive mauvis (*Turdus iliacus*) illustre un hivernage conditionnel, avec une présence marquée en décembre avant une disparition rapide. Ce comportement est cohérent avec son statut d'hivernant irrégulier en Afrique du Nord, tributaire des conditions climatiques continentales européennes : lors d'hivers rigoureux, cette espèce peut utiliser le Maghreb comme zone de refuge temporaire (Carrascal & al., 2001). Des études récentes ont montré que la fréquence de ces hivernages conditionnels tend à diminuer en lien avec le réchauffement des hivers européens, réduisant la nécessité de migrations de froid vers le sud (Gill & al., 2019).

Migrateurs grégaires

L'Étourneau sansonnet (*Sturnus vulgaris*) est notable pour son abondance maximale en novembre, suivie d'un déclin rapide. Cette dynamique suggère, une dispersion vers d'autres sites (Cramp & Simmons, 1988 ; Tellería & Pérez-Tris, 2004). Ce comportement est typique des espèces grégaires à forte mobilité.

Variabilité spatiale de l'abondance du peuplement des passereaux hivernants

L'analyse de l'abondance des passereaux hivernants dans les cinq stations d'étude met en évidence une variabilité spatiale marquée, traduisant une hétérogénéité des conditions

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

d'accueil au sein des différents habitats. Cette variabilité reflète des différences locales en termes de structure de la végétation, de disponibilité trophique, de microclimat et de pression anthropique (**Bibby & al., 2000 ; Cresswell, 1996**). Ce type de variabilité est bien connu dans les paysages méditerranéens, où les mosaïques d'habitats génèrent une distribution non uniforme des espèces hivernantes (**Prodon & Lebreton, 1981 ; Herrera, 1984 ; Fonderflick & al., 2010**).

La subéraie avec sous-bois se distingue nettement par une très forte abondance de passereaux en début d'hiver, atteignant plus de 600 individus en novembre-décembre. Cette richesse s'explique probablement par une offre trophique élevée en baies et en insectes, et par la structure fermée de la végétation offrant un microclimat favorable aux oiseaux en période de premiers froids (**Herrera, 1984 ; Prodon & Lebreton, 1981**). Ces caractéristiques font de ce type de formation un habitat d'accueil privilégié pour les flux migratoires précoces, particulièrement pour les espèces insectivores ou frugivores hivernantes (**Carrascal & al., 2012**). Cependant, cette attractivité semble temporaire : les effectifs déclinent fortement en fin d'hiver. Cette dynamique peut s'expliquer par plusieurs mécanismes non exclusifs : l'épuisement progressif des ressources alimentaires, en particulier des insectes dont la disponibilité chute avec les températures hivernales (**Tellería & al., 1999 ; Hallmann et al., 2017**) ; des migrations secondaires ou une dispersion intra-hivernale vers des habitats alternatifs (**Newton, 2008 ; Villén-Pérez & al., 2013**) ; et une pression compétitive exercée par les espèces résidentes.

En effet, dans les habitats riches et denses comme la subéraie, les espèces sédentaires telles que les mésanges, les fauvettes résidentes ou les pics bénéficient d'un avantage compétitif lié à leur connaissance fine de l'environnement local (**Marler, 1956 ; Cresswell, 1997**). Elles mettent en œuvre des stratégies de dominance sociale influençant l'accès aux ressources alimentaires, notamment en période de pénurie (**Krams, 2001 ; Sandell & Smith, 1991 ; Tobias & Seddon, 2009**). Ce type de hiérarchie compétitive contribue à exclure progressivement les individus migrants, moins familiers du site et en position hiérarchique inférieure, ce qui expliquerait leur départ anticipé vers d'autres milieux (**Carrascal et al., 2012 ; Reif & Hanzelka, 2020**).

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

Ces dynamiques confirment le rôle crucial de la structure de l'habitat dans l'accueil et le maintien des passereaux hivernants (Bibby & al., 2000), et soulignent l'importance des interactions interspécifiques dans la régulation des populations hivernales (Cresswell, 1997 ; Sandell & Smith, 1991).

Structuration spatio-temporelle des peuplements : apport de l'ACP

L'analyse en composantes principales (ACP) des relevés mensuels de passereaux hivernants met en évidence une structuration double des communautés aviennes selon deux axes complémentaires : un gradient spatial stable reflétant les caractéristiques des formations végétales (PC1), et un gradient temporel progressif lié aux modifications saisonnières des conditions écologiques (PC2).

Le premier axe (PC1) différencie de manière nette les milieux ouverts, en particulier la pelouse, des formations arborées et semi-arborées. Cette séparation reflète la spécificité écologique des pelouses, où l'avifaune hivernante est dominée par des espèces adaptées aux espaces ouverts, telles que *Motacilla alba* et *Anthus pratensis*, capables de repérer visuellement leurs proies au sol (Cramp & Perrins, 1994 ; Clement & al., 2020). La stabilité de cette communauté tout au long de l'hiver traduit l'inertie structurelle des pelouses, dont la végétation rase et les microclimats varient peu (Archaux & Bakkaus, 2007). Ainsi, le PC1 reflète un gradient d'ouverture du milieu, où la pelouse se distingue comme un habitat ornithologiquement stable mais pauvre, contrastant fortement avec la complexité des formations boisées, conformément aux conclusions de Carrascal & Díaz (2003) et de Suárez-Seoane & al. (2002) dans des contextes méditerranéens comparables.

Le second axe (PC2) met en évidence une dynamique temporelle des assemblages en réponse aux conditions hivernales, particulièrement dans les habitats arborés et semi-ouverts. En début d'hiver (novembre-décembre), les formations telles que la subéraie avec sous-bois et le maquis arboré sont occupées par des espèces typiquement méditerranéennes comme *Erithacus rubecula*, *Curruca melanocephala* et *Sylvia atricapilla*, qui tirent parti de la structure complexe et du microclimat favorable de ces habitats, ainsi que de la présence d'invertébrés dans la litière et les strates basses (Cuenca & Senar, 2006 ; Van Gils & al., 2005 ; Wolda, 1988). À mesure que l'hiver avance (janvier-février), une reconfiguration

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

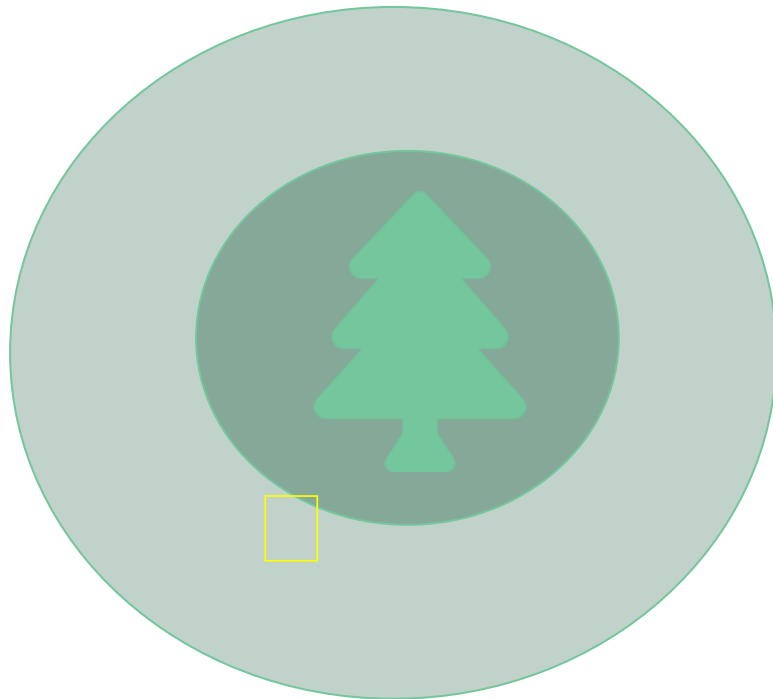
progressive s'opère : *Phylloscopus collybita* et *Turdus iliacus*, à phénologie plus tardive ou à affinités plus nordiques, deviennent plus fréquents dans des habitats initialement moins favorables comme la subéraie sans sous-bois et le maquis moyen.

Ce glissement pourrait refléter une plasticité écologique face à des conditions climatiques ou trophiques changeantes, notamment des épisodes doux favorisant une reprise partielle de l'activité entomologique, ou des déplacements intra-hivernaux en réponse à la raréfaction locale des ressources (Newton, 1964 ; Cresswell, 1996 ; Cornulier & al., 2015). Cette dynamique rappelle les résultats de Brotons & al. (2004) et de Fonderflick & al. (2010), qui soulignent la sensibilité des communautés d'oiseaux méditerranéens aux fluctuations saisonnières et à l'hétérogénéité structurelle des habitats.

En fin de saison (mars), la reconvergence d'espèces comme *P. collybita* et *T. iliacus* vers des formations plus complexes peut signaler le début de la migration pré-nuptiale et une réoccupation de milieux redevenus favorables avec la remontée des températures et le redémarrage de la phénologie végétale et entomologique (Tellería & al., 1999 ; Lindström & al., 2019).

11.2

Résultats 'Insectes'



***Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents
du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux
migrateurs hivernants***

II.2 Résultats et Discussion Ressources trophiques (insectes)

II.2.1 Composition du peuplement hivernal de l'entomofaune

Concernant l'entomofaune, 1 597 individus ont été collectés, appartenant à 36 familles réparties en 7 ordres.

L'ordre des Coléoptères s'est révélé le plus diversifié, avec 15 familles, suivi par celui des Hémiptères (7 familles), des Diptères (5), des Hyménoptères (4), des Blattodea (2), les Dermaptères (2) et enfin les Archaeognathes, représentés par au moins une famille (**Tableau 6**). Ces résultats illustrent une entomofaune diversifiée même en saison froide.

En termes d'abondance, les Coléoptères dominent largement l'assemblage, représentant 55 % de l'effectif total, soit 883 individus. Ils sont suivis par les Hyménoptères (13 % ; 212 individus), les Diptères (12 % ; 194 individus), les Hémiptères (10 % ; 163 individus) et les Blattodea (6 % ; 93 individus). Les ordres les moins représentés sont les Dermaptères (2 % ; 28 individus) et les Archaeognathes (2 % ; 24 individus).

Les familles les plus abondantes sont celles des Formicidae (158 individus, Hyménoptères), des Dasytidae (109), des Scarabaeidae (107), des Tenebrionidae (100), des Carabidae (97), des Chrysomelidae (84), des Curculionidae (75), des Geotrupidae (54), des Brentidae (53), toutes appartenant à l'ordre des Coléoptères, la famille des Culicidae (56, Diptères) et celle des Ectobiidae (53, Blattodea).

Ces résultats indiquent une nette dominance des Coléoptères, tant en diversité taxonomique qu'en abondance, ce qui reflète probablement la richesse structurale des milieux échantillonnés et la disponibilité de niches écologiques favorables à cet ordre durant la saison hivernale.

**Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents
du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux
migrateurs hivernants**

Tableau 5. Abondance des insectes dans les cinq formations

Ordre	Famille	sasb	sssbs	mgar	mqmo	pel
Coleoptera	Dasytidae	29	4	25	29	22
	Scarabaeidae	23	2	23	31	28
	Carabidae	28	4	26	24	15
	Geotrupidae	19	2	14	12	7
	Curculionidae	24	0	25	26	0
	Chrysomelidae	21	1	25	23	14
	Tenebrionidae	24	3	25	26	22
	Trogidae	16	1	14	11	3
	Staphilinidae	14	0	12	9	2
	Brentidae	20	0	17	16	0
	Leiodidae	15	0	13	17	3
	Silphidae	2	0	5	0	0
	Elateridae	9	0	8	9	0
	Endomychidae	11	0	10	8	0
	Histeridae	6	0	1	1	4
Diptera	Syrphidae	7	0	3	6	0
	Culicidae	20	0	13	12	11
	Tabanidae	13	0	16	11	0
	Calliphoridae	11	0	11	12	0
	Tipulidae	10	0	13	14	11
Hemiptera	Cicadelidae	7	4	0	0	0
	Reduviidae	12	2	10	10	7
	Pentatomidae	0	0	4	3	0
	Pyrrhocoridae	7	0	6	6	3
	Ceratocombidae	11	5	13	8	0
	Corimelaenidae	12	0	7	10	0
	Cydnidae	5	0	6	5	0
Hymenoptera	Apidae	3	5	2	5	0
	Formicidae	37	40	24	28	29
	Argidae	3	0	6	15	0
	Andrenidae	0	0	9	6	0
Blattodea	Ectobiidae	15	6	15	15	2
	Blattellidae	12	4	10	14	0
Dermaptera	Anisolabididae	0	0	2	5	7
	Forficulidae	0	0	3	7	4
Archaeognatha	Archaeognatha sp	10	0	8	6	0

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

II.2.2 Variation mensuelle des paramètres écologiques de la diversité locale

L'abondance des insectes a augmenté au cours de la saison, de décembre à mars 2022, passant de 211 individus en décembre 2021 à 635 individus en mars 2022. Cette augmentation notable correspond probablement à la saison printanière, qui offre des conditions optimales pour la prolifération des insectes (températures plus élevées, disponibilité de nourriture, etc.) (Fig.43).

