



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique



Université Larbi Ben M'hidi, Oum El-Bouaghi

Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie

THÈSE

Présentée en vue de l'obtention
Du diplôme de doctorat LMD en sciences de la nature
Option : Structure et dynamique des écosystèmes

Thème

Structure et dynamique de l'avifaune nicheuse de la forêt domaniale de Boumezrane

(Ain Zana, Souk-Ahras)

Par

Mr : MENAA Mohcen

Devant le Jury :

Président :

Menouar Saheb

Pr Université Larbi Ben M'hidi, Oum El-Bouaghi

Rapporteur :

Mohamed Cherif Maazi MCA Université M^{ed} Cherif Messaadia, Souk-Ahras

Examineurs :

Boukhssaim Mouloud

Pr Université Larbi Ben M'hidi, Oum El-Bouaghi

Djoumoi Merzoug

Pr Université Larbi Ben M'hidi, Oum El-Bouaghi

Bensaci Tayeb

MCA Université Mohamed Boudiaf, M'Sila

Telailia Salah

MCA Université Chadli Bendjedid, El Tarf

Année universitaire : 2016-2017

قال الله تعالى:

﴿وَمَا مِنْ دَابَّةٍ فِي الْأَرْضِ وَلَا طَائِرٍ يَطِيرُ بِجَنَاحَيْهِ
إِلَّا أُمَّةٌ أَمْثَالُكُمْ مَا فَهَرْنَا فِي الْكِتَابِ مِنْ شَيْءٍ ثُمَّ إِلَى
رَبِّهِمْ يُحْشَرُونَ﴾

سورة الأنعام الآية: 38



“I began my career basing my analyses of habitat relationships on niche theory [...] and then went through a multivariate phase [...]. Each time I thought I had uncovered the ‘true’ habitat relationships only to realize that my ‘other things being equal’ assumption contained too much interesting ecology to ignore. Now I’m in a spatially explicit landscape phase; we’ll see where that leads.”

John A. Wiens (2002)

DEDICACES

Je dédie ce travail de thèse de Doctorat:

A Dieu qui m'a toujours illuminé et m'a mis sur les bonnes voies.

A la mémoire :

- De mon père avec lequel je n'aurais pas le plaisir de partagé cet événement, mais qui est et qui demeurera dans mon cœur et à jamais.
- De ma grand-mère paternelle, qui a été toujours dans mon esprit et dans mon cœur, je te dédie aujourd'hui ma réussite.

Je le dédie aussi et surtout à celle qui est et qui sera un symbole de courage et qui m'a non seulement accompagné durant toutes les étapes de ma vie, mais aussi guidé et encouragé et n'a lésiner sur aucun moyen. Celle à qui je dois tout, même ma vie, mon adorable mère.

Je le dédie aussi à ma femme et à ma fille Amèna, votre encouragement et votre soutien étaient la bouffée d'oxygène qui me ressourçait dans les moments pénibles, de solitude et de souffrance.

Je le dédie aussi à toute ma famille, je cite en particulier mes petits frères: Haithem, Amine et Salim, mes sœurs, mes oncles ainsi que mes cousins et cousines.

M. MENAA

REMERCIEMENTS

La bonne réalisation de ce travail n'a été rendu possible que grâce à l'aide, l'encouragement et au concours d'un grand nombre de personnes auxquelles je tiens à exprimer mes vifs remerciements:

– A Mr. Mohamed Cherif MAAZI, Maître de conférences classe -A- à l'Université Mohamed Chérif Messaadia de Souk-Ahras. Son encadrement de bonne qualité et sa disponibilité m'ont permis d'avancer dans la bonne direction et d'arriver à bon port. Ses conseils pertinents et sa vue globale sur l'Ornithologie était un atout majeur pour la finalisation de ce travail. Je n'oublie pas la confiance qu'il m'a témoignée et son soutien tout au long de la thèse, qu'il en soit vivement remercié.

Je remercie également:

– Mr. Choukri BARROUR, Maître de conférences classe -B- à l'Université Mohamed Chérif Messaadia de Souk-Ahras pour ses conseils sur la partie statistique de mon travail. Je le remercie également pour la grande disponibilité dont il a fait preuve.

– Mr. Aurélien BESNARD, Maître de conférences classe -A- au Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive à Montpellier, France pour son aide sur la partie statistique, sa disponibilité et sa collaboration.

Je tiens ensuite à exprimer mes vifs remerciements à:

– Mr. Menouar SAHEB, Professeur à l'Université Larbi Ben M'Hidi d'Oum El Bouaghi, qui me fait l'honneur de sa présence à mon jury et qui a eu l'amabilité d'accepter de présider ce jury.

J'adresse aussi mes remerciements à:

– Mr. Mouloud BOULKHSSAIM, Professeur à l'Université Larbi Ben M'Hidi d'Oum El Bouaghi.

– Mr. Merzoug DJOUMOI, Professeur à l’Université Larbi Ben M’Hidi d’Oum El Bouaghi.

– Mr. Tayeb BENSACI, Maitre de conférence classe -A- à l’Université Mohamed Boudiaf de M’Sila.

– Mr. Salah TELAILIA, Maitre de conférence classe -A- à l’Université Chadli Bendjedid d’El Tarf.

D’avoir accepté la lourde charge d’être les examinateurs de ce travail de recherche et d’avoir suggéré des perspectives pertinentes à ce travail.

Je tiens aussi à exprimer ma profonde gratitude:

– A nos collaborateurs des laboratoires de recherches, au Dr. Nouha KOUACHI, directeur du Laboratoire LEAT de l’Université de Souk-Ahras pour les nombreux échanges que nous avons eus et au Pr. Abdelkader KHIARI, directeur du Laboratoire RNAMS de l’Université d’Oum El Bouaghi qui m’a permis d’enrichir la qualité de mon travail. Je les remercie vivement pour leur accueil bienveillant au sein de leur équipe.

– A la conservation des forêts de la commune de Ain Zana, wilaya de Souk-Ahras, surtout Mr. Rafik BENCHAMSA, Chef du district de Ain Zana qui m’a ouvert ses portes en m’accueillant et me donnant toute information concernant la forêt de Boumezrane de Ain Zana.

– A Mr. Amire BAHLOUL, chef de service de de la formation supérieure de post-graduation, l’habilitation universitaire et la recherche scientifique de la faculté des Sciences Exactes et Sciences de la Nature et de la Vie à l’Université Larbi Ben M’Hidi d’Oum El Bouaghi.

Au tour des amis maintenant:

– A Moundji TOUARFIA, merci d’avoir accepté avec beaucoup de générosité de m’accompagner sur la forêt de Boumezrane. Merci surtout pour ton amitié et ton soutien.

– A Moussa BADJOU DJ, Abbd El Raouf Chouaib REBBAH, Adel AYARI et Boudjemaa SAOUDI, et à tous les autres du département des Sciences Biologiques à l'Université Mohamed Chérif Messaadia de Souk-Ahras pour leur sympathie et leur amitié

Et enfin merci à mes Oiseaux !

RESUME:

Au cours de la période de reproduction des oiseaux forestiers, nous avons analysé les relations communauté d'oiseaux/habitat dans la forêt domaniale de Boumezrane située au nord-est de l'Algérie et constituée essentiellement de chêne liège et de chêne zeen. La richesse totale en espèces, la diversité et l'abondance des communautés d'oiseaux ont été analysés par rapport aux variables de l'habitat, résumant la structure de l'habitat, de la strate arborée et du sous bois.

Un total de 230 visites ont été effectuées et se sont soldées par le dénombrement de 70 espèces d'oiseaux dont la plus part appartiennent à l'ordre des Passeriformes. Les insectivores étant la catégorie trophique la plus dominante dans les deux chênaies. La richesse totale des espèces aviaires à chaque point d'écoute oscillé entre 6 et 17 espèces. Les familles les plus dominants en nombre d'espèce sont: les Mucascipidés, les Sylviidés, les Turdidés, les Paridés et les Pucidés. Elles occupent plus de 70% de l'abondance totale de l'ensemble de la population des deux chênaies.

En utilisation les méthodes d'analyse multivariée, nous avons déterminé que deux grands types de relations entre les oiseaux et la structure de l'habitat ont été tracées : la première comprend la structure de l'arbre au cours de leur croissance (gros bois et hauteur de la strate arborée), la seconde est liée à la strate arbustive. Ainsi, la diversité et l'abondance des oiseaux et la richesse en espèces ont été principalement associées au diamètre du plus gros arbre.

Mots clés: Habitat, subéraie, zénaie, gros bois, strate arborée, sous bois.

ABSTRACT

During the breeding period, we analysed bird habitat relationships in the forest of Boumezrane, north-eastern Algeria (cork oak stands, zeen oak stands). Species richness, diversity, and abundance of bird communities were analysed with respect to habitat variables, summarising habitat structure, tree and shrub layers.

A total of 260 visits of 74 bird species were recorded in the forest of Boumezrane where the most dominant order is Passeriformes in both oak stands. Insectivores being the most dominant diet category in both oak stands. Avian species richness at each point-count ranged between six and 17 species. The most dominant families in number of pairs are Muscicapidae, Sylviidae, Turdidae, Paridae and Picidae. They occupy more than 70% of the total abundance of the entire community.

Using multivariate analysis methods, we determined that two major patterns of relationships among bird and habitat were traced: the first involved changes in tree structure during their growth (height of tree layer and large timber), the second was related to characteristics associated with shrub layer. Bird diversity, abundance was related to diameter of the largest timber.

Keywords: Habitat, cork oak stands, zeen oak stands, large timber, tree layer, shrub layer.

المخلص:

خلال موسم تكاثر طيور الغابة، قمنا بتحليل العلاقة بين مجتمع الطيور و وسط عيشها في شمال شرق الجزائر، غابة بومزران و المتكونة أساسا من بلوط الفلين و بلوط الزان. أين تم تحليل الثروة الحيوانية الكلية لأنواع الطيور و تنوعها ووفرة بعض الجماعات البيئية منها و ذلك فيما يتعلق بمتغيرات وسط عيشها مع تلخيص تركيبته و الغطاء الشجري والشجيرات.

حيث بعد القيام ب 230 زيارة على مستوى غابة بومزران، سجلنا 70 فصيلة من الطيور حيث أن أغلبية هذه الأنواع تنتمي إلى رتبة الجواثم، بالإضافة أن اكالات الحشرات تمثل أيضا الأغلبية. الثروة الحيوانية الإجمالية من أنواع الطيور في كل نقطة جرد تتراوح بين ستة و 17 نوعا. أما بالنسبة للعائلات الأبرز من حيث عدد الأنواع هي: *Sylviidae*، *Mucascipidae*، *Picidae*، *Paridae*، *Turdidae* بنسبة أكثر من 70٪ من الوفرة الإجمالية لمجتمع الطيور.

باستخدام طرق التحليل متعدد المتغيرات، توصلنا إلى تحديد نوعين رئيسيين من العلاقات بين الطيور وبنية وسط عيشها: التغيرات الأولى تشارك في هيكل الشجرة خلال النمو (قطر أكبر خشب و ارتفاع الغطاء الشجري)، والثاني يتمثل في الميزات ذات الصلة بغطاء الشجيرات. بالإضافة إلى أن تنوع الطيور و ثراء الأنواع ووفرة من بعض الجماعات الطيور مترابطة بشكل إيجابي مع قطر خشب أكبر شجرة.

الكلمات المفتاحية: وسط العيش، غابات بلوط الفلين، غابات بلوط الزان، الخشب الخشن، ارتفاع الغطاء الشجري، طبقة الشجيرات.

LISTE DES TABLEAUX:

Tableau 1 – <i>Les différents paramètres climatiques enregistrés entre 1986 et 2015 (S.M.SA, 2015).</i> -----	26
Tableau 2 – <i>Liste des packages utilisés sous le logiciel R pour nos analyse statistique.</i> -----	47
Tableau 3 – <i>Liste des 52 espèces contactées au niveau de la zénaie de Boumezrane. Ordre chronologique des espèces selon la classification de Voous (1973 et 1977).</i> -----	48
Tableau 4 – <i>Classement systémique des espèces contactées dans la zénaie de Boumezrane durant la période de reproduction.</i> -----	50
Tableau 5 – <i>Classification systémique des familles des espèces avifaunistiques de la zénaie de Boumezrane suivant le nombre d'espèces et le nombre de couples.</i> -----	52
Tableau 6 – <i>Abondance, IPA moyen et fréquences centésimales des espèces d'oiseaux nicheurs dans la zénaie de Boumezrane (F (%)) : fréquence centésimale.</i> -----	55
Tableau 7 – <i>Modèles de l'abondance de communauté d'oiseaux en fonction des variables de l'habitat de la zénaie de Boumezrane.</i> -----	67
Tableau 8 – <i>Modèles de la richesse spécifique de communauté d'oiseaux en fonction des variables de l'habitat de la zénaie de Boumezrane.</i> -----	69
Tableau 9 – <i>Modèles de la diversité de communauté d'oiseaux en fonction des variables de l'habitat de la zénaie de Boumezrane.</i> -----	70
Tableau 10 – <i>Liste des 61 espèces contactées au niveau de la subéraie de Boumezrane. Ordre des espèces selon la classification de Voous (1973 et 1977).</i> -----	71
Tableau 11 – <i>Classement systémique des espèces contactées dans la subéraie de Boumezrane durant la période de reproduction.</i> -----	73
Tableau 12 – <i>Classification systémique des familles des espèces avifaunistiques de la subéraie de la forêt de Boumezrane suivant le nombre d'espèces et le nombre de couples.</i> -----	76

Tableau 13 – <i>Abondance, IPA moyen et fréquences centésimales des espèces d’oiseaux nicheurs dans la subéraie de Boumezrane (F (%) : fréquence centésimale).</i> -----	78
Tableau 14 – <i>Modèles de l’abondance de la communauté d’oiseaux en fonction des variables de l’habitat de la subéraie de Boumezrane.</i> -----	92
Tableau 15 – <i>Modèles de la richesse spécifique de la communauté d’oiseaux en fonction des variables de l’habitat de la subéraie de Boumezrane.</i> -----	92
Tableau 16 – <i>Liste des 70 espèces contactées au niveau de la forêt de Boumezrane. Ordre chronologique des espèces selon la classification de Voous (1973 et 1977).</i> -----	95
Tableau 17 – <i>Classement systématique des espèces contactées dans la forêt de Boumezrane durant la période de reproduction.</i> -----	97
Tableau 18 – <i>Classification systématique des familles des espèces avifaunistiques de la subéraie de la forêt de Boumezrane suivant le nombre d’espèces et le nombre de couples.</i> -----	100
Tableau 19 – <i>Abondance, IPA moyen et fréquences centésimales des espèces d’oiseaux nicheurs dans la forêt de Boumezrane (F (%) : fréquence centésimale).</i> -----	102

LISTE DES FIGURES:

Figure 1 – <i>Illustrations des différentes composantes de la biodiversité; dans chaque cas, le carré de gauche présente une biodiversité plus importante que celui de droite (Noss, 1990).</i> -----	8
Figure 2 – <i>Représentation schématique des trois composantes de la biodiversité (composition, structure et fonctionnement), chacune se déclinant à de multiples niveaux d'organisation. Noss (1990).</i> -----	9
Figure 3 – <i>Description des composantes de l'habitat (Hall et al., 1997).</i> -----	14
Figure 4 – <i>Relation avifaune-milieu le long d'un gradient de succession végétale (Benyacoub, 1993).</i> -----	18
Figure 5 – <i>Localisation géographique de la Wilaya de Souk-Ahras et ses forêts (Menaâ et al, 2016).</i> -----	23
Figure 6 – <i>Bassin hydrographique Constantinois Seybouse-Mellegue (www.abhscm.dz).</i> -----	25
Figure 7 – <i>Humidité moyenne par mois (2003-2015).</i> -----	27
Figure 8 – <i>Diagramme ombrothermique de Gaussien et Bagnouls de Souk-Ahras (1986-2015) (S.M.SA, 2015).</i> -----	27
Figure 9 – <i>Situation géographique de la forêt domaniale de Boumezzrane (Menaâ et al., 2016).</i> -----	29
Figure 10 – <i>Le logiciel RGui / R graphical user interface(www.r-project.net).</i> -----	46
Figure 11 – <i>Classement systématique des ordres des espèces d'oiseaux de la zénaie de Boumezzrane selon le nombre de familles et le nombre d'espèces.</i> -----	53
Figure 12 – <i>Classement systématique des familles d'oiseaux de la zénaie de Boumezzrane selon le nombre d'espèces (a) et le nombre de couples (abondance) (b).</i> -----	54
Figure 13 – <i>Caractéristiques trophiques de la communauté d'oiseaux de la zénaie de la forêt de Boumezzrane.</i> -----	56

- Figure 14** – Courbe de richesse cumulée des espèces d'oiseaux en fonction du nombre de points d'écoute de la zénaie de Boumezrane. La courbe rejoint l'asymptote. Celle-ci indique le nombre de points d'écoute à étudier pour avoir un échantillonnage complet. -----57
- Figure 15** – Ordination des variables de l'habitat de la zénaie sur les plans factoriels du cercle de corrélation issue de l'ACP: plan factoriel 1X2 (gauche) et plan factoriel 1X3 (droit). -----58
- Figure 16** – Ordination des espèces d'oiseaux selon l'analyse canonique des correspondances entre la matrice espèces et la matrice habitat de la zénaie de Boumezrane. Les abréviations des variables habitat sont définies dans le texte et les codes des espèces et leurs noms scientifiques sont donnés au tableau 3. Plan factoriel (1X2). -----60
- Figure 17** – Ordination des espèces d'oiseaux selon l'analyse canonique des correspondances entre la matrice espèces et la matrice habitat de la zénaie de Boumezrane. Les abréviations des variables habitat sont définies dans le texte et les codes des espèces et leurs noms scientifiques sont donnés au tableau 3. Plan factoriel (1X3). -----61
- Figure 18** – Ordination des espèces d'oiseaux de la zénaie de Boumezrane issue de l'Analyse Canonique de Redondance entre la matrice espèce (44 espèces) et la matrice des variables sélectionnées (trois variables). -----62
- Figure 19** – Graphique montre l'erreur relative (RE, en vert) et l'erreur relative de validation croisée (en bleu) d'arbres de tailles croissantes. -----64
- Figure 20** – Arbre de régression multivariée développé pour les communautés d'oiseaux de la zénaie de Boumezrane. -----65
- Figure 21** – Régression de l'abondance de communauté d'oiseaux de la zénaie de Boumezrane en fonction du plus gros arbre (dmax), de la hauteur de la strate arborée (H), du nombre d'arbres à cavités (narc) et de l'altitude (alt). -----68
- Figure 22** – Régression de la richesse spécifique de communauté d'oiseaux de la zénaie de Boumezrane en fonction du plus gros arbre (dmax). -----69

- Figure 23** – Régression de la richesse spécifique de communauté d'oiseaux de la zénaie de Boumezrane en fonction du plus gros arbre (d_{max}) et de la taille du recouvrement de la strate arbustive. -----70
- Figure 24** – Classement systématique des ordres des espèces d'oiseaux de la subéraie de la forêt de Boumezrane selon le nombre de familles et le nombre d'espèces.-----75
- Figure 25** – Classement systématique des familles d'oiseaux de la subéraie de Boumezrane selon le nombre d'espèces et le nombre de couples (abondance).-----77
- Figure 26** – Caractéristiques trophiques de la communauté d'oiseaux de la subéraie de Boumezrane. -----80
- Figure 27** – Courbe de richesse cumulée des espèces d'oiseaux en fonction du nombre de points d'écoute de la subéraie de Boumezrane. La courbe rejoint l'asymptote. Celle-ci indique le nombre de points d'écoute à étudier pour avoir un échantillonnage complet. -----81
- Figure 28** – Ordination des variables de l'habitat de la subéraie sur les plans factoriels du cercle de corrélation issue de l'ACP: plan factoriel 1X2 (gauche) et plan factoriel 1X3 (droit). -----82
- Figure 29** – Ordination des espèces d'oiseaux selon l'analyse canonique des correspondances entre la matrice espèces et la matrice habitat de la subéraie de Boumezrane. Les abréviations des variables habitat sont définies dans le texte et les codes des espèces et leurs noms scientifiques sont donnés au tableau 10. Plan factoriel (1X2). -----84
- Figure 30** – Ordination des espèces d'oiseaux selon l'analyse canonique des correspondances entre la matrice espèces et la matrice habitat de la subéraie de Boumezrane. Les abréviations des variables habitat sont définies dans le texte et les codes des espèces et leurs noms scientifiques sont donnés au tableau 10. Plan factoriel (1X3). -----85
- Figure 31** – Ordination des espèces d'oiseaux de la subéraie de Boumezrane issue l'analyse canonique de redondance entre la matrice espèce (44 espèces) et la matrice des variables sélectionnées (deux variables).-----87

Figure 32 – Graphique montre l'erreur relative (RE, en vert) et l'erreur relative de validation croisée (en bleu) d'arbres de tailles croissantes.-----	88
Figure 33 – Arbre de régression multivariée développé pour la communauté d'oiseaux de la subéraie de Boumezrane.-----	89
Figure 34 – Régression de l'abondance de la communauté d'oiseaux de la subéraie de Boumezrane en fonction du plus gros arbre (d_{max}), du nombre de gros bois ($ngbs$), de la hauteur de la strate arborée (H) et de l'altitude (alt).-----	93
Figure 35 – Régression de la richesse spécifique de la communauté d'oiseaux de la zénaie de Boumezrane en fonction du plus gros arbre (d_{max}), du nombre de gros bois ($ngbs$), de la hauteur de la strate arborée (H) et de l'altitude (alt).-----	94
Figure 36 – Classement systématique des ordres des espèces d'oiseaux rencontrées dans la forêt de Boumezrane selon le nombre de familles et le nombre d'espèces.-----	99
Figure 37 – Classement systématique des familles d'oiseaux de la forêt de Boumezrane selon le nombre d'espèces (a) et le nombre de couples (abondance) (b).-----	101
Figure 38 – Caractéristiques trophiques de la communauté d'oiseaux de la forêt de Boumezrane.-----	104
Figure 39 – Boxplot représentant la comparaison de l'abondance, de la richesse et de la diversité des espèces d'oiseaux recensées dans la forêt de Boumezrane entre les deux peuplements de chêne. Un test t de student indique une différence non significative entre les habitats pour les trois facteurs.-----	105
Figure 40 – Courbe de richesse cumulée des espèces d'oiseaux en fonction du nombre de points d'écoute effectués dans la forêt de Boumezrane. La courbe rejoint l'asymptote. Celle-ci indique le nombre de points d'écoute à étudier pour avoir un échantillonnage complet.-----	106
Figure 41 – Représentation graphique du cadrage multidimensionnel non-métrique (NMDS) de l'assemblage des espèces aviaires recensées dans la forêt de Boumezrane entre les deux peuplements de chêne à partir de l'indice de Bray-Curtis basé sur les données d'abondances relatives.-----	107

Figure 42 – *Représentation graphique du Diagramme de Shepard: projection des valeurs de distance calculées en fonction des valeurs de distance observées. (la ligne continue représente la ligne de régression).* ----- 108

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	01
Chapitre 1 – Biodiversité et cadres conceptuel de la thèse	
1. Biodiversité.....	07
1.1. Vu d'ensemble historique.....	06
1.2. Définition générale.....	08
1.3. Mesures de la biodiversité.....	10
1.3.1. <i>Indices de diversité</i>	10
1.3.2. <i>Composition des communautés</i>	10
1.3.3. <i>Structure écologique et aspects fonctionnels</i>	10
1.3.4. <i>Espèces clés, ombrelles, sensibles et de valeur patrimoniale et spécialiste</i>	11
1.3.4.1. <i>Une espèce-clé (« keystone-species »)</i>	11
1.3.4.2. <i>Les espèces ombrelles (« umbrella-species »)</i>	12
1.3.4.3. <i>Les espèces sensibles et de valeur patrimoniale</i>	12
1.3.4.4. <i>Espèce spécialiste</i>	13
1.4. Définition d'un habitat.....	14
1.5. L'évaluation écologique.....	15
1.5.1. <i>Indicateur biologique</i>	15
1.5.2. <i>Des exemples d'indicateurs biologiques</i>	15
1.5.3. <i>Des systèmes d'évaluation écologique</i>	16
2. Dynamique des biocénoses forestières.....	16
2.1. Les successions écologiques.....	16
2.1.1. <i>Définitions</i>	16
2.1.2. <i>Successions végétales et communautés animales</i>	17
3. Cadre conceptuel de la thèse.....	19
Chapitre 2 – Matériel et méthodes	
1. Site d'étude.....	22
1.1. Présentation succincte de la Wilaya de Souk-Ahras.....	22
1.1.1. <i>Localisation géographique</i>	22

1.1.2. <i>Relief et Géologie</i>	22
1.1.3. <i>Réseau hydrographique</i>	24
1.2. Climat de la Wilaya de Souk-Ahras	25
1.3. Caractéristiques climatiques	26
1.3.1. <i>Température et pluviométrie</i>	26
1.3.2. <i>Autres paramètres climatiques</i>	26
1.4. Synthèses bioclimatiques	27
1.4.1. <i>Le diagramme ombrothermique</i>	27
1.5. Forêts de Souk-Ahras	28
1.5.1. <i>Forêt de Boumezrane (Notre milieu d'étude)</i>	28
2. Méthode d'échantillonnage	32
2.1. Avantages, inconvénients et limites d'emploi	32
2.1.1. <i>Avantages</i>	32
2.1.2. <i>Inconvénients et limites d'emploi</i>	33
3. Collecte des données environnementales	34
4. Guildes et groupes trophiques	34
5. Analyses statistiques	35
5.1. Méthodes d'exploitation des résultats par les indices écologiques	35
5.1.1. <i>Indice écologique de composition</i>	35
5.1.1.1. <i>La Richesse de l'avifaune</i>	35
5.1.1.2. <i>Abondance relative ou fréquence centésimale des espèces aviennes</i>	36
5.1.1.3. <i>Fréquence d'occurrence et constance</i>	36
5.1.2. <i>Indice écologique de structure</i>	36
5.1.2.1. <i>Notion de diversité de Shannon-Weaver et d'équitabilité</i>	36
5.2. Analyse multivariée et modélisation statistique	37
5.2.1. <i>Analyse en composantes principales (ACP ou PCA)</i>	38
5.2.2. <i>Analyses canoniques</i>	38
5.2.2.1. <i>Analyse canonique des correspondances (ACC ou CCA)</i>	39
5.2.2.2. <i>Analyse canonique de redondances (ACR ou RDA)</i>	39
5.2.3. <i>Arbre de régression multivariée</i>	40
5.2.4. <i>L'analyse des espèces indicatrices</i>	41
5.2.5. <i>Modèle linéaire généralisé:</i>	42

5.2.6. <i>Le cadrage non-métrique multidimensionnel (NMDS)</i>	43
5.2.7. <i>L'analyse des similarités</i>	44
5.2.8. <i>Contribution des espèces à la dissimilarité</i>	45
Chapitre 3 – Résultats et discussion	
1. Réponse des oiseaux nicheurs aux facteurs de l'habitat à travers un gradient de structure de la zénaie de la forêt de Boumezrane	48
1.1. Classement systématique des espèces contactées au niveau de la zénaie de Boumezrane	49
1.2. Analyse du tableau d'espèces nicheuses et de la valeur de l'IPA moyen	53
1.3. Caractéristiques trophiques du peuplement avien	56
1.4. Qualité d'échantillonnage	56
1.5. Analyse de la fréquence et des indices de diversité	57
1.6. Relations entre les variables environnementales du peuplement du chêne zeen: Analyse en Composantes Principales (ACP ou PCA)	58
1.7. Effet de variables environnementales sur la composition avifaunistique du peuplement du chêne zeen: Analyse Canonique des Correspondances (ACC ou CCA)	59
1.8. Analyse complémentaire de l'ACC: Analyse Canonique de Redondance (ACR ou RDA)	61
1.9. Classification d'assemblages d'oiseaux fondée sur les caractéristiques de leur habitat dans le peuplement du chêne zeen: Arbre de Régression Multivariée (MRT) et espèces indicatrices (IndVal)	63
1.10. Descripteurs environnementaux qui influencent les communautés d'oiseaux dans la zénaie de Boumezrane: Modèle Linéaire Généralisé (GLM)	66
2. Réponse des communautés d'oiseaux nicheurs de la subéraie de la forêt de Boumezrane le long de la structure verticale de la végétation	71
2.1. Classement systématique des espèces contactées	72
2.2. Analyse du tableau d'espèces nicheuse et de la valeur de l'IPA moyen	77
2.3. Caractéristiques trophiques et phénologiques de notre peuplement avien	80
2.4. Qualité d'échantillonnage	80

2.5. Analyse de la fréquence et des indices de diversité.....	81
2.6. Relations entre les variables environnementales du peuplement du chêne liège: Analyse en Composantes Principales (ACP ou PCA)	82
2.7. Effet de variables environnementales sur la composition avifaunistique du peuplement du chêne liège: Analyse Canonique des Correspondances (ACC ou CCA).....	83
2.8. Analyse complémentaire de l'ACC: Analyse Canonique de Redondance (ACR ou RDA)	85
2.9. Classification d'assemblages d'oiseaux fondée sur les caractéristiques de leur habitat dans le peuplement du chêne liège : Arbre de Régression Multivariée (MRT) et espèces indicatrices (IndVal).....	88
2.10. Descripteurs environnementaux qui influencent les communautés d'oiseaux dans la subéraie de Boumezrane: Modèle Linéaire Généralisé (GLM)	91
3. L'influence des types d'habitat des chênaies sur la communauté d'oiseaux dans la forêt de Boumezrane:	95
3.1. Classement systématique des espèces contactées dans la forêt de Boumezrane.....	97
3.2. Analyse du tableau d'espèces nicheuses et de la valeur de l'IPA moyen	101
3.3. Caractéristiques trophiques du peuplement avien	104
3.4. Abondance, richesse et diversité globales	104
3.5. Qualité de l'échantillonnage.....	105
3.6. Comparaison des assemblages aviennes associés aux deux types d'habitat.....	106
4. Discussion.....	106
CONCLUSION.....	116
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	119
ANNEXES	

INTRODUCTION

INTRODUCTION

La diversité biologique a connu cinq grandes vagues d'extinction depuis l'apparition de la vie sur terre, résultats d'évènements naturels (Wilson, 1992). Une sixième vague d'extinction est actuellement en cours avec un rythme de disparition de 50 à 560 fois supérieur aux précédentes (Smith *et al.*, 1993; Harrison et Pearce, 2000; Teyssède, 2004) et qui, à la différence des extinctions naturelles, est indiscutablement le fait de l'homme.

La conférence internationale de Rio (1992) et plus récemment celle de Johannesburg (2002), marquent une prise de conscience auprès de l'opinion publique des conséquences écologiques des activités humaines. La conférence de Rio a permis notamment une appropriation du néologisme «*Biodiversité*» mise en avant par Wilson et Peters (1988), par les sciences humaines et plus largement par le monde médiatique et politique. L'érosion de la biodiversité n'est donc plus uniquement une affaire des sciences de la vie (Aubertin *et al.*, 1998). La préservation de la biodiversité est aussi un enjeu éthique (droit à la vie des espèces et droit pour elles d'établir des relations entre-elles), économique (ressources biologiques et génétiques), social (partage des valeurs et des avantages entre les peuples) et politique (relations entre groupes sociaux et entre Etats) (Blondel, 2002).

La zone méditerranéenne serait l'une des régions biogéographiques les plus affectées, à l'aube du XXI^e siècle, par l'érosion de la biodiversité (Sala *et al.*, 2000). Ces changements se traduisent le plus souvent par une dégradation et une fragmentation de l'habitat original, objet de nombreuses recherches actuellement en biologie de la conservation (Saunders *et al.*, 1991; Fahrig, 2003).

Les zones forestières, un des écosystèmes les plus importants de la région méditerranéenne subissent depuis longtemps des dégradations (Messaoudène, 1998; Yessad, 2000; Letreuch, 2002). La superficie et la richesse des forêts sont réduites et entraînent une disparition certaine de la diversité biologique tant au niveau végétal qu'animal. Selon Djama et Messaoudène (2009), la destruction des forêts algériennes (Superficie occupée 2% de la superficie de son territoire, soit 4,1 million Hectares) est la plus importante destruction potentielle de la diversité biologique méditerranéenne.

Ce phénomène se manifeste par la disparition des centaines de milliers d'hectares de forêts et de couvertures végétales chaque année par les feux. L'analyse des données sur l'évolution des feux de forêts en Algérie de 1963 à 2007, montre que la surface brûlée moyenne par an est de 33111 ha. Les effets des sécheresses combinées avec une explosion démographique et le manque de traditions dans la gestion des forêts et la mauvaise exploitation des ressources naturelles sont aussi les causes principales de la dégradation forestière. Les ravageurs, les maladies et les coupes illicites ont causé également d'énormes pertes à ce patrimoine déjà affaibli par les effets supposés des changements climatiques (Djama et Messaoudène, 2009).

En raison de l'intérêt important de ces écosystèmes, de leur biodiversité, de l'originalité de leurs paysages et de leur vulnérabilité, l'Etat algérien a mis outre la gestion traditionnelle de la forêt, une stratégie nationale de conservation de la diversité biologique basée entre autre sur la création et la gestion des aires protégées dans le but de préserver et de protéger les habitats de plantes et d'animaux de la forte pression démographique et de toutes les formes d'agression. Depuis 1970, l'Algérie a donné une attention toute particulière à la protection de ces zones et c'est à partir de l'année 2000 que le gouvernement a mis en œuvre une nouvelle politique de protection des aires protégées, menant à leur classement dans le cadre de conventions internationales (RAMSAR, Biodiversité). Il déploie ses moyens de surveillances, en mettant à contribution l'outil juridique et technique pour venir à bout des dégradations incessantes de ces espaces et sauvegardé la faune et de la flore de ces territoires écologiquement fragiles.

En février 2011, une loi sur les aires protégées a été promulguée, donnant ainsi un nouvel élan à l'organisation du secteur. Cette loi répartit ces espaces en sept (07) catégories (Parc national; Réserve naturelle intégrale; Réserve naturelle; Réserve de gestion des habitats et des espèces; Site naturel; Corridor biologique et Parc naturel). Cette dernière catégorie de zones protégées assurera le développement socio-économique des populations et la protection de l'environnement (Djama et Messaoudène, 2009).

L'Algérie, soucieuse de la préservation de ses richesses naturelles envisage de classer le complexe de zones humides de Guerbes/Sanhadja (Skikda) et deux forêts domaniales à Akfadou (Béjaïa et Tizi Ouzou) et à Ain Zana (Souk-Ahras), comme parcs naturels.

La forêt domaniale de Boumezrane d'une superficie totale de 7428,8 hectares est située à l'Extrême Nord Est de la wilaya de Souk-Ahras jouxtant la frontière Algéro-Tunisienne, elle couvre en partie les communes de Ain Zana et Ouled Driss (Anonymous, 2013).

En raison de son climat méditerranéen humide et sa pluviométrie les plus importants de la Wilaya de Souk-Ahras, la forêt domaniale de Boumezrane, est couverte par une végétation bien diversifiée, et jusqu'à présent, les massifs forestiers de chênes (chêne zeen, chêne liège et chêne afarès) sont les plus luxuriantes au niveau de la région méditerranéenne. La densité de la végétation dans certains endroits nous rappelle presque les forêts vierges. Elle offre un habitat particulier à une faune aussi riche et multiple, comprenant beaucoup d'espèces végétales et animales en particulier les oiseaux (Chalabi, 1999).

Cette entité forestière est un véritable laboratoire en milieu naturel. Elle permet en tout temps d'obtenir des données uniques sur le fonctionnement des écosystèmes et des espèces pour pouvoir prétendre à une meilleure gestion et conservation de la biodiversité.

Afin de pouvoir prendre en charge ces tâches, il est indispensable de se pencher sur les exigences des espèces animales et végétales en termes d'habitat. Celles-ci peuvent être identifiées par l'étude de la modélisation des habitats. Cette dernière permet alors de construire des cartes de répartition ou des cartes de prédiction de l'occupation de l'habitat (Scott *et al.*, 2002).

L'avifaune représente 70 % des espèces de vertébrés en milieu forestier. Elle réagit aux perturbations à l'échelle du peuplement forestier et aux impacts cumulatifs des perturbations à l'échelle du paysage. Les oiseaux sont faciles à dénombrer. Ils représentent une des composantes les plus visibles et les plus facilement identifiables de l'environnement biologique. Leurs spécialisations et leurs exigences spatiales rendent de nombreuses espèces sensibles aux variations, en superficie et en qualité de leurs habitats de reproduction et de séjour, ce qui leur confère une évidente valeur *bioindicatrice*. De plus, étant donné que l'écologie de plusieurs espèces d'oiseaux est de mieux en mieux connue, les changements observés dans leur abondance peuvent être mieux interprétés. Ces caractéristiques font de l'avifaune un indicateur de suivi intéressant pour assurer la conservation de la biodiversité (Delahaye, 2006).

L'étude des peuplements d'oiseaux apporte des éléments d'appréciation précieux en vue de la protection de notre avifaune, elle fournit de surcroît une information indirecte, mais précise et facile d'accès, sur le niveau de structuration et sur la qualité des milieux qu'ils habitent (Benamammar, 2012).

Par exemple, à la suite de la destruction des habitats, la dégradation ou l'isolement, les populations d'un grand nombre espèces d'oiseaux ont été diminuées au cours des dernières décennies, ce qui peut entraîner des changements dans la structure de la communauté. Dans le passé, de nombreuses études sur l'habitat ont quantifié et décrit l'habitat par un échantillonnage intensif de la végétation combiné avec des informations spatiales dérivées de la détection à distance. Décrire les caractéristiques de l'habitat nécessite des estimations de la physionomie de la végétation (structure) et de la composition de la communauté, qui sont tous deux au centre de continuum écologique débats sur l'importance relative de chacun pour déterminer la qualité de l'habitat des oiseaux (Rotenberry, 1985; Fleishman *et al.*, 2003; Benyakoub, 1993; Walker, 2008; Muller *et al.*, 2010; Mostefai, 2011; Menea *et al.*, 2016). Pour l'instant, les résultats d'un grand nombre d'études d'habitat sur les écosystèmes forestiers sont souvent spatialement grossiers et manquent de précision dans la description de la structure verticale de la végétation, qui peut être critique dans la détermination de la qualité de l'habitat des oiseaux (MacArthur et MacArthur, 1961; Williamson, 1971; Anderson et Shugart, 1974; Rotenberry, 1985; Reid *et al.*, 2004; Diaz, 2006).

C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail de thèse qui a pour objectif essentiel de connaître la structure du peuplement avifaunistique de cet écosystème forestier et de déterminer comment cette structure est liée à la celle du peuplement forestier local et aux arrangements spatiaux à plus grande échelle.

Aussi notre humble travail réalisé de 2013 à 2014 se voit une contribution à l'enrichissement du plan de gestion de la future aire protégée de la Wilaya de Souk-Ahras et plus particulièrement de la forêt domaniale de Boumezrane. Jusqu'alors cette dernière n'a bénéficié d'aucune étude spécifique sur l'avifaune, malgré l'importance du site qui est une curiosité naturelle par son aspect écologique faisant d'elle un complexe paysager abritant une diversité biologique importante, notamment avifaunistique.

Malgré la disponibilité de plusieurs études valorisant la richesse floristique et faunistique de la région de la Numidie, il n'existe généralement, que peu de travaux publiés, qui ont fait l'objet d'une étude fine sur la relation de l'avifaune forestière avec son milieu où les thèmes ont été focalisés sur:

- *L'analyse de la dynamique de l'avifaune forestière le long de la succession végétale dans la région Annaba - El Kala* (Benyacoub, 1993).
- *L'inventaire et l'étude des paramètres de composition et de structure de l'avifaune nicheuse dans les différents milieux forestiers de la Kabylie de Babors* (Bellatreche, 1994).
- *L'étude la biodiversité des oiseaux dans les milieux forestiers, steppiques et agricoles de la région de Tlemcen et l'identification de l'impact de la dégradation des habitats sur l'avifaune dans les deux premiers milieux* (Mostefai, 2011).
- *L'inventaire des oiseaux d'eau* (Houhamdi et Samraoui, 2002; Samraoui et Samraoui, 2008).
- *Le suivi comportemental de quelques espèces : d'anatidé du lac des oiseaux* (Houhamdi et Samraoui, 2001; 2003).
- *La reproduction* : des anatidés (Boumezbeur, 1993) ; de foulque macroule (Rizi *et al.*, 1999); de Guifette moustac; de Héron garde boeuf et Aigrette garzette (Darmellah, 1990 et Samraoui *et al.*, 2007) et de Ibis falcinelle (Belhadj *et al.*, 2007; Bouchecker *et al.*, 2009).

L'étude des oiseaux forestiers, en Algérie se résume essentiellement à la caractérisation de l'avifaune ou à l'écologie de reproduction des espèces ou simplement des observations ponctuelles:

- *De nidification* : dans le Lac Halloula et Fezara (Heim De Balsac et Mayaud, 1962 *in* Isenmann et Moali, 2000; Chalabi *et al.*, 1985) ; à la Macta (Makatsch, 1957; Metzmacher, 1979); à Réghaïa (Jacob *et al.*, 1979) le lac Tonga : nidification probable 45 ex. comptés ou l'effectif peut être bien supérieur, Gareat El Mekhada : possible nicheur (Van Dijk et Ledant, 1983), et dans la région d'El Kala, en 1990 par Chalabi et Hafner avec 70 couple (Isenmann et Moali, 2000). Avec une information sans détail de la grandeur de ponte de 5 à 6 oeufs noté par (Heim De Balsac et Mayaud, 1962).

· *De passage* : à Jijel et au Kabylie (Moali, 1999), à Ouargla, Timimoun, Tougourt, El Goléa et hamada de Tinrhert (Heim De Balsac et Mayaud, 1962; Haas, 1969).

C'est la raison pour laquelle nous avons tenu à donner un plus à ces recherches en apportant notre modeste contribution pour une connaissance approfondie de la richesse avifaunistique de notre milieu et ses exigences en matière d'habitats.

Ce travail s'articule sur trois chapitres interdépendants:

Le chapitre 1 relative aux considérations générales traite en premier lieu la biodiversité et ses mesures, ainsi l'habitat et les composantes d'évaluation écologique. Puis, la dynamique des biocénoses forestière. Ce chapitre présente aussi le cadre conceptuel de notre thèse.

Le chapitre 2 est réservé à la description succincte de la Wilaya de Souk-Ahras et du site d'étude (Forêt domaniale de Boumezrane): localisation géographique, relief et géologie, réseau hydrographique, paramètres climatologiques, pédologie. Les matériels utilisés sont précisés et les méthodes d'étude décrites et énumère la technique d'échantillonnage des espèces d'oiseaux. Le point qui suit fait mention de l'analyse statistique de nos données.

Le chapitre 3 est divisé en quatre parties, la première et la deuxième partie abordent l'étude de la réponse des oiseaux nicheurs aux facteurs de l'habitat en zénaie et en subéraie. Elles traitent d'abord la classification systématique des espèces aviaires et les indices écologiques de composition puis les indices écologiques de structure ainsi que les guildes trophiques et la qualité d'échantillonnage dans les deux peuplements. Le dernier point de ces deux parties relatif à l'analyse statistique multivariée et la modélisation de la composition et la distribution des assemblages avifaunistiques. La troisième partie est relative à l'étude comparative des assemblages avifaunistiques associés aux deux types d'habitat (chêne zeen et chêne liège).

La quatrième partie Discussion est consacrée au traitement des résultats obtenus dans ce présent travail.

Enfin, cette étude se termine par une Conclusion qui prend en compte, l'essentiel des résultats obtenus au cours de ce travail.

BIODIVERSITE & CADRE
CONCEPL DE LA THESE

Chapitre 1 – Biodiversité et cadres conceptuel de la thèse

1. Biodiversité

1.1. Vu d'ensemble historique

Selon Möbius (1877), la biocénose a été définie simplement comme « une communauté d'êtres vivants se trouvant en un lieu donné », sans aller plus loin sur la taille de l'habitat physique utilisé (biotope) ni sur les relations fonctionnelles internes à cette communauté. Möbius (1877) perçoit la forêt comme un écosystème formé de relations complexes, ne se limitant plus au seul lien des arbres avec leur substrat. En 1931, le zoologiste Russe Beklemishev identifie la biocénose à une sorte d'organisme, car, elle en présente les mêmes attributs : une structure organique (hiérarchisée), une stabilité malgré les perturbations et un flux constant de matières, individualisation des parties collaborant pour former le tout. Recemment, dans son livre 'l'écologie forestière', Otto (1998), reprend et développe ce concept d' « organisme forêt ». Dès le début du XXe siècle, les chercheurs européens développent l'étude des biocénoses et en font une science, la « biocénologie » ou « biocénotique ». En 1947, le hollandais Bruyns propose de définir la biocénose comme « la plus petite communauté viable, caractérisée par des espèces se perpétuant dans une composition biologiquement équilibrée et peuplant au moins pendant une période de végétation un milieu écologiquement homogène ». Aujourd'hui, tout écosystème est considéré comme deux entités «biocénose et biotope » intimement liés par des influences réciproques. La biocénose est formée de nombreuses populations en interaction, groupées en guildes (ensemble d'espèces exploitant un même type de ressources (Kimmins, 1997; Wilson, 1999).

Le concept de diversité biologique est apparu dans les années 1970 mais n'a fait l'objet de publications scientifiques qu'à partir de 1980. La contraction « biodiversité » a été pour la première fois introduite par Wilson en 1986, à l'occasion du forum national américain sur la diversité biologique. Elle a eu immédiatement du succès et est mondialement utilisée depuis la conférence de Rio. En avril 1994, elle se trouvait déjà dans 888 articles et livres scientifiques (Dajoz, 1996).

1.2. Definition générale

La notion de la biodiversité est maintenant largement diffusée, cependant, il peut être utile de préciser ce concept. La définition de la biodiversité est simple : « la diversité de la vie sous toutes ses formes et à tous les niveaux d'organisation ». Ces niveaux d'organisation sont généralement divisés en trois: *la diversité génétique*, *la diversité spécifique* et *la diversité écosystémique*. La diversité génétique réfère à la variation intraspécifique des gènes des individus à l'intérieur d'une même population et entre différentes populations. La diversité spécifique correspond à la richesse des espèces et aux changements de composition des espèces dans un habitat. Enfin, la diversité écosystémique réfère à la variation des structures des écosystèmes et des types d'habitats (Hunter, 1999).

Noss (1990) a proposé un schéma conceptuel permettant d'appréhender le concept de biodiversité dans sa globalité, et selon lui, la diversité biologique recouvre plusieurs dimensions et différents niveaux d'organisation. Les dimensions sont la structure, la composition et le fonctionnement (Fig. 1).

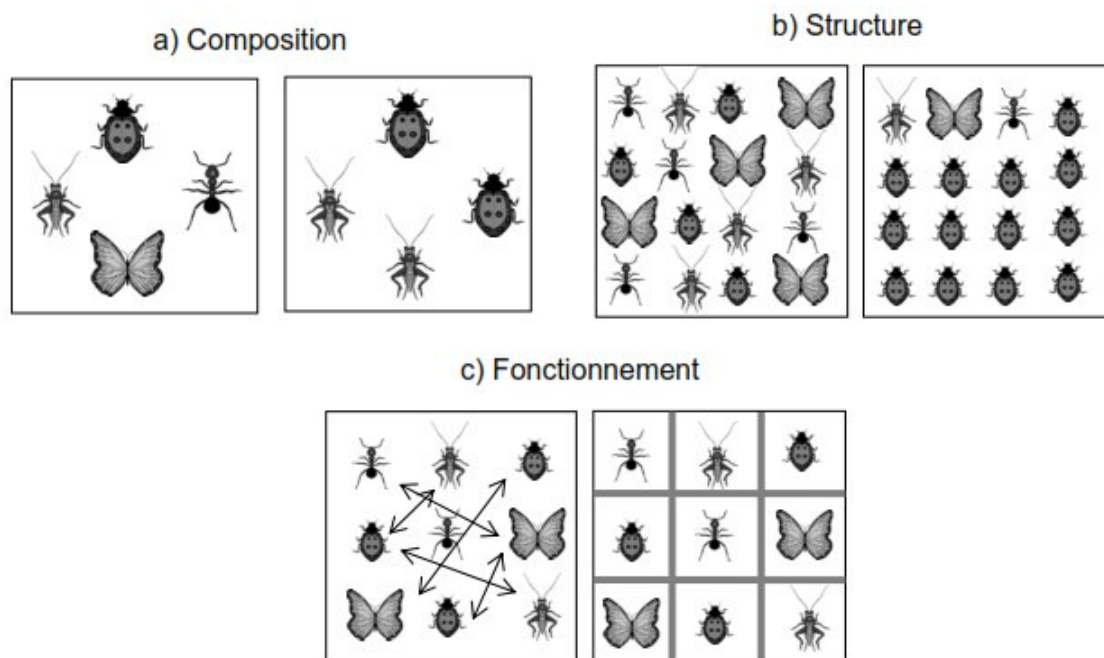


Figure 1 – Illustrations des différentes composantes de la biodiversité; dans chaque cas, le carré de gauche présente une biodiversité plus importante que celui de droite (Noss, 1990)

La composition correspond à la représentation la plus immédiate et est relative au nombre d'espèces. Cependant, une même richesse en espèces peut correspondre à des abondances relatives très différentes de chacune d'entre elles.

Une plus grande équitabilité d'abondance entre les espèces traduit une diversité plus importante. Ceci peut également se comprendre par le fait qu'il y aura potentiellement d'autant plus de relations entre les espèces que leur abondance est relativement similaire; ce constat conduit à cette troisième composante de la biodiversité: le fonctionnement. Finalement, plus encore que le nombre d'espèces, c'est l'importance des relations entre les espèces qui importe dans le cadre des enjeux de la biodiversité et les niveaux d'organisation de la population, de la communauté, du paysage et de la région.

Ainsi, les niveaux d'organisation de la biodiversité se rattachent aux branches fondamentales de l'écologie: l'écologie des organismes, l'écologie des populations, l'écologie des communautés et l'écologie du paysage (Fig. 2).

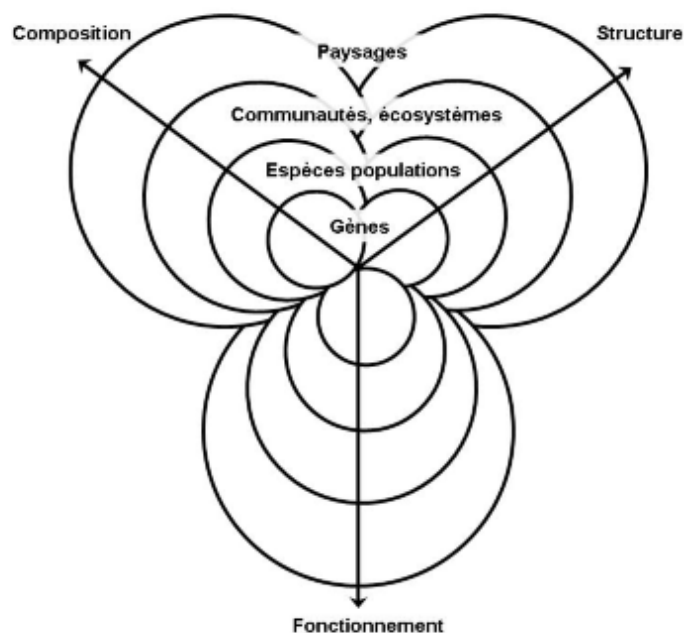


Figure 2 – Représentation schématique des trois composantes de la biodiversité (composition, structure et fonctionnement), chacune se déclinant à de multiples niveaux d'organisation. Noss (1990).

1.3. Mesures de la biodiversité

1.3.1. Indices de diversité

Depuis long temps, beaucoup de recherches sur la diversité biologique ont souvent visés la diversité spécifique (Cardinale *et al.*, 2002), afin de decrier les indices numériques d'une communauté. Bien que leur valeur fasse régulièrement l'objet de débats. Cousins (1991) classe les indices en « cardinaux » et « ordinaux ». Ceux du premier groupe traitent toutes les espèces comme égales, tandis que ceux du second produisent une représentation de la diversité basée sur la différence entre les espèces pour un ou plusieurs caractères (abondance, taille, valeur patrimoniale, ... etc.). Deux exemples bien connus d'indices cardinaux sont la richesse spécifique et l'indice de Shannon-Weaver (mesure d'hétérogénéité). L'équitabilité de l'abondance des espèces, la courbe de rang d'abondance des espèces (Magurran, 1988) et les indices basés sur le spectre des tailles des espèces sont des exemples d'indices ordinaux.

1.3.2. Composition des communautés

Les indices de diversité ne permettent en aucun cas d'appréhender la composition des communautés – autrement dit la *nature* des espèces coexistant dans l'habitat étudié, alors que cet aspect est fondamental. En effet, la richesse spécifique, l'équitabilité et l'abondance totale d'une communauté peuvent rester stables tandis que les espèces qui la composent changent. Cette évolution peut être analysée par une suite de listes d'espèces. Mais la lecture conjointe de ces listes est lourde. Certains écologues se sont attachés à définir une typologie de communautés, en suivant les principes établis par les phytosociologues. Mais cette approche garde un caractère arbitraire et son utilisation impose de faire des choix parfois assez subjectifs.

Des méthodes numériques ont donc été mises en place à partir des années 1960. Il s'agit essentiellement des classifications et des ordinations (Jongman *et al.*, 1995), dont nous parlerons dans le chapitre 2. Ces méthodes permettent de comparer les communautés associées à différents habitats, de suivre l'évolution d'une communauté (dite « trajectoire écologique ») et de relier des communautés à des facteurs de milieu.

1.3.3. Structure écologique et aspects fonctionnels

La structure écologique d'une communauté est la répartition des espèces et des individus dans l'espace (ex: structure verticale de la végétation), mais aussi selon les types fonctionnels,

définis par les traits de vie des espèces (ex: guildes, type trophique et phénologie). Pour Huston (1998), la diversité des types fonctionnels et le nombre d'espèces par type fonctionnel sont les deux composantes de base de la biodiversité, la richesse spécifique et la structure écologique de la communauté pouvant s'en déduire. La description de la structure des communautés fait donc partie de l'évaluation de la biodiversité d'une forêt ou d'un paysage. Divers indices pour caractériser la structure des communautés ont été proposés. Pour les communautés végétales, les plus simples sont par exemple le nombre de strates verticales et la diversité des formes biologiques (Benyakoub, 1993).

Pour les communautés animales, le sex-ratio et la distribution des âges ou des stades de développement sont souvent utilisés (Meffe et Carroll, 1994). A l'heure actuelle, les méthodes d'ordination sont également utilisées pour caractériser et comparer les structures écologiques des communautés.

1.3.4. *Espèces clés, ombrelles, sensibles et de valeur patrimoniale et spécialiste*

Comme nous l'avons mentionné précédemment, les indices ordinaux sont basés sur les différences entre espèces d'une communauté pour un ou des caractères choisis, ils attribuent cependant à toutes les espèces observées un poids équivalent. Or, Thompson et Angelstam (1994) supposent que certaines espèces occupent une fonction centrale dans les communautés.

Par ailleurs, les menaces pesant actuellement sur la biodiversité poussent l'écologie à attribuer à certaines espèces rares ou menacées une importance spéciale.

1.3.4.1. Une espèce-clé (« keystone-species »)

Une espèce-clé est une espèce dont la disparition entraîne une réorganisation profonde des interactions entre espèces de la biocénose dont elle faisait partie. Dans l'exemple initialement donné par Paine (1966), la disparition d'un prédateur résultait en des changements importants dans les abondances relatives des espèces proies et en compétition avec le prédateur. Mais la définition actuelle est plus large. C'est ainsi la quantité d'interactions ou de liens entretenus par l'espèce avec les autres qui fait la particularité des espèces clés (Thompson et Angelstam, 1999).

Par exemple, les pics sont de bonnes espèces clés car leur activité peut engendrer la présence d'autres espèces grâce à la formation de cavités dans les arbres (Delahaye, 2006).

1.3.4.2. Les espèces ombrelles (« umbrella-species »)

Les espèces ombrelles sont des espèces dont la présence est généralement associée à celle de nombreuses autres, sans nécessairement entretenir avec elles des liens fonctionnels (Simberloff, 1998; Hunter, 1999). Leur intérêt en termes de conservation de la nature est évident. Un exemple d'espèce ombrelle, certains pics seraient également des espèces ombrelles selon les résultats de Martikainen *et al.* (1998) et de Mikusinski *et al.* (2001). Lambeck (1997) et Angelstam et Mikusinski (1994) ont considéré que le pic mar (*Dendrocopos medius*) est une espèce parapluie et une espèce clé dont les exigences en termes d'habitat rencontrent celles d'une majorité d'espèces de notre avifaune forestière. Le pic mar est une espèce très exigeante au vu des propriétés qui sont requises pour son site de nidification et ses sites de nourrissage.

Outre la sélection d'une essence particulière, les exigences de l'espèce incluent également des arbres d'une certaine grosseur, et donc d'un certain âge, et des conditions au niveau du substrat d'alimentation. Cependant, la recherche des espèces ombrelle est difficile et les listes vérifiées sont encore maigres (Fleishman *et al.*, 2001).

1.3.4.3. Les espèces sensibles et de valeur patrimoniale

Certaines espèces sont particulièrement sensibles à la perturbation de leur habitat. Par exemple, de nombreuses espèces d'oiseaux sont très sensibles à la fragmentation de la forêt (Blondel, 1995; Bellamy *et al.*, 1996). Les chiroptères sont très vulnérables en hiver, du fait de leur métabolisme ralenti. De ce fait, la perturbation de leur habitat à cette période leur est souvent fatale. Certains insectes ont des exigences très précises, allant jusqu'à l'obligation de disposer d'une espèce végétale précise pour le stade adulte et d'une autre pour la phase larve.

Des mesures particulières sont à prendre pour conserver ces espèces exigeantes, qui sont par ailleurs souvent menacées. Enfin, dans une région précise, les menaces pesant sur les espèces sont inégales. Certaines sont au bord de l'extinction ou en nette régression tandis que d'autres sont stables voir, en progression. Les efforts de conservation devront bien évidemment en priorité améliorer les habitats des premières. Dans l'analyse des liens entre pratiques de gestion et biodiversité, une attention spéciale doit donc être donnée à ces espèces particulières.

1.3.4.4. *Espèce spécialiste*

La notion d'espèce spécialiste découle de la théorie des niches écologiques. La niche écologique synthétise toutes les interactions (positives ou négatives) entre une espèce et son environnement. Toutes les conditions (biotiques, abiotiques, trophiques) permettant à une espèce de maintenir des populations viables définissent sa niche écologique. Cependant, deux espèces ne peuvent coexister si elles possèdent exactement la même niche écologique (principe d'exclusion de Gauss) (Krebs, 2000). Il en résulte que, par les interactions entre espèces, l'évolution tend à différencier les niches soit par déplacement des besoins écologiques soit par variations de la largeur de niche. Ainsi les espèces diffèrent dans leur largeur de niche, conduisant donc à des espèces spécialistes ayant une niche écologique étroite et des espèces généralistes ayant une large niche écologique, ou plus exactement, à des espèces plus ou moins spécialistes ou plus ou moins généralistes.