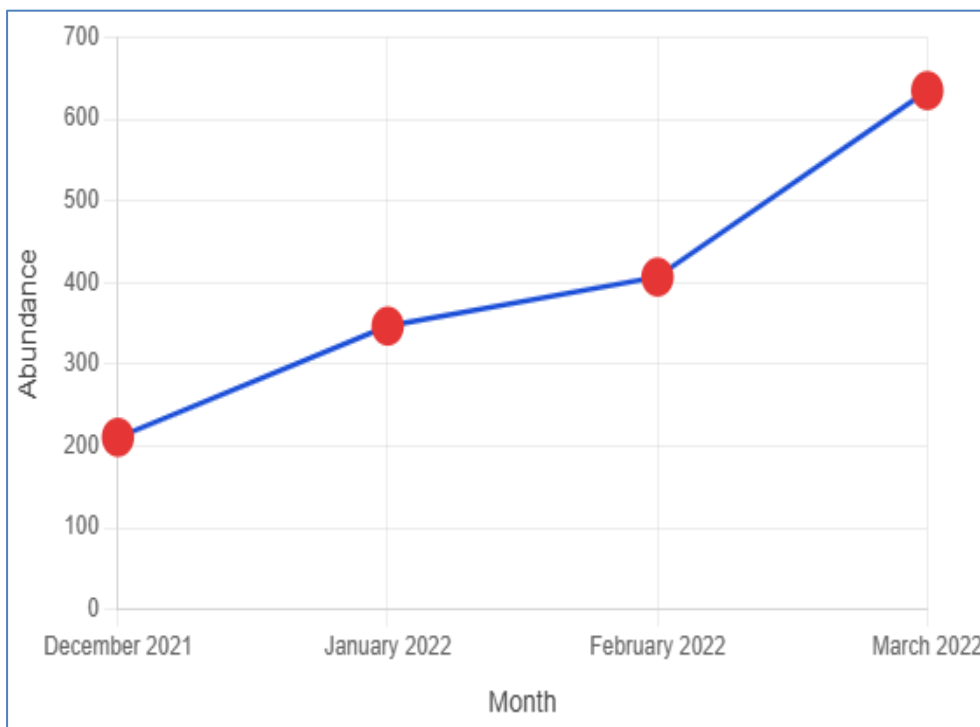


Figure 43: Tendances mensuelles de l'abondance des insectes

II.2.3 Abondance mensuelle des insectes par ordre

L'ordre des Coléoptères a significativement augmenté, passant d'environ 120 insectes en décembre à plus de 300 en mars. Les ordres des Diptères, des Hémiptères et des Hyménoptères affichent une progression modérée mais régulière, atteignant une abondance comprise entre 50 et 80 insectes en mars.

Les Dermaptères, les Blattoptera et les Archaeognatha ne présentent que de légères variations (Fig. 44).

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

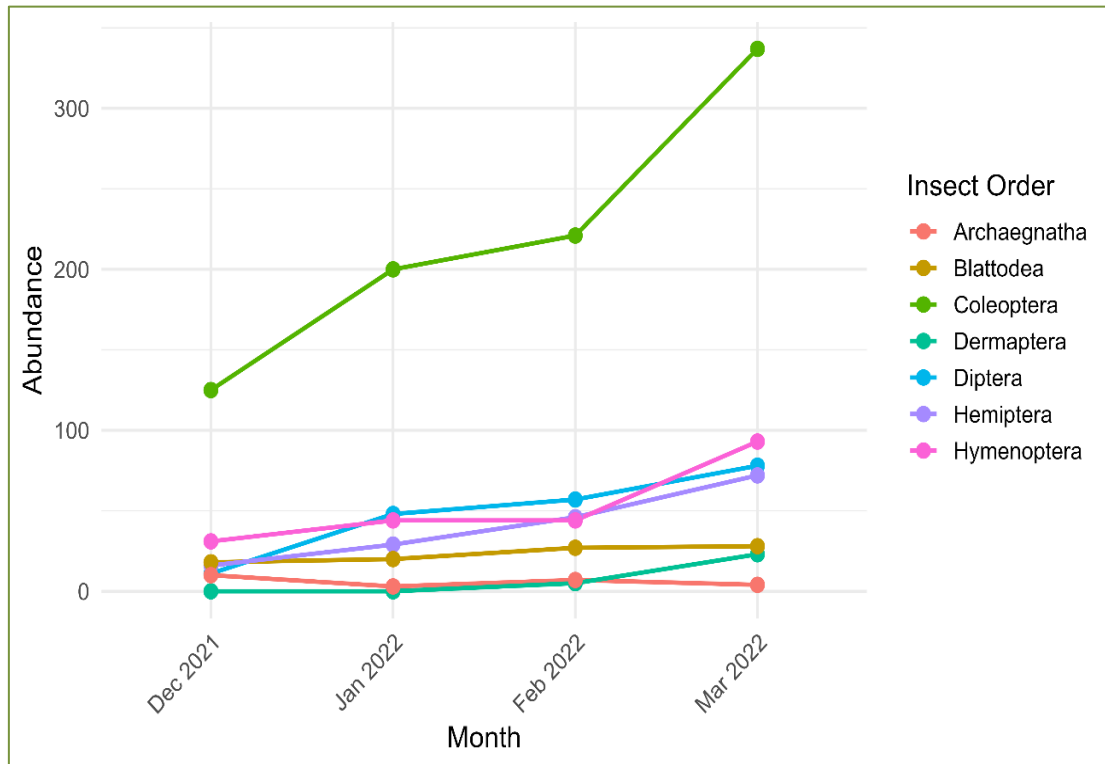


Figure 44. Evolution mensuelle Abondance des insectes par ordre

II.2.4 Diversité spatiale de l'abondance des insectes

La subéraie avec sous-bois (ST1), le maquis arboré (ST3) et le maquis moyen (ST4) présentent la plus forte abondance d'insectes (respectivement 456, 424 et 440 individus) et une grande diversité familiale (32 à 35 familles).

La pelouse (ST5) présente une abondance modérée (194 individus) et une diversité plus faible (18 familles).

La subéraie sans sous-bois, enregistre les valeurs les plus faibles (83 individus, 14 familles).

Cette tendance suggère que les habitats structurellement complexes abritent des communautés d'insectes plus riches, tandis que les environnements moins complexes (ST2, ST5) abritent moins d'espèces et d'individus (**Fig.45**).

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrateurs hivernants

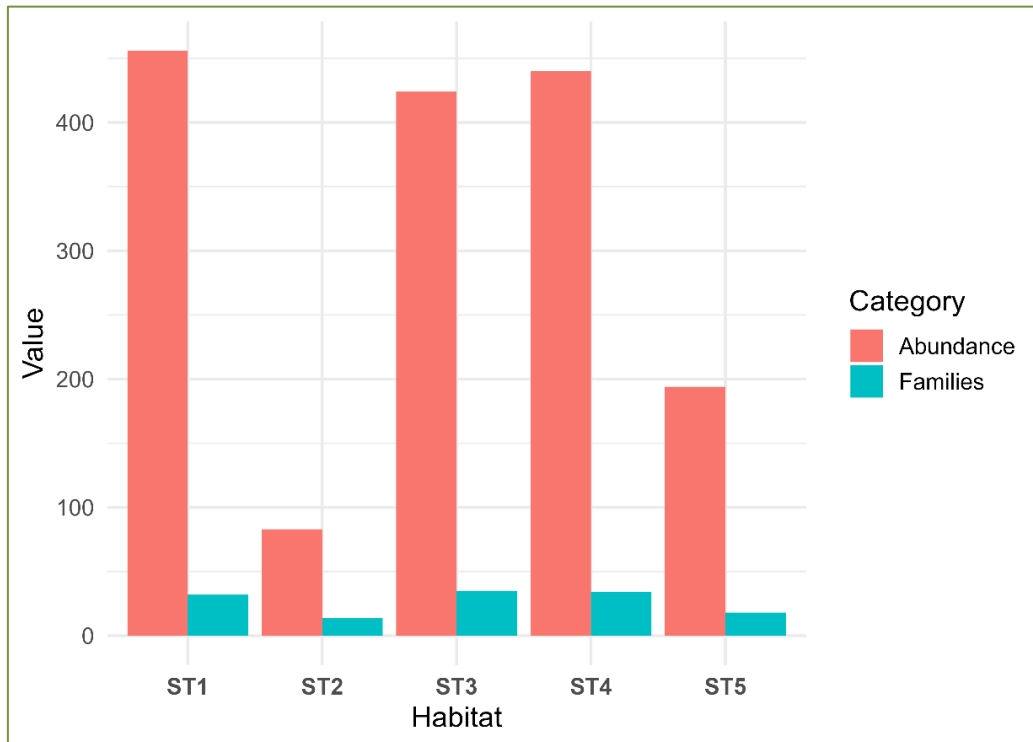


Figure 45. Diversité abondance spatiales des insectes

II.2.5 Variations mensuelles hivernale de la diversité alpha et de la répartition taxonomique

L'analyse des variations temporelles de la diversité alpha, à l'aide du test F de Fisher (ANOVA I) et des tests de comparaisons multiples de Tukey, révèle des différences significatives dans les paramètres écologiques au cours des mois étudiés. Le nombre d'individus a fortement augmenté, passant de 20 en décembre à 126 en mars, suggérant des influences saisonnières ou des changements environnementaux favorisant une plus grande abondance ($F = 22,8$, $p = 0,000$). De même, la richesse taxonomique (Taxa_S) est passée de 13 familles en décembre à 26 en mars, indiquant une augmentation notable de la diversité des espèces ($F = 49,48$, $p = 0,000$).

Cette tendance est également corroborée par l'indice de diversité de Shannon, qui est passé de 2,10 en décembre à 2,97 en mars, reflétant une diversité croissante des familles d'insectes ($F = 12,04$, $p = 0,001$).

**Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents
du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux
migrateurs hivernants**

L'équitabilité a également montré une amélioration légère mais significative de 0,8661 en décembre à 0,9326 en mars, démontrant une répartition plus équilibrée des individus entre les familles ($F = 1,07$, $p = 0,0398$). Parallèlement, l'indice de dominance (Dominance_D) a diminué de 0,223 en décembre à 0,075 en mars, indiquant une prévalence réduite de familles d'insectes spécifiques et une évolution vers une répartition taxonomique plus uniforme ($F = 2,24$, $p = 0,012$).

Le mois de décembre a présenté la structure communautaire la moins équilibrée, avec une dominance de quelques familles de Coléoptères (Dasytidae, Chrysomelidae, Curculionidae) et de la famille des Formicidae (Hyménoptères). Globalement, les résultats indiquent une tendance à la hausse de la biodiversité, caractérisée par une augmentation du nombre d'individus et de taxons, une dominance réduite de certaines familles et une répartition plus équitable. Ces résultats mettent en évidence des changements saisonniers qui améliorent la diversité écologique. La significativité statistique de ces variations, confirmée par les tests de Fisher, renforce la robustesse des résultats (**Tableau 6**).

Tableau 6. Variations mensuelles des paramètres de la structure des insectes

		Mean	StDev	Min	Max		Mean	StDev	Min	Max
Taxa_S	Dec	13	8,76	3	21	Shannon_H	2,10464	0,9945	0,6	2,826
	Jan	20	11,5	4	29		2,54484	0,9617	0,937	3,192
	Feb	23	9,58	10	30		2,8354	0,6091	1,923	3,26
	Mar	26	10,5	12	34		2,9706	0,5746	2,155	3,403
		Mean	StDev	Min	Max		Mean	StDev	Min	Max
Individuals	Dec	20	26,1	11	64	Equitability_J	0,8661	0,1798	0,546	0,9724
	Jan	68	38,1	13	100		0,889	0,1195	0,676	0,9484
	Feb	80	43,7	25	125		0,92696	0,0546	0,835	0,9681
	Mar	126	60,7	34	171		0,93264	0,0438	0,867	0,965
							F	DF	P	
		Mean	StDev	Min	Max		Taxa_S	49,48	3	0,000***
Dominance_D	Dec	0,224	0,27	0,069	0,686	Fisher -Test	Individuals	22,8	3	0,000***
	Jan	0,155	0,2	0,047	0,515		Shannon_H	12,04	3	0,001***
	Feb	0,087	0,07	0,042	0,21		Dominance_D	2,24	3	0,012**
	Mar	0,075	0,06	0,037	0,168		Equitability_J	1,07	3	0,0398*

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

II.2.6 Variations spatiales des paramètres écologiques

L'analyse des variations spatiales des paramètres écologiques révèle des différences significatives entre les stations. La subéraie avec sous-bois (ST1), la garrigue arborée (ST3) et la garrigue moyenne (ST4) abritent le plus grand nombre d'individus (104 à 111), tandis que la subéraie sans sous-bois (ST2) en compte le plus faible (21), et la prairie (ST5) occupe une position intermédiaire (49). Le test de Fisher ($F = 24,42$, $p = 0,000$) confirme ces variations significatives.

Une tendance similaire est observée pour la richesse taxonomique : les stations ST1, ST3 et ST4 présentent des valeurs élevées (26 à 28 familles), tandis que les stations ST2 et ST5 présentent une richesse beaucoup plus faible (7 et 12 familles, respectivement), comme le confirme le test de Fisher hautement significatif ($F = 142,63$, $p = 0,000$). L'indice de diversité de Shannon (Shannon_H) est également plus élevé dans ST1, ST3 et ST4 (environ 3,12 à 3,15), mais considérablement plus faible dans ST2 (1,40) et intermédiaire dans ST5 (2,24), indiquant des différences notables dans la distribution de la diversité entre les stations ($F = 39,9$, $p = 0,000$).

L'équitabilité suit une tendance similaire, les classes ST1, ST3 et ST4 affichant des valeurs élevées (0,94 à 0,96), suggérant une répartition équilibrée des individus entre les familles. En revanche, la classe ST2 présente l'équité la plus faible (0,73), indiquant la dominance de certaines familles ($F = 8$, $p = 0,002$). L'indice de dominance corrobore ces résultats, révélant une faible dominance dans les classes ST1, ST3 et ST4 (environ 0,05), contrairement à une forte dominance dans la classe ST2 (0,39) et une dominance modérée dans la classe ST5 (0,13). Ces disparités sont statistiquement significatives, comme le confirme le test de Fisher ($F = 8,39$, $p = 0,002$) (**Tableau 7**).

Dans l'ensemble, ces résultats mettent en évidence des structures écologiques distinctes entre les différents habitats. La subéraie avec sous-bois, la garrigue boisée et la garrigue moyenne abritent des communautés d'insectes plus équilibrées et diversifiées, tandis que la subéraie sans sous-bois se caractérise par une diversité plus faible et une dominance plus élevée de familles spécifiques.

**Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents
du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux
migrateurs hivernants**

Tableau 7. Variations spatiales des paramètres écologiques

		Mean	StDev	Min	Max		Mean	StDev	Min	Max
Taxa_S	ST1	28	5	21	32	Shannon_H	3,15	0,22	2,82	3,33
	ST2	7	4	3	12		1,4	0,75	0,6	2,16
	ST3	26	7	17	34		3,12	0,3	2,71	3,4
	ST4	28	6	21	34		3,15	0,25	2,83	3,4
	ST5	12	5	5	17		2,24	0,46	1,57	2,57
		Mean	StDev	Min	Max		Mean	StDev	Min	Max
Individuals	ST1	111	44	60	165	Equitability_J	0,95	0,01	0,93	0,96
	ST2	21	11	11	34		0,73	0,15	0,55	0,87
	ST3	104	47	53	167		0,96	0,01	0,95	0,97
	ST4	108	46	64	171		0,94	0,02	0,92	0,97
	ST5	49	34	13	94		0,94	0,03	0,91	0,97
		Mean	StDev	Min	Max		H	DF	P	
Dominance_D	ST1	0,05	0,01	0,04	0,07	Fisher -Test	Taxa_S	142,63	4	0,000***
	ST2	0,39	0,25	0,17	0,69		Individuals	24,42	4	0,000***
	ST3	0,05	0,02	0,04	0,07		Dominance_D	8,39	4	0,002**
	ST4	0,05	0,01	0,04	0,07		Shannon_H	39,9	4	0,000***
	ST5	0,13	0,06	0,09	0,22		Equitability_J	8	4	0,002**

II.2.7 Analyse de la variation de la diversité bêta à l'aide de l'indice de Whittaker

La subéraie sans sous-bois (ST2) présente une dissemblance notable avec les autres sites, l'indice de Whittaker étant compris entre 0,617 et 0,682. En revanche, les garrigues boisées et les garrigues moyennes (ST3 et ST4) présentent une similarité substantielle, tant entre elles qu'avec la subéraie avec sous-bois (ST1), comme l'indiquent leurs indices relativement faibles (de 0,080 à 0,132). Cela suggère un nombre élevé d'espèces communes à ces sites, reflétant probablement des conditions environnementales similaires ou une forte connectivité écologique.

Enfin, la position intermédiaire de la prairie (ST5) pourrait indiquer la présence d'un gradient écologique au sein de la zone d'étude.

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

II.2.8 Modèles écologiques et différenciation des habitats : une analyse des correspondances de la communauté d'insectes

Le test du khi carré est significatif ($p = 4,376e-38$), indiquant une dépendance significative entre les sites et la composition familiale. Les deux premiers axes expliquent 84,3 % de la variance totale : l'axe 1 représente 52,1 % de l'inertie et l'axe 2, 32,2 %. Cette proportion élevée indique que ces deux axes représentent efficacement la structure des données (**Fig.46 a et b**).

Axe 1 (52,1 % de l'inertie totale) : Comparaison des habitats pré-forestiers et ouverts

L'axe 1 oppose les familles Formicidae, Apidae et Cicadellidae, qui dominent la subéraie sans sous-bois (ST2), aux familles Curculionidae, Brentidae, Tabanidae, Calliphoridae, Corimelaenidae, Endomychidae, Elateridae, Archaeognatha sp., Argidae et Leionidae, qui caractérisent le maquis arboré (ST3), le maquis moyen (ST4) et la subéraie avec sous-bois (ST1).

Cet axe distingue les familles omnivores et thermophiles qui prospèrent dans les milieux pauvres en ressources (subéraie sans sous-bois) de celles qui privilégient les habitats à forte diversité végétale. Ces familles appartiennent à diverses guildes trophiques, notamment les phytophages (Curculionidae, Chrysomelidae), les pollinisateurs (Argidae, Calliphoridae, Elateridae, Syrphidae), les espèces hématophages (Tabanidae), les décomposeurs (Brentidae, Endomychidae, Leionidae, Archaeognatha) et les prédateurs (Corimelaenidae).

Ces résultats soulignent le rôle de la complexité, de la densité et de la diversité de la végétation dans la structuration des communautés d'insectes.

Axe 2 (32,2 % de l'inertie totale) : Différenciation des habitats prairiaux et forestiers

L'axe 2 oppose les familles Scarabaeidae, Tenebrionidae, Anisolabidae, Forficulidae et Dasytidae, ainsi que les Tipulidae, principalement associés aux prairies (ST5), aux familles Cicadellidae, Apidae et Ceratocombidae, qui caractérisent les subérais avec ou sans sous-bois (ST1, ST2) (**Figures 46**).

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

II.2.9 Classification hiérarchique des communautés d'insectes

Groupe 1 (ST2) : la subéraie sans sous-bois, fortement caractérisée par la famille des Formicidae (48,2 % contre 9,9 % au niveau mondial), la famille des Apidae (6,0 % contre 0,9 %) et la famille des Cicadellidae (4,8 % contre 0,7 % au niveau mondial).

Groupe 2 (ST5) : Prairie, caractérisée par une forte présence de la famille des Scarabaeidae (14,4 % contre 6,7 %), ainsi que des Anisolabididae, Tenebrionidae, Dasytidae, Forficulidae et Tipulidae.

Groupe 3 (ST1, ST3 et ST4) : La subéraie avec sous-bois, la garrigue boisée et la garrigue moyenne, caractérisées par la famille des Curculionidae (5,7 % contre 4,7 % au niveau mondial) et une surreprésentation de nombreux taxons : Brentidae, Tabanidae, Calliphoridae, Corimelaenidae, Endomychidae, Elateridae, Archaeognatha sp., Argidae, Scaritidae et Leionidae.

II.2.10 Complémentarité écologique des sites basée sur la composition taxonomique

L'approche combinée de l'analyse des correspondances (AC) et de la classification hiérarchique de Ward met en évidence la complémentarité entre les sites, soulignant à la fois leur spécificité et certains chevauchements écologiques. Ces résultats illustrent la richesse et la complexité des interactions entre les habitats et la diversité entomologique.

Familles communes aux clusters 1, 2 et 3

Malgré des différences écologiques marquées, certaines familles sont présentes dans les trois clusters, révélant des points de convergence écologique. Il s'agit notamment des Dasytidae, Tenebrionidae, Carabidae, Geotropidae, Chrysomelidae, Trogidae, Staphylinidae, Reduviidae et Pyrochoridae. Leur présence dans divers habitats reflète leur grande adaptabilité et leur flexibilité écologique. Ces familles fréquentes contribuent au maintien de la connectivité écologique entre différents environnements, favorisant ainsi la continuité fonctionnelle au sein des écosystèmes étudiés.

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

Familles communes aux clusters 1 et 2 (ST2 et ST5)

La seule famille commune entre la subéraie sans sous-bois (ST2) et la prairie (ST5) est celle des Formicidae. Cette famille omnivore est caractéristique des milieux ouverts et thermophiles, démontrant une tolérance aux conditions écologiques contrastées.

Familles communes aux clusters 1 et 3 : (ST2) et (ST1, ST3, ST4)

Aucune famille n'est commune à la subéraie sans sous-bois (ST2) et aux formations boisées ou préforestières (ST1 : subéraie avec sous-bois, ST3 : garrigue boisée, ST4 : garrigue moyenne). Cette absence de chevauchement souligne la démarcation écologique évidente entre ces milieux.

Familles communes aux clusters 2 et 3 : (ST5) et 3 (ST1, ST3, ST4)

Aucune famille n'est commune à la prairie et aux formations boisées ou préforestières, ce qui suggère une différenciation écologique marquée entre ces types d'habitats.

Familles propres à chaque cluster

- **Cluster 1 (ST2) : Subéraie sans sous-bois** : Deux familles sont spécifiques à cet environnement : les Apidae (pollinisateurs nectarivores) et les Cicadellidae (phytophages se nourrissant de sève). Leur présence est liée aux habitats à sous-bois limité.
- **Groupe 2 (ST5) Pelouse** : Trois familles sont caractéristiques des prairies : Scarabaeidae (coprophages et détritivores), Anisolabididae (omnivores opportunistes) et Tipulidae (larves détritivores). Ces familles prospèrent dans des conditions ouvertes et thermophiles, avec des ressources essentielles.
- **Groupe 3 (ST1, ST3, ST4) Subéraie avec sous-bois et les deux maquis** : Les familles suivantes sont typiques de ces environnements : Curculionidae, Brentidae, Tabanidae, Calliphoridae, Corimelaenidae, Endomychidae, Elateridae, Archaeognatha sp., Argidae et Leionidae. Ces familles présentent diverses stratégies alimentaires (phytophages, xylophages,

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

hématophages, mycophages, etc.), soulignant la complexité trophique, la richesse écologique et la biodiversité de ces habitats structurés.