- *Comment peut-on mesurer la spécialisation des espèces?*

Pendant très longtemps l'étude de la spécialisation des espèces était analysée en classifiant les espèces comme étant soit spécialistes soit généralistes, néanmoins cette approche n'est pas adaptée car la spécialisation des espèces est un processus continu (Berenbaum, 1996). Idéalement, la spécialisation devrait être mesurée en considérant toutes les dimensions d'une niche écologique.

Or en pratique, la quantification de la spécialisation dépend du type d'espèce considéré par exemple la spécialisation de Pouillot siffleur (*Phylloscopus sibilatrix*) vis-à-vis de l'habitat des chênaies à canopée fermée avec peu de sous-bois (Bibby, 1989) ou la longueur de la trompe chez les bourdons (Goulson et *al.*, 2005). Il est vrai que selon les modèles biologiques ou les contraintes expérimentales, il est parfois impossible ou trop difficile de travailler sur un gradient de spécialisation.

Cependant, les espèces présentent différents degrés de spécialisation, et il existe un indice robuste d'évaluation du degré de spécialisation face à l'habitat: l'Indice de Spécialisation des Espèces (SSI : Specialization Species Index) (Clavel, 2007).

1.4. Définition d'un habitat

Le concept de l'habitat est l'une des questions centrales de la conservation et de la gestion de la biodiversité. Selon Hall *et al.* (1997), un habitat est un ensemble des conditions et ressources présentes dans une zone conduisant à la présence, l'occupation (pour la survie ou la reproduction) d'un organisme vivant. Elle regroupe aussi, à la fois les caractéristiques physiques, biologiques et sociales de l'habitat (Fig. 3).

L'habitat physique regroupe les caractéristiques abiotiques d'un milieu, telles que *la température, l'humidité, la salinité, la photopériode, la topographie et l'altitude* mais aussi des caractéristiques biotiques comme *la structure de la végétation* (densité, hauteur, composition spécifique, pourcentage de sol nu, etc.) qui constitue un milieu particulier pour les animaux terrestres. L'habitat biologique, comme son nom l'indique, concerne les caractéristiques biotiques du milieu et plus particulièrement *les relations entre proies et prédateurs ou entre plantes et herbivores*.

HABITAT		
<i>Composante physique</i>	<i>Composante biologique</i>	<i>Composante sociale</i>
<p><u><i>Facteurs abiotiques</i></u></p> <p>Température Humidité Altitude</p> <p><u><i>Structure de la végétation</i></u></p> <p>Composition spécifique Densité Hauteur Pourcentage de sol nu</p>	<p><u><i>Intéraction proies-prédateur</i></u></p> <p>Abondance des proies et prédateurs</p> <p>Distribution des proies et prédateurs</p> <p>Qualité des proies et prédateurs</p>	<p><u><i>Intéraction (compétition, coopération) intra- et inter-conspécifique</i></u></p> <p>Abondance des congénères et des individus d'autres espèces</p> <p>Distribution des congénères et des individus d'autres espèces</p>

Figure 3 – Description des composantes de l'habitat (Hall *et al.*, 1997).

Enfin, l'habitat social regroupe les relations entre individus d'une même espèce ou d'espèces différentes à travers *la vie en groupe* (pour la recherche alimentaire, la reproduction et le repos, (Inman et Krebs, 1987), la facilitation (Hurd, 1996; Hahn et Silverman, 2006) ou encore le mutualisme (Memmott *et al.*, 2007). L'aspect social de l'habitat prend également en compte *la compétition intra- et inter-spécifiques* (Rosenzweig, 1991) ou encore les relations *hôte-parasite* (Merino et Møller, 2010).

1.5. L'évaluation écologique

1.5.1. Indicateur biologique

L'évaluation de la qualité écologique d'un habitat est parfois possible par des mesures physiques simples, mais la portée de ces mesures sera généralement limitée. Par ailleurs, caractériser les biocénoses dans leur ensemble est utopique à l'échelle régionale. L'usage d'indicateurs biologiques se justifie donc dans bien des cas. Un taxon indicateur doit être sensible aux modifications de l'habitat et permettre de mesurer de manière répétée et continue, de mettre en évidence l'évolution du biotope ou de caractères d'autres taxons (Molfetas et Blandin, 1980; Bohac et Fuchs, 1991; Simberloff, 1998).

1.5.2. Des exemples d'indicateurs biologiques

Les oiseaux ont été très largement utilisés comme indicateur de la « qualité globale des biocénoses » (Lebreton et Pont, 1987), en raison du caractère intégrateur de l'avifaune (Blondel, 1995) mais aussi, de la rapidité des relevés de terrain nécessaires. En effet, la description des communautés d'oiseaux est relativement aisée, si l'on compare au travail considérable que demande généralement la collecte et la détermination des insectes, qui constituent pourtant plus de la moitié de la biodiversité forestière (Peterken, 1981). De plus, les oiseaux sont de grands régulateurs de l'entomofaune et de la flore. Cependant, lors de l'interprétation des résultats obtenus pour les oiseaux à l'échelle locale, on rencontre parfois des difficultés importantes, du fait principalement de la mobilité des oiseaux et de la taille souvent élevée de leur domaine vital.

Un autre exemple d'indicateurs biologiques, les carabidés, une superfamille de l'ordre des coléoptères. Ils sont très sensibles aux conditions écologiques (humidité, température, pH, lumière) et aux impacts des actions anthropiques (Hurka et Sustek, 1995).

Ils sont pour la plupart prédateurs, bien que quelques espèces aient une tendance phytophage ou polyphage. Si l'écologie des carabidés est désormais bien connue, la relation entre la gestion forestière et les communautés de carabidés est encore floue. De plus, les facteurs abiotiques n'ont en général pas été contrôlés dans le dispositif, de sorte que l'interprétation des résultats est difficile.

De plus, la grande famille des staphylins (insectes coléoptères) peut être considérée comme un groupe sensible et indicateur des influences humaines, malgré la plasticité de beaucoup de ses espèces (Sustek, 1995). La majorité des staphylins sont des prédateurs de petits invertébrés vivant dans la litière, les champignons ou le bois pourri, les excréments et parfois les nids de vertébrés.

1.5.3. Des systèmes d'évaluation écologique

L'évaluation écologique est utilisée pour évaluer ou simuler l'impact d'opérations d'aménagement et pour suivre la qualité écologique des habitats d'une région donnée. La détermination de la richesse spécifique et de la liste des espèces de valeur patrimoniale d'un lieu donné ne suffit pas. Tous les attribus de la biocénose devraient être considérés. Une distinction claire doit toujours être faite entre l'état de l'écosystème et l'évaluation humaine de cet état, qui n'a de sens que dans un contexte socio-économique et culturel donné. On peut ainsi distinguer la valeur conservatoire (ou patrimoniale) des sites de leur valeur naturelle (ou « naturalité ») (du Bus de Warnaffe et Devillez, 2002). De la même manière, l'évaluation est différente selon l'échelle spatiale considérée. Des critères et indicateurs sont alors établis selon l'objectif de l'évaluation, afin que les choix d'aménagement puissent être pris en pleine conscience.

2. Dynamique des biocénoses forestières

2.1. Les successions écologiques

2.1.1. Définitions

Selon Clements (1916), la succession est à la fois la séquence de communautés de tous types occupant successivement un site pendant une période donnée, et le processus par lequel ces communautés se succèdent (Kimmins, 1997). Sa durée est variable, d'un siècle à plusieurs millénaires.

Les successions *primaires* ont lieu sur des substrats dépourvus de matières organiques et les successions *secondaires* sur des substrats ayant déjà été plus ou moins intensément et longtemps colonisés par des organismes vivants. Les recolonisations spontanées de coupes forestières sont des exemples typiques de successions secondaires. L'observation de la dynamique temporelle de la végétation a amené les écologues aux notions de séries progressive et régressive. La première mène à un état de complexité maximale appelé climax, supposé en équilibre avec le biotope, tandis que la seconde ramène le système à un état antérieur, généralement plus simple (Kimmins, 1997). On a observé par exemple dans la région méditerranéenne le passage de chênaies à des maquis puis des pelouses, suite au feu et au surpâturage (Bond, 2000; Benyakoub, 1993, Djama et Massoudène, 2009; Mostefai, 2011). Aujourd'hui, le processus s'inverse dans de nombreux endroits suite à la déprise rurale, à tel point que les écologues se préoccupent de la survie des espèces de milieux ouverts (Collectif, 1999).

2.1.2. Successions végétales et communautés animales

Outre leur intérêt fondamental qui consiste précision des exigences écologiques des espèces, les études sur la faune associée aux différents stades des successions devraient permettre au forestier de connaître les espèces, les familles et les groupes écologiques probablement les plus courantes dans ses parcelles, aux différents stades de leur évolution. Etudier la faune associée aux successions est donc indispensable si l'on veut tenir compte de la biodiversité dans l'aménagement et les opérations forestières. Dans le domaine des relations entre les espèces animales et leur habitat, les oiseaux ont été les premiers et les plus étudiés. L'anglais Lack publiait déjà en 1933 et 1939 deux études portant sur l'avifaune et en 1944, Kendeigh proposait un système d'étude rigoureux des populations d'oiseaux. Mais on peut considérer que l'exploitation scientifique des relevés d'avifaune a vraiment pris son essor dans les années soixante (McArthur et McArthur, 1961). Dans les années 1970 et 1980, les études sur la relation entre succession forestière et communautés d'oiseaux se sont multipliées.

Ces études ont largement démontré que la richesse spécifique et la composition des communautés d'oiseaux sont liées au stade de la succession, soit à l'âge moyen ou à la hauteur moyenne du peuplement ligneux. Schématiquement, la courbe de richesse et d'abondance présente une bosse initiale entre 3 et 10-15 ans, puis un creux prononcé entre 15 et 30-40 ans, suivi d'une lente croissance continue après 40 ans (Müller, 1985), les limites d'âges variant

évidemment selon le type de forêt concerné. Des courbes comparables ont été obtenues pour la succession du chêne en Bourgogne (Ferry et Frochot, 1976) et en Algérie (Benyakoub, 1993) et celle de l'épicéa en Angleterre (Patterson *et al.*, 1995), en Finlande (Haapanen, 1965) et en Belgique (Deceuninck et Baguette, 1991), bien que les proportions des différentes familles soient variables. L'évolution des communautés entraîne une nette évolution des différentes catégories écologiques d'oiseaux en fonction du stade de la succession: proportion de sédentaires et de migrants, spectre des espèces nichant ou s'alimentant spécifiquement dans les différentes strates de végétation, des espèces granivores et insectivores ... etc (Müller, 1985). Blondel a montré à plusieurs reprises l'existence de phénomènes de convergence écologique des communautés d'oiseaux, en France et ailleurs (Blondel *et al.*, 1984; Blondel et Farré, 1988; Blondel, 1991).

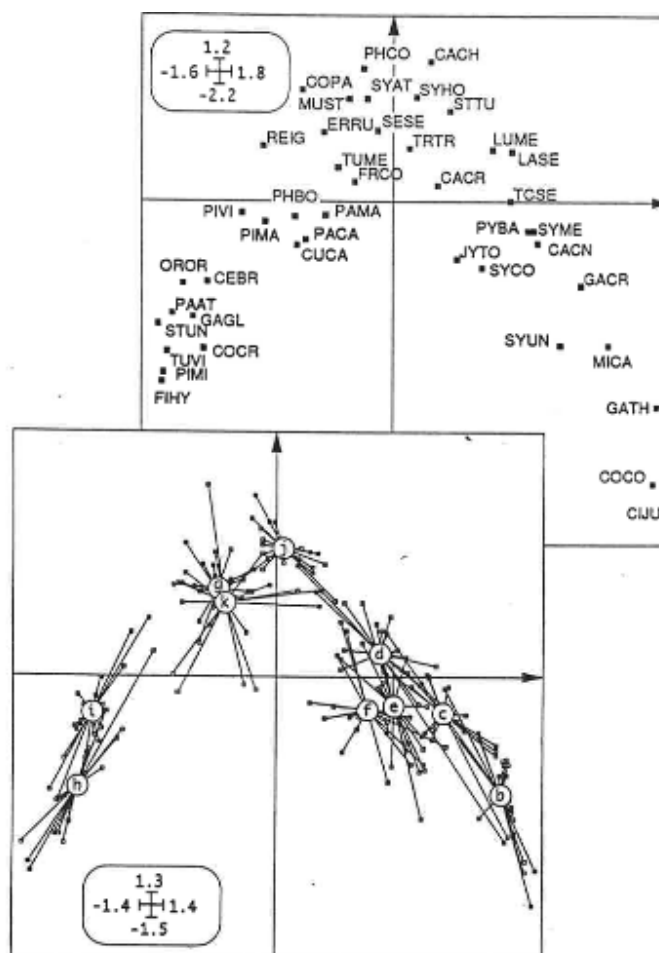


Figure 4 – Relation avifaune-milieu le long d'un gradient de succession végétale (Benyakoub, 1993).

La figure 4 montre par exemple la concordance entre les variables du milieu et la composition des communautés, étudiée par une analyse canonique des correspondances sur base d'Indices Ponctuels d'Abondance réalisés dans des parcelles forestières de chênes. C'est le travail de Benyakoub (1993) au nord-est de l'Algérie qui montre, entre autres, que le phénomène successional a mis incontestablement en relief, l'influence de la physionomie du milieu sur la structure des peuplements d'oiseaux.

Nous y notons l'architecture globale de la relation avifaune-milieu, c'est-à-dire une ordination de l'avifaune à travers les strates dans le sens maquis bas – maquis haut – forêt, ou le long d'un gradient de succession végétale.

3. Cadre conceptuel de la thèse

Comment réagissent les oiseaux face à la structure de la forêt, à la hauteur du peuplement par exemple, au diamètre de plus gros arbre, au nombre de gros bois, à la présence de sous-bois, au nombre d'arbres à cavités, à l'altitude? L'étude des variations de la richesse et de la composition des communautés d'oiseaux en fonction de la composition et aux facteurs de l'habitat à l'échelle du peuplement de chêne, permet de répondre en partie à cette question.

Pour cela, notre étude passe par une analyse à l'échelle de la station, qui est la plus petite unité du territoire, où, à l'échelle d'un taxon donné, se trouve réunie une fraction des espèces du peuplement. La station correspond à un échantillon et, dans notre travail, à chaque point d'écoute inventorié. La station a une signification biologique importante car c'est l'espace dans lequel les espèces entretiennent des relations de voisinage et se situent les unes par rapport aux autres pour se partager des ressources en fonction des interactions qui les relient (Blondel, 1995).

Les modèles développés pour expliquer la richesse spécifique d'une communauté se distinguent par le type de facteurs qu'ils invoquent: facteurs écologiques, historiques ou évolutifs. Ces facteurs sont caractérisés par leur caractère déterministe ou aléatoire ainsi que par leur échelle d'action spatio-temporelle. Chaque modèle mettant l'accent sur un type particulier de facteurs, il repose dès lors soit sur une vision statique, soit dynamique de la communauté (Delahaye, 2006). Les communautés d'oiseaux forestiers sont potentiellement définies par un nombre important de facteurs comprenant notamment la position géographique, les caractéristiques paysagères, le stade de développement, la structure du peuplement et la

composition ligneuse (Wiens, 1989; Fuller, 1995). La richesse spécifique locale rend compte des interactions entre les espèces et les caractéristiques de l'habitat, c'est-à-dire des facteurs écologiques agissant à l'échelle de la communauté (Blondel, 1995).

L'explication de la coexistence des espèces à l'échelle de la communauté à l'aide de la théorie de la niche a été formulée par MacArthur (1972): une communauté tend à inclure d'autant plus d'espèces que le spectre des ressources disponibles est grand et que chaque espèce est spécialisée, utilisant une portion étroite de ce spectre. Cette théorie fait l'hypothèse d'une communauté en équilibre, composée d'espèces qui ont évolué ensemble suffisamment longtemps pour que la compétition interspécifique aboutisse à la séparation des niches, séparation considérée comme indispensable à la coexistence des espèces. Selon la théorie de la niche, les ressources sont donc supposées déterminer le nombre d'espèces qui peuvent se développer dans l'habitat. De fait, l'augmentation à l'échelle locale de la richesse spécifique avec la surface (Connor et McCoy, 1979; Boecklen, 1986) peut s'expliquer par l'augmentation de la quantité et de la qualité des ressources par le biais de l'augmentation de la surface et de l'hétérogénéité spatiale de l'habitat (Anderson et Robbins, 1981; He et Legendre, 2002)

Les modèles issus de la théorie de la niche écologique reposent sur la variabilité spatiale de l'habitat, supposant des communautés à l'équilibre dont la richesse exprime l'action conjointe des interactions interspécifiques et des facteurs de l'environnement (Gimaret-Carpentier, 1999). Ils reposent sur une vision statique de la communauté, dans sa composition et dans sa richesse.

La distribution et la répartition des oiseaux forestiers sont fonction de la disponibilité de ressources alimentaires et de sites propices à la nidification, qui sont à leur tour fonction de la structure et de la composition de l'habitat. La disponibilité en ressources alimentaires est selon Bellamy *et al.* (1996) de loin le meilleur prédicteur de la structure des communautés d'oiseaux, mais elle est difficile à quantifier. Certaines caractéristiques de l'habitat, qui sont plus faciles à quantifier, sont dès lors utilisées pour étudier les relations oiseaux-habitat. C'est le cas des paramètres de configuration structurale ou de composition florale de l'habitat (Wiens, 1989).

Nos matrices de peuplements du chêne zeen et du chêne liège de la forêt domaniale de Boumezrane fournissent un avantage d'étudier les facteurs de l'habitat qui influencent la composition et la richesse des communautés d'oiseaux nicheurs ainsi que les effets de la composition locale des chênaies (type d'habitat) sur les oiseaux.

▪ **Objectif de la these:**

Ainsi, notre travail a précisément pour objectif :

- 1) D'évaluer la richesse de l'avifaune de la forêt domaniale de Boumezrane.
- 2) De savoir à quels paramètres de structure de la végétation, les espèces d'oiseaux sont liées pour établir par la suite les facteurs du milieu les plus déterminants pour l'abondance, la richesse et la diversité des oiseaux.
- 3) D'évaluer les contributions des différents types d'habitats (Chêne zeen ou chêne liège) au maintien de la diversité biologique régionale. Cette étude s'attachera à comparer le deux peuplements de chêne et leurs communautés d'oiseaux.

Pour atteindre ces objectifs notre étude requiert à la fois des jeux de données et des analyses statistiques différentes. Les résultats sont composés de trois parties : réponse des oiseaux nicheurs aux facteurs de l'habitat à travers un gradient de structure de la zénaie de Boumezrane; réponse de l'avifaune nicheuse de la subéraie de Boumezrane le long de la structure verticale de la végétation et les effets de type d'habitat forestier sur les communautés d'oiseaux de la zénaie et de la subéraie de cette forêt.

MATERIEL & METHODES

Chapitre 2 – Matériel et méthodes

1. Site d'étude

La région d'étude est localisée dans le territoire de la wilaya de Souk-Ahras, plus exactement dans la commune de Ain Zana (36° 24' 02'' Nord et 8° 11' 28'' Est) (Fig. 5).

1.1. Présentation succincte de la Wilaya de Souk-Ahras

1.1.1. Localisation géographique

La wilaya de Souk-Ahras est localisée au Nord-est algérien. Elle est installée aux portes de l'Algérie en un passage naturel entre la Tunisie et le reste du pays (Keriem, 2013).

Elle est limitée:

- Au Nord-est par la wilaya d'El Tarf;
- Au Nord-ouest par la wilaya de Guelma;
- Au Sud par la wilaya de Tébessa;
- Au Sud-Ouest par la wilaya d'Oum-El-Bouaghi;
- A l'Est par la Tunisie.

La wilaya de Souk-Ahras s'étendant sur une superficie de 4359,65 km², ne présente que 0,18% de l'ensemble du territoire national. Elle est située à 77 Km de la wilaya de Guelma, à 100 Km de Annaba, à 134 Km de Tébessa et à 50 Km de la frontière Tunisienne (Zouaidia, 2006) (Fig. 5).

1.1.2. Relief et Géologie

De point de vue topographique le territoire de la wilaya de Souk-Ahras se scinde en deux parties (Keriem, 2013):

- La partie Nord à caractère montagneux faisant partie de l'Atlas Tellien. C'est une région montagneuse et forestière caractérisée par des pentes moyennes variant de 15% à plus de 20%.
- La partie Sud constituée de vastes plaines agricoles, de hauts plateaux de pâturage et des piémonts.

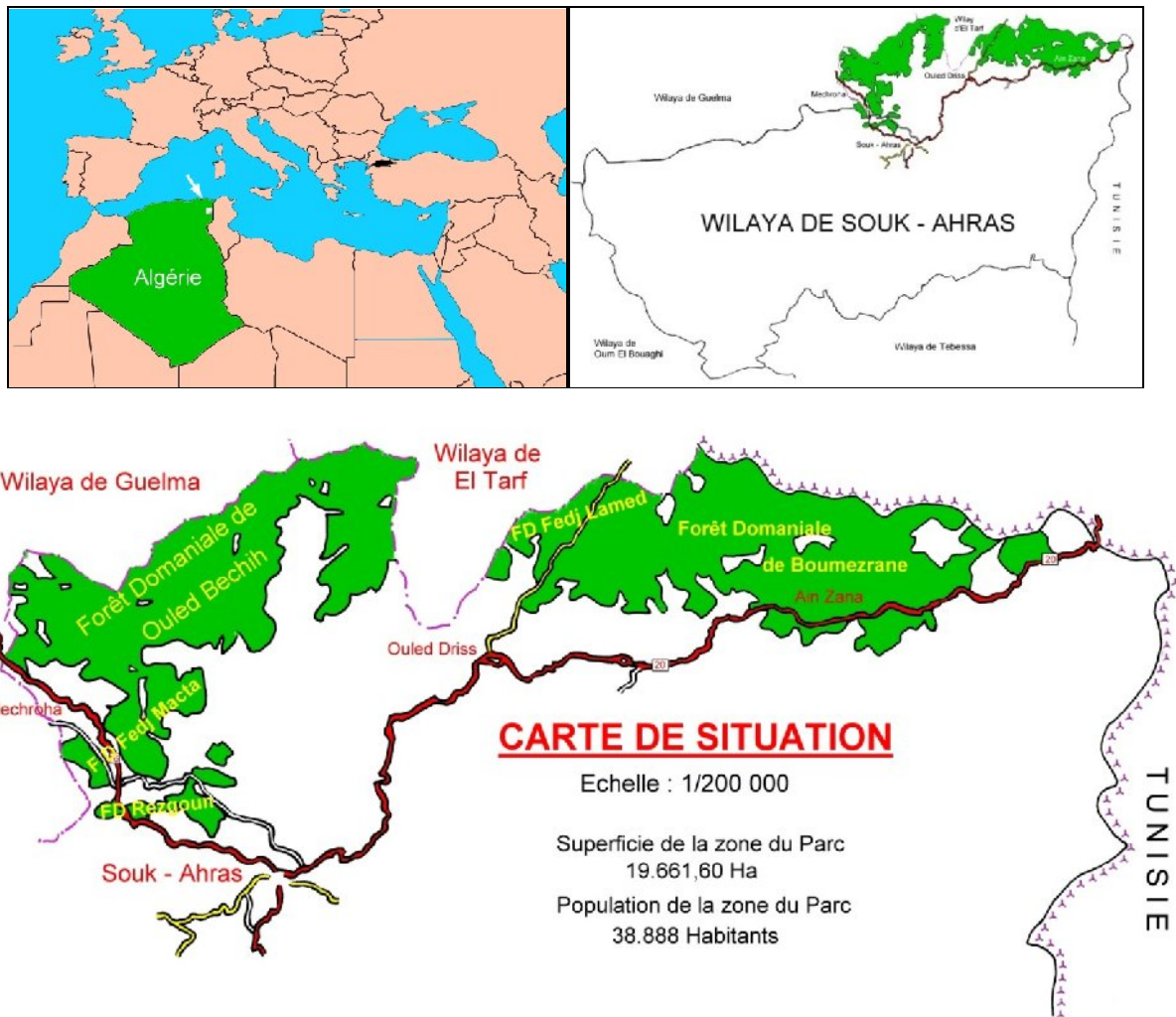


Figure 5 – Localisation géographique de la Wilaya de Souk-Ahras et ses forêts (Menaâ et al, 2016).

Elle se caractérise par un sol de faible profondeur plus ou moins dégradé et une faible pluviométrie. Selon la classification des pentes et du climat dominant, la wilaya de Souk-Ahras se caractérise par trois régions (Zouaïdia, 2006):

- a) Région Nord-est: région montagneuse présentant des pentes très rudes variant de 15% à plus de 20% et faisant partie de la chaîne Tellienne, et qui constitue le patrimoine forestier.
- b) Région Sud-ouest: région médiane constituée de piedmonts. Cette région est le prolongement des hauts plateaux, elle est caractérisée par de plaines agricoles et pâturage.

- c) Région Sud: les terres sont de vastes étendues caractérisées par un relief plat, le sol est dégradé et de faible profondeur aggravé par une exposition aux divers aléas climatiques de faibles pluviométries, c'est l'espace des hauts plateaux.

1.1.3. Réseau hydrographique

Bénéficiant d'une pluviométrie appréciable atteignant les 800 mm/an au Nord et 300 mm/an au Sud, la Wilaya dispose de ce fait, d'un réseau hydrographique susceptible par voie d'aménagements adéquats de disposer d'une réserve pouvant être utilisée pour promouvoir toute spéculation agricole nécessitant le recours à l'irrigation. Ce réseau, appartenant au bassin hydrographique Constantinois Seybouse-Mellegue (Fig. 6) d'où les bassins versants suivants correspondent: la Medjerda d'une superficie de 22000 Km² dont 1377 Km² se trouve dans la limite de la wilaya de Souk-Ahras, ce bassin est constitué essentiellement par Oued Medjerda et ses cinq affluents (Chouk, Djedra, Berriche, Ghnem et El Roul), avec un débit moyen de 400 Millions m³/an, il sillonne la Wilaya sur une longueur de 113,6 Km avant de se déverser dans le territoire Tunisien (www.abhcsm.dz).

Le second bassin versant, celui de la Seybouse, d'une superficie totale de 10064 Km², dont une partie de 18040 Km² se trouve à l'intérieur du territoire de la Wilaya, son réseau hydrographique est constitué par Oued Charef et ses trois affluents avec un débit moyen de 99 Millions m³/an, celui-ci conflue avec l'Oued Bouhamdane dans la wilaya de Guelma pour former l'Oued Seybouse. Le troisième bassin versant est celui de Mellegue, sa superficie totale dans les limites de la Wilaya est de 1442 Km² avec un débit moyen de 210 Millions m³/an. Il est à signaler que des ouvrages de mobilisation sont érigés à travers le territoire de la Wilaya, parmi lesquels deux (02) grands barrages totalisant une capacité de 239 Millions m³, le barrage de Ain Dalia et celui de Foum El Khenga (Menaar et Kouachi, 2007).



Figure 6 – Bassin hydrographique Constantinois Seybouse-Mellegue (www.abhcsm.dz).

1.2. Climat de la Wilaya de Souk-Ahras

Située sur les hauteurs de l'Atlas Tellien, la Wilaya est exposée aux influences climatologiques méditerranéennes au Nord d'une part, et désertiques au Sud d'autre part.

Le climat est caractérisé par un été chaud et sec de 25 à 35°C en juillet et aout, et un hiver froid et humide de 1 à 15°C en janvier. La moyenne des précipitations est de 650 mm/an au Nord qui sont réparties d'une manière régulière aux mois de mars, avril, et des pluies orageuses aux mois d'aout et septembre. Cela entraine de grosses quantités d'eau qui peuvent tomber en une seule journée et quantités (indéfinies) au cours d'un mois (Anonyme, 2015).

Au Sud, les hautes plaines sont caractérisées par un climat continental avec une pluviométrie variant entre 350 et 600 mm/an (Anonyme, 2015).

1.3. Caractéristiques climatiques

1.3.1. Température et pluviométrie

La plus grande quantité d'eau est enregistrée le mois de décembre (94,7mm). Entre le mois janvier et février la pluviométrie est presque la même, de même que pour le mois mars et avril. Alors que la pluviométrie annuelle elle est de 655,95mm (Tab. 1).

Pour les températures maximales (TM), la plus grande valeur est enregistrée au moins aout (33,39°C), quant à la plus petite valeur des températures minimales (Tm), elle est de 3,43°C.