Cette classification souligne les distinctions écologiques importantes entre les sites d'étude tout en révélant des groupes taxonomiques clés qui contribuent à la stabilité et à la connectivité des écosystèmes.

Distribution of families between clusters

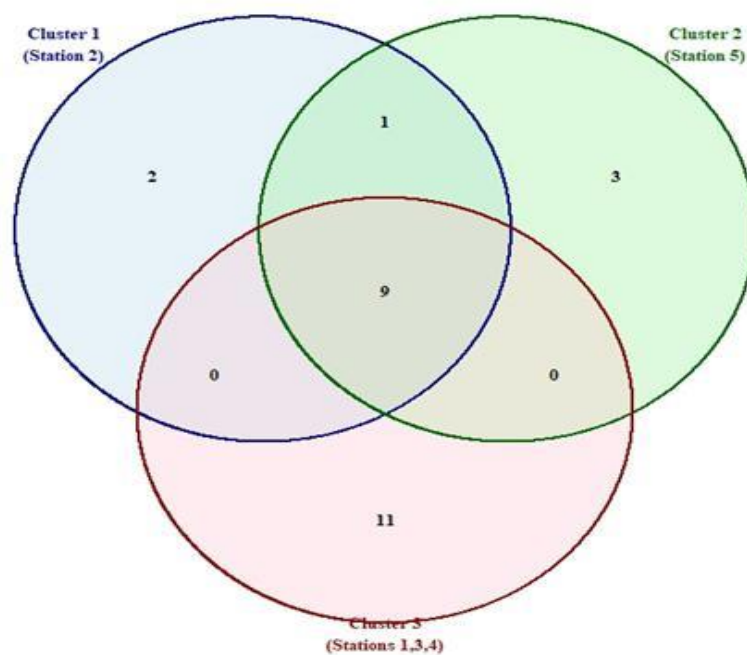


Figure 47. Diagramme de Venn, illustrant le nombre de familles dans chaque section et représentant la complémentarité des stations en termes de composition taxonomique.

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrateurs hivernants

Discussion des résultats de l'étude de l'Entomofaune

L'analyse des résultats inhérents aux insectes comme ressources trophiques indispensables aussi bien aux passereaux résidents que migrateurs hivernants a montré une différenciation écologique considérable entre les sites en termes de composition taxonomique et de caractéristiques structurelles.

En effet, les habitats forestiers, tels que les subéraies avec sous-bois et les deux maquis, présentent une richesse en familles d'insectes bien plus élevée que les milieux ouverts, tels que les pelouses. Cette observation est cohérente avec des études antérieures montrant que la complexité structurelle des habitats favorise une plus grande diversité d'espèces en offrant une variété de niches écologiques (**Siemann & al., 1998**).

Une strate arbustive dense est essentielle au maintien des communautés entomologiques dans les subéraies et les maquis. Elle fournit diverses ressources telles que le pollen, le nectar, la matière organique en décomposition et des microhabitats idéaux pour la reproduction et le développement des insectes (**Knuff & al., 2020 ; Basset & al., 2012 ; McConnell & Dhiviya, 2024**). En revanche, les pelouses et les subéraies sans sous-bois, bien que propices à certaines espèces généralistes, offrent des ressources moins diversifiées, ce qui explique leur richesse spécifique réduite.

Les écarts constatés dans la composition des familles d'insectes entre les stations illustrent l'impact des conditions environnementales sur la structuration des communautés. Par exemple, la dominance des Formicidae, liée à leur nature coloniale (**Tarihoran & al., 2020**) et à leur régime alimentaire omnivore, reflète leur capacité à s'adapter à des environnements ouverts, thermophiles et relativement limités en ressources, comme la subéraie sans sous-bois. Cette capacité à coloniser des environnements restrictifs (**Batra, 1984**) témoigne de leur plasticité écologique.

Parallèlement, les familles spécifiques aux subéraies avec sous-bois, telles que les Curculionidae, les Brentidae et les Endomychidae, sont associées à des habitats riches en végétation et à des ressources trophiques complexes. Leur présence témoigne d'une dépendance écologique à des microhabitats spécifiques et d'une grande diversité d'espèces

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

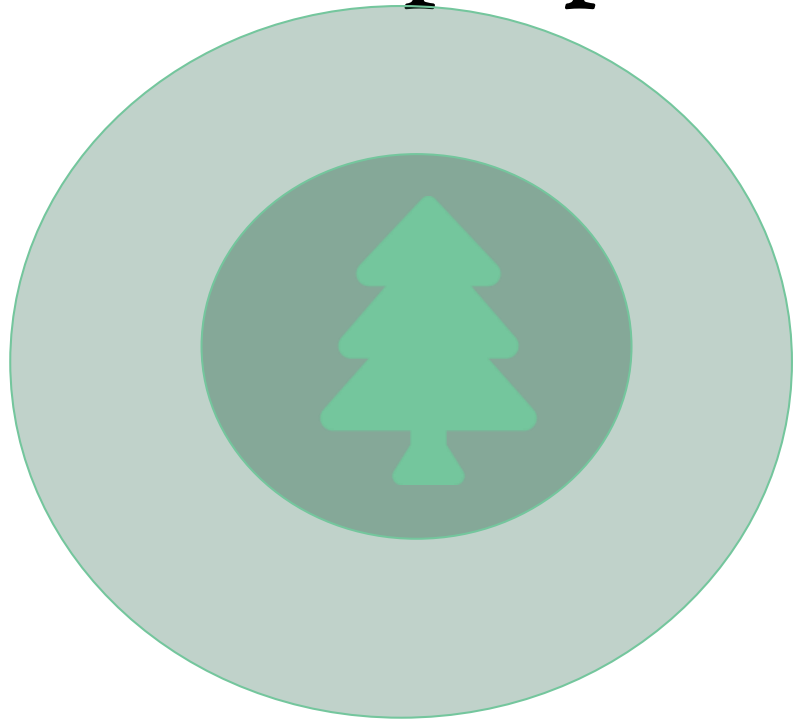
végétales, qui leur fournissent des ressources alimentaires variées (feuilles, fruits, champignons, bois mort et fleurs) ainsi que des conditions hivernales favorables à la reproduction (Tomàs & al., 2022).

Une strate arbustive dense est essentielle au maintien de la biodiversité entomologique (Basset & al., 2012 ; Haddad & al., 2011 ; Stiegel & al., 2020). En plus d'offrir des ressources alimentaires diversifiées en hiver, elle offre un abri et un refuge contre les prédateurs et les conditions climatiques extrêmes. Cette complexité structurelle est particulièrement vitale pour les guildes trophiques telles que les pollinisateurs (Apidae), les prédateurs (Carabidae) et les décomposeurs (Tenebrionidae, Scarabaeidae).

De plus, ces écosystèmes présentant un degré élevé de stratification botanique créent un continuum de niches écologiques favorisant la coexistence d'espèces aux besoins environnementaux variés. Ces observations corroborent les travaux de Moreno-Fernández & al. (2021) ; Knuff & al. (2020), qui soulignent que la stratification végétale est un facteur clé de la régulation des communautés animales.



Discussion générale
Conclusion et perspectives



Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

Discussion générale

1. Structuration et organisation des peuplements de passereaux hivernants

L'étude menée de novembre 2021 à mars 2022 a permis d'identifier douze espèces de passereaux hivernants ou en passage hivernal, réparties entre six familles taxonomiques, témoignant d'une diversité modérée mais écologiquement représentative des milieux méditerranéens durant la période hivernale. Cette composition reflète la diversité des stratégies écologiques et migratoires adoptées par les passereaux en région méditerranéenne, combinant résidents partiels, migrants à courte ou moyenne distance et espèces en transit lors des phases de migration postnuptiale et pré-nuptiale (Tellería & al., 2001 ; Newton, 2008). Une telle richesse spécifique est cohérente avec les inventaires réalisés dans des contextes biogéographiques comparables en Afrique du Nord et en péninsule Ibérique (Carrascal & al., 2001 ; Reif & Hanzelka, 2020).

L'analyse de la composition et de l'organisation des peuplements révèle des variations marquées en lien avec la structure et la complexité des habitats, s'exprimant tant au niveau de la richesse spécifique que de l'abondance relative des espèces. Les formations les plus boisées et les plus complexes, en particulier la subéraie avec sous-bois et le maquis arboré, abritent une avifaune hivernante plus riche et plus diversifiée. Ces milieux présentent une stratification verticale et une densité végétale favorables à l'installation d'espèces telles qu'*Erithacus rubecula*, *Sylvia atricapilla*, *Phylloscopus collybita* et *Turdus philomelos*, qui y trouvent des ressources alimentaires variées, notamment des invertébrés hivernaux et des fruits charnus (Herrera, 1984 ; Rey, 1995). La densité et la structure de la végétation constituent en effet les principaux facteurs explicatifs de la richesse spécifique et de l'abondance hivernale des oiseaux en milieu méditerranéen (Carrascal & Díaz, 2003 ; Moreno-Fernández & al., 2021).

À l'opposé, les milieux ouverts tels que la pelouse et le maquis moyen hébergent une avifaune clairsemée, dominée par des espèces généralistes ou granivores au sol comme *Motacilla alba*, *Anthus pratensis* ou *Sturnus vulgaris*, dont la présence ponctuelle traduit une moindre richesse

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

écologique hivernale (**Siriwardena & al., 1998**). Ces formations, exposées au vent et pauvres en couvert végétal, fonctionnent essentiellement comme des habitats de subsistance ou de transit, incapables de maintenir une avifaune spécialisée (Carrascal & Díaz, 2003 ; Suárez-Seoane & al., 2002). Le cas de la subéraie sans sous-bois est à cet égard particulièrement instructif : bien que boisée, cette formation n'abrite pas une communauté aussi riche que la subéraie avec sous-bois, démontrant que la simple présence d'arbres ne constitue pas un indicateur suffisant de qualité écologique pour les passereaux. C'est la complexité de l'ensemble des strates végétales, et non le seul couvert arboré, qui conditionne la richesse hivernale (**Carrascal & al., 2006 ; Tews & al., 2004**). Certaines espèces jouent par ailleurs un rôle structurant particulier : *Erithacus rubecula*, quasi-ubiquiste mais nettement plus abondant dans les habitats boisés, peut servir d'indicateur de la qualité des habitats forestiers (**Cuadrado, 1997**), tandis que la présence hivernale de *Phylloscopus collybita*, insectivore strict, témoigne de la capacité de certaines formations à maintenir une biomasse entomologique suffisante même en saison défavorable (**Holmes & Schultz, 1988 ; Reif & Hanzelka, 2020**).

2. Diversité et organisation des communautés d'insectes

L'analyse des communautés d'insectes dans les cinq formations végétales révèle une différenciation écologique considérable entre les sites, tant en termes de composition taxonomique que de caractéristiques structurelles. Les habitats forestiers, tels que les subéraies avec sous-bois et les deux maquis, présentent une richesse en familles d'insectes nettement supérieure à celle des milieux ouverts comme la pelouse. Cette observation est cohérente avec de nombreuses études montrant que la complexité structurelle des habitats favorise une plus grande diversité entomologique en offrant une variété de niches écologiques (**Siemann & al., 1998 ; Knuff & al., 2020**).

La strate arbustive dense apparaît comme un élément déterminant du maintien des communautés entomologiques dans les subéraies et les maquis. Elle fournit des ressources variées telles que le pollen, le nectar, la matière organique en décomposition et des microhabitats propices à la reproduction et au développement des insectes (**Basset & al., 2012 ; Knuff & al., 2020**). Les familles spécifiques aux subéraies avec sous-bois, telles que les

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

Curculionidae, les Brentidae et les Endomychidae, témoignent d'une dépendance écologique à des microhabitats complexes associant végétation dense, bois mort et disponibilité fongique, ainsi qu'à une grande diversité d'espèces végétales fournissant des ressources alimentaires variées (Tomàs & al., 2022). La présence de bois mort et de litière épaisse dans ces formations est en outre reconnue comme un facteur clé du maintien de la diversité entomologique en milieu forestier méditerranéen (Lassauce & al., 2011 ; Gossner & al., 2013).

En revanche, les milieux ouverts et la subéraie sans sous-bois affichent une entomofaune appauvrie, dominée par des taxons généralistes à forte plasticité écologique. La dominance des Formicidae dans la subéraie sans sous-bois, liée à leur nature coloniale et à leur régime alimentaire omnivore (Tarihoran & al., 2020), reflète leur capacité à coloniser des environnements restrictifs en ressources (Batra, 1984), mais témoigne d'un appauvrissement qualitatif de la communauté entomologique plutôt que d'une réelle richesse écologique. Ces observations corroborent les travaux de Moreno-Fernández & al. (2021) et de Knuff & al. (2020), qui soulignent que la stratification végétale est un facteur clé de la régulation des communautés animales, en créant un continuum de niches écologiques favorisant la coexistence d'espèces aux besoins environnementaux variés. Une strate arbustive dense est ainsi essentielle non seulement pour les guildes trophiques spécialisées telles que les pollinisateurs (Apidae), les prédateurs (Carabidae) et les décomposeurs (Tenebrionidae, Scarabaeidae), mais aussi comme abri contre les prédateurs et les conditions climatiques extrêmes hivernales (Haddad & al., 2011 ; Stiegel & al., 2020).

3. Comparaison de la structuration des communautés de passereaux hivernants et des peuplements d'insectes dans les cinq formations végétales

L'analyse croisée des résultats obtenus pour les passereaux hivernants et les communautés d'insectes dans les cinq formations végétales prospectées met en évidence une convergence remarquable entre la diversité entomologique et la richesse avifaunistique, révélant ainsi le rôle fondamental des ressources trophiques dans l'organisation des peuplements d'oiseaux hivernants. Cette interdépendance entre niveaux trophiques a été largement documentée dans les écosystèmes méditerranéens et tempérés (Şekercioğlu & al., 2016).

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

De manière générale, les deux groupes biologiques répondent de façon similaire au gradient de complexité structurale des habitats. Les formations les plus stratifiées et les plus denses, à savoir la subéraie avec sous-bois et le maquis arboré, concentrent à la fois la plus grande richesse en familles d'insectes et le cortège le plus diversifié de passereaux hivernants. Cette covariation n'est pas fortuite : elle traduit une relation trophique directe entre la disponibilité des ressources entomologiques et la capacité d'accueil des habitats pour les oiseaux insectivores ou omnivores, tels que *Phylloscopus collybita*, *Erithacus rubecula* ou *Sylvia atricapilla*, dont la présence hivernale est conditionnée par le maintien d'une biomasse invertébrée suffisante même en saison froide (Şekerciöğlu & al., 2016 ; Reif & Hanzelka, 2020). De nombreux travaux récents confirment que la diversité aviaire hivernante est positivement corrélée à la diversité entomologique des habitats (Mammides & al., 2016 ; Fayet & al., 2021).

La subéraie avec sous-bois se distingue dans les deux analyses comme l'habitat le plus riche et le plus équilibré. Du côté entomologique, elle héberge des familles écologiquement spécialisées telles que les Curculionidae, les Brentidae et les Endomychidae, inféodées à des microhabitats complexes associant végétation dense, bois mort et disponibilité fongique. La présence de bois mort et de litière épaisse dans ce type de formation est reconnue comme un facteur clé du maintien de la diversité entomologique en milieu forestier méditerranéen (Lassauce & al., 2011 ; Gossner & al., 2013 ; Brin & al., 2016). Du côté avifaunistique, cette même formation abrite le peuplement de passereaux le plus diversifié, bénéficiant à la fois de la richesse trophique et des fonctions de refuge thermique offertes par la stratification végétale. La complémentarité entre ces deux niveaux trophiques illustre la cohérence écologique interne de cet habitat, conformément aux travaux de Moreno-Fernández & al. (2021), qui montrent que la complexité structurale des forêts méditerranéennes est un prédicteur robuste de la diversité des communautés animales à plusieurs niveaux trophiques simultanément.

Le maquis arboré présente un profil intermédiaire mais néanmoins riche dans les deux groupes. Sa strate arbustive développée soutient une entomofaune variée, notamment des pollinisateurs (Apidae), des prédateurs (Carabidae) et des décomposeurs (Scarabaeidae, Tenebrionidae), offrant ainsi un spectre trophique large aux passereaux hivernants qui le

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

fréquentent. La diversité fonctionnelle des guildes entomologiques rencontrées dans cet habitat correspond bien à la coexistence d'espèces aviaires aux régimes alimentaires variés, insectivores stricts et omnivores confondus. Ce lien entre diversité fonctionnelle des insectes et diversité des guildes trophiques aviaires a été mis en évidence dans plusieurs études récentes conduites en milieux arbustifs méditerranéens (**Ings & al., 2009 ; Knuff & al., 2020 ; Kehoe & al., 2021**).

À l'opposé, la pelouse et le maquis moyen, formations ouvertes ou peu stratifiées, affichent dans les deux groupes une pauvreté notable. L'entomofaune y est réduite, dominée par des taxons généralistes et thermophiles peu exigeants quant à la structure végétale. En miroir, les peuplements de passereaux y sont clairsemés et composés principalement d'espèces généralistes ou granivores au sol, comme *Motacilla alba*, *Anthus pratensis* ou *Sturnus vulgaris*, dont la présence est souvent ponctuelle et liée à des comportements de transit plutôt qu'à un hivernage stable. L'appauvrissement entomologique de ces milieux expose ainsi directement la faiblesse de leur capacité d'accueil pour les oiseaux insectivores hivernants. Ce phénomène s'inscrit dans un contexte plus large de déclin généralisé des insectes dans les milieux ouverts dégradés ou simplifiés (**Hallmann & al., 2017 ; Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019 ; Wagner & al., 2021**), qui se répercute en cascade sur les communautés d'oiseaux insectivores (**Møller & al., 2021 ; Rigal & al., 2023**).

Le cas de la subéraie sans sous-bois est particulièrement instructif, car il illustre les limites d'une approche fondée sur la seule présence arborée. Bien que boisée, cette formation présente dans les deux groupes des valeurs intermédiaires à faibles. Sur le plan entomologique, elle est dominée par les Formicidae, taxon colonial et opportuniste dont la présence massive témoigne d'un appauvrissement qualitatif de la ressource trophique plutôt que d'une réelle richesse écologique. Sur le plan avifaunistique, l'absence de sous-étage se traduit par une diversité réduite et une dominance d'espèces tolérantes peu exigeantes. Cette convergence démontre que c'est bien la complexité structurale globale de l'habitat, et non la seule présence d'arbres, qui conditionne conjointement la diversité entomologique et la richesse des peuplements d'oiseaux hivernants, conformément aux conclusions de **Drever & al. (2008)** et de **Tews & al. (2004)**. Plus récemment, **Bugalho & al. (2011)** ont confirmé que

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

la suppression du sous-étage arbustif dans les forêts de chênes méditerranéens entraîne un effondrement simultané de la richesse entomologique et avifaunistique hivernale.

En définitive, la mise en parallèle des deux groupes confirme que les insectes constituent un maillon trophique central dans la structuration des communautés hivernantes de passereaux en milieu méditerranéen, ce que viennent appuyer les travaux récents sur les réseaux trophiques hivernaux (**Pérez-Granados & Barrero, 2019**). La stratification végétale agit comme un déterminant écologique commun, régulant simultanément la diversité et la composition des communautés entomologiques et aviaires, à la manière d'un filtre environnemental à double effet (**Götzenberger & al., 2012 ; Cadotte & Tucker, 2017**). Cette interdépendance souligne l'importance d'une gestion conservatoire intégrée des formations boisées méditerranéennes, préservant non seulement le couvert arboré, mais également la complexité et la densité de l'ensemble des strates végétales, garants de la richesse biologique hivernale à tous les niveaux trophiques. Dans un contexte de déclin accéléré de la biodiversité et de perturbations climatiques croissantes affectant à la fois les communautés d'insectes et d'oiseaux (**Dirzo & al., 2014 ; IPBES, 2019 ; Møller & al., 2021**), la préservation de ces habitats structurellement complexes revêt une urgence conservatoire particulière.

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

Conclusion et perspectives

Les zones méditerranéennes jouent un rôle de zone tampon hivernale entre les zones de reproduction européennes et les quartiers d'hivernage subsahariens, en assurant une continuité fonctionnelle dans le cycle annuel des espèces migratrices et un couloir migratoire. Dans un contexte de changement global, ces données sont cruciales pour comprendre l'évolution des distributions saisonnières des oiseaux et guider les efforts de conservation.

L'étude conduite dans le nord-est de l'Algérie met en lumière l'importance déterminante des formations végétales structurées – notamment les subéraies avec sous-bois et les maquis arborés – dans le maintien des communautés hivernantes de passereaux et dans la préservation d'une richesse entomologique significative durant la saison froide. Ces habitats se distinguent par leur complexité structurelle, caractérisée par une stratification verticale développée et un sous-étage dense, qui conditionnent à la fois la disponibilité des ressources alimentaires et la qualité des microhabitats offerts aux organismes hétérotrophes.

Du point de vue avifaunistique, les peuplements hivernants observés révèlent une structuration fortement liée aux caractéristiques microécologiques des formations végétales. Les espèces insectivores et omnivores, souvent migratrices ou partiellement migratrices, s'installent préférentiellement dans les habitats riches en strates, où elles trouvent simultanément nourriture, abris thermiques et protection contre les prédateurs. À l'inverse, les milieux ouverts, comme la pelouse ou les subéraies appauvries en sous-bois, accueillent une communauté ornithologique plus clairsemée, dominée par des espèces ubiquistes, opportunistes ou granivores, traduisant une moindre valeur écologique en hiver.

Les résultats montrent également que la densité et la diversité des insectes suivent un gradient parallèle à celui observé chez les oiseaux. Les formations les plus complexes en termes de structure végétale (sous-bois dense, maquis arboré) hébergent une entomofaune hivernale nettement plus riche, à la fois en termes taxonomiques et fonctionnels. Ces milieux favorisent le maintien d'une biomasse entomologique suffisante pour soutenir les besoins trophiques des passereaux insectivores, même durant les périodes de ressources réduites. Cette relation étroite entre complexité végétale, diversité entomologique et richesse avifaunistique suggère

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

une forte interdépendance écologique entre strates végétales, invertébrés et oiseaux, particulièrement en saison hivernale.

Par conséquent, il apparaît clairement que le sous-bois n'est pas un simple élément accessoire des écosystèmes forestiers méditerranéens, mais bien un facteur structurant, jouant un rôle clé dans la régulation des communautés animales hivernantes. Le maquis arboré, souvent négligé dans les politiques de conservation, mérite également une attention particulière en tant qu'habitat refuge pour une faune spécialisée, tant aviaire qu'entomologique.

Les résultats de cette étude renforcent l'idée que la diversité structurale des écosystèmes méditerranéens – et en particulier la présence d'un sous-étage développé – est un levier fondamental pour le maintien de la biodiversité en période hivernale. Les habitats boisés à stratification complexe, loin d'être des entités stables ou secondaires, apparaissent comme des refuges cruciaux pour de nombreuses espèces face aux pressions climatiques et anthropiques croissantes. Il devient ainsi essentiel d'intégrer ces connaissances dans une gestion écosystémique, à la fois conservatoire et adaptative, des milieux naturels du bassin méditerranéen.

La durabilité à long terme des forêts de chêne-liège algériennes repose sur une approche intégrée combinant la recherche scientifique, la mise en œuvre de politiques efficaces et la participation active de toutes les parties prenantes.