Tableau 1 – Les différents paramètres climatiques enregistrés entre 1986 et 2015 (Anonyme, 2015)

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Pluviométrie annuelle
Pluviométrie (mm)	87,52	64,32	89	64,84	43,45	15,04	4,83	12,7	46,44	50,29	82,7	94,7	655,95
T max (C°)	11,65	12,42	15,51	24,6	23,77	29,25	33,32	33,39	28,06	23,57	16,8	12,3	
T min (C°)	3,43	3,5	5,46	7,37	11,06	15,19	18,26	18,95	15,98	12,47	7,87	5,5	
M+m/2(C°)	7,54	7,96	10,48	15,98	17,42	22,22	25,79	26,17	22	18,02	12,3	8,92	

1.3.2. Autres paramètres climatiques

- ✓ **Gelée:** On relève un certain nombre de jours de gelée blanche qui augmente qui sont plus prononcés sur les hauts plateaux. La moyenne est de 23 jours/an au Nord et 47 jours/an au Sud (Zouaidia, 2006).
- ✓ **Vent:** En hiver, les vents dominants sont ceux du Nord-Ouest et de l'Ouest chargés de pluies. En automne, les vents soufflants en direction de l'intérieur ont un rôle adoucissant de la température élevée de la région. Au printemps, la direction des vents est Nord-Ouest. Le sirocco est un vent secondaire toujours régulier soufflant du Sud-Ouest pendant quelques jours au cours de certains mois dont les plus importants sont : juin, juillet, août et septembre. Il souffle environ 20 jours/an (Zouaidia, 2006).
- ✓ **Humidité:** L'humidité de l'air est un facteur aussi important que les précipitations, tenant compte de l'apport qu'elle peut fournir aux plantes, pour la wilaya de Souk-Ahras la moyenne annuelle de l'humidité relative est de 70,25%. Le diagramme suivant nous montre la variation moyenne de l'humidité par mois de la dernière décennie, le mois le plus humide est le mois de février (81,83%) et le moins humide est aout avec un taux de 48,1% (Fig. 7)

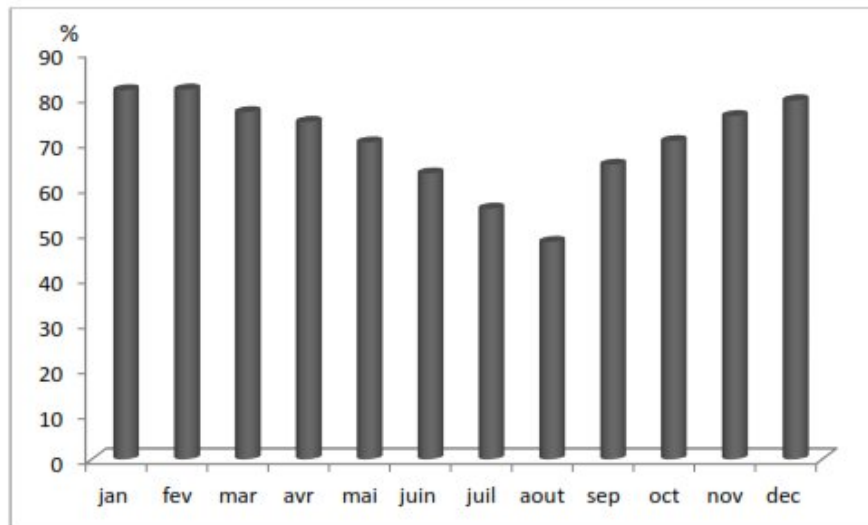


Figure 7 – Humidité moyenne par mois (2003-2015).

1.4. Synthèses bioclimatiques

1.4.1. Le diagramme ombrothermique

Le diagramme ombrothermique est obtenu en portant en abscisse les mois de l'année et en ordonnées les précipitations et les températures. Gaussen et Bagnouls admettent qu'un mois sec est lorsque les précipitations (en mm) sont inférieures à deux fois la température (en °C) (Fig. 8).

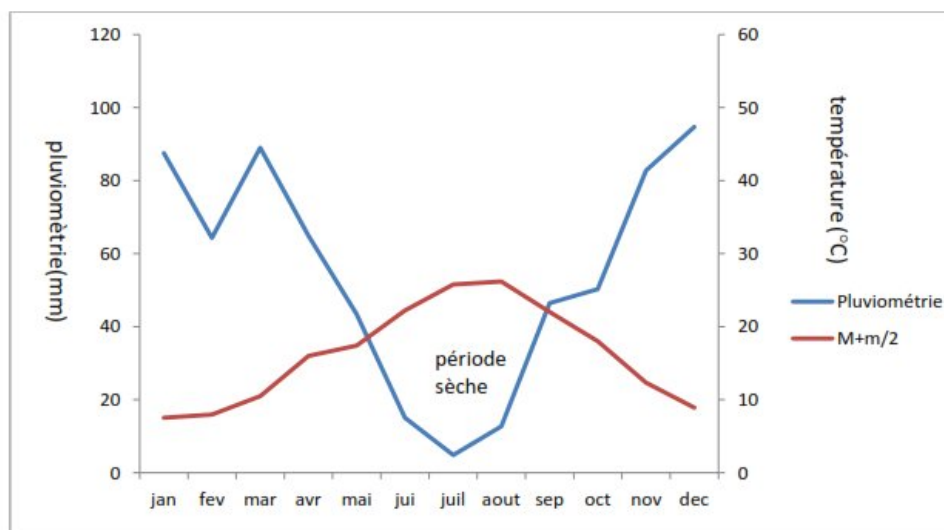


Figure 8 – Diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls de Souk-Ahras (1986-2015) (Anonyme, 2015).

La période sèche s'étale sur quatre mois de mai jusqu'à fin septembre. Alors que la période pluvieuse s'étale sur sept mois; du mois d'octobre jusqu'au mois d'avril.

1.5. Forêts de Souk-Ahras

La région de Souk-Ahras s'étend sur une superficie de 4600 Km² et sa superficie forestière est de 82000 ha soit, 20% de la superficie totale. Ses forêts sont composées de chêne liège (120000 ha), de chêne zeen (5000 ha), de pin d'Alep (35000 ha), d'eucalyptus (150 ha) et enfin de 29750 ha de maquis, (Anonyme, 2013). Elles se répartissent en deux secteurs naturels: l'un au Nord de la Medjerda comprenant les forêts de chêne liège et de chêne zeen, l'autre au sud composé de pin d'Alep.

Les forêts de la partie nord s'étendent sur une superficie de 20551 ha et s'étalent sur trois communes: la commune de Ain zana, Ouled Driss et Mechroha. Quant aux plus importantes forêts, il s'agit de: Boumezrane, d'Ouled Bechih, de Fedj Ahmed, de Fedj Macta et de Rezgoune (Benachoura, 1999).

Dans notre étude, nous nous sommes intéressés à la plus grande forêt au niveau de la Wilaya, la forêt domaniale de Boumezrane de Ain zana, elle est rattachée à la circonscription de Souk-Ahras, conservation des forêts de Souk-Ahras.

1.5.1. Forêt de Boumezrane (Notre milieu d'étude)

Elle est située au nord-est du chef lieu de la wilaya, délimitée au nord et à l'est par les frontières tunisiennes, à l'ouest par la wilaya d'El Tarf et au sud par les limites naturelles du massif. La forêt de Boumezrane occupe une superficie de 7428,8 ha, ses coordonnées Lambert sont (Anonyme, 2013) (Fig. 9):

X: 358 - 367 ; Y: 985 - 1007.

Elle est constituée par :

- 3900 ha de chêne liège,
- 2400 ha de chêne zeen,
- 400 ha d'oliviers et d'essences secondaires,
- 700 ha de maquis.

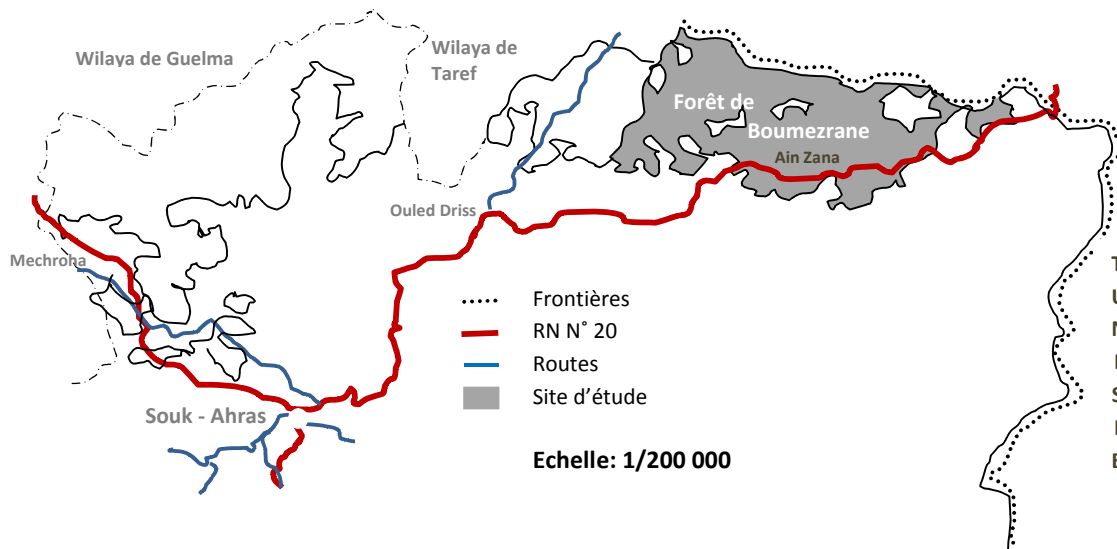


Figure 9 – Situation géographique de la forêt domaniale de Boumezrane (Menaâ et al., 2016).

a) Topographie et Relief

L'altitude de la forêt de Boumezrane varie de 300 m jusqu'à 1400 m avec une dominance de la classe 800 m à 900 m, (Farajou *et al.*, 1980; Benachoura, 1999). Quant aux pentes, elles varient de 3% à 45% et presque la forêt de Boumezrane est située sur des pentes supérieures à 15% (Benachoura, 1999).

Le réseau hydrographique est très important. Plusieurs oueds et cours d'eau traversent ce massif forestier: Oued Djemaa, Cbaabat Nemra et Oued Medjerda (Benachoura, 1999).

b) Géologie et sol locaux

La majeure partie de ce massif est assise sur des formations de l'Eocene (Boudy, 1948; Durand, 1954) avec un substratum de gres numidiens.

Les sols rencontrés sont du type brun lessive, quelques sols calcaires, mais surtout des sols podzoliques qui occupent beaucoup plus la partie Est du massif (Durand, 1954). On peut aussi rencontrer des sols lessives faiblement podzoliques et des sols évoluées d'apport colluvial (Boudy, 1948; Farajou *et al.*, 1980). D'après, Duchauffour (1976), les sols lessives podzoliques se manifestent par deux profils imbriqués: un profil podzolique peu développé en surface et un profil lessive plus profond à horizon B enrichi en fer et en argile.

Quant aux sols d'apport colluvial, on les rencontre en bas de très forte pente, ils offrent certains caractères de jeunesse liés au renouvellement rapide des matières organiques; l'argile et le fer sont uniformément répartis, ils héritent des éléments perdus par la pente qui les surmonte: soit solides (argiles), soit solubles (complexes organo-minéraux apportant des cations).

c) *Biodiversité*

▪ La flore

Au niveau des parties hautes de la forêt de Boumezrane où le couvert végétal s'installe sur le chêne zeen (*Quercus canariensis*) et le sous-bois est peu dense compose essentiellement de:

- Cytise à longues grappes *Cytisus triflorus*.
- Diss *Ampelodes maura*.
- Philaire *Phillyrea latifolia*.
- Arbousier *Arbutus unedo*.
- Pistachier lentisque *Pistacia lentiscus*.
- Bruyère arborescente *Erica arborea*.

Par contre au niveau des parties basses de la forêt domaniale de Boumezrane les peuplements de chêne liège (*Quercus suber*) pur présentent l'aspect d'une futaie irrégulière jardinée en état d'abandon avec un sous-bois dense forme par:

- Bruyère arborescente *Erica arborea*.
- Calicotome spinosa *Calycotome spinosa*.
- Arbousier *Arbutus unedo*.
- Genêt d'Angleterre *Genista tricuspidata*.
- Philaire *Phillyrea latifolia*.
- Ciste de Montpellier *Cistusmon speliensis*.
- Pistachier lentisque *Pistacia lentiscus*.
- Lavande papillon *Lavandula stoechas*.

L'absence de gestion: par des coupes de régénération ni d'éclaircie, les incendies, le pâturage, et la méthode de récolte du liège par tachronnage (pour le compte de l'entreprise nationale du

liège) occasionnent des blessures graves, et façonné l'aspect actuel désolant de la subéraie (Benachoura, 1999).

Des pieds d'Eucalyptus sont installés sur des zones bien définies (sur les rivières des routes et les zones de glissement) de la région d'étude (Benachoura, 1999).

▪ La faune

– **Les invertébrés**

Les invertébrés de la forêt de Boumezrane sont très mal connus. Il a été recensé 124 espèces, dont 106 sont identifiés et regrouper en 11 ordres (Bouacha, 2001):

- | | |
|------------------|------------------|
| 1- Dermoptères | 7- Hétéroptères |
| 2- Dictyoptères | 8- Cléoptères |
| 3- Blattoptères | 9- Lépidoptères |
| 4- Odonatoptères | 10- Hyménoptères |
| 5- Hemiptères | 11- Diptères |
| 6- Orthoptères | |

– **Les vertèbres :**

○ *Les mammifères :*

Une enquête menée auprès des riverains ainsi qu'auprès des services des forêts et des chasseurs de la région, nous a permis d'établir une première liste qui reste incomplète des mammifères dans la zone:

- Le Sanglier. *Sus scrofa*
- Le Chacal *Canis auretis*
- Le renard roux *Vulpes vulpes*
- La Mangouste *Herpestes ichnoumon*
- La Genette *Genetta genetta*
- Le Porc épic *Hystrix cristata*
- Le Lièvre brun *Lepus capensis*
- La Belette *Mustela nivalis*
- Mulet sylvestre *Apodemus sylvaticus*

2. Méthode d'échantillonnage

Les relevés d'abondance des oiseaux nicheurs ont été réalisés suivant la méthode des indices ponctuels d'abondance (IPA) mise au point par Blondel *et al.*, (1970) et appelée communément méthode des points d'écoute. Parfaitement adaptée à notre terrain, cette méthode permet d'obtenir des abondances relatives des couples nicheurs et elle peut être appliquée à un biotope hétérogène. Les indices obtenus seront utilisés pour comparer les abondances d'une même espèce dans des milieux différents ou dans le même milieu mais à des périodes différentes. Nous pourrions connaître la tendance des populations d'oiseaux de la forêt de Boumezrane dans le temps dans la mesure où d'autres relevés seront réalisés dans le futur.

Cependant, l'indice d'abondance ne peut guère servir à des comparaisons interspécifiques, car des espèces différentes ont des probabilités de détection très différentes. Les points d'écoute sont choisis aléatoirement, distants de 200 à 300 m selon la fermeture du milieu. Chaque IPA-unité consistait en deux IPA partiels réalisés sur la même station d'écoute mais à des dates différentes de façon à contacter les nicheurs précoces et les nicheurs tardifs. Les premiers ont été effectués entre le 15 mars et le 15 avril et les seconds entre le 10 mai et le 15 juin durant les deux années d'étude 2013 et 2014. La durée choisie de chaque point d'écoute est de 20 minutes et les dénombrements seront effectués pendant les quatre premières heures de la journée dans de bonnes conditions météorologiques.

Chacun des points d'inventaire de l'avifaune par IPA a fait l'objet d'un relevé des caractéristiques du milieu, effectué sur place pour la plupart d'entre eux (caractéristiques forestières), sur plan pour quelques uns (topographie).

2.1. Avantages, inconvénients et limites d'emploi

Comme toutes les méthodes de dénombrement de l'avifaune, la méthode des IPA présente certains avantages mais aussi des inconvénients qui dans certains cas peuvent limiter son utilisation (Blondel *et al.*, 1970).

2.1.1. Avantages

- La méthode des IPA ne nécessite pas au préalable une préparation de terrain, ceci grâce à sa souplesse et sa facilité d'emploi.

- Elle est utilisable dans des faciès géobotaniques morcelés et multiples.
- Dans cette méthode l'observateur ne doit contrôler que le paramètre temps, contrairement aux IKA où l'observateur doit contrôler le temps et la distance (vitesse de marche).
- Elle est particulièrement adaptée à une série d'études portant sur les variations des observations des abondances relatives de l'avifaune d'un milieu au fil des années ou de différents milieux échantillonnés la même année.
- Elle permet de connaître l'influence du milieu sur la composition et la structure du peuplement avien.
- Elle permet la comparaison d'abondance des espèces dans différents milieux, et répond ainsi parfaitement aux objectifs de notre travail.

2.1.2. Inconvénients et limites d'emploi

- L'application de la méthode des IPA est moins précise dans les milieux où la densité et la diversité de l'avifaune sont plus fortes.
- La comparaison de différentes séries de points d'écoute collectées par différents observateurs est délicate car le contact entre l'oiseau et ces derniers dépend de leur expérience, leur habileté et leur acuité auditive.
- Les IPA des espèces d'oiseaux ne sont pas comparables entre eux, c'est-à-dire d'une espèce à une autre, car chaque espèce a sa propre puissance et fréquence d'émission sonore, ce qui veut dire qu'elles ne sont pas contactées de la même façon. Par contre, la comparaison des IPA d'une même espèce est possible.
- La méthode des IPA est d'un emploi limité vu qu'elle ne permet pas de contacter les oiseaux nocturnes et crépusculaires qui pourtant sont inféodés aux biotopes étudiés; de plus, les oiseaux grégaires, peu cantonnés, tels que les Hirondelles et les Martinets ainsi que les espèces aviennes à très grand canton (Rapaces) ne sont pas compris dans les dénombrements non adaptés à ces oiseaux.

3. Collecte des données environnementales

Considérant que la variabilité spécifique avienne entre les stations doit être expliquée par les caractéristiques de l'habitat, un relevé des principales variables potentiellement importantes de la station (végétation et autres éléments) ont été associées à chaque relevé d'avifaune. Les mesures des variables de l'habitat sont prises à l'intérieur de chaque point d'écoute mais dans un rayon limité (cercle de 50 m de rayon). Ces variables concernent:

a) Les variables structurelles:

- le **diamètre du plus gros arbre (dmax)** dans un rayon de 30 mètres, calculé à partir de la circonférence mesurée au mètre ruban;
- le **la hauteur moyenne de la strate arborée (H)**, toit moyen de la canopée),
- le **la hauteur moyenne de la strate arbustive (h)**, toit moyen de la strate arbustive),
- le **taux de recouvrement de la strate arborée (A)** (%), comprenant les étages dominants et co-dominants, noté en dixièmes par estimation visuelle;
- le **taux de recouvrement de la strate arbustive (a)**, qui considère toute la végétation occupant l'espace entre 1 à 5 mètres de hauteur (estimé en dixièmes également).
- le **nombre de gros bois (ngbs)**, > 150 cm de circonférence);
- le **nombre d'arbre à cavité (narc)**.

b) Les variables Topographiques:

- l'**altitude (alt)**, sur Système d'Information Géographique – SIG –);
- les coordonnées géographiques (**latitude y** et **longitude x**) en coordonnées Lambert;
- le **la pente** se fait par estimation visuelle.

4. Guildes et groupes trophiques

Souvent les guildes et groupes trophiques ont été utilisés dans les études des oiseaux et des habitats pour définir des groupes d'espèces par leurs caractéristiques écologiques. Les caractères communs pour définir ces groupes sont l'alimentation, le comportement de recherche alimentaire et d'habitat, les sites de nidification et les statuts de résidence (Wiens, 1989). Dans cette présente

étude, nous avons défini des guildes par rapport à l'exploitation de l'espace, et des guildes trophiques en rapport avec le type d'alimentation recherchée.

Pour cela, on s'est basé essentiellement sur la littérature (Cramp, 1988; Heinzel *et al.*, 2004; Thévenot *et al.*, 2003; Yeatman-Berthelot et Jarry, 1994).

5. Analyses statistiques

5.1. Méthodes d'exploitation des résultats par les indices écologiques

Suivant la problématique de notre étude il est indispensable de présenter certains paramètres écologiques (indices écologiques):

5.1.1. Indice écologique de composition

L'exploitation des résultats concernant les oiseaux se fait par des paramètres correspondants à savoir:

5.1.1.1. La Richesse de l'avifaune

C'est le paramètre caractéristique de l'avifaune, la richesse correspond à l'un des paramètres fondamentaux permettent de caractériser un peuplement (Ramade, 1984).

- *Richesse totale (S)*

C'est le nombre total d'espèces du peuplement d'oiseaux obtenu à partir de l'ensemble des relevés. Il est d'autant plus précis que l'effort d'échantillonnage est plus élevé (Blondel, 1995).

- *Richesse moyenne (s)*

C'est le nombre moyen d'espèces dans un échantillon du biotope (Ramade, 1984).

$$S = \sum s/N$$

S est l'une des valeurs de la richesse obtenue lors de l'une des sorties $s_1, s_2, s_3, \dots, s_N$. Ce sont les nombres des espèces observées à chacun des relevés 1, 2, 3, ...N.

5.1.1.2. Abondance relative ou fréquence centésimale des espèces aviennes

La fréquence centésimale F_c ou fréquence relative est le pourcentage des individus d'une espèce p_i par rapport au total des individus P .

$$F_c = (p_i/P) * 100$$

5.1.1.3. Fréquence d'occurrence et constance

La fréquence d'occurrence d'une espèce est le nombre brut de relevés dans lesquels cette espèce est observée (Frochot, 1975). Elle est définie comme étant le nombre de sondages où l'espèce est présente au moins une seule fois dans l'échantillon. Selon Muller (1985), une espèce est qualifiée de la manière suivante:

$F_i = 100\% \rightarrow$ espèce omniprésente.

$75\% = F_i < 100\% \rightarrow$ espèce constante dans le cas.

$50\% = F_i < 75\% \rightarrow$ espèce régulière.

$25\% = F_i < 50\% \rightarrow$ espèce accessoire.

$F_i < 25\% \rightarrow$ espèce accidentelle.

5.1.2. Indice écologique de structure

Ces indices permettent de construire une image du peuplement avien par la prise en compte de certains paramètres :

5.1.2.1. Notion de diversité de Shannon-Weaver et d'équitabilité

Parmi les indices qui permettent d'exprimer la structure d'un peuplement nous avons retenu l'indice de Shannon-Weaver (Blondel, 1995). Il signale que plus il y a d'espèces, plus leurs abondance respectives sont voisines et plus la diversité sera élevée. L'équitabilité permet de savoir si les effectifs des espèces présentes sont en équilibre entre eux ou non.

○ Indice de Shannon-Weaver

La diversité d'un peuplement avien est calculée à partir de l'indice de Shannon-Weaver. Cet indice tient compte de l'abondance. Il est donné par la formule suivante:

$$H' = -\sum p_i \log_2 p_i$$

H' : l'indice de diversité.

p_i : fréquence relative des individus appartenant à l'espèce i .

$p_i = n_i/N$ où n_i est le nombre d'individus d'une espèce i et n le nombre d'individus de toutes espèces confondues.

○ *Indice de diversité maximale*

L'indice de diversité maximale H'_{\max} , correspond à la formule suivante (Blondel *et al.*, 1973; Blondel, 1995):

$$H'_{\max} = \log_2 S$$

C'est la diversité maximale potentielle si toutes les espèces du peuplement avaient le même effectif.

○ *Indice d'équirépartition ou d'équitabilité (E)*

L'équitabilité est le rapport de la diversité observée à la diversité maximale, elle sert à comparer la diversité de deux peuplements ayant des richesses différentes.

$$E = H'/H_{\max}$$

L'indice d'équirépartition permet de mesurer le degré de réalisation de la diversité maximale. L'équitabilité varie entre 0 et 1 elle tend vers 0 quand l'ensemble des effectifs appartiennent à une seule espèce. Par contre elle se rapproche de 1 lorsque chaque espèce est représentée par le même nombre d'individus (Ramade, 1984).

5.2. Analyse multivariée et modélisation statistique

Il existe beaucoup de méthodes pour définir les facteurs d'habitats potentiels. Quatre méthodes peuvent traduire des réponses environnementales linéaires: l'analyse canonique, l'arbre de classification, le modèle linéaire généralisé, et l'analyse des espèces indicatrices (Delahaye, 2006).

Toutes les méthodes citées ci-dessus font appel à des données d'abondance d'espèces pour lesquelles elles comparent les valeurs des variables du milieu. Quant à notre cas, nous avons utilisé les analyses statistiques suivantes:

5.2.1. Analyse en composante principale (ACP ou PCA)

L'Analyse en Composantes Principales (ou PCA) est utilisée pour générer, à partir d'un large jeu de données (paramètres environnements de milieu), un nombre restreint de variables clefs qui permettent de représenter au maximum la variation présente dans celui-ci. En d'autres termes, la PCA est utilisée pour générer des combinaisons de variables à partir d'un ensemble plus grand de variables environnementales initiales tout en conservant la majorité de variation de l'ensemble des données. La PCA est une technique d'analyse puissante pour l'analyse des descripteurs quantitatifs du milieu.

Pour cela, la PCA effectue une rotation du système d'axes originels défini par les variables de façon à ce que les axes d'ordination successifs soient orthogonaux entre eux et correspondent aux dimensions successives du maximum de variance observée dans le nuage de points (sur les plans factoriels). Les nouvelles variables produites par la PCA sont non-corrélées entre elles et peuvent alors être utilisés dans d'autres types d'analyse telles que l'analyse canonique (Gotelli et Ellison, 2004).

5.2.2. Analyses canoniques

Les analyses canoniques rassemblent de nombreuses méthodes statistiques combinant les concepts d'ordination et de régression et partageant un but commun, à savoir identifier les relations entre un ensemble de variables réponse (matrice Y décrivant généralement la composition en espèces d'oiseaux) et un ensemble de variables explicatives (matrice X contenant les variables environnementales) c'est le cas dans notre travail du: diamètre du plus gros arbre (dmax), la hauteur de la strate arborée (H), le taux de recouvrement de la strate arborée (A), la hauteur de la strate arbustive (h), le taux de recouvrement de la strate arbustive (a), le nombre de gros bois (ngbs), le nombre d'arbres à cavités (narc) et l'altitude (alt). Ces analyses canoniques nous permettent de tester nos hypothèses écologiques relatives aux descripteurs écologiques de la composition en espèces des communautés avifaunistiques.

Parmi l'ensemble de ces méthodes, existantes, nous insisterons ici principalement sur l'analyse canonique des correspondances (CCA) et l'analyse canonique de redondance (RDA).

5.2.2.1. Analyse canonique des correspondances (ACC ou CCA)

Pour expliquer directement la distribution spatiale des oiseaux par les descripteurs du milieu, soit au contraire à prédire un ensemble de variables de milieu à l'aide d'une structure avifaunistique, il est indispensable de comparer deux tableaux de données :

- *Soit T1 un tableau de contingence correspondant au comptage en n sites des effectifs de p objets. Ce tableau peut être analysé avec une analyse factorielle des correspondances (AFC) afin d'obtenir une visualisation simultanée des sites et des objets en deux ou trois dimensions.*
- *Soit T2 un tableau correspondant aux mesures en les mêmes n sites de q variables quantitatives et/ou qualitatives.*

L'analyse canonique des correspondances permet d'analyser la relation entre T1 et T2, et d'obtenir une représentation simultanée des sites, des objets, et des variables en deux ou trois dimensions, optimales pour un critère de variance (Ter Braak, 1995).

5.2.2.2. Analyse canonique de redondances (ACR ou RDA)

L'analyse canonique de redondance correspond à une extension directe de la régression multiple puisqu'elle modélise l'effet d'une matrice X de variables environnementales explicatives d'un milieu sur une matrice Y de variables réponses (espèces d'oiseaux) en effectuant une ordination de Y afin d'obtenir des axes d'ordination qui correspondent à des combinaisons linéaires des variables de la matrice X. Avant d'effectuer une RDA, les variables environnementales explicatives de X doivent être centrées, standardisées (les variables explicatives sont d'unités différentes: en %, en mètre, centimètre...), transformées (afin de limiter l'asymétrie des ces variables explicatives) ou normalisées (afin de linéariser leurs relations) suivant les mêmes principes que dans une PCA. La colinéarité entre variables explicatives doit également être minimale pour effectuer une RDA.

Afin d'obtenir le meilleur modèle de RDA, les variables explicatives peuvent être sélectionnées par sélections *progressives* ou *régressives* afin d'éliminer les variables explicatives non significatives (Legendre et Legendre, 2012).

D'après Legendre et Legendre (2012), plusieurs valeurs statistiques peuvent être extraites de la RDA, en particulier:

- Le R^2 mesure la force de la relation canonique entre Y et X en calculant la proportion de la variation de Y expliquée par les variables X, - Le R^2 ajusté mesure également la force de la relation entre Y et X, mais applique une correction du R^2 afin de tenir compte du nombre de variables explicatives, - La statistique F correspond à un test global de la significativité de la RDA en comparant le modèle étudié à un modèle nul.
- Ce test est basé sur l'hypothèse nulle selon laquelle la force de la relation calculé par le R^2 n'est pas supérieure à la valeur qui serait obtenue pour des matrices X et Y de même taille sans aucune relation statistique. Notons que la statistique de F peut également être utilisée pour tester la significativité de chaque axe d'ordination de manière séquentielle.

5.2.3. Arbre de régression multivarié

L'arbre de régression multivarié (ARM ou MRT) est une méthode de groupement hiérarchique sous contrainte (De'ath, 2002). Le MRT fait le partitionnement d'une matrice réponse quantitative (les données d'abondances des espèces d'oiseaux) sous la contrainte d'une matrice de variables environnementales explicatives (dmax, H, h, A, a, ngbs, narc, alt). Celle-ci détermine les points de séparation des données d'abondance des espèces avifaunistiques en différents groupes, de manière à minimiser la somme des carrés des écarts intra-groupes.

La RDA et le MRT sont toutes deux des méthodes de régression, la première expliquant la structure globale des relations par un modèle linéaire, la dernière mettant davantage en lumière les structures locales (composition en oiseaux de chaque habitat) et les interactions entre variables environnementales en produisant un arbre.

Le MRT divise les données en groupes ayant des compositions en espèce semblables et caractérisés par des variables environnementales. La méthode implique deux volets s'effectuant en parallèle: 1) la construction de l'arbre et 2) la sélection de la partition finale optimale par validation croisée (Breiman *et al.*, 1984).

○ *Partitionnement des données sous contrainte (construction de l'arbre)*

Premièrement, la méthode calcule toutes les partitions des sites en deux groupes. Pour chaque variable environnementale, les sites seront classés en ordre croissant des valeurs, les sites seront classés par niveaux. La méthode divise les données après le premier objet, après le second, et ainsi de suite et calcule à chaque fois la somme des carrés des écarts intra-groupes de la matrice réponse. La méthode choisira la partition qui minimisera la somme des carrés des écarts intra-groupes et le point de division défini par une valeur seuil d'une variable environnementale.

○ *Validation croisée et élagage de l'arbre*

La fonction effectue également une validation croisée et identifie l'arbre ayant le meilleur pouvoir prédictif. La validation croisée s'effectue en utilisant une partie des données pour construire l'arbre et le reste des données est classé dans les groupes créés. Dans un arbre ayant un bon pouvoir prédictif, les objets sont assignés aux groupes appropriés. L'erreur relative de validation croisée (ERVC ou CVRE) mesure l'erreur de prédiction. Sans validation croisée, le nombre de partitions retenu serait celui minimisant la variance non expliquée par l'arbre (i.e. l'erreur relative: la somme des carrés des écarts intra-groupes de toutes les feuilles divisée par la somme de carrée des écarts de toutes les données). Cette solution maximise le R^2 et on obtiendrait donc un arbre explicatif plutôt que prédictif.

5.2.4. L'analyse des espèces indicatrices

La matrice d'abondance des espèces d'oiseaux a été analysée par la méthode des espèces indicatrices «Indval» (Dufrene, 2001). La méthode Indval utilise une classification des relevés des points d'écoute pour identifier les espèces qui en sont indicatrices (Dufrene et Legendre, 1997). Une espèce est considérée comme indicatrice si elle est typique d'une classe d'habitat ou d'un groupe de classes (et absente des autres classes) et si elle est présente dans tous les relevés de cette classe d'habitat ou de ce groupe de classes. Ces deux contraintes permettent de mesurer la spécificité et la fidélité d'une espèce.

La spécificité est maximale quand l'espèce n'occupe qu'une classe ou qu'un groupe et la fidélité est maximale lorsque l'espèce est présente dans tous les relevés d'une classe ou d'un groupe de classes. L'analyse des espèces indicatrices a pour but de tenter d'associer des espèces caractérisant chaque classe d'habitat ou chaque groupe de classes issu d'un MRT.

5.2.5. Modèle linéaire généralisé

Les modèles linéaires généralisés ont déjà été utilisés avec succès dans de nombreuses études écologiques récentes (Austin *et al.*, 1996; Gumpertz *et al.*, 1997; Guisan *et al.*, 1998; Austin, 2002; Guisan *et al.*, 2002). Ils sont une extension des modèles linéaires classiques et permettent par exemple de traiter des courbes de réponse non gaussiennes et des transformations linéaires de variables. Leur originalité réside dans le fait qu'ils considèrent une transformation de la variable à expliquer - de distribution connue mais non nécessairement gaussienne - plutôt que des variables explicatives (ce qui peut évidemment aussi être le cas). Dans un modèle linéaire généralisé, il est postulé que les variables explicatives (variable environnementale, dans notre cas) ne peuvent influencer la distribution de la variable à expliquer (richesse, abondance ou diversité) qu'à travers une seule fonction linéaire appelée le prédicteur linéaire. La moyenne de la variable à expliquer est ainsi une fonction inversible du prédicteur linéaire et sa fonction inverse est appelée la fonction de lien. Une régression multiple est effectuée entre le prédicteur linéaire et la partie explicative de l'équation. Les différents coefficients de régression sont estimés, par exemple, par la technique du maximum de vraisemblance. La probabilité de présence d'une espèce, en réponse aux différentes variables environnementales, est ainsi directement exprimée comme une fonction du prédicteur linéaire. Des modèles plus complexes, pouvant inclure des termes polynomiaux et des termes d'interactions, peuvent également être considérés de la même manière. Des exemples courants de familles de distribution considérées dans les modèles linéaires généralisés sont les distributions gaussienne, binomiale, de Poisson, gamma et inverse-gaussienne, et les fonctions de lien le plus souvent associées sont respectivement les liens identité, logistique, logarithme, racine carrée et inverse (Guisan, 1996).

Dans notre étude, nous voulons tester si les facteurs de l'habitat des chênaies (des variables explicatives continues) influencent l'abondance, la richesse et la diversité (indice de Shannon-Weaver) de notre avifaune. Pour ceci nous avons utilisé un GLM et une distribution de Poisson pour chercher à modéliser des données d'abondance

Afin d'obtenir un modèle de régression multiple "optimal", selon la méthode Backward (c'est une méthode dite régressive), on peut débiter avec un modèle qui inclut toutes les variables environnementales explicatives (le diamètre du plus gros arbre (dmax), la hauteur de la strate arborée (H), le taux de recouvrement de la strate arborée (A), la hauteur de la strate arbustive (h), le taux de recouvrement de la strate arbustive (a), le nombre de gros bois (ngbs), le nombre d'arbres à cavité (narc) et l'altitude (alt)) et retirer les variables non significatives en procédant à une sélection pas à pas. Les variables non significatives sont retirées une à la fois et l'ajustement de chaque modèle successif est évalué à l'aide de l'AIC (Critère d'information d'Akaike), jusqu'à ce que toutes les variables explicatives soient significatives. Ce critère est un compromis entre l'adéquation du modèle et le nombre de paramètres du modèle estimé, c'est-à-dire sa parcimonie d'explication. Il permet de comparer plusieurs modèles. Le modèle choisi sera celui qui possède la plus petite valeur d'AIC. Néanmoins, tous les modèles dont la différence entre l'AIC et l'AIC minimum (celui du meilleur modèle ΔAIC) est inférieure à 2 doivent être pris en considération (Burnham et Anderson, 2002). Suivant Burnham et Anderson (1998), nous avons considéré que (1) tout modèle ayant une $\Delta AIC \leq 2$ est le meilleur modèle avec un poids substantiel (2) tout modèle ayant une ΔAIC comprise entre 4 et 7 possède un poids moins important que le meilleur modèle; (3) tout modèle ayant une $\Delta AIC > 10$ ne peut pas expliquer les variations observées dans les données. De plus, le meilleur modèle a été sélectionné sur base du χ^2 du test de score et des AIC. Les variables incluses dans les modèles sont généralement significatives au test de comparaison des moyennes.

5.2.6. Le cadrage non-métrique multidimensionnel (NMDS)

Les méthodes d'ordination non contrainte présentées ci-dessus permettent d'organiser les objets (les relevés des points d'écoute des deux peuplements de chêne) caractérisés par des descripteurs (l'abondance des espèces d'oiseaux) dans un espace comprenant l'ensemble des dimensions décrites par l'ellipsoïde représentant le nuage des points de données. En d'autres termes, la PCA, la CA et la PCoA calculent un grand nombre d'axes d'ordination (nombre proportionnel au nombre de descripteurs) représentant la variation des espèces avifaunistiques entre relevés des deux biotopes (zénaie et subéraie) et préservant les distances entre objets (distance euclidienne dans une PCA, distance de Chi2 dans une CA et distance définie par l'utilisateur dans une PCoA). L'utilisateur peut ensuite sélectionner les axes d'intérêt

(généralement les deux premiers axes d'ordination) pour représenter les objets dans un biplot. Le biplot produit représente ainsi correctement les distances entre objets (ex. la similarité des relevés), mais ne permet pas de représenter l'ensemble des dimensions de la variation dans l'espace d'ordinations (étant donnée que l'Axe 3, l'Axe 4,..., l'Axe n'apparaissent pas sur le biplot, mais contribuent tout de même à expliquer la variation entre objets) (Legendre et Legendre, 1998).

Dans certains cas, la priorité n'est pas de préserver la distance exacte entre les objets, mais au contraire de représenter aussi fidèlement que possible les relations entre objets selon un petit nombre d'axes (généralement deux ou trois) (Legendre et Legendre, 1998).

Dans de tels cas, le positionnement multidimensionnel non-métrique (NMDS) est la solution pour notre cas. Si on définit un nombre d'axe égal à deux, le biplot produit par le NMDS correspond à la meilleure solution graphique pour représenter en deux dimensions la similarité entre objets (les objets dissimilaires étant les plus éloignées, et les objets similaires étant les plus proches). De plus, le NMDS nous permet de choisir la mesure de distance qu'il souhaite pour ordonner les objets. Afin de trouver la meilleure représentation des objets, le NMDS applique une procédure itérative qui vise à positionner les objets dans le nombre spécifié de dimensions de façon à minimiser une fonction de stress (variant de 0 à 1) qui mesure la qualité de l'ajustement de la distance entre objets dans l'espace d'ordination. Ainsi, plus la valeur du stress sera faible, plus la représentation des objets dans l'espace d'ordination sera exacte. De plus, la valeur du stress diminuant avec le nombre de dimensions, un compromis doit être recherché entre un nombre réduit de dimensions interprétables et un calage correct. Au-delà d'une valeur de stress de 0.20, on considère que la représentation est douteuse (Clarke et Warwick, 1994).

Un second moyen d'évaluer l'exactitude d'un NMDS consiste à construire un diagramme de Shepard qui représente les distances entre objets sur le biplot d'ordination en fonction de leurs distances réelles. Le R² obtenu à partir de la régression entre ces deux types de distance mesure la qualité de l'ajustement du NMDS.

5.2.7. L'analyse des similarités

Il existe plusieurs méthodes permettant de tester la différence de composition de groupes d'oiseaux basées sur une hypothèse a priori ou issus de l'ordination du NMDS (Clarke et

Warwick, 1994). Nous avons utilisé l'ANOSIM développée par Clark (1993) car cette méthode permet de prendre en compte un seul facteur (type d'habitat : zénaie ou subéraie). L'ANOSIM est par ailleurs sensible à l'hétérogénéité de dispersion au sein des groupes d'assemblage des espèces d'oiseaux.

Le test ANOSIM univarié (Clarke et Warwick, 1994) a permis l'analyse des similarités inter-groupes. Ce test est calculé à partir de la matrice de similarité et présente comme hypothèse nulle (H_0) que les compositions faunistiques sont homogènes dans tous les groupes envisagés. A l'issue du test, un « R statistic » est calculé ; généralement compris entre 0 et 1, accompagné d'un seuil de significativité (en %). Cet indice est nul lorsque que H_0 est acceptée et égal à 1 lorsque la similarité est plus élevée entre les répliquât (ici les points d'écoute) d'un assemblage qu'entre ceux de différents assemblages.

5.2.8. Contribution des espèces à la dissimilarité

L'analyse SIMPER, SIMilarity PERcentage analysis (Clarke, 1993), complète l'approche des différences de composition liées à un facteur, engagée avec NMDS et ANOSIM (Philippi *et al.*, 1998). Souvent employée dans l'étude des communautés marines (Lasiak et Field, 1995), car intégrée au logiciel Primer développé par les biologistes marins de Plymouth (Clarke et Warwick, 1994), elle est curieusement très peu utilisée en écologie terrestre. Simper identifie les principales espèces responsables de la différence entre groupes, en calculant la contribution moyenne de chaque espèce à la dissimilarité entre 2 groupes.

Cette recherche des espèces caractéristiques et discriminantes par Simper complète la recherche d'espèces indicatrices par IndVal.

5.3. Logiciel utilisé

Pour notre traitement statistique et pour obtenir des résultats robustes et fiables, nous avons choisi R (Fig. 10) (R Development Core Team, 2014). Le logiciel **R** est un logiciel de statistique créé par Ross Ihaka et Robert Gentleman (1996). Il est à la fois un **langage informatique** et un **environnement de travail** : les commandes sont exécutées grâce à des instructions codées dans un langage relativement simple, les résultats sont affichés sous forme de texte et les graphiques sont visualisés directement dans une fenêtre qui leur est propre.

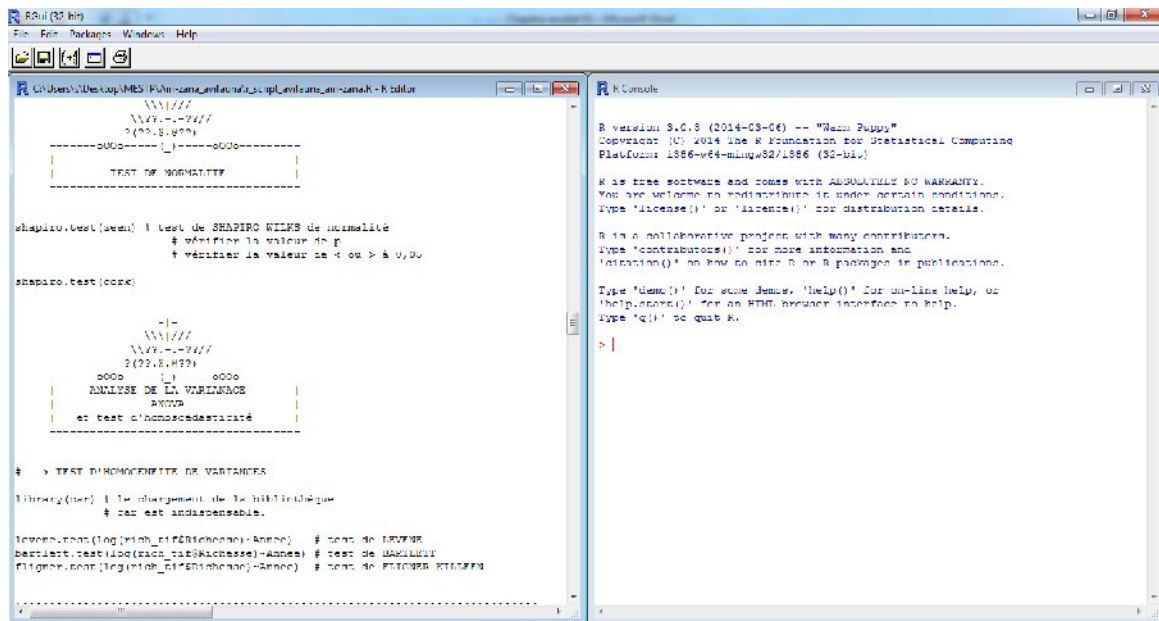


Figure 10 – Le logiciel RGui / R graphical user interface(www.r-project.net).

C'est un clone du logiciel S-plus qui est fondé sur le langage de programmation orienté objet S, développé par AT&T Bell Laboratories. Ce logiciel sert à manipuler des données, à tracer des graphiques et à faire des analyses statistiques sur ces données. Ce logiciel est gratuit et téléchargeable sur internet via son site officiel (www.r-project.org).

5.4. Les packages utilisés sous R dans l'analyse des données

Pour notre étude nous avons utilisés plusieurs paquets (bibliothèques) statistiques et graphique en fonction de nos objectifs fixés par notre problématique, le tableau suivant donne l'ensemble des ces packages (Tab. 2):

Tableau 2 – Liste des packages utilisés sous le logiciel R pour nos analyse statistique.

Package	Signification
vegan	Community Ecology Package
ade4	Analysis of Ecological Data
MASS	Modern Applied Statistics with S
ggplot2	An Implementation of the Grammar of Graphics
cluster	Cluster Analysis
Car	Companion to Applied Regression
mvpart	Recursive Partitioning and Regression Trees
rdaTest	Compute cimple and Partial (RDA) with permutation test
labdsv	Ordination and Multivariate Analysis for Ecology
plyr	Tools for Splitting, Applying and Combining Data
glm2	Fitting Generalized Linear Models

RESULTATS & DISCUSSION

Chapitre 3 – Resultats et discussion

1. Réponse des oiseaux nicheurs aux facteurs de l’habitat à travers un gradient de structure de la zénaie de la forêt de Boumezrane

Comme il a été mentionné dans le deuxième chapitre, la méthode des indices ponctuels d’abondance qu’on a adoptée pour l’étude de l’avifaune nicheuse au niveau de la zénaie de Boumezrane a conduit à l’obtention des résultats de base pour l’évaluation de cette avifaune nicheuse.

Sachant que la période de notre étude a été faite entre le début de la saison de reproduction des oiseaux et la pleine saison de l’année 2013 et 2014. En effet on a effectué deux passages sur le terrain, le premier a été effectué entre la mi-mars et la mi-avril et le second, entre la mi-mai et la mi-juin. Ces deux passages (124 IPA partiel), ont permis de recenser 52 espèces d’oiseaux dans la forêt de Boumezrane, pour lesquelles on a calculé l’IPA moyen. Le tableau 3 représente les résultats obtenus, contenant les espèces contactées et le code pour chacune d’entre elles.

Tableau 3 – Liste des 52 espèces contactées au niveau de la zénaie de Boumezrane. Ordre chronologique des espèces selon la classification de Voous (1973 et 1977).

N°	Nom commun	Nom latin	Code
01	Vautour fauve	<i>Gyps fulvus</i>	-
02	Aigle de bonelli	<i>Aquila fasciata</i>	-
03	Aigle botté	<i>Hieraaetus pennatus</i>	-
04	Buse du maghreb	<i>Buteo rufinus</i>	-
05	Faucon crecerelle	<i>Falco tinnunculus</i>	-
06	Perdrix gabra	<i>Alectoris barbara</i>	Alba
07	Caille des blès	<i>Coturnix coturnix</i>	Coco
08	Pigeon ramier	<i>Columba palumbus</i>	Copa
09	Tourterelle des bois	<i>Streptopelia turtur</i>	Sttu
10	Coucou gris	<i>Cuculus canorus</i>	Cuca
11	Guêpier d'Europe	<i>Merops apiaster</i>	-
12	Huppe fasciée	<i>Upupa epops</i>	Upep
13	Pic de Levaillant	<i>Picus vaillantii</i>	Piva
14	Pic épeiche	<i>Dendrocopos major</i>	Dema
15	Pic épeichette	<i>Dendrocopos minor</i>	Demi
16	Torcol fourmilier	<i>Jynx torquilla</i>	Tyto
17	Cochevis de thèkla	<i>Galerida theklae</i>	Gath

18	Alouette lulu	<i>Lullula arborea</i>	Luar
19	Hirondelle rustique	<i>Hirundo rustica</i>	-
20	Téléphone tchagra	<i>Tchagra senegalus</i>	-
21	Troglodyte mignon	<i>Troglodytes troglodytes</i>	Trtr
22	Grive draine	<i>Turdus viscivorus</i>	Tuvi
23	Grive mauvis	<i>Turdus iliacus</i>	Tuil
24	Grive musicenne	<i>Turdus philomelos</i>	Tuph
25	Merle noir	<i>Turdus merula</i>	Tume
26	Rougequeue de Moussier	<i>Phoenicurus moussieri</i>	Phmo
27	Rossignol philomèle	<i>Luscinia megarhynchos</i>	Lume
28	Rougegorge familier	<i>Erithacus rubecula</i>	Erru
29	Hypolaïs plyglotte	<i>Hippolais polyglotta</i>	Hipo
30	Fauvette à tête noire	<i>Sylvia atricapilla</i>	Syat
31	Fauvette orphée	<i>Sylvia hortensis</i>	Syho
32	Fauvette grisette	<i>Sylvia communis</i>	Syco
33	Fauvette mélanocéphale	<i>Sylvia melanocephala</i>	Syme
34	Fauvette passerinette	<i>Sylvia cantillans</i>	Syca
35	Fauvette pitchou	<i>Sylvia undata</i>	Syun
36	Pouillot véloce	<i>Phylloscopus collybita</i>	Phco
37	Pouillot de Bonelli	<i>Phylloscopus bonelli</i>	Phbo
38	Roitelet triple-bandeau	<i>Regulus ignicapilla</i>	Reig
39	Gobemouche gris	<i>Muscicapa striata</i>	Must
40	Gobemouche noir de l'Atlas	<i>Ficedula speculigera</i>	Fisp
42	Gobemouche à coulier	<i>Ficedula albicollis</i>	Fial
42	Mésange charbonnière	<i>Parus major</i>	Pama
43	Mésange nord-africaine	<i>Cyanistes teneriffae</i>	Cyte
44	Mésange noire	<i>Periparus ater</i>	Peat
45	Grimpereau des jardins	<i>Certhia brachydactyla</i>	Cebr
46	Linotte mélodieuse	<i>Linaria cannabina</i>	Lica
47	Pinson des arbres	<i>Fringilla coelebs</i>	Frcs
48	Moineau espagnol	<i>Passer hispaniolensis</i>	Pahi
49	Etourneau unicolore	<i>Sturnus unicolor</i>	Stun
50	Loriot d'Europe	<i>Oriolus oriolus</i>	Oror
51	Grand corbeau	<i>Corvus corax</i>	Cocor
52	Geai des chênes	<i>Garrulus glandarius</i>	Gagl

1.1. Classement systématique des espèces contactées au niveau de la zénaie de Boumezrane

Globalement, la zénaie de Boumezrane abrite une avifaune riche. En effet, les 124 IPA partiels, nous ont permis d'y contacter 52 espèces y compris les espèces dont les territoires sont étendus, tels les rapaces (Vautour fauve, Aigle de Bonelli, Aigle botté, Buse du maghreb et Faucon crécerelle) et les espèces inféodées au milieu aérien nichant généralement en colonie

dans des milieux particuliers comme les talus (Guêpier d'Europe). Ces espèces ne seront retenues que pour le besoin de certaines analyses statistiques mais seront toutefois prises en compte dans l'analyse globale qui traite de toutes les espèces du peuplement du chêne zeen de Boumezrane (Tab. 3). La méthode des IPA est peu apte à fournir des résultats fiables pour ces espèces (Sánchez *et al.*, 2012). Ainsi, toutes les espèces contactées sont réparties en 09 ordres et 25 familles (Tab. 4).

Tableau 4 - Classement systématique des espèces contactées dans la zénaie de Boumezrane durant la période de reproduction.

Ordre	Famille	Nom latin
Accipitriformes	Accipitridés	<i>Gyps fulvus</i>
		<i>Aquila fasciata</i>
		<i>Hieraaetus pennatus</i>
		<i>Buteo rufinus</i>
Falconiformes	Falconidés	<i>Falco tinnunculus</i>
Galliformes	Phasianidés	<i>Alectoris barbara</i>
		<i>Coturnix coturnix</i>
Columbiformes	Columbidés	<i>Columba palumbus</i>
		<i>Streptopelia turtur</i>
Cuculiformes	Cuculidés	<i>Cuculus canorus</i>
Coraciiformes	Meropidés	<i>Merops apiaster</i>
Bucérotiformes	Upupidés	<i>Upupa epops</i>
Piciformes	Picidés	<i>Picus vaillantii</i>
		<i>Dendrocopos major</i>
		<i>Dendrocopos minor</i>
		<i>Jynx torquilla</i>
Passériformes	Alaudidés	<i>Galerida theklae</i>
		<i>Lullula arborea</i>
	Hirundinidés	<i>Hirundo rustica</i>
	Malaconotidés	<i>Tchagra senegalus</i>
	Troglodytidés	<i>Troglodytes troglodytes</i>
	Turdidés	<i>Turdus viscivorus</i>
		<i>Turdus iliacus</i>
		<i>Turdus philomelos</i>
		<i>Turdus merula</i>
	Acrocephalidés	<i>Hippolais polyglotta</i>
	Sylviidés	<i>Sylvia atricapilla</i>
<i>Sylvia hortensis</i>		
<i>Sylvia communis</i>		

		<i>Sylvia melanocephala</i>
		<i>Sylvia cantillans</i>
		<i>Sylvia undata</i>
	Phylloscopidés	<i>Phylloscopus collybita</i>
		<i>Phylloscopus bonelli</i>
	Régulidés	<i>Regulus ignicapilla</i>
		<i>Phoenicurus moussieri</i>
		<i>Luscinia megarhynchos</i>
	Muscicapidés	<i>Erithacus rubecula</i>
		<i>Muscicapa striata</i>
		<i>Ficedula speculigera</i>
		<i>Ficedula albicollis</i>
	Paridés	<i>Parus major</i>
		<i>Cyanistes teneriffae</i>
		<i>Periparus ater</i>
	Cirthiidés	<i>Certhia brachydactyla</i>
	Fringillidés	<i>Linaria cannabina</i>
		<i>Fringilla coelebs</i>
	Passéridés	<i>Passer hispaniolensis</i>
	Sturnidés	<i>Sturnus unicolor</i>
	Oriolidés	<i>Oriolus oriolus</i>
	Corvidés	<i>Corvus corax</i>
		<i>Garrulus glandarius</i>
09 ordres	25 familles	52 espèces

L'ordre des passeriformes renferment 17 familles et 36 espèces soit 69,23 % de l'ensemble de celles rencontrées. Les autres ordres les plus représentés sont les Piciformes et les Accipitriformes comptent chacun quatre espèces. Les Galliiiformes et les Columbiformes comptent chacun deux espèces. Les ordres qui regroupent une seule espèce sont: les Falconiformes, les Cuculiformes, les Coraciformes et les Bucerotiformes (Fig. 11).

Les familles les plus diversifiées en nombre d'espèces sont les Muscicapidés et les Sylviidés qui regroupent chacune six espèces, suivis des Accipitridés, des Picidés et des Turdidés avec quatre espèces pour chacune et les Paridés avec trois espèces (Tab. 5).

D'autres familles, moins bien représentées méritent cependant d'être citées. Il s'agit des Phasianidés, des Columbidae, des Alaudidés, des Fringillidés et des Corvidés regroupant deux espèces chacune. Les autres familles ne comptent qu'une seule espèce (Fig. 12).

Tableau 5 – Classification systématique des familles des espèces avifaunistiques de la zénaie de Boumezzrane suivant le nombre d'espèces et le nombre de couples.

N°	Familles	Nombre d'espèces	Nombre de couples
01	Accipitridés	4	10,5
02	Falconidés	1	<u>0,5</u>
03	Phasianidés	2	<u>2</u>
04	Columbidés	2	17
05	Cuculidés	1	9
06	Meropidés	1	6
07	Upupidés	1	9,5
08	Picidés	4	98
09	Alaudidés	2	8,5
10	Hirundinidés	1	<u>2</u>
11	Malaconotidés	1	<u>0,5</u>
12	Troglodytidés	1	37
13	Turdidés	4	39,5
14	Acrocephalidés	1	6
15	Sylviidés	6	129,5
16	Phylloscopidés	2	20,5
17	Régulidés	1	<u>1</u>
18	Muscicapidés	6	152
19	Paridés	3	263
20	Cirthiidés	1	57
21	Fringillidés	2	69
22	Passéridés	1	22
23	Sturnidés	1	23
24	Oriolidés	1	12,5
25	Corvidés	2	56
Total		52	1051,5

*Soulignement : valeur faible

* Gras : valeur élevée

Ainsi, les familles les plus dominante en nombre de couples sont les Paridés, les Muscicapidés, les Sylviidés, les Picidés, les Fringillidés, les Cithiidés et les Corvidés qui occupent plus de 78% de l'abondance totale de l'ensemble du peuplement (Tab. 5).

D'autres familles, présentent une abondance très faible de l'ordre de 0,5 couple à deux couples. Il s'agit des Falconidés, des Phasianidés, des Hirundinidés, des Malaconotidés et des Régulidés (Fig. 12).

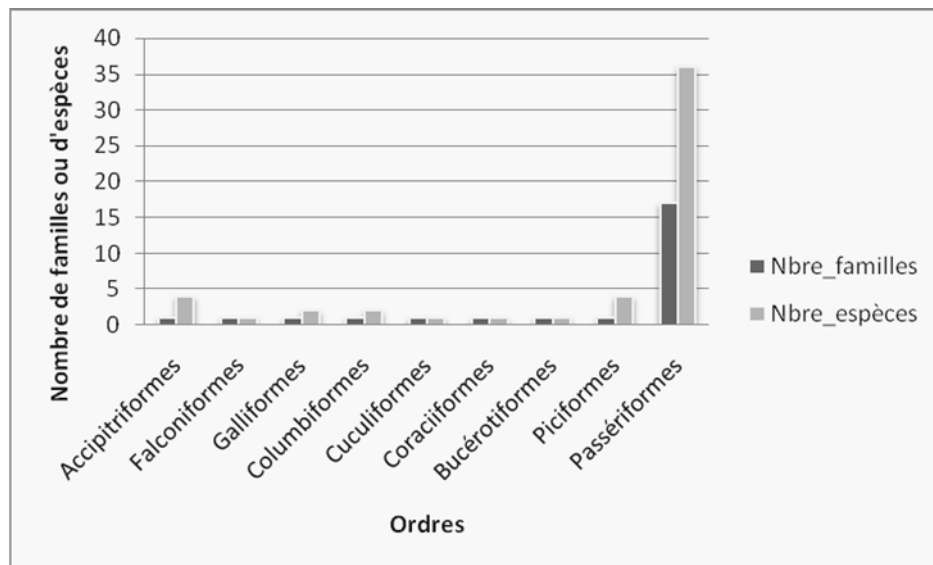


Figure 11 – Classement systématique des ordres des espèces d’oiseaux de la zénaie de Boumezrane selon le nombre de familles et le nombre d’espèces.