Perspectives de recherche

Ces résultats ouvrent plusieurs pistes de recherche à approfondir :

- ✚ **Études phénologiques multi-saisonniers**, pour mieux comprendre l'évolution des interactions oiseaux-insectes selon la temporalité annuelle, notamment à travers le suivi des guildes trophiques en période pré-reproductive.
- ✚ **Analyse fine des microclimats forestiers** (température, humidité, exposition) en lien avec l'usage des habitats par les passereaux et la persistance hivernale des insectes, pour modéliser plus précisément les niches écologiques disponibles.

Potentialités trophiques (Insectes) des milieux forestiers sempervirents du Parc National d'El Kala, Nord-Est algérien, pour les passereaux migrants hivernants

- ✚ **Suivis à long terme** des populations hivernantes dans un contexte de changements climatiques, afin de détecter d'éventuels décalages phénologiques ou des déplacements d'aires d'hivernage vers des altitudes ou latitudes nouvelles.
- ✚ **Intégration des interactions plantes-insectes-oiseaux** dans des approches écosystémiques globales, notamment en étudiant les effets indirects de la structure floristique sur les chaînes trophiques supérieures.

Perspectives de gestion

En termes de gestion écologique et sylvicole, plusieurs recommandations peuvent être formulées :

- ✚ **Préserver les formations à sous-bois dense**, notamment dans les subéraies naturelles, en évitant les pratiques d'éclaircie excessive ou de pâturage intense qui appauvrissent la strate arbustive et réduisent la disponibilité trophique pour la faune.
- ✚ **Valoriser les maquis arborés** comme habitats essentiels pour la biodiversité hivernante, en les intégrant aux plans de gestion conservatoire, au même titre que les forêts matures.
- ✚ **Favoriser la régénération naturelle et la diversité floristique** dans les habitats dégradés afin de restaurer progressivement la complexité structurale nécessaire au maintien des communautés faunistiques.
- ✚ **Encourager des pratiques agro-sylvo-pastorales durables**, compatibles avec la conservation des habitats secondaires riches en strates, qui peuvent constituer des zones de refuge en hiver.
- ✚ **Mettre en place des réseaux de suivi** de la faune hivernante, notamment des passereaux insectivores, en tant qu'indicateurs sensibles de la qualité écologique des habitats forestiers méditerranéens.



Références bibliographiques



Références bibliographiques

- Alerstam T., Hedenström A. & Åkesson S., 2003.** Long-distance migration: evolution and determinants. *Oikos*. Volume 103, Issue 2: 247-260. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2003.12559.x>
- Archaux, F. & Bakkaus, N. (2007).** Relative impact of stand structure, tree composition and climate on mountain bird communities. *Forest Ecology and Management*, 247(1-3), 72–79.
- Aronson J, Pereira JS, and Pausas JG. 2009.** Introduction. In: Aronson J, Pereira JS, and Pausas JG (Eds). *Cork oak wood lands on the edge*. Washington, DC: Island Press.
- Bagnouls F. & Gaussen H., 1953.** Saison sèche et indice xérothermique. *Géocarrefour* (29)3 p. 269.
- Bakaria F., 2013.** Stratégies de la reproduction de la guifette moustac *Chlidonias hybrida hybrida* (Pallas, 1811) dans le lac Tonga, wilaya d'El Tarf : Caractéristiques et qualité d'accueil de son unique site nord-africain de reproduction. Thèse doctorat. Université Badji-Mokhtar- Annaba. 140p.
- Banque mondiale, Direction générale des forêts, Délégation nationale aux risques majeurs. 2023.** Note sur les forêts algériennes : Gestion durable des forêts pour lutter contre les feux de forêt. World Bank, Washington, DC
- Barbaro, L., & Battisti, A., 2011.** Birds as predators of the pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa*). *Biological Control*, 56(2), 107–114.
- Barber, H. S., 1931.** Traps for cave-inhabiting insects. *Journal of the Elisha Mitchell Scientific Society*, 46, 259–266.
- Basset, Y., Cizek, L., Cuénoud, P. et al., 2012.** Arthropod diversity in a tropical forest. *Science*, 338(6113), 1481–1484. <https://doi.org/10.1126/science.1226727>
- Batra S.W., 1984.** Solitary bees. *Scientific American*, 250(2), 120-127. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0284-120>
- Baudena M., Dekker S.C., Bodegom P.M. et al., 2015.** Forests, savannas, and grasslands: bridging the knowledge gap between ecology and Dynamic Global Vegetation Models. *Biogeosciences*, 12, 1833–1848, www.biogeosciences.net/12/1833/2015/ [doi:10.5194/bg-12-1833-2015](https://doi.org/10.5194/bg-12-1833-2015)
- Beattie A. & Olivier I., 1996.** Taxonomic minimalism. *Trees*, 9(12), 488–490. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(96\)20058-3](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(96)20058-3)
- Belair (De) G. 1990.** Structure, fonctionnement et perspective de gestion de quatre éco complexes lacustres et marécageux (El Kala, Algérie) extrême orientale). Thèse d'université USTL Montpellier II 193p + annexes.
- Belouahem-Abed D., Belouahem, F., de Belair, G., Benslama, M. & Muller, S. D., 2011.** Les aulnaies glutineuses de Numidie (N. E. algérien): biodiversité floristique, vulnérabilité et conservation. *C. R. Biologies*, 334: 61-73.

- Bencherif K., 2020.** Ecological response to the climate change of the main forest species in the region of Tlemcen-Algeria. *International Journal of Forestry, Ecology and Environment*, 1 (1), pp.1-9. [ff10.18801/ijfee.010120.01ff.ffhal-03868363](https://doi.org/10.18801/ijfee.010120.01ff.ffhal-03868363)
- Bensettiti F. & Lacoste A., 1999.** Les ripisylves du Nord de l'Algérie: essai de synthèse systématique à l'échelle de la Méditerranée occidentale. *Ecol. Medit.*, 25: 13-39.
- Benslimane, M., Hamimed, A., El Zerey, W., Khaldi, A. & Mederbal, K., 2008.** Analyse et suivi du phénomène de la désertification en Algérie du nord. *Vertig La revue électronique en sciences de l'environnement*, 8(3) : 1-9.
- Bentouili M. Y., 2007.** Inventaire et Qualité des Eaux des Sources du Parc National d'El Kala (N-Est, algérien), Ingénieur d'Etat, Université Badji Mokhtar-Annaba, p134.
- Benyacoub S., 1993.** Écologie de l'avifaune forestière nicheuse de la région d'El-Kala (nord-est algérien) (Doctoral dissertation, Université de Bourgogne).
- Benyacoub S., Louanchi M., Baba Ahmed R. et al., 1998.** Plan directeur du parc national d'El-kala et du complexe des zones humides (Wilaya d'El-Tarf). Direction générale des forêts. World Bank Project 300 p.
- Berthold, P. (2001).** *Bird Migration: A General Survey* (2nd ed.). Oxford University Press, Oxford.
- Bibby, C. J., Burgess, N. D., Hill, D. A., & Mustoe, S. H., 2000.** *Bird Census Techniques*. Academic Press. London.
- BirdLife International, 2010.** Hotspot de la biodiversité du bassin méditerranéen 267p.
- Blem, C. R., 1990.** Avian energy storage. *Current Ornithology*, 7, 59–113
- Blondel J., 1975.** L'analyse des peuplements d'oiseaux, éléments d'un diagnostic écologique. I. La méthode des échantillonnages fréquentiels progressifs (E.F.P.) *Revue d'Écologie (La Terre et La Vie)*, 29-4 : p. 533-589.
- Blondel J., 1979.** Biogéographie et écologie. Ed. Masson, Paris, 173 p.
- Blondel J., Ferry C. & Frochot B. 1970.** La méthode des indices ponctuels d'abondance (IPA) ou de relevés d'avifaune par 'Stations d'écoute'. *Alauda* 38 : 55-71.
- Blondel, J. & Aronson, J., 1999.** *Biology and Wildlife of the Mediterranean Region*. Oxford University Press, Oxford.
- Blotzheim, U.N. & Bauer, K.M. 1985.** *Handbuch der Vögel Mitteleuropas*.
- Bouazza N., 2021.** Analyse de la diversité phytoécologique du chêne zeen (*Quercus faginea* subsp. tlemcenensis (DC.) : cas de la réserve de Moutas (Tlemcen, Algérie occidentale). Thèse de doctorat 3ème Cycle LMD.
- Bouget C., 2009.** The level of taxonomic resolution in forest entomology: Necessities, contingencies, and perspectives. *Memoirs of the Entomological Society of France*, 8, 75–80. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00478379>
- Bouhraoua, R.T., Piazzetta, R., & Berriah, A. 2014.** Les reboisements en chêne-liège en Algérie, entre contraintes écologiques et exigences techniques. *For. Médit.* 35 (2): 171-176.

Boutabia L., 2016. Etude systématique et bioécologique des lichens corticoles de différents phorophytes au niveau de la région d'El Kala (Nord-Est algérien). Doctorat es Sciences, Univ. Badji M. Annaba. 147p+ Annexes.

Bowlin, M. S., Bisson I.A., Baranes J.S. & al., 2010. Grand challenges in migration biology. *Integrative and Comparative Biology*, 50(3), 261–279.

Bradshaw & Holzapfel, 2007. Genetic response to rapid climate change: it's seasonal timing that matters. *Molecular Ecology* 17, (1) : Pages 157-166.

Brahmia Z., 2002. Rôle fonctionnel du lac Oubeira et du lac Mellah (parc national d'El-Kala) pour les oiseaux marins. Magister ; Univ. Badji M. Annaba. 81p.

Brin, A., Valladares, L., Lieutier, F. & Jactel, H., 2016. Saproxylic beetle assemblages in Atlantic oak forests: importance of habitat and forest management. *Forest Ecology and Management*, 368, 64–73.

Brotons, L., Herrando, S., & Martin, J. L., 2004. Bird assemblages in forest fragments within Mediterranean mosaics created by wildfires. *Landscape Ecology*, 19(6):663-675

Bugalho M.N, Caldeira M.C., Pereira James Aronson J., & Pausas J.P., 2011. Mediterranean cork oak savannas require human use to sustain biodiversity and ecosystem services. *Front Ecol Environ* 9(5): 278–286, doi:10.1890/100084

Cadotte, M.W. & Tucker, C.M., 2017. Should environmental filtering be abandoned? *Trends in Ecology & Evolution*, 32(6), 429–437.

Carrascal, L. M., & Díaz, J. A. 2003. Relationships between habitat structure and bird communities in Mediterranean forests. *Bird Study*, 50(3), 243–251.

Carrascal, L. M., Seoane, J., Palomino, D., & Alonso, C. L. 2006. Habitat preferences, population size and demographic trends of wintering forest birds in Spain. *Forest Ecology and Management*, 223(1–3), 137–147.

Carrascal, L.M., Alonso, C.L. & Palomino, D. (2001). Determinantes del tamaño de las comunidades de aves en manchas de bosque mediterráneo: una aproximación multiescala. *Ardeola*, 48(1), 57–66.

Carrascal, L.M., Villén-Pérez, S. & Palomino, D. (2012). Thermal, food and vegetation effects on winter bird species richness of Mediterranean oakwoods. *Community Ecology*, 13(1), 106–117.

Castro Rego F., Morgan P., Fernandes P. & Hoffman C. 2021. Extreme Fires, in: Fire Science: From Chemistry to Landscape Management, edited by: Rego, F. C., Morgan, P., Fernandes, P., and Hoffman, C., Springer International Publishing, Cham, 175-257, [10.1007/978-3-030-69815-7-8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-69815-7-8).

Catry, P., Costa, H., Elias, G. & Matias, R. (2005). Aves de Portugal: Ornitologia do Território Continental. Assírio & Alvim, Lisboa.

Clement, P., Helbig, A.J. & Small, B., 2020. *Pipits and Wagtails of Europe, Asia and North America*. Christopher Helm, London.

Cramp S.1988. The Birds of the Western Palearctic Volume V. Oxford University Press, Oxford, New York, 1 063 p.