1.2. Analyse du tableau d’espèces nicheuses et de la valeur de l’IPA moyen

Les valeurs des IPA moyens des espèces d’oiseaux échantillonnées sont variables d’une espèce à une autre (Tab. 6). La valeur la plus élevée (IPA moyen= 2,097 couples) appartient à l’espèce *Parus major* (Mésange charbonnière), parce qu’elle a été représentée par un nombre très important de couples (130 couples: on a utilisé la valeur maximale = IPA max de l’un des deux passages). Les autres valeurs sont par ordre d’importance décroissant 1,605; 1,508 et 1,290 couples qui correspondent aux deux espèces buissonnantes suivantes: *Turdus merula* (Merle noir) et *Erithacus rubecula* (Rouge-gorge familier) et à une espèce cavernicole secondaire, *Cyanistes teneriffae* (Mésange nord-africaine). Notons par ailleurs, la présence de trois espèces de pics (*Picus vaillantii* (Pic de Leveillant) présente un IPA moy important, égale à 0,758 couple; *Dendrocopos major* (Pic épeiche) avec un IPA moy égale à 0,718 couple et *Dendrocopos minor* (pic épeichette) avec un IPA moy égale à 0,097 couple). Le pinson des arbres *Fringilla coelebs* (IPA moy=1,048 couples) et le geai des chênes *Garrulus glandarius* (IPA moy=0,734 couple), sont des espèces qui réalisent également leur maximum d’abondance dans la zénaie de Boumezrane.

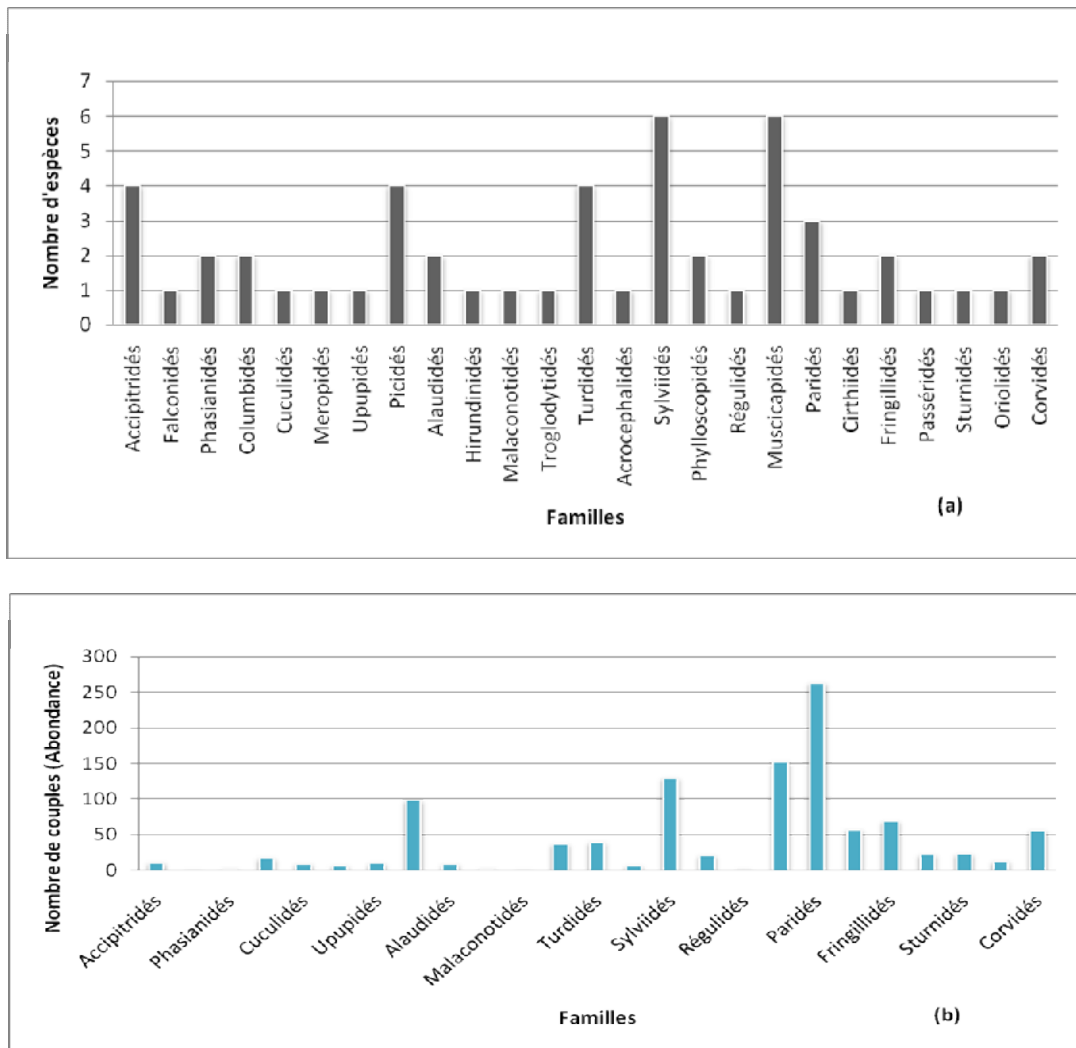


Figure 12 – Classement systématique des familles d'oiseaux de la zénaie de Boumezrane selon le nombre d'espèces (a) et le nombre de couples (abondance) (b).

Les valeurs les plus faibles appartiennent aux espèces suivantes:

- *Jynx torquilla* (Torcol fourmilier) avec un IPA moyen égal à 0,5 couple.
- *Alectoris barbara* (Perdrix gabra) et *Coturnix coturnix* (Caille des blés) qui présentent un IPA moyen égale à 1 couple.
- *Turdus viscivorus* (Grive draine) et *Turdus philomelos* (Grive musicienne) qui comptent un IPA moyen = 1 couple pour chacune d'entre elle.
- *Sylvia undata* (Fauvette pitchou) qui présent un seul IPA moy égale à 1 couple.

Tableau 6 – Abondance, IPA moyen et fréquences centésimales des espèces d'oiseaux nicheurs dans la zénaie de Boumezrane (F (%) : fréquence centésimale).

N°	Espèce	Catégorie troph.	Guilde	Abondance	F(%)	IPA moyen
01	Perdrix gabra	granivore	terrestre	1	1,61	0,016
02	Caille des bles	granivore	terrestre	1	1,61	0,016
03	Pigeon ramier	frugivore	arboricole	12,5	9,68	0,202
04	Tourterelle des bois	granivore	terrestre	4,5	6,45	0,073
05	Coucou gris	insectivore	arboricole	9	16,13	0,145
06	Huppe fasciée	insectivore	terrestre	9,5	14,52	0,153
07	Pic de Levillant	insectivore	arboricole	47	70,97	0,758
08	Pic epeiche	insectivore	arboricole	44,5	69,35	0,718
09	Pic epeichette	insectivore	arboricole	6	8,06	0,097
10	Torcol fourmilier	insectivore	arboricole	0,5	1,61	0,008
11	Cochevis de thekla	granivore	terrestre	2	1,61	0,032
12	Alouette lulu	granivore	buisson	6,5	9,68	0,105
13	Troglodyte mignon	insectivore	buisson	37	46,77	0,597
14	Grive draine	polyphage	arboricole	29,5	29,03	0,476
15	Grive muvis	polyphage	arboricole	1	1,61	0,016
16	Grive musicenne	polyphage	arboricole	1,5	1,61	0,024
17	Merle noir	polyphage	buisson	99,5	85,48	1,605
18	Rougequeue de Moussier	insectivore	terrestre	6	6,45	0,097
19	Rossignol philomèle	insectivore	buisson	2	1,61	0,032
20	Rougegorge familier	insectivore	terrestre	93,5	85,48	1,508
21	Hypolaïs plyglotte	insectivore	buisson	0,5	1,61	0,008
22	Fauvette à tête noire	insectivore	buisson	27,5	22,58	0,444
23	Fauvette orphée	insectivore	buisson	4	3,23	0,065
24	Fauvette grisette	insectivore	buisson	2	3,23	0,032
25	Fauvette mélanocéphale	insectivore	buisson	17,5	29,03	0,282
26	Fauvette passerinette	insectivore	buisson	3	3,23	0,048
27	Fauvette pitchout	insectivore	buisson	1	1,61	0,016
28	Pouillot véloce	insectivore	arboricole	11	11,29	0,177
29	Pouillot de Bonelli	insectivore	arboricole	55	46,77	0,887
30	Roitelet triple-bandeau	insectivore	arboricole	53,5	50	0,863
31	Gobemouche gris	insectivore	aerien	3	3,23	0,048
32	Gobemouche noir de l'Atlas	insectivore	aerien	27,5	33,87	0,444
33	Gobemouche a coulier	insectivore	aerien	2	3,23	0,032
34	Mésange charbonnière	insectivore	arboricole	130	91,94	2,097
35	Mésange nord-africain	insectivore	arboricole	80	77,42	1,29
36	Mésange noire	insectivore	arboricole	53	51,61	0,855
37	Grimpereau des jardins	insectivore	arboricole	57	58,06	0,919
38	Linotte mélodieuse	granivore	terrestre	4	4,84	0,065

39	Pinson des arbres	polyphage	arboricole	65	69,35	1,048
40	Moineau espagnol	granivore	terrestre	22	4,84	0,355
41	Etournant unicolor	insectivore	aerien	23	14,52	0,371
42	Loriot d'Europe	insectivore	arboricole	12,5	3,23	0,202
43	Grand corbeau	carnivore	aerien	10,5	14,52	0,169
44	Geai des chênes	polyphage	arboricole	45,5	67,74	0,734
Nombre Total d'espèces				44		
Nombre d'espèces F > 50 %				11		

1.3. Caractéristiques trophiques du peuplement avien

L'analyse des caractéristiques trophiques du peuplement avien de la zénaie de la forêt de Boumezrane nous révèle que les insectivores représentent presque la majorité des espèces (65,90%). Par contre nous notons, une réduction des polyphages (13,64%) et des granivores (15,90%) (Tab. 6 et Fig. 13). Les frugivores et les carnivores constituent le reste avec une contribution très faible représentée par 2% pour chaque groupe.

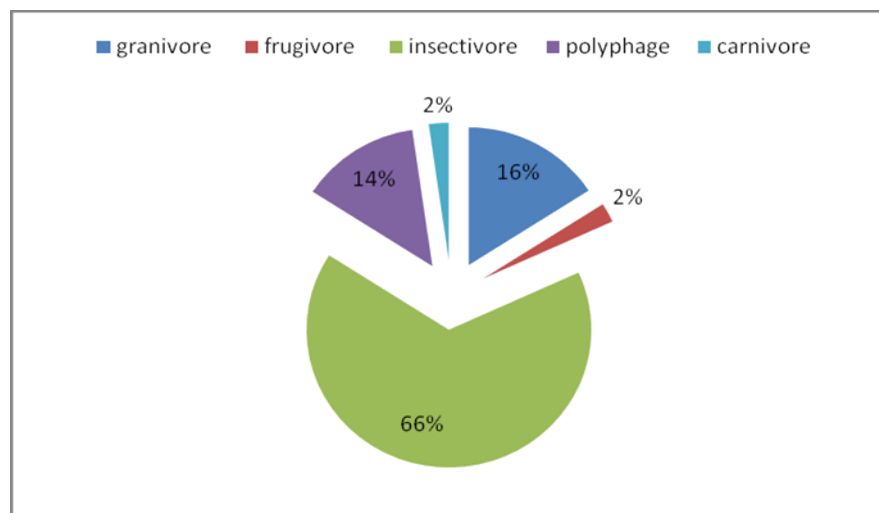


Figure 13 – *Caractéristiques trophiques de la communauté d'oiseaux de la zénaie de la forêt de Boumezrane.*

1.4. Qualité d'échantillonnage

La figure 14 qui représente la richesse cumulée en espèces d'oiseaux nicheurs en fonction du nombre d'échantillons (Points d'écoute) est utilisée pour estimer la richesse totale de la zénaie de Boumezrane, nous indique un plier quasi asymptotique à partir d'un certain nombre de relevés, à partir desquels la probabilité de rencontrer une nouvelle espèce devient très faible. De ce fait, les 62 relevés effectués sont suffisants pour le besoin de notre travail.

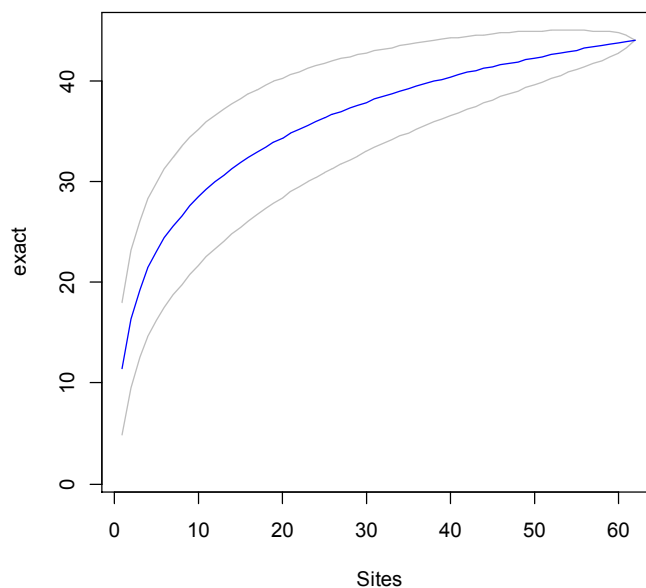


Figure 14 – Courbe de richesse cumulée des espèces d'oiseaux en fonction du nombre de points d'écoute de la zénaie de Boumezrane. La courbe rejoint l'asymptote. Celle-ci indique le nombre de points d'écoute à étudier pour avoir un échantillonnage complet.

1.5. Analyse de la fréquence et des indices de diversité

Parmi les espèces nicheuses qui composent le peuplement avien de la forêt du chêne zeen, quelques unes dominant largement tandis que d'autres ne sont représentées que par un faible nombre de couples. Les espèces constantes ($75 > F(\%) > 100$) sont au nombre de quatre: *Parus major* (Mésange charbonnière), *Turdus merula* (Merle noir), *Erithacus rubecula* (Rouge-gorge familier) et *Cyanistes teneriffae* (Mésange nord-africaine). Sur les 40 autres espèces recensées, 28 ont une fréquence d'occurrence faible ($F(\%) < 25$), il s'agit soit d'espèces à grand territoire (Huppe fasciée *Upupa epops*, Coucou gris *Cuculus canorus* et Grand corbeau *Corvus corvus*), soit d'espèces accidentelles (Cochevis de thèkla *Galerida theklae*, Fauvette grisette *Sylvia communis* et Alouette lulu *Lullula arborea*) ou d'espèces rares (Gobemouche à collier *Ficedula albicollis*, Moineau espagnol *Passer hispaniolensis*).

D'un point de vue structurel, l'analyse des différents indices de diversité montre que la diversité du peuplement, indice de Shannon-Weaver est égale à 2,84, qui traduit un degré de complexité d'organisation du peuplement, relativement élevé. Ce phénomène est surtout lié à une

distribution d'abondance équilibrée, qu'exprime par ailleurs, la valeur de l'indice d'équitabilité (0,95) qui indique une bonne répartition des individus entre les espèces.

1.6. Relations entre les variables environnementales du peuplement du chêne zeen: Analyse en Composantes Principales (ACP ou PCA)

Une analyse en composante principale a été réalisée à titre exploratoire sur les huit descripteurs de l'habitat de la zénaie afin de voir les relations entre ces différentes variables décrivant l'environnement des points d'écoute à différentes échelles (ordination des points d'écoute selon les huit variables environnementales). Les trois premiers axes retenus pour la représentation graphique des plans factoriels expliquent 67,31 % de la variabilité totale du jeu de données, on distingue globalement trois groupes de variables (Fig. 15):

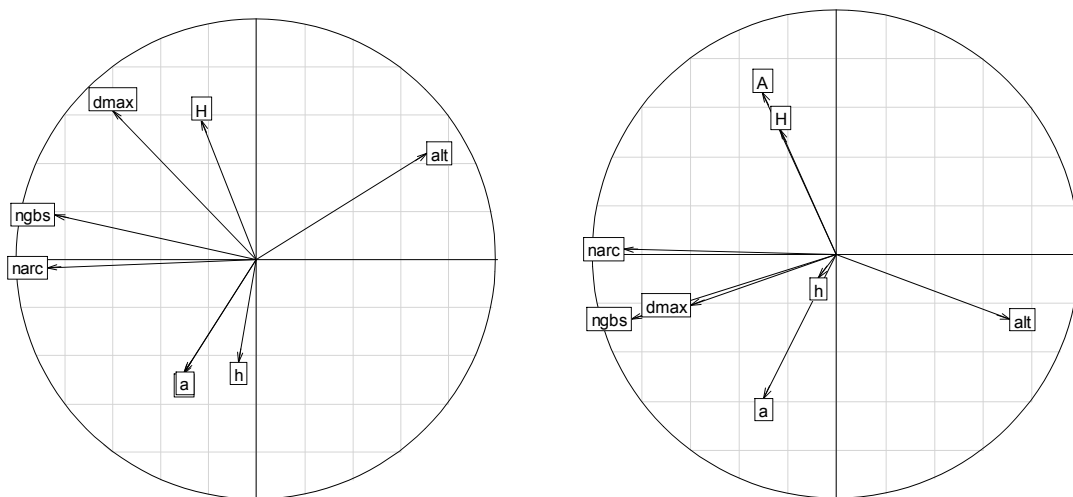


Figure 15 – Ordination des variables de l'habitat de la zénaie sur les plans factoriels du cercle de corrélation issue de l'ACP: plan factoriel 1X2 (gauche) et plan factoriel 1X3 (droit).

L'axe 1 (32%) représente un gradient tant pour le nombre de gros bois (ngbs) que le nombre d'arbre à cavités (narc) (corrélation négative) et à l'opposé de celui-ci, un gradient altitude (alt) (corrélation positive). Le deuxième axe de variabilité (19 %), traduit un gradient taille des arbres (hauteur de la strate arborée (H) et diamètre maximum des gros bois (dmax) mesuré sur chaque point d'écoute) (corrélation positive) et taille du sous bois (hauteur de la strate arbustive (h))

(corrélation négative) et le troisième axe (10 %) représente un gradient volume des arbres (taux de recouvrement de la strate arborée (A)) (corrélation positive) et volume de sous bois (taux de recouvrement de la strate arbustive (a)) (corrélation négative).

1.7. Effet de variables environnementales sur la composition avifaunistique du peuplement du chêne zeen: Analyse Canonique des Correspondances (ACC ou CCA)

Afin de mieux comprendre la structure et l'organisation de l'avifaune de Boumezrane, il nous a été très utile d'étudier comment les gradients d'oiseaux (abondance) sont expliqués par les gradients de structure de l'habitat du peuplement du chêne zeen. A cet effet une Analyse Canonique de Correspondances (ACC) a été réalisée entre la matrice oiseaux (44 espèces) et la matrice habitat (huit variables). Les trois premiers axes retenus pour notre analyse, portent respectivement 36,28; 15,53 et 11,97 % de la variabilité totale. Ils expliquent donc 63,78% de la variance du jeu de données. On constate que l'analyse de la co-inertie entre les variables de milieu et les espèces d'oiseaux révèle une action différentielle de ces variables sur l'avifaune. Les représentations graphiques d'ordination issues de l'ACC indiquent sans ambiguïté le rôle joué par les variables dans l'organisation de l'avifaune le long de la zénaie.

En effet le premier axe de l'ACC permet de distinguer les espèces selon le nombre de gros bois (ngbs) et la hauteur de la strate arborée (H) et, à l'opposé, les espèces liées aux arbres à cavités (narc) et au diamètre du plus gros arbre (dmax) (Fig.16 et 17). Le deuxième axe permet de distinguer plus finement les espèces plutôt liées à l'altitude (alt), et au recouvrement de la strate arborée (A), avec un recouvrement du sous-bois (h et a).

Le côté droit selon le premier axe de l'ordination comprend les espèces liées au nombre de gros bois (ngbs) et la hauteur de la strate arborée (H), soit la mésange charbonnière (Pama), la mésange nord-africaine (Paca), la mésange noire (Paat), le pic épeiche (Pima), le torcol fourmilier (Juto), le rougequeue de moussier (Phmo), le hypolaïs polyglote (Hipo), le pinson des arbres (Froco) et le geai des chênes (Gagl).

Dans l'autre côté négatif du premier axe de l'ordination se trouvent les espèces liées au nombre d'arbres à cavités (narc) et au diamètre du plus gros arbre (dmax) : le loriot d'Europe (Oror), la pouillot véloce (Phco), la grive mauvis (Tuil), le pic épeichette (Pimi), le coucou gris (Cuca), le pigeon ramier (Copa), la perdrix gabra (Alba), la fauvette grisette (Syco), la fauvette mélanocéphale (Syme), la fauvette pitchou (Syun), la fauvette passerinette (Syca) et le moineau espagnol (Pahi).

Sur le second axe du côté positif sont présentes les espèces liées à l'altitude (alt), et au recouvrement de la strate arborée (A), avec un recouvrement du sous-bois (h et a), soit la linotte mélodieuse (Caca), la grive draine (Tuvi), la grive musicienne (Tuph), le gobemouche gris (Musr), le gobemouche noir de l'Atlas (Fisp), le grimpereau des jardins (Cebr), le troglodyte mignon (Trtr), le grand corbeau (Cocor) et l'étourneau unicolor (Stun).

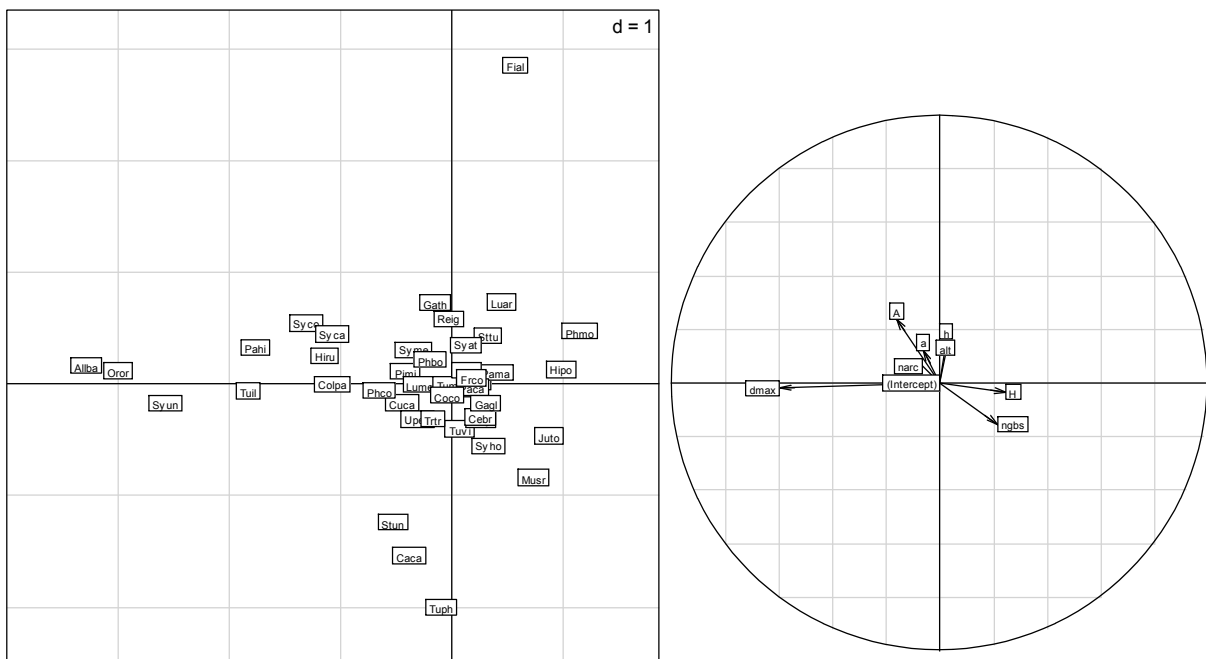


Figure 16 – Ordination des espèces d'oiseaux selon l'analyse canonique des correspondances entre la matrice espèces et la matrice habitat de la zénaie de Boumezrane. Les abréviations des variables habitat sont définies dans le texte et les codes des espèces et leurs noms scientifiques sont donnés au tableau 3. Plan factoriel (1X2).

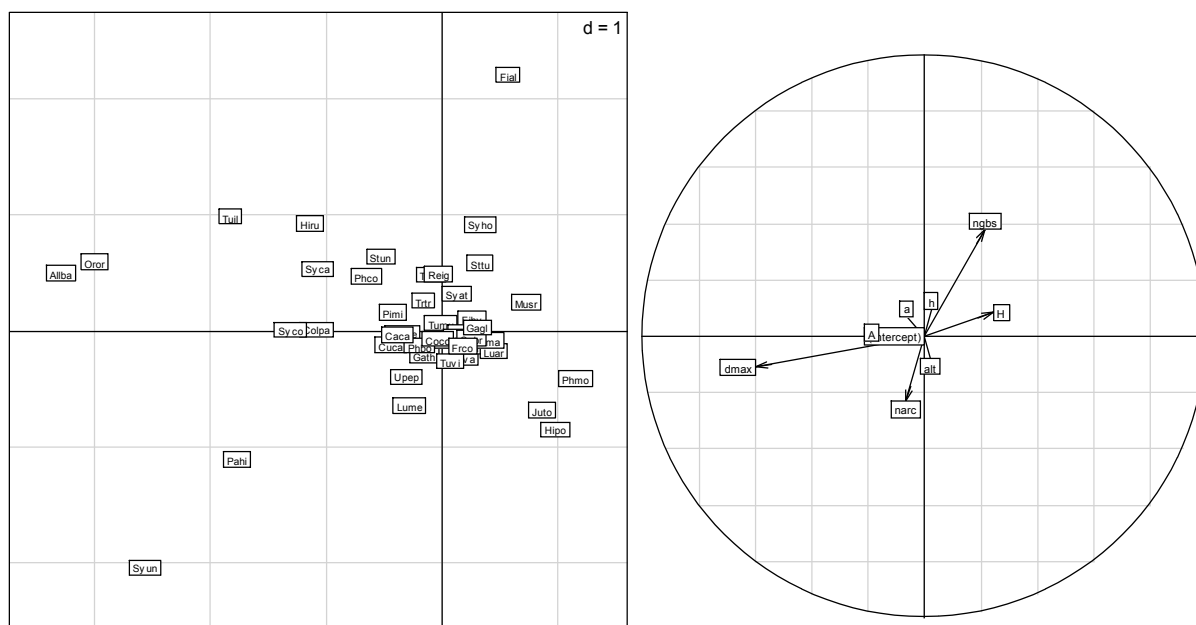


Figure 17 – Ordination des espèces d'oiseaux selon l'analyse canonique des correspondances entre la matrice espèces et la matrice habitat de la zénaie de Boumezrane. Les abréviations des variables habitat sont définies dans le texte et les codes des espèces et leurs noms scientifiques sont donnés au tableau 3. Plan factoriel (1X3).

1.8. Analyse complémentaire de l'ACC: Analyse Canonique de Redondance (ACR ou RDA)

Afin de conserver les variables les plus représentatives, une sélection progressive bidirectionnelle est ensuite menée en utilisant l'analyse canonique de redondance qui met en relation explicite la matrice des espèces aviennes et la matrice des variables environnementales de l'habitat de la zénaie.

L'analyse de redondance (RDA) suggère une relation significative entre les espèces et les variables d'habitat. Le pourcentage total de variance expliquée par les variables explicatives est de 18,91 %. Le test global est statistiquement significatif ($F = 2,205$, $p = 0,001$).

Tout d'abord, le calcul des facteurs d'inflation de la variance permet d'identifier les variables les plus colinéaires et de les retirer manuellement. En incluant toutes les variables explicatives, aucun effet de colinéarité a été détecté. Le R-carré est de 0,073, mais le R-carré ajusté est de 0,067.

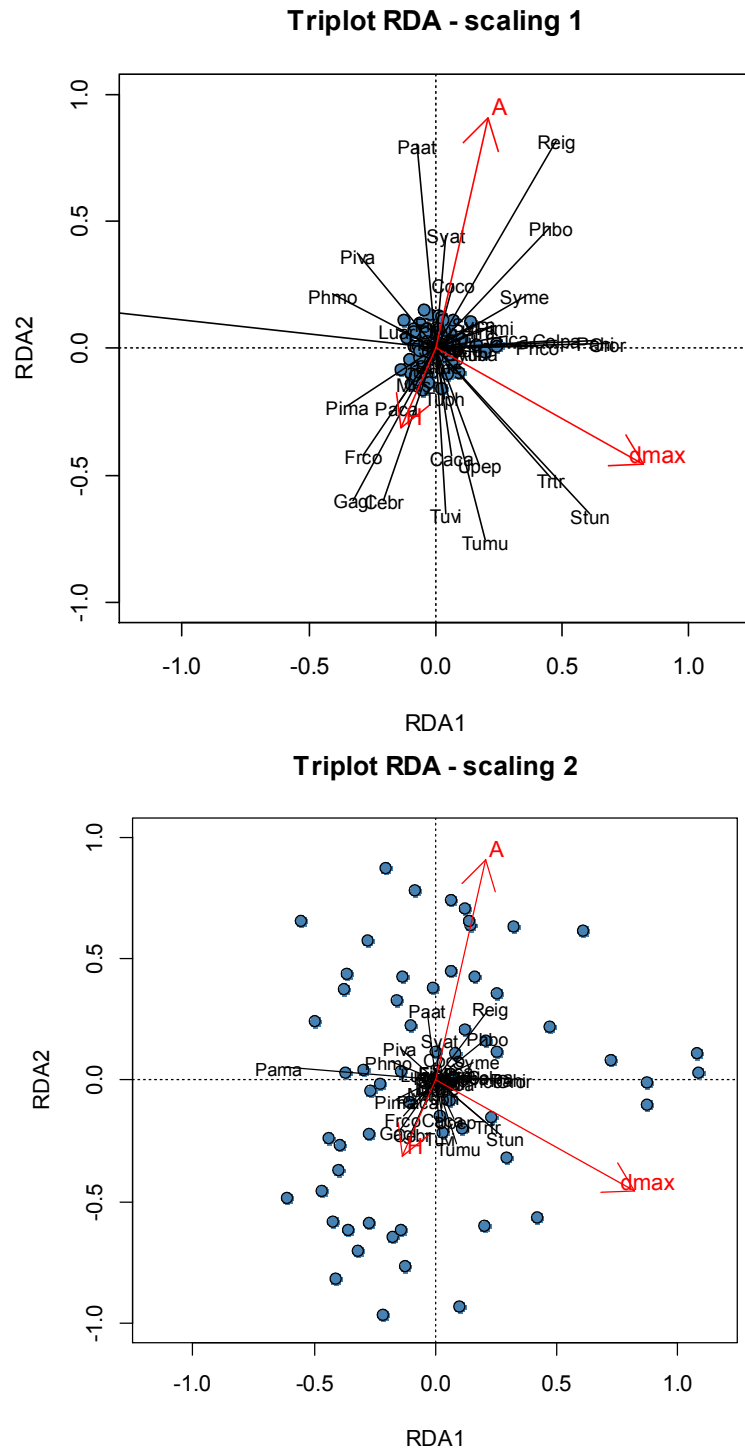


Figure 18 – Ordination des espèces d’oiseaux de la zénaie de Boumezrane issue de l’Analyse Canonique de Redondance entre la matrice espèce (44 espèces) et la matrice des variables sélectionnées (trois variables).

Afin de sélectionner les variables explicatives significatives, une sélection progressive a été effectuée, le test par permutation effectué sur les variables indique que trois variables sont retenues par la sélection progressive, soit d_{max} , H et A sont significatives ($AIC=-48,879$, $F=1,8411$, $p<0,01$).

Ces trois variables ont été alors placées dans un nouveau tableau de données afin d'effectuer une nouvelle RDA contenant uniquement les variables environnementales significatives. Ces descripteurs expliquent désormais 18,91% de la variance de la composition de notre avifaune.

Le test par permutation effectué sur les axes canoniques indique que seuls les axes 1 et 2 sont significatifs ($p<0,01$) après 999 permutations.

Les trois variables conservées, soient d_{max} , H et A, représentant respectivement le diamètre du plus gros arbre, la hauteur de la strate arborée et le taux de recouvrement de la strate arborée. Le VIF moyen des trois variables sélectionnées est de 1,34, avec 1,80 comme valeur maximale (d_{max}), ce que nous jugeons acceptable. Le R-carré ajusté du modèle est de 0,056.

L'analyse finale est effectuée sur ces trois variables. Sur ce graphique (Fig. 18), il devient clair que la variable diamètre du plus gros arbre (d_{max}), est la variable qui influence la distribution spatiale de la majorité des espèces étudiées. La seconde variable en importance est la variable recouvrement de la strate arborée (A). À l'opposé de cette dernière (A), une variable influence négativement la présence et l'abondance des espèces aviaires, c'est la hauteur de la strate arborée (H).

1.9. Classification d'assemblages d'oiseaux fondée sur les caractéristiques de leur habitat dans le peuplement du chêne zéen: Arbre de Regression Multivariée (MRT) et espèces indicatrices (IndVal)

L'approche des arbres de régression multivariée a été appliquée pour modéliser nos données écologiques caractérisées par des relations non linéaires entre les variables réponses (abondance d'espèces d'oiseaux) et les variables explicatives (descripteurs environnementaux). De plus, la composition relative des espèces avifaunistiques à chaque partition de l'arbre a été estimée à l'aide d'une méthode de recherche des espèces indicatrices qui s'est avérée complémentaire aux arbres de régression.

La recherche des espèces indicatrices a été réalisée à chaque nœud de l'arbre de régression élaboré précédemment.

À partir du réseau d'arbres obtenu (Fig. 19), nous avons retenu l'arbre ayant la plus faible erreur relative. Cet arbre explique 12,3 %, soit environ 12 % de variation de plus que l'arbre initialement choisi par l'algorithme (script sous le langage R).

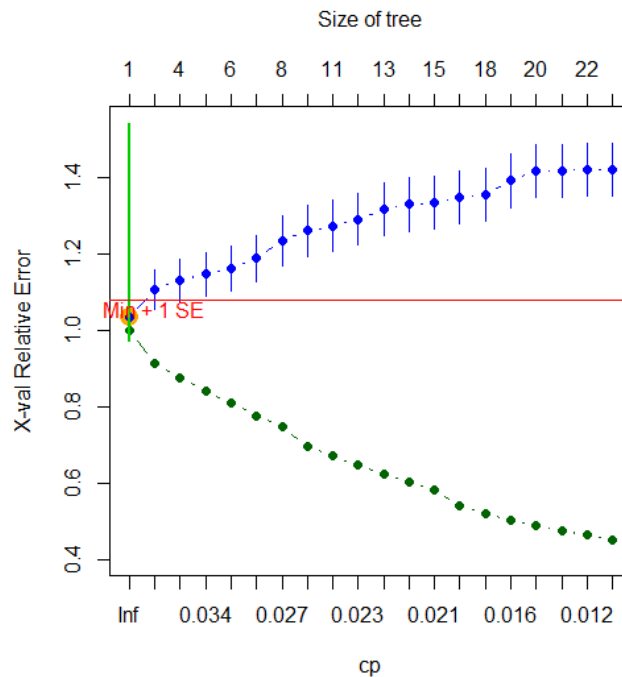


Figure 19 – Graphique montre l'erreur relative (RE, en vert) et l'erreur relative de validation croisée (en bleu) d'arbres de tailles croissantes.

Le modèle final retenu (Fig. 20) indique que les variables environnementales délimitantes des quatre groupes (codés de A à D de gauche à droite) sont, en ordre décroissant de contribution au coefficient de détermination multiple: le diamètre du plus gros arbre (dmax) qui sépare les groupes A, B et C du groupe D ; le recouvrement de la strate arbustive (h) qui sépare le groupe A des groupe B et C ; l'altitude (alt) qui sépare le groupe B du groupe C, le nombre de sites (relevés) par groupe est 32; 7; 14 et 9. Dans le groupe A, *Upupa epops* (Huppe fasciée), *Picus vaillantii* (Pic de Levillant), *Erithacus rubecula* (Rougegorge familier), *Turdus viscivorus* (Grive draine), *Garrulus glandarius* (Geai des chênes) et *Linaria cannabina* (Linotte mélodieuse) sont les espèces les plus abondantes.

Une seule espèce est indicatrice au sens du test IndVal ($p=0,009$), étant assez spécifique et assez fidèle, c'est l'espèce *Picus vaillantii* (Pic de Levillant). Selon la partition de la variance pour chaque nœud par espèce, *Parus major* (Mésange charbonnière) apparaît comme étant l'espèce délimitante pour le nœud qui sépare le groupe A des groupes B et C. Dans le groupe B, les espèces les plus abondantes sont *Jynx torquilla* (Torcol fourmilier), *Phoenicurus moussieri* (Rougequeue de moussier), *Turdus merula* (Merle noir), *Hippolais polyglotta* (Hypolaïs polyglotte), *Parus major* (Mésange charbonnière) et *Cyanistes teneriffae* (Mésange nord-africaine). Ce groupe a deux espèce indicatrice au sens de IndVal: *Parus major* (Mésange charbonnière) ($p=0,005$) et *Cyanistes teneriffae* (Mésange nord-africaine) ($p=0,003$). Les espèces les plus délimitantes sont *Turdus viscivorus* (Grive draine) et *Parus major* (Mésange charbonnière).

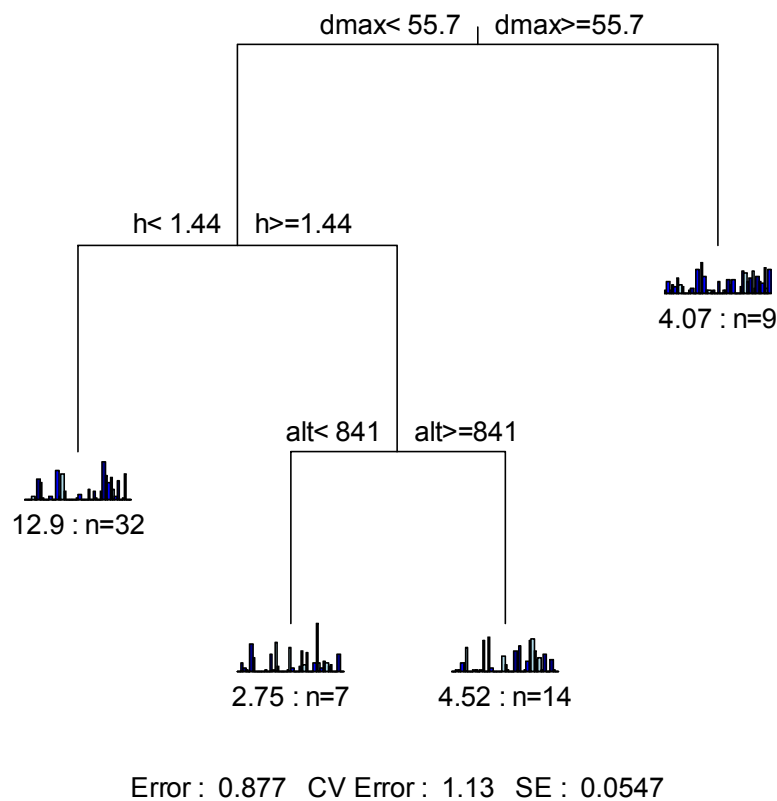


Figure 20 – Arbre de régression multivariée développé pour les communautés d'oiseaux de la zénaie de Boumezzrane.

Le groupe D, pour sa part, est représenté par une grande abondance *Oriolus oriolus* (Loriot d'Europe), *Alectoris barbara* (Perdrix gabra), *Columba palumbus* (Pigeon ramier), *Sylvia communis* (Fauvette grisette), *Sylvia atricapilla* (Fauvette à tête noire), *Phylloscopus collybita* (Pouillot véloce), *Periparus ater* (Mésange noire), *Troglodytes troglodytes* (Troglodyte mignon), *Passer hispaniolensis* (Moinon espagnol) et *Sturnus unicolor* (Etourneau unicolore). Trois espèces sont significatives au sens de IndVal: *Oriolus oriolus* (Loriot d'Europe) ($p=0,042$), *Sylvia atricapilla* (Fauvette à tête noire) ($p=0,004$), *Sturnus unicolor* (Etourneau unicolore) ($p=0,001$). *Oriolus oriolus* (Loriot d'Europe) est l'espèce la plus délimitante de son nœud. Le groupe C est caractérisé par un nombre assez important d'espèces abondantes: *Luscinia megarhynchos* (Rossignole philomèle), *Turdus iliacus* (Grive mauvis), *Turdus philomelos* (Grive musicienne), *Sylvia undata* (Fauvette pitchou) et *Muscicapa striata* (gobemouche gris). Aucune espèce n'est indicatrice au sens de IndVal; l'espèce la plus délimitante est la *Turdus philomelos* (Grive musicienne).

1.10. Descripteurs environnementaux qui influencent les communautés d'oiseaux dans la zénaie de Boumezrane: Modèle Linéaire Généralisé (GLM)

Des régressions de poisson pour les espèces d'oiseaux nicheurs de la zénaie de Ain Zana ont été construites afin de déterminer les variables de l'habitat (des variables explicatives continues) qui expliquent au mieux leur abondance, leur richesse et leur diversité. Il est généralement bien de commencer par utiliser un GLM et une distribution de Poisson lorsque nous cherchons à modéliser des données d'abondance.

Les variables explicatives utilisées sont au nombre de huit: le diamètre du plus gros arbre (dmax), la hauteur de la strate arborée (H), le taux de recouvrement de la strate arborée (A), la hauteur de la strate arbustive (h), le taux de recouvrement de la strate arbustive (a), le nombre de gros bois (ngbs), le nombre d'arbres a cavité (narc) et l'altitude (alt). Le nombre de paramètres (variables) du modèle est représenté par la lettre k. La méthode des AIC ou « Akaike's information criterion » permet de retenir les variables qui maximisent la vraisemblance d'un modèle et de comparer plusieurs modèles (Burnham et Anderson, 2002; Titeux, 2002). Le meilleur modèle a été sélectionné sur la base du χ^2 , du test de score et des AIC.

Les caractéristiques des modèles obtenus pour notre avifaune de la zénaie de Boumezrane sont résumées dans les tableaux 7, 8 et 9. Le rapport entre les résidus de Pearson et la déviance résiduelle des modèles permet de calculer le paramètre de dispersion phi. Une valeur supérieure à 1 indique la présence de surdispersion et l'inadéquation du modèle de Poisson simple.

L'analyse des variables environnementales qui ont le plus d'effet sur l'abondance par une approche de GLM montre que le meilleur modèle statistique (AIC=387,28, ddl=4, p=0,003) pour expliquer les variables influençant l'abondance est un modèle incluant un effet du plus gros arbre (dmax), de la hauteur de la strate arborée (H), du nombre d'arbres à cavités (narc) et de l'altitude (alt) (Fig. 21 et Tab. 7). Pour la richesse spécifique, le meilleur modèle (AIC=312,71, ddl=1, p=0,000) comprend un effet du plus gros arbre (dmax) (Fig. 21 et Tab. 11). Alors que pour la diversité, le meilleur modèle statistique (AIC= 23,63, ddl=2, p=0,000) est celui incluant l'effet du plus gros arbre (dmax) et de la taille du recouvrement de la strate arbustive (a) (Fig.23 et Tab. 12).

Tableau 7 – Modèles de l'abondance de communauté d'oiseaux en fonction des variables de l'habitat de la zénaie de Boumezrane.

Modèle	K	AIC	ΔAIC	ddl	Dev	Pr(>Chi2)
Abondance ~ dmax + ngbs + A + H + a + h + narc + alt	8	393,94	6,66	-4	-1,34	0,854
Abondance ~ dmax + ngbs + H + a + h + narc + alt	7	391,94	4,66	-3	-1,34	0,7189
Abondance ~ dmax + H + a + h + narc + alt	6	389,94	2,66	-2	-1,34	0,5117
Abondance ~ dmax + H + h + narc + alt	5	388,20	0,92	-1	-1,08	0,2982
Abondance ~ dmax + H + narc + alt	4	387,28	00	4	34,28	0,003**

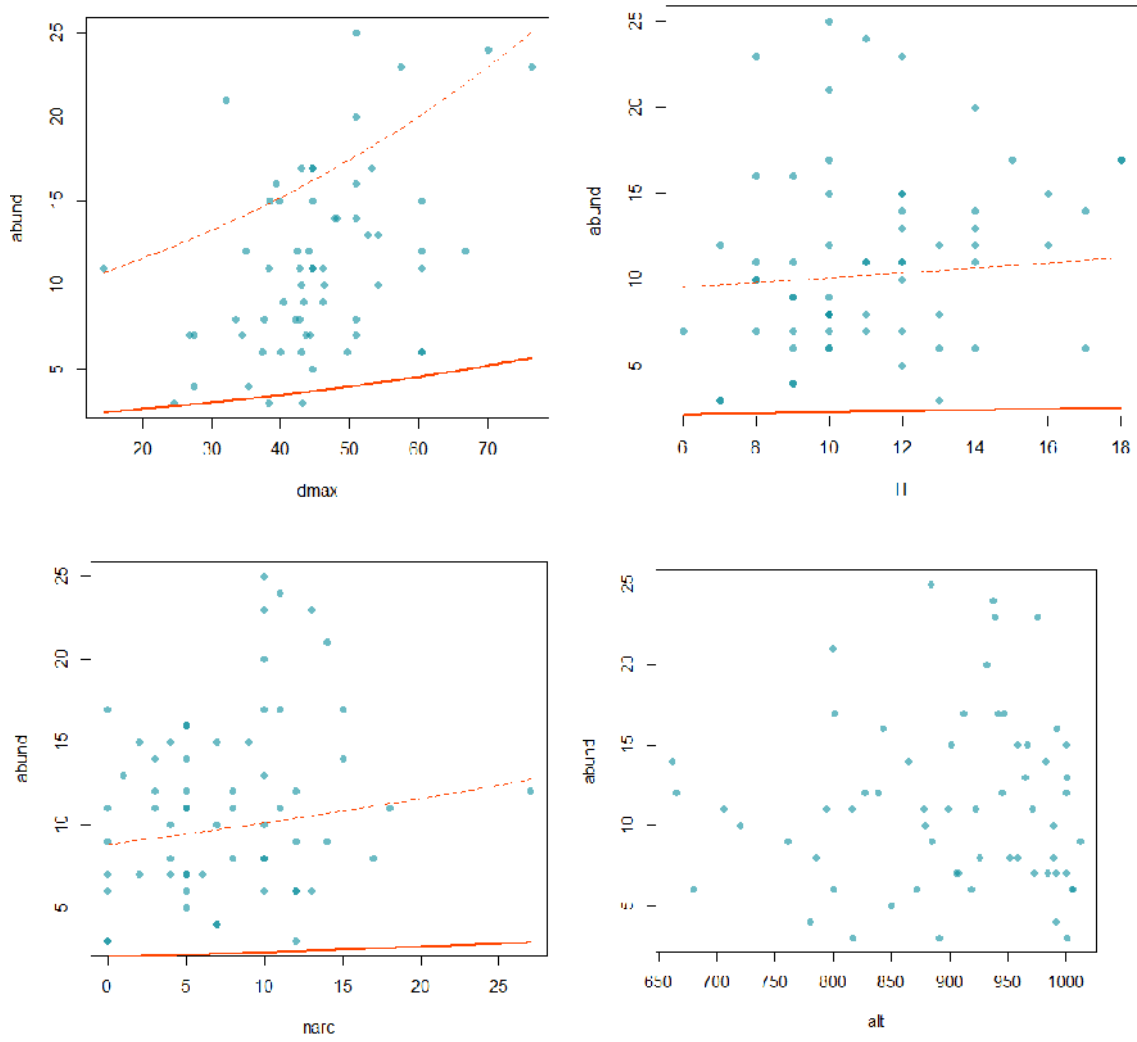


Figure 21 – Régression de l'abondance de communauté d'oiseaux de la zénaie de Boumezrane en fonction du plus gros arbre (*dmax*), de la hauteur de la strate arborée (*H*), du nombre d'arbres à cavités (*narc*) et de l'altitude (*alt*).

Tableau 8 – Modèles de la richesse spécifique de communauté d’oiseaux en fonction des variables de l’habitat de la zénaie de Boumezrane.

Modèle	K	AIC	Δ AIC	ddl	Dev	Pr(>Chi)
Richesse ~ dmax + ngbs + A + H + a + h + narc + alt	8	324,48	11,77	-7	-2,23	0,95
Richesse ~dmax + ngbs + A + H + a + h + narc	7	322,49	9,78	-6	-2,22	0,89
Richesse ~ dmax + ngbs + A + H + a + h	6	320,5	7,79	-5	-2,20	0,82
Richesse ~ dmax + ngbs + A + a + h	5	318,55	5,84	-4	-2,15	0,70
Richesse ~ dmax + ngbs + A + a	4	316,60	3,89	-3	-2,10	0,55
Richesse ~ dmax + ngbs + a	3	314,78	2,07	-2	-1,93	0,38
Richesse ~ dmax + a	2	313,62	0,91	-1	-1,08	0,29
Richesse ~ dmax	1	312,71	00	1	15,05	0,000***

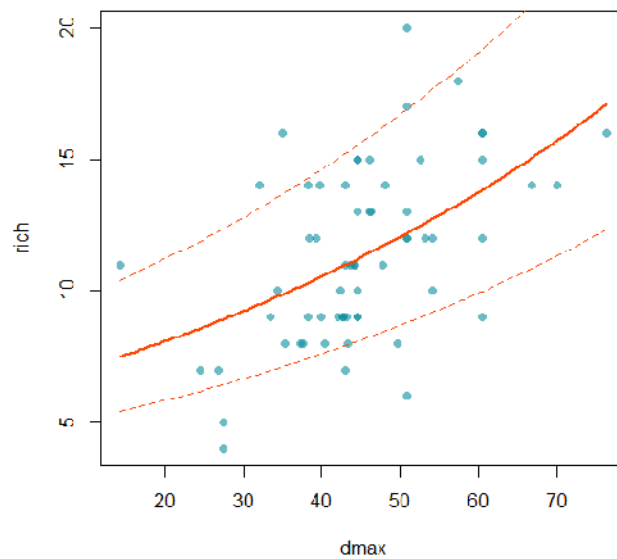


Figure 22 – Régression de la richesse spécifique de communauté d’oiseaux de la zénaie de Boumezrane en fonction du plus gros arbre (dmax).

Tableau 9 – Modèles de la diversité de communauté d'oiseaux en fonction des variables de l'habitat de la zénaie de Boumezrane.

Modèle	K	AIC	Δ AIC	ddl	Dev	Pr(>Chi)
Diversité ~ dmax + H + h + A + a + ngbs + narc + alt	8	32,96	9,33	-6	-0,19	0,89
Diversité ~ dmax + H + A + a + ngbs + narc + alt	7	31,00	7,37	-5	-0,19	0,80
Diversité ~ dmax + H + A + a + ngbs + narc	6	29,07	5,44	-4	-0,18	0,68
Diversité ~ dmax + H + a + ngbs + narc	5	27,25	3,62	-3	-0,17	0,53
Diversité ~ dmax + H + a + ngbs	4	25,38	1,75	-2	-0,16	0,35
Diversité ~ dmax + a + ngbs	3	24,37	0,74	-1	-0,09	0,27
Diversité ~ dmax + a	2	23,63	00	2	1,38	0,000***

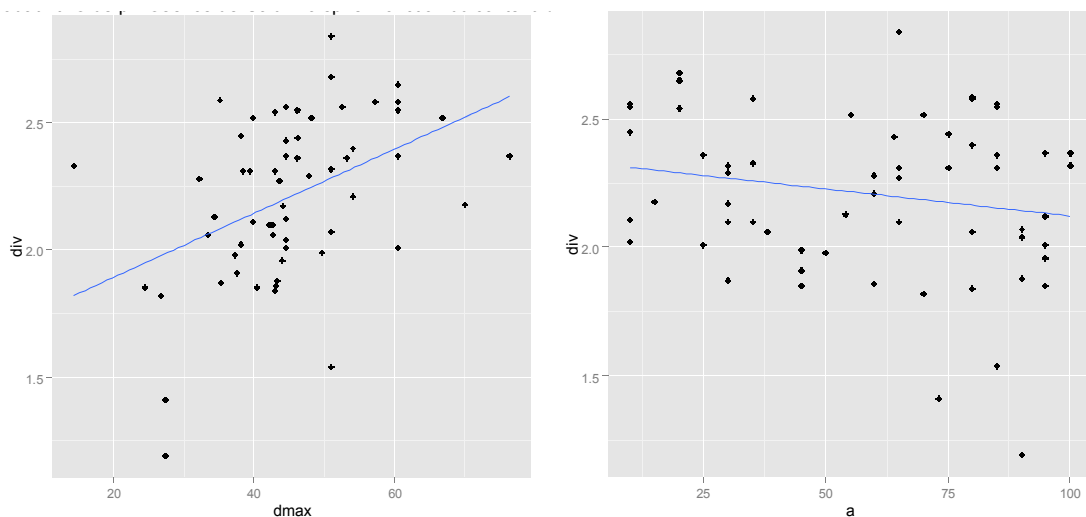


Figure 23 – Régression de la richesse spécifique de communauté d'oiseaux de la zénaie de Boumezrane en fonction du plus gros arbre (dmax) et de la taille du recouvrement de la strate arbustive.

2. Réponse des communautés d'oiseaux nicheurs de la subéraie de la forêt de Boumezrane le long de la structure verticale de la végétation.

Comme nous l'avons mentionné précédemment, la méthode d'échantillonnage utilisée pour quantifier l'avifaune nicheuse du peuplement du chêne liège de la forêt de Boumezrane est celle de l'Indice Ponctuel d'Abondance ou IPA. (Blondel *et al.*, 1981; Ralph *et al.*, 1995).

Les 53 relevés d'avifaune qui y ont été réalisés (106 IPA partiels) pendant la période de reproduction de l'année 2013 et 2014, ont permis de contacter 61 espèces d'oiseaux. Ces dernières sont représentées avec leur code respectif dans le tableau 10.

Tableau 10 – Liste des 61 espèces contactées au niveau de la subéraie de Boumezrane. Ordre des espèces selon la classification de Voous (1973 et 1977).

N°	Nom commun	Nom latin	Code
01	Bondrée apivore	<i>Pernis apivorus</i>	-
02	Vautour Percnoptère	<i>Neophron percnopterus</i>	-
03	Vautour fauve	<i>Gyps fulvus</i>	-
04	Faucon crécerelle	<i>Falco tinnunculus</i>	-
05	Pigeon ramier	<i>Columba palumbus</i>	Copa
06	Tourterelle des bois	<i>Streptopelia turtur</i>	Sttu
07	Coucou gris	<i>Cuculus canorus</i>	Cuca
08	Chouette hulotte	<i>Strix aluco</i>	Stal
09	Engoulevent d'Europe	<i>Caprimulgus europaeus</i>	Caeu
10	Guêpier d'Europe	<i>Merops apiaster</i>	-
11	Huppe fasciée	<i>Upupa epops</i>	Upep
12	Pic de Levillant	<i>Picus vaillantii</i>	Piva
13	Pic épeiche	<i>Dendrocopos major</i>	Dema
14	Pic épeichette	<i>Dendrocopos minor</i>	Demi
15	Torcol fourmilier	<i>Jynx torquilla</i>	Tyto
16	Alouette calandre	<i>Melanocorypha calandra</i>	Meca
17	Alouette lulu	<i>Lullula arborea</i>	Luar
18	Hirondelle rustique	<i>Hirundo rustica</i>	-
19	Troglodyte mignon	<i>Troglodytes troglodytes</i>	Trtr
20	Grive draine	<i>Turdus viscivorus</i>	Tuvi
21	Grive musicienne	<i>Turdus philomelos</i>	Tuph
22	Merle noir	<i>Turdus merula</i>	Tume
23	Rougegorge familier	<i>Erithacus rubecula</i>	Erru
24	Rosignol Philomèle	<i>Luscinia megarhynchos</i>	Lume
25	Traquet oreillard	<i>Oenanthe hispanica</i>	Oehi
26	Rougequeue de Moussier	<i>Phoenicurus moussieri</i>	Phmo

27	Tarie des prés	<i>Saxicola rube</i>	Saru
28	Tarie pâtre	<i>Saxicola torquata</i>	Sato
29	Hypolaïs pâle	<i>Hippolais pallid</i>	Hipa
30	Hypolaïs polyglotte	<i>Hippolais polyglotta</i>	Hipo
31	Fauvette à tête noire	<i>Sylvia atricapilla</i>	Syat
32	Fauvette orphée	<i>Sylvia hortensis</i>	Syho
33	Fauvette grisette	<i>Sylvia communis</i>	Syco
34	Fauvette mélanocéphale	<i>Sylvia melanocephala</i>	Syme
35	Fauvette passerinette	<i>Sylvia cantillans</i>	Syca
36	Fauvette pitchou	<i>Sylvia undata</i>	Syun
37	Pouillot vélocé	<i>Phylloscopus collybita</i>	Phco
38	Pouillot de Bonelli	<i>Phylloscopus bonelli</i>	Phbo
39	Roitelet triple-bandeau	<i>Regulus ignicapilla</i>	Reig
40	Gobemouche gris	<i>Muscicapa striata</i>	Must
41	Gobemouche noir de l'Atlas	<i>Ficedula speculigera</i>	Fisp
42	Mésange charbonnière	<i>Parus major</i>	Pama
43	Mésange nord-africaine	<i>Cyanistes teneriffae</i>	Cyte
44	Mésange noire	<i>Periparus ater</i>	Peat
45	Grimpereau des jardins	<i>Certhia brachydactyla</i>	Cebr
46	Etournant unicolor	<i>Sturnus unicolor</i>	Stun
47	Loriot d'Europe	<i>Oriolus oriolus</i>	Oror
48	Pie-grièche à tête rousse	<i>Lanius senat</i>	Lase
49	Grand corbeau	<i>Corvus corax</i>	Cocor
50	Geai des chênes	<i>Garrulus glandarius</i>	Gagl
51	Moineau domestique	<i>Passer domesticus</i>	Pado
52	Moineau espagnol	<i>Passer hispaniolensis</i>	Pahi
53	moineau soulcie	<i>Petronia petronia</i>	Pepe
54	Pinson des arbres	<i>Fringilla coelebs</i>	Frcó
55	Serin cinin	<i>Serinus serinus</i>	Sese
56	Verdier d'Europe	<i>Carduelis chloris</i>	Cach
57	Linotte mélodieuse	<i>Linaria cannabina</i>	Lica
58	Grosbec casse-noyaux	<i>Coccothraustes coccothraustes</i>	Cococ
59	Bruant zizi	<i>Emberiza cirrus</i>	Emcir
60	Bruant fou	<i>Emberiza cia</i>	Emcia
61	Bruant proyer	<i>Miliaria calandra</i>	Mica

2.1. Classement systématique des espèces contactées:

Par rapport à la zénaie, la subéraie de la forêt de Boumezrane se distingue par un degré de fermeture de la végétation, nettement important (une strate arbustive dense). La richesse totale qui y a été mesurée est la plus élevée, avec 61 espèces contactées. Parmi les 61 espèces recensées par la méthode des IPA, il faut faire la distinction entre celles qui seront retenues dans certaines

analyses statistiques, de celles qui ne le seront pas. En effet si le thème de notre travail porte avant tout sur les espèces nicheuse, il convient d'en éliminer (pour certaines analyses rappelons-nous) celles qui ne nichent pas dans le peuplement du chêne liège.