Cramp S., & Perrins C. M., 1993. *Handbook of the Birds of Europe, the Middle East and North Africa*, Vol. 7. Oxford University Press.

Cramp S., & Simmons K. E. L. (1988). *Handbook of the Birds of Europe the Middle East and North Africa*. Vol. V. Oxford University Press. Oxford.

Cramp S., 1992. *The Birds of the Western Palearctic*, Vol. VI.

Cramp, S. & Perrins, C.M. (Eds.) (1994). *Handbook of the Birds of Europe, the Middle East and North Africa: The Birds of the Western Palearctic*, Vol. IX. Oxford University Press, Oxford.

Cresswell, W. (1997). Interference competition at low competitor densities in blackbirds *Turdus merula*. *Journal of Animal Ecology*, 66(6), 461–471.

Cresswell, W. 1996. Wintering habitat choice in blackbirds: the role of predation risk and starvation. *Animal Behaviour*, 51(3), 589–595.

Császár P., Torma A., Gallé-Szpisjak N., Tölgyesi C. & Gallé R. 2018. Efficiency of pitfall traps with funnels and/or roofs in capturing ground-dwelling arthropods. *European Journal of Entomology*, 115, 15–24. <https://doi.org/10.14411/eje.2018.003>

Cuadrado, M. (1997). Why do robins *Erithacus rubecula* sing in winter ? A test of the winter territoriality hypothesis. *Journal of Avian Biology*, 28(2), 97–102.

Cuenca, J., & Senar, J. C., 2006. Winter habitat selection in the Blackcap *Sylvia atricapilla* in a Mediterranean area. *Ibis*, 148(3), 547–552.

Daas H., Adjami Y., Ghanem R., Viñolas A., Ouakid M.L., Tahraoui A., 2016. Coleoptera inventory in cork oak stands of North-Eastern Algeria. *Turkish Journal of Forestry*, 17: 11–17.

Daget P., 1977. Le bioclimat méditerranéen: Caractères généraux, modes de caractérisation. *Plant Ecology* 34(1):1-20.

Dajoz, R., 1982. *Précis d'écologie*. 4^{ème} édition, Bordas, Paris, 503 p.

Del Hoyo et al., 2005. *Handbook of the Birds of the World*, Vol. 10

Díaz M, Campos P, Pulido FJ. 1997. The Spanish dehesas: a diversity of land use and wildlife. In: Pain D, Pienkowski M (eds.) *Farming and birds in Europe*. Academic Press, London, UK, pp.178–209

Dirzo, R., Young, H.S., Galetti, M., Ceballos, G., Isaac, N.J.B. & Collen, B., 2014. Defaunation in the Anthropocene. *Science*, 345(6195), 401–406.

Drever, C.R., Drever, M.C., Messier, C., Bergeron, Y. & Flannigan, M.D. 2008. Fire and the relative roles of weather, climate and landscape characteristics in the Great Lakes–St. Lawrence forest of Canada. *Journal of Vegetation Science* 19: 57–66.

Emberger, L., 1955. Une classification biogéographique des climats. Recueil, travaux de laboratoire géolo-zoologique, Faculté des sciences. Service botanique. Montpellier, 7, 3-43.

Fayet, A.L., Shoji, A., Boyle, D. & Perrins, C.M. 2021. Prey availability drives seasonal variation in the diet composition of a migratory passerine. *Journal of Avian Biology*, 52(3), e02701.

- Feare, C., 1984.** *The Starling*. Oxford University Press. Oxford.
- Fiedler, W., Bairlein, F. & Köppen, U., 2015.** Ecology of partial migration. *Advances in the Study of Behavior*, 47, 71–88.
- Fonderflick, J., Caplat, P., Lovaty, F., Thévenot, M. & Prodon, R., 2010.** Avifauna trends following changes in a Mediterranean upland pastoral system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 137(3-4), 337–347.
- Frochot B, 1971.** Ecologie des oiseaux forestiers de Bourgogne et du Jura. Thèse, Fac. Sciences Dijon.
- Gill J. A., Alves J. A., & Gunnarsson T. G., 2019.** Mechanisms driving phenological and range change in migratory species. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 374, 20180047. <https://doi.org/10.1098/rstb.2018.0047>
- González A., Tellería J. L., & Carrascal L. M., 1990.** Environmental structure and variation in the winter bird communities of northern Iberian forests. *Holarctic Ecology*, 13(1), 1–8.
- Gossner, M.M., Lachat, T., Brunet, J. & Arlettaz, R., 2013.** Current near-to-nature forest management effects on functional trait composition of saproxylic beetles. *Conservation Biology*, 27(3), 605–614.
- Götzenberger, L., de Bello, F., Bråthen, K.A. et al., 2012.** Ecological assembly rules in plant communities — approaches, patterns and prospects. *Biological Reviews*, 87(1), 111–127.
- Greenwood, P. J. 1980.** Mating systems, philopatry and dispersal in birds and mammals. *Animal Behaviour*, 28(4), 1140–1162. [https://doi.org/10.1016/S0003-3472\(80\)80103-5](https://doi.org/10.1016/S0003-3472(80)80103-5)
- Gwinner E., 1996.** Circannual clocks in avian reproduction and migration. *Ibis* Volume 138, Issue 1 : 47-63
- Haddad, N. M., Crutsinger, G. M., Gross, K., Haarstad, J. and Tilman D., 2011).** Plant diversity and the stability of foodwebs. *Ecology Letters*, 14(1), 42–46. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01548.x>
- Hallmann, C. A., & al. 2017.** More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLOS ONE*, 12(10), e0185809.
- Handouzi M.A., 2011.** Evolution du chimisme des eaux du barrage Mexanna (Nord-Est Algérie). Magister Université Badji Mokhtar Annaba. 103p + annexes.
- Herrera, C. M. (1984).** Adaptation to frugivory of Mediterranean avian seed dispersers. *Ecology*, 65(3), 609–617.
- Holmes G., 2011.** Conservation's Friends in High Places: Neoliberalism, Networks, and the Transnational Conservation Elite. *Global Environmental Politics* 2011; 11 (4): 1–21. doi: https://doi.org/10.1162/GLEP_a_00081
- Holmes, R.T. & Schultz, J.C., 1988.** Food availability for forest birds: effects of prey distribution and abundance on bird foraging. *Canadian Journal of Zoology*, 66(3), 720–728. <https://doi.org/10.1139/z88-107>

Hutto R. L., 1998. On the Importance of Stopover Sites to Migrating Birds. *The Auk*: Vol. 115: Iss. 4, Article 1. Available at: <https://digitalcommons.usf.edu/auk/vol115/iss4/1>

Ings, T.C., Montoya, J.M., Bascompte, J. et al., 2009. Ecological networks — beyond food webs. *Journal of Animal Ecology*, 78(1), 253–269.

IPBES, 2019. *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Zenodo. DOI: 10.5281/zenodo.3831673.

Isenmann, P., et Moali, A., 2000. The birds of Algeria–Les oiseaux d’Algérie. Soc. Études Ornithol. France, Muséum Nat. Hist. Nat., Paris. 336p.

IUCN, 2019, 2021. The Annual Report IUCN Red List of Threatened Species. Version 2021-3. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/f>

IUCN, 2021. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2021-3. <https://www.iucnredlist.org>

Jones P., 1998. The Eurasian Blackcap. In: Hoyo, J. del, & al. *Handbook of the Birds of the World*, Vol. 2. Lynx Edicions.

Journal officiel de la République algérienne, 1983. Création du Parc National d’El Kala. JO n° 31, 26 juillet, p. 1331

Julliard R. et Jiguet F. (2002) : Un suivi intégré des populations d’oiseaux communs en France. *Alauda*, 70:137-147

Kehoe, R., Frago, E. & Sanders, D., 2021. Cascading extinctions as a hidden driver of insect decline. *Ecological Entomology*, 46(4), 743–756.

Khallef B., 2019. Contribution à l’étude des facteurs de vulnérabilité par des images satellitaires : Cas du Parc national d’El Kala Wilaya d’El Tarf-Algérie. Thèse de doctorat, univ. Badji M. Annaba. 162p + Annexes.

Knuff A. K., Staab M., Frey J., Dormann C. F., Asbeck T. & Klein A. K. 2020. Insect abundance in managed forests benefits from multi-layered vegetation. *Basic and Applied Ecology*, 48, 124–135. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2020.09.002>

Krams, I., 2001. Communication in crested tits and the risk of predation. *Animal Behaviour*, 61(6), 1065–1068.

Lassaue, A., Paillet, Y., Jactel, H. & Bouget, C., 2011. Deadwood as a surrogate for forest biodiversity: meta-analysis of correlations between deadwood volume and species richness of saproxylic organisms. *Ecological Indicators*, 11(5), 1027–1039.

Legendre P. & Legendre L., 2012. *Numerical Ecology, Developments in Environmental Modelling*. 3rd Edition, Elsevier, Amsterdam, 419.

Lehikoinen, A., Brotons, L., Calladine, J., & Lindén, A., 2013. Declining population trends of European mountain birds. *Global Change Biology*, 20(4), 1064–1076.

Lehikoinen, E. & Sparks, T.H., 2010. Changes in migration. In: Møller, A.P., Fiedler, W. & Berthold, P. (Eds.), *Effects of Climate Change on Birds*. Oxford University Press, pp. 89–112.

Lindström, Å., Green, M., Paulson, G., Smith, H.G. & Devictor, V., 2019. Rapid changes in bird community composition at multiple temporal and spatial scales in response to recent climate change. *Ecography*, 36(3), 313–322.

Lopes L. F., Dias F. S., Fernandes P. M., Acácio V., 2024. A remote-sensing assessment of oak forest recovery after postfire restoration. *European Journal of Forest Research*. 14p.

Lougbegnon T. O., Codjia J. T. C. & Libois R. 2008. Rôle bioindicateur de l'avifaune dans la dynamique écologique des mosaïques des milieux naturels terrestres du sud Bénin. *Rev. Sc. Env. Univ., Lomé (Togo)*, 4 75–96. LPO <https://alsace.lpo.fr/images/stories/Articles/docLPO>

Mammides, C., Moura, N.G., Aristéia de Lima Magnusson, W. et al., 2016. Does habitat complexity predict bird species richness? *Acta Oecologica*, 77, 1–8.

Marler, P., 1956. Behaviour of the chaffinch *Fringilla coelebs*. *Behaviour Supplement*, 5, 1–184.

Marra P.P., Hobson K.A. & Holmes R.T., 1998. Linking winter and summer events in a migratory bird by using stable-carbon isotopes. *Science* 282:1884 1886.

McConnell, M. S. & Dhiviya, C. V., 2024. Understorey vegetation influences insect diversity in rubber plantations of Kanyakumari, India. *Uttar Pradesh Journal of Zoology*, 45(17), 283–296. <https://doi.org/10.xxxx/upjoz.3939>

Médail, F. & Quézel, P., 1997. Hot-spots analysis for conservation of biodiversity in the Mediterranean Basin. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 84(1), 112–127. <https://doi.org/10.2307/2399959>

Messaoudene, M., Bencheikh-Lehocine, M., & Menasria, T. 2014. La gestion des subéraies dans le cadre de l'aménagement durable en Algérie. *Forêt Méditerranéenne*, 35(1), 45–52.

Miholcsa, T. & Csörgő, T., 2016. Testing wintering area identification efficiency with NDVI and survival of Marsh Warblers *Acrocephalus palustris*. – *North-Western Journal of Zoology* 12(2): 325–335.

Miller C. 1993. Fire for conservation management of pakihi. *Conservation Advisory Science Notes* No. 51. Department of Conservation, Wellington.

Møller A.P., 2019. Evidence of climate change effects on bird migration. *Current Zoology*, 65(4), 393–407.

Moreau, R.E., 1972. *The Palaearctic-African Bird Migration Systems*. Academic Press, London.

Moreno-Fernández D., Cañellas I., Alberdi I., Montes F., 2021. Improved stand structure characterization from nested plot designs in the Spanish National Forest Inventory. *Forestry* 94: 244–257.

Myers N., Mittermeier R.A., Mittermeier C.G., Da Fonseca G.A.B. & Kent K., 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, vol. 403, n° 6772, p. 853–858. DOI : [10.1038/35002501](https://doi.org/10.1038/35002501). <https://doi.org/10.1038/35002501>

Natividade J.V., 1950. Subericultura. Ministério da Economia, Direcção Geral dos Serviços Florestais e Agrícolas, Lisbon, Portugal

Newton, I., 1964. Bud-eating by bullfinches in relation to the natural food supply. *Journal of Applied Ecology*, 1(2), 265–279.

Newton, I., 2008. *The Migration Ecology of Birds*. Academic Press, London.

Ozenda, P., 1975. Sur les étages de végétation dans les montagnes du Bassin méditerranéen.

Pagès J., 2020. Multiple factor analysis with R. EDP Sciences: <https://doi.org/10.1051/978-2-7598-1085-7>

Pech P. & Diaf I., 2022. Développement touristique et conservation de la nature : Le cas du parc national d'El Kala, wilaya d'El Tarf, Algérie. *Teoros* : Volume 41, Number 1.

Pereira H., 2007. *Cork: Biology, Production and Uses*. Elsevier, Amsterdam, 336 p.

Pérez-Granados, C. & Barrero, A., 2019. Diet composition and prey selection of wintering insectivorous passerines in Mediterranean shrublands. *Bird Study*, 66(2), 145–155.

Prodon R., 1988. Bird populations as indicators of environmental change. *Ecology and Conservation of Birds in Urban Environments*, 3, 99-121.

Prodon, R. & Lebreton, J. D., 1981. Breeding avifauna of a Mediterranean succession: the holm oak and cork oak series in the eastern Pyrenees. I. Analysis and modelling of the structure gradient. *Oikos*, 37(1), 21–38.

Prodon, R., Lebreton, J. D., & Maillard, J. 1983. Changes in bird communities after wildfire in a garrigue maquis landscape of southern France. *Oecologia*, 59(2-3), 198–213.

Pulido, F., 2011. Evolutionary genetics of partial migration: the threshold model of migration revisited. *Oikos*, 120(12), 1776–1783.

Quézel & Médail, 2003. *Écologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*. Pierre Quézel & Frédéric Médail. Elsevier (Collection Environnement), Paris, 573 p.

Quézel P. & Santa S., 1962. *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*. Tome I, 1962. Editions du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris. *Revue d'Écologie (La Terre et La Vie)* 16-4 p. 459.

R Core Team., 2024. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>

Ramade F., 1984. *Éléments d'écologie – Ecologie fondamentale*. Ed. Mc Graw-Hill, Paris, 397 p.

Reif, J. & Hanzelka, J., 2020. Continent-wide gradients in open-habitat insectivorous bird declines track spatial patterns in agricultural intensity across Europe. *Global Ecology and Biogeography*, 29(11), 1988–2013.

Rey, P.J. (1995). Spatio-temporal variation in fruit and frugivorous bird abundance in olive orchards. *Ecology*, 76(4), 1278–1287.

Ricklefs, R. E., 1974. Energetics of reproduction in birds. In *Avian Energetics* (pp. 152–292). Nuttall Ornithological Club.

Rigal, S., Dakos, V., Alonso, H. et al., 2023. Farmland practices are driving bird population decline across Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(21), e2216573120.

Rubolini, D., Møller, A.P., Rainio, K. & Lehikoinen, E., 2007. Intraspecific consistency and geographic variability in temporal trends of spring migration phenology among European bird species. *Climate Research*, 35(1-2), 135–146.

Saloy L., 2014. L'avifaune sauvage sur le campus de l'école nationale vétérinaire de Toulouse: évolution en 30 ans, protocole reproductible d'observations et mesures d'accroissement de la biodiversité. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire et santé animale Toulouse, ENVT, 172 p.

Sánchez-Bayo, F. & Wyckhuys, K.A.G., 2019. Worldwide decline of the entomofauna: a review of its drivers. *Biological Conservation*, 232, 8–27.

Sandell, M. & Smith, H.G., 1991. Dominance, prior occupancy, and winter residency in the great tit (*Parus major*). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 29(6), 147–152.

San-Miguel-Ayanz, J., Durrant, T., Boca, R. et al., 2022. Forest fires in Europe, Middle East, and North Africa 2021 (EUR 31269 EN). Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/34094>

Scudder G.E., 2017. The Importance of Insects: Science and Society. In book: Insect Biodiversity. DOI: [10.1002/9781118945568.ch2](https://doi.org/10.1002/9781118945568.ch2)

Şekercioğlu, Ç.H., Primack, R.B. & Wormworth, J., 2016. The effects of climate change on tropical birds. *Biological Conservation*, 148(1), 1–18.

Sherry, T. W. & Holmes, R. T., 1996. Winter habitat quality, population limitation, and conservation of Neotropical-Nearctic migrant birds. *Ecology*, 77(1), 36–48.

Siemann E., Tilman D., Haarstad J. and Ritchie M., 1998. Experimental tests of the dependence of arthropod diversity on plant diversity. *The American Naturalist*, 152 (5), 738–750. <https://doi.org/10.1086/286204>

Siriwardena, G.M., Baillie, S.R., Wilson & J.D., 1998. Variation in the survival rates of some British passerines with respect to their population trends on farmland, *Bird Study*, 45:3, 276-292, DOI: 10.1080/0006365980946109

Smith, W. P., & Twedt, D. J., 1999. Temporal Differences in Point Counts of Bottomland Forest Landbirds. *The Wilson Bulletin*, 111(1), 60–67.

Snow, D.W. & Perrins, C.M. (1998). *The Birds of the Western Palearctic Concise Edition*.

Somveille, M., Rodrigues, A. S. L. & Manica, A., 2018. Energy efficiency drives the global seasonal distribution of birds. *Nature Ecology & Evolution*, 2(6), 962–969. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0556-9>

Spitz , 1982. Techniques d'échantillonnage en écologie des populations. Collection d'Écologie, 17.

Stevenson, A.C. & Moore, P. D., 1988. Studies in the vegetational history of S.W. Spain. IV. Palynological investigations at El Acebrón, Huelva. *Journal of Biogeography*, 15 (2), 339–361. <https://doi.org/10.2307/2845416>

Stiegel S., Korfhage A., & Mantilla-Contreras J., 2020. Does the shrub layer act as an intermediary? Effects on abundance of insects and abundances of particular insect orders caught flying in the canopies of deciduous forests in Central Germany. *Eur. J. Entomol.* 117: 409–419, doi: <https://doi.org/10.14411/eje.2020.045>

Strong D. R., Lawton J. H., & Southwood T. R. E. 1984. *Insects on plants: community patterns and mechanisms.* Blackwell.

Suárez-Seoane, S., Osborne, P.E. & Baudry, J., 2002. Responses of birds of different biogeographic origins and habitat requirements to agricultural land abandonment in northern Spain. *Biological Conservation*, 105(3), 333–344.

Tallamy D., 2010. Insects in Winter. *The Wild Ones Journal*, Vol 23 (5).

Tanguy A, & Gourdain P., 2011. Atlas de la biodiversité dans les communes. ABC Guide méthodologique pour les inventaires faunistiques des espèces métropolitaines « terrestres » (volet 2). Rapport SPN, MNHN. 195 p. <http://spn.mnhn.fr/servicepatrimoinenaturel/docs/rapports/SPN>

Tarihoran, P., Zuliyanti-Siregar, A. & Marheni. 2020. Diversity index of insect species on sorghum plantations in Kolam Village, PercutSei Tuan District Deli Serdang. *Indonesian Journal of Agricultural Research*, 3(2), 89–104. <https://doi.org/10.32734/injar.v3i2.3865>

Tassin C., 2012. Paysages Végétaux du Domaine Méditerranéen. Chapitre 4. Matorrals, pinèdes et steppes en Méditerranée. IRD Editions. Publication sur OpenEdition Books Éditions. DOI : [10.4000/books.irdeditions.9781421421](https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.9781421421) p.

Tellería J. L., & Pérez-Tris J. 2004. Consequences of the settlement of wintering blackcaps (*Sylvia atricapilla*) in southern Europe: density-dependent regulation or habitat saturation? *Journal of Animal Ecology*, 73(3), 441–450.

Tellería J. L., Asensio B., & Díaz M., 1999. *Aves Ibéricas II: Paseriformes.* SEO/BirdLife.

Tellería J. L., De la Hera I., & Pérez-Tris J., 2001. Morphological variation as a tool for monitoring recent changes in bird migration patterns. *Biological Conservation*, 98(3), 339–346.

Tellería, J. L., Asensio, B., & Díaz, M. (1999). *Aves Ibéricas II: Paseriformes.* SEO/BirdLife.

Tepley, A. J., Thomann, E., Veblen, T. T., 2018. Influences of fire-vegetation feedbacks and post-fire recovery rates on forest landscape vulnerability to altered fire regimes. *Journal of Ecology*, 106, 1925–1940. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12950>

Tews J., Brose U., Grimm V. et al., 2004. Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: the importance of keystone structures. *Journal of Biogeography*, 31(1), 79–92.

Tobias J.A. & Seddon, N., 2009. Signal design and perception in *Hypocnemis* antbirds: Evidence for convergent evolution via social selection. *Evolution*, 63(12), 3168–3189. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.2009.00795.x>

Tomàs, J., Cardona, C., Ferriol, P., Llorens, L. & Gil, L., 2022. Floral traits and reproductive biology of two Mediterranean species of *Clematis*, asynchronous and sympatric, are key food sources for pollinator survival. *South African Journal of Botany*, 151, 85–94. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.09.031>.

- Tøttrup, A. P., Klaassen, H. G., Strandberg, R., and al., 2012b.** The annual cycle of a trans-equatorial Eurasian–African passerine migrant: different spatio-temporal strategies for autumn and spring migration. – *Proc. R. Soc. B.* 279: 1008–1016.
- Toubal, 1986.** Phytoécologie, biogéographie et dynamique des principaux groupements végétaux du massif de l'Edough (Algérie nord-orientale) : cartographie à 1/25 000. Université Grenoble. Thèse. Doct. 3ème cycle. 111p.
- Van Gils, J.A., Spaans, B., Dekinga, A. & Piersma, T., 2005.** Foraging in a tidally structured environment by red knots (*Calidris canutus*): ideal, but not free. *Ecology*, 86(8), 2068–2075.
- Végvári, Z., Bókony, V., Barta, Z. & Kovács, G., 2010.** Life history predicts advancement of avian spring migration in response to climate change. *Global Change Biology*, 16(1), 1–11.
- Villén-Pérez S., Carrascal L. M. et Oscar Gordo O., 2014.** Wintering forest birds roost in areas of higher sun radiation. *Eur J Wildl Res* 60:59–67).
- Villén-Pérez, S., Carrascal, L.M. & Palomino, D., 2013.** Thermal, food and vegetation effects on winter bird species richness of Mediterranean oakwoods. *Community Ecology*, 14(2), 195–204.
- Wagner, D.L., Grames, E.M., Forister, M.L., Berenbaum, M.R. & Stopak, D., 2021.** Insect decline in the Anthropocene: death by a thousand cuts. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(2), e2023989118.
- Ward D.F., New T.R., Alan L. Yen A. L., 2001.** Effects of pitfall trap spacing on the abundance, richness and composition of invertebrate catches
- Whittaker R.H. and Levin S.A. 1977.** The role of mosaic phenomena in natural communities. *Theoretical Population Biology* 12: 117–139.
- Wilson, E. O. (ed.). 1992.** *The Diversity of Life*, Belknap Press, Cambridge, Massachusetts.
- Wolda, H., 1988.** Insect seasonality: Why? *Annual Review of Ecology and Systematics*, 19(1), 1–18.
- Younsi S.E., Adjami V., Ghanem R., Billel Bouchaib B., Mohamed Laid Ouakid M.L., 2021.** Impact of different factors degrading cork oak stands in the Mediterranean region: A case study from Algeria. *Journal of Forest Science*, 67, 2021 (12): 570–581.