Par ailleurs, même parmi les espèces nicheuses celles qui ont un grand territoire ne peuvent également être retenues, car la méthode des IPA qui a permis de les contacter n'est pas indiquée pour le faire. Au total ce sont six espèces qu'on a dû éliminer (Tab. 10).

Ces espèces recensées appartiennent à 10 ordres, parmi lesquels celui des Passériformes vient en premier avec 18 familles et 46 espèces soit 75,41 % de l'ensemble des espèces contactées, puis on retrouve par ordre d'importance décroissant les ordres suivant: les Piciformes (4 espèces), les Accipitriformes (3 espèces) et les Columbiformes (2 espèces).

Tableau 11 – *Classement systématique des espèces contactées dans la subéraie de Boumezrane durant la période de reproduction.*

Ordre	Famille	Nom latin
Accipitriformes	<u>Accipitridés</u>	<i>Pernis apivorus</i>
		<i>Neophron percnopterus</i>
		<i>Gyps fulvus</i>
Falconiformes	<u>Falconidés</u>	<i>Falco tinnunculus</i>
Columbiformes	<u>Columbidés</u>	<i>Columba palumbus</i>
		<i>Streptopelia turtur</i>
Cuculiformes	<u>Cuculidés</u>	<i>Cuculus canorus</i>
Strigiformes	<u>Strigidés</u>	<i>Strix aluco</i>
Caprimulgiformes	<u>Caprimulgidés</u>	<i>Caprimulgus europaeus</i>
Coraciiformes	<u>Meropidés</u>	<i>Merops apiaster</i>
Bucérotiformes	<u>Upupidés</u>	<i>Upupa epops</i>
Piciformes	<u>Picidés</u>	<i>Picus vaillantii</i>
		<i>Dendrocopos major</i>
		<i>Dendrocopos minor</i>
		<i>Jynx torquilla</i>
Passériformes	<u>Alaudidés</u>	<i>Melanocorypha calandra</i>
		<i>Lullula arborea</i>
	<u>Hirundinidés</u>	<i>Hirundo rustica</i>
	<u>Troglodytidés</u>	<i>Troglodytes troglodytes</i>
	<u>Turdidés</u>	<i>Turdus viscivorus</i>
	<i>Turdus philomelos</i>	
	<i>Turdus merula</i>	

	<u>Muscicapidés</u>	<i>Erithacus rubecula</i> <i>Luscinia megarhynchos</i> <i>Oenanthe hispanica</i> <i>Phoenicurus moussieri</i> <i>Saxicola rube</i> <i>Saxicola torquata</i> <i>Muscicapa striata</i> <i>Ficedula speculigera</i>
	<u>Acrocephalidés</u>	<i>Hippolais pallid</i> <i>Hippolais polyglotta</i>
	<u>Sylviidés</u>	<i>Sylvia atricapilla</i> <i>Sylvia hortensis</i> <i>Sylvia communis</i> <i>Sylvia melanocephala</i> <i>Sylvia cantillans</i> <i>Sylvia undata</i>
	<u>Phylloscopidés</u>	<i>Phylloscopus collybita</i> <i>Phylloscopus bonelli</i>
	<u>Régulidés</u>	<i>Regulus ignicapilla</i>
	<u>Paridés</u>	<i>Parus major</i> <i>Cyanistes teneriffae</i> <i>Periparus ater</i>
	<u>Certhiidés</u>	<i>Certhia brachydactyla</i>
	<u>Sturnidés</u>	<i>Sturnus unicolor</i>
	<u>Oriolidés</u>	<i>Oriolus oriolus</i>
	<u>Laniidés</u>	<i>Lanius senat</i>
	<u>Corvidés</u>	<i>Corvus corax</i> <i>Garrulus glandarius</i>
	<u>Passéridés</u>	<i>Passer domesticus</i> <i>Passer hispaniolensis</i> <i>Petronia petronia</i>
	<u>Fringillidés</u>	<i>Fringilla coelebs</i> <i>Serinus serinus</i> <i>Carduelis chlor</i> <i>Linaria cannabina</i> <i>Coccothraustes coccothraustes</i>
	<u>Emberizidés</u>	<i>Emberiza cirrus</i> <i>Emberiza cia</i> <i>Miliaria calandra</i>
10 ordres	27 familles	61 espèces

Les ordres qui regroupent une seule espèce pour chacun sont: les Falconiformes, les Cuculiformes, les Strigiformes, les Caprimulgiforme, les Coraciiformes et les Bucérotiformes (Tab. 11 et Fig. 24).

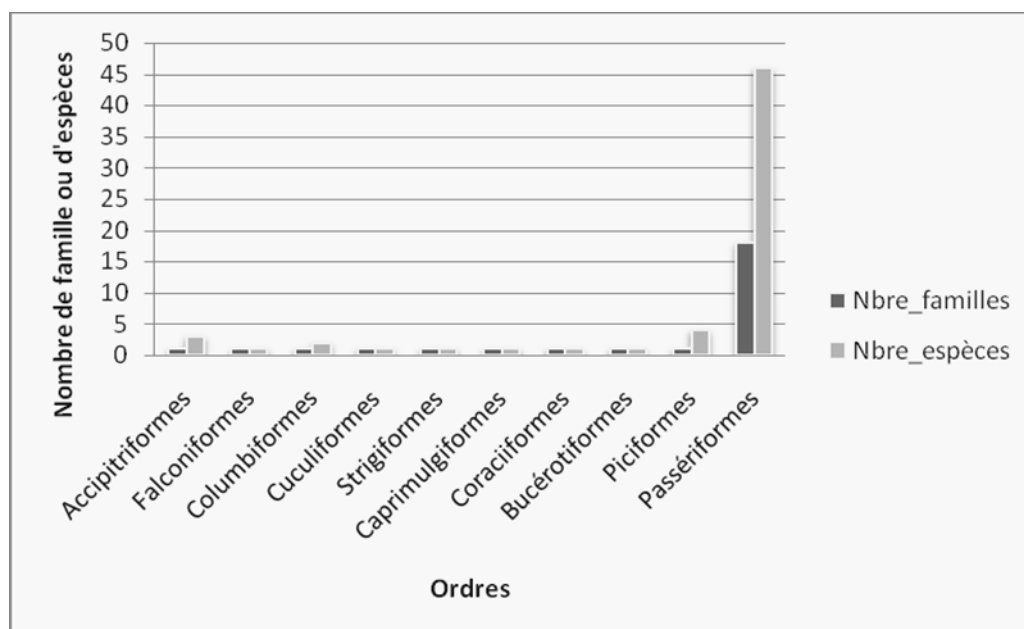


Figure 24 – Classement systématique des ordres des espèces d’oiseaux de la subéraie de la forêt de Boumezrane selon le nombre de familles et le nombre d’espèces.

La structure du peuplement à travers la répartition des familles, révèle que les familles les plus diversifiées en nombre d’espèces sont les Muscicapidés (8 espèces) et les Sylviidés (6 espèces), suivis des Fringillidés et des Picedés qui renferment chacune cinq espèces et des Accipitridés, des Turdidés, des Paridés, des Passéridés et des Emberizidés avec trois espèces pour chacune. D’autres familles, moins bien représentées méritent cependant d’être citées. Il s’agit Columbides, des Alaudidés, des Acrocéphalidés, des Phylloscopidés et des Corvidés regroupant deux espèces chacune. Les autres familles ne comptent qu’une seule espèce (Tab. 12 et Fig. 25). L’examen du tableau 12 et de la figure 25, révèle aussi une structure de peuplement en nombre de couple qui, de toute évidence diffère peu de celle du peuplement du chêne zeen. Sa caractéristique principale reste toujours la dominance des Paridés et des Muscicapidés, mais avec une diminution en nombre de couples chez les Sylviidés qui remplacée par la présence des Fringillidés, occupant le 3^{ème} rang. En outre, les Turdidés et les Sylviidés occupent respectivement le 4^{ème} et 5^{ème} rang.

Nous signalons aussi que d'autres familles moins bien représentées avec une abondance relative très faible. Il s'agit des Strigidés, des Caprimulgidés et des Laniidés.

Tableau 12 – *Classification systématique des familles des espèces avifaunistiques de la subéraie de la forêt de Boumezrane suivant le nombre d'espèces et le nombre de couples.*

N°	Familles	Nombre d'espèces	Nombre de couples
01	Accipitridés	3	3
02	Falconidés	1	1,5
03	Columbidés	2	22,5
04	Cuculidés	1	17
05	Strigidés	1	<u>0,5</u>
06	Caprimulgidés	1	<u>0,5</u>
07	Meropidés	1	23
08	Upupidés	1	9,5
09	Picidés	4	58,5
10	Alaudidés	2	13,5
11	Hirundinidés	1	4,5
12	Troglodytidés	1	47,5
13	Turdidés	3	82
14	Muscicapidés	8	144
15	Acrocephalidés	2	3,5
16	Sylviidés	6	71
17	Phylloscopidés	2	68
18	Régulidés	1	29,5
19	Paridés	3	187,5
20	Certhiidés	1	35,5
21	Sturnidés	1	22
22	Oriolidés	1	10
23	Laniidés	1	<u>1</u>
24	Corvidés	2	33,5
25	Passéridés	3	16,5
26	Fringillidés	5	119,5
27	Emberizidés	3	11
Total		61	1036

* *Soulignement : valeur faible*

* *Gras : valeur élevée*

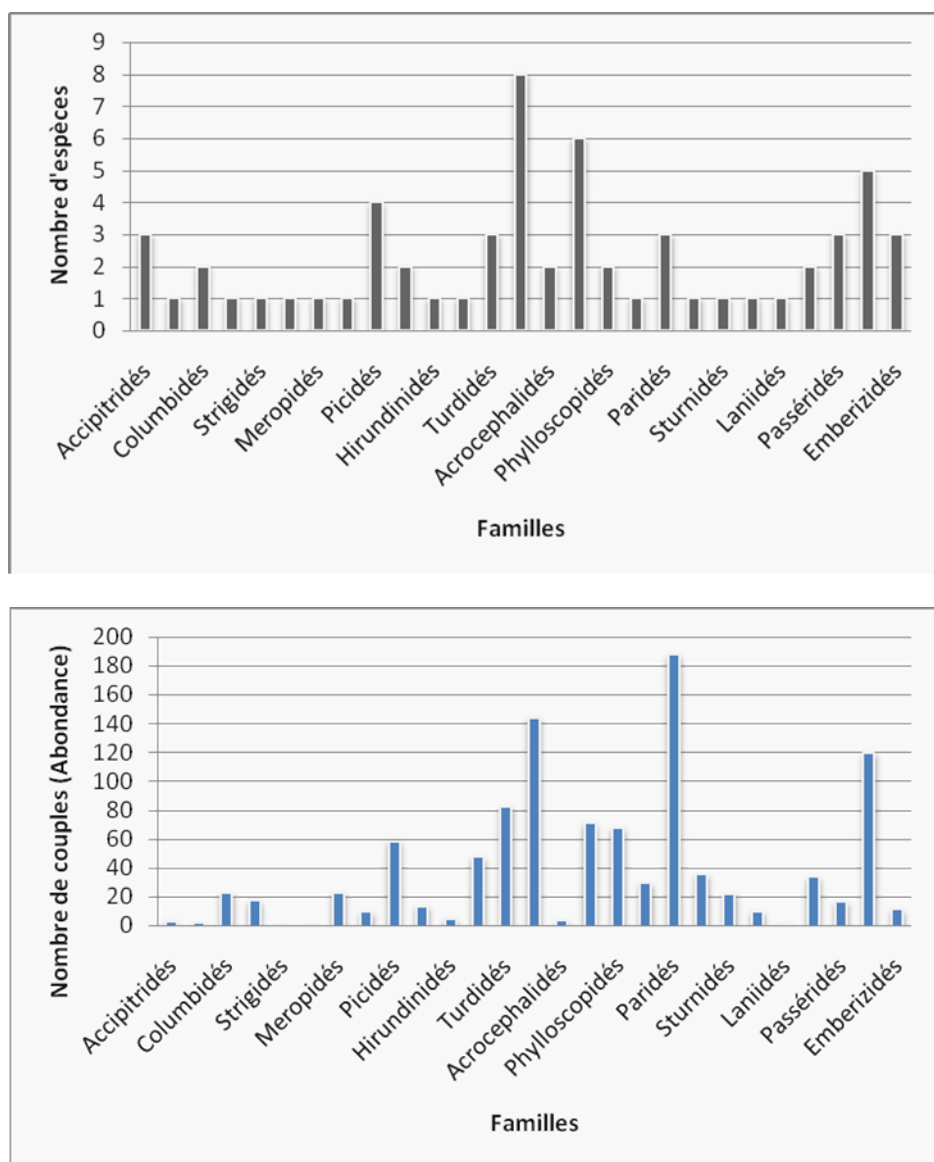


Figure 25 – Classement systématique des familles d’oiseaux de la subéraie de Boumezrane selon le nombre d’espèces et le nombre de couples (abondance).

2.2. Analyse du tableau d’espèces nicheuse et de la valeur de l’IPA moyen

Le tableau 13 nous indique que dans la subéraie de Boumezrane, les valeurs des IPA moyens les plus élevées (IPA moyen= 1,755 couples et 1,745) appartiennent à l’espèce *Fringilla coelebs* (Pinson des arbres) et *Parus major* (Mésange charbonnière) respectivement, parce qu’elles ont été représentées par un nombre très important de couples (93 et 92,5 couples pour chacune d’entre elle).

Les autres valeurs sont par ordre d'importance décroissant se trouvent chez les espèces buissonnantes suivantes: *Erithacus rubecula* (Rouge-gorge familier) (IPA moyen=1,443 couples) et *Turdus merula* (Merle noir) (IPA moyen=1,331 couples) et l'espèce cavernicole secondaire, *Cyanistes teneriffae* (Mésange nord-africaine) (IPA moyen=1,396). En revanche, l'espèce cavernicole primaire *Dendrocopos major* (Pic épeiche) présente un IPA moy égale à 0,585 couple. *Ficedula speculigera* (Gobemouche noir de l'Atlas) présente un IPA moy égale à 0,368 couple.

Tableau 13 – Abondance, IPA moyen et fréquences centésimales des espèces d'oiseaux nicheurs dans la subéraie de Boumezrane (F (%) : fréquence centésimale).

N°	Espèce	Catégorie troph.	Guilde	Abondance	F(%)	IPA moyen
01	Pigeon ramier	frugivore	aérien	17	15,09	0,321
02	Tourterelle des bois	granivore	terrestre	5,5	7,55	0,104
03	Coucou gris	insectivore	arboricole	17	26,42	0,321
04	Chouette hullote	carnivore	arboricole	0,5	1,89	0,009
05	Engoulevent d'Eroupe	insectivore	terrestre	0,5	1,89	0,009
06	Huppe fasciée	insectivore	terrestre	9,5	18,87	0,179
07	Pic de Levillant	insectivore	arboricole	20,5	47,17	0,387
08	Pic epeiche	insectivore	arboricole	31	60,38	0,585
09	Pic epeichette	insectivore	arboricole	2,5	5,66	0,047
10	Torcol fourmilier	insectivore	arboricole	4,5	7,55	0,085
11	Alouette calandre	granivore	buisson	1	1,89	0,019
12	Alouette lulu	granivore	buisson	12,5	16,98	0,236
13	Troglodyte mignon	insectivore	buisson	47,5	60,38	0,896
14	Grive draine	mixte	arboricole	11	15,09	0,208
15	Grive muscenne	mixte	arboricole	<u>1,5</u>	3,77	0,028
16	Merle noir	mixte	buisson	69,5	83,02	<u>1,311</u>
17	Rougegorge familier	insectivore	terrestre	76,5	75,47	<u>1,443</u>
18	Rosignol philomèle	insectivore	buisson	13	15,09	0,245
19	Traquet oreillard	insectivore	terrestre	1	3,77	0,019
20	Rougequeue de Moussier	insectivore	terrestre	20	32,08	0,377
21	Tarie des prés	insectivore	buisson	1	1,89	0,019
22	Tarie pâtre	insectivore	buisson	11	5,66	0,208
23	Hypolaïs pâle	insectivore	buisson	0,5	1,89	0,009
24	Hypolaïs plyglotte	insectivore	buisson	3	3,77	0,057
25	Fauvette à tête noire	insectivore	buisson	20,5	22,64	0,387
26	Fauvette orphée	insectivore	buisson	1,5	1,89	0,028
27	Fauvette grisette	insectivore	buisson	5	3,77	0,094
28	Fauvette mélanocéphale	insectivore	buisson	35	47,17	0,660

29	Fauvette passerinette	insectivore	buisson	6	7,55	0,113
30	Fauvette pitchou	insectivore	buisson	3	3,77	0,057
31	Pouillot véloce	insectivore	arboricole	6,5	5,66	1,160
32	Pouillot de Bonelli	insectivore	arboricole	61,5	39,62	0,123
33	Roitelet triple-bandeau	insectivore	arboricole	29,5	35,85	0,557
34	Gobemouche gris	insectivore	aerien	2	5,66	0,038
35	Gobemouche de l'Atlas	insectivore	aerien	19,5	22,64	0,368
36	Mésange charbonnière	insectivore	arboricole	92,5	84,91	<u>1,745</u>
37	Mésange nord-africain	insectivore	arboricole	74	79,25	<u>1,396</u>
38	Mésange noire	insectivore	arboricole	21	33,96	0,396
39	Grimpereau des jardins	insectivore	arboricole	35,5	37,74	0,670
40	Etournant unicolor	insectivore	aerien	22	11,32	0,415
41	Loriot d'Europe	insectivore	arboricole	10	1,89	0,189
42	Pie-grièche à tête rousse	carnivore	terrestre	1	3,77	0,019
43	Grand corbeau	carnivore	aerien	7,5	18,87	0,142
44	Geai des chênes	mixte	arboricole	26	52,83	<u>0,491</u>
45	Moineau domestique	granivore	terrestre	0,5	1,89	0,009
46	Moineau espagnol	granivore	terrestre	15	1,89	0,283
47	moineau soulcie	granivore	terrestre	1	1,89	0,019
48	Pinson des arbres	mixte	arboricole	93	77,36	<u>1,755</u>
49	Serin cini	granivore	terrestre	16,5	13,21	0,311
50	Verdier d'Europe	granivore	arboricole	2,5	1,89	0,047
51	Linotte mélodieuse	granivore	terrestre	7	7,55	0,132
52	Grosbec casse-noyaux	granivore	arboricole	0,5	1,89	0,009
53	Bruant zizi	granivore	terrestre	2,5	5,66	0,047
54	Bruant fou	granivore	terrestre	1,5	3,77	0,028
55	Bruant proyer	granivore	terrestre	7	7,55	0,132
Nombre total d'espèces				55		
Nombre d'espèces F > 50 %				08		

De plus, notre subéraie à sous bois fait partie des milieux forestier que nous avons qualifié de fermées. Car des espèces avec une abondance relative très faible (0,5 ou 1 couple) dans le peuplement sont *Melanocorypha calandra* (Alouette calandre), *Oenanthe hispanica* (Traquet oreillard), *Saxicola rube* (Tarie des prés), *Hippolais pallid* (Hypolaïs pale) et *Petronia petronia* (Moineau soulcie), dont la présence dans ce milieu est relativement exceptionnelle. Celles-ci ont plutôt tendance à se cantonner dans des milieux plus ouverts. Une autre espèce est *Passer domesticus* (Moineau domestique), dont la faible abondance est en revanche étonnante qui préfère le milieu urbain, ceci répond à son comportement territorial.

Notons enfin, que les valeurs les plus faibles appartiennent aussi à l'espèce à grand territoire, représentée par *Corvus corax* (Grand corbeau), aux espèces nocturnes, on retrouve *Strix aluco* (Chouette hulotte) ou *Caprimulgus europaeus* (Engoulevent d'Europe), ou aux espèces rares comme *Muscicapa striata* (Gobemouche gris).

2.3. Caractéristiques trophiques et phénologiques de notre peuplement avien

Du point de vue des catégories trophiques, si les insectivores représentent encore la majorité des espèces (54,09%), notons en revanche, une importante émergence des nouvelles espèces granivores dans la subéraie (Alouette calandre, Moineau souldie, verdie d'Europe, Gros-bec casse noyaux...), qui présentent 21,31% du nombre totale des espèces. Par contre nous notons également, une réduction du rôle des polyphages (mixte) (9,83%) et des frugivores (3,27%) (Tab. 13 et Fig. 26). Ce phénomène est surtout lié à l'existence d'une litière relativement épaisse et humide.

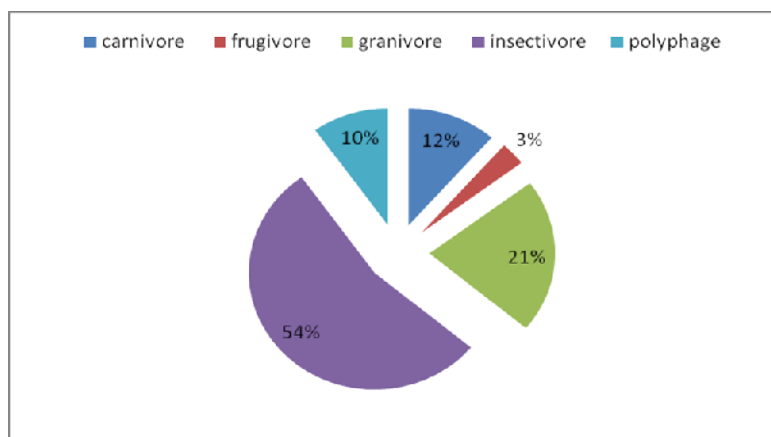


Figure 26 – Caractéristiques trophiques de la communauté d'oiseaux de la subéraie de Boumezrane.

2.4. Qualité d'échantillonnage

Selon la courbe de richesse spécifique cumulée des espèces (Fig. 27), c'est-à-dire la représentation du nombre moyen d'espèces d'oiseaux de la subéraie de la forêt de Boumezrane en fonction du nombre de points d'écoute pris en considération dans l'échantillonnage, montre que le nombre de relevés étudiés (53 points d'écoute) est suffisant pour avoir une estimation de la richesse des sites d'étude (La courbe de richesse cumulée atteint presque une parfaite asymptote dans les limites de notre plan d'échantillonnage).

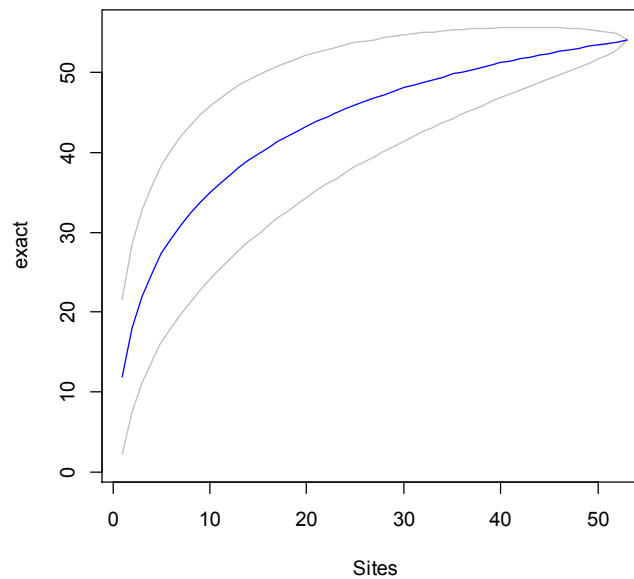


Figure 27 – Courbe de richesse cumulée des espèces d’oiseaux en fonction du nombre de points d’écoute de la subéraie de Boumezrane. La courbe rejoint l’asymptote. Celle-ci indique le nombre de points d’écoute à étudier pour avoir un échantillonnage complet.

2.5. Analyse de la fréquence et des indices de diversité

L’analyse de la fréquence d’abondance $F(\%)$ des 55 espèces d’oiseaux nicheuses contactées dans les 106 relevés (IPA partiels) effectués dans la subéraie de Boumezrane durant la période de nidification (Tab. 13), nous indique que quelques espèces qui composent le peuplement avien dominant largement. Il s’agit des espèces constantes ($75 > F(\%) > 100$) représentées par cinq espèces: deux buissonnantes (Merle noir *Turdus merula* et Rouge-gorge familier *Erithacus rubecula*) et trois arboricoles (Mésange charbonnière *Parus major*, Mésange nord-africaine *Cyanistes teneriffae* et Pinson des arbres *Fringilla coelebs*). Par contre, 38 espèces se distinguent par une fréquence d’occurrence faible ($F(\%) < 25$), il s’agit soit d’espèces à grand territoire (Huppe fasciée *Upupa epops*, Coucou gris *Cuculus canorus* et Grand corbeau *Corvus corvus*), soit d’espèces accidentelles (Alouette Calandre, Fauvette grisette *Sylvia communis* et Alouette lulu *Lullula arborea*) ou d’espèces rares (Gobemouche gris *Ficedula albicollis* et Gros-bec casse noyau *Coccothraustes coccothraustes*). Les 12 autres espèces restantes sont des espèces accessoires ($25 > F(\%) > 50$).

Sur un plan structurel, l'indice de diversité de Shannon-Weaver H' affiche là une valeur élevée ($H'=2,79$) et traduit le caractère diversifié et complexe de la subéraie, à travers l'organisation d'un peuplement avien qui se caractérise d'une part, par un nombre important d'espèces par rapport la zénaie et par une distribution des abondances, d'autre part. Remarquons néanmoins, que la valeur de l'équitabilité E proche de 0,98 est cependant supérieure à celle que l'on observe dans la zénaie.

2.6. Relations entre les variables environnementales du peuplement du chêne liège: Analyse en Composantes Principales (ACP ou PCA)

Comme nous l'avons mentionné précédemment, une analyse en composante principale a été réalisée afin de définir les corrélations existantes entre les variables explicatives (les huit variables environnementales de la subéraie) et qui seront par la suite explorée. Selon la méthode de Kaiser on a retenu seulement les trois premiers axes pour la représentation graphique des plans factoriels et qui expliquent environ 70,32 % de la variabilité totale de notre matrice des variables environnementales, trois groupes de variables (ou composantes) ont été distingués (Fig. 28).

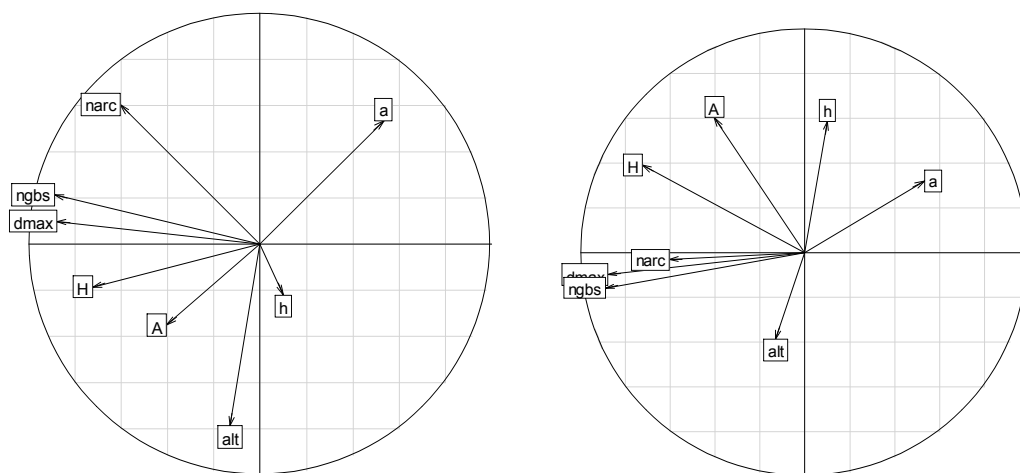


Figure 28 – *Ordination des variables de l'habitat de la subéraie sur les plans factoriels du cercle de corrélation issue de l'ACP: plan factoriel 1X2 (gauche) et plan factoriel 1X3 (droit).*

L'axe 1 (36,83%) explique un gradient tant pour le diamètre du plus gros arbre et le nombre de gros bois (ngbs) que la hauteur de la strate arborée (H) (corrélation négative). Le deuxième axe de variabilité (19,13 %) traduit un gradient recouvrement de sous bois (a) (corrélation positive) et à l'opposé, il représente un gradient d'altitude (alt). Le troisième axe (14,36 %) qui porte un complément d'information sur la variabilité de notre jeu de donnée représente un gradient volume des arbres (taux de recouvrement de la strate arborée (A)) et taille de sous bois (hauteur de la strate arbustive (h)) (corrélation positive).

2.7. Effet de variables environnementales sur la composition avifaunistique du peuplement du chêne liège: Analyse Canonique des Correspondances (ACC ou CCA)

En écologie des communautés, l'analyse canonique des correspondances se rapproche d'une régression multiple (plusieurs prédicteurs) multivariée (plusieurs variables de réponse simultanées, i.e. les abondances de toutes les espèces), cette analyse multivariée a été utilisée dans une approche exploratoire, afin de sélectionner des variables significatives dans un jeu de variables mesurées (les huit descripteurs initiales) qui expliquent au mieux la structuration et la composition des espèces d'oiseaux de la subéraie de Boumezrane.

Le premier résultat des valeurs propres issu de cette analyse nous indique que les trois premiers axes retenus et qui portent respectivement 31,82; 18,80 et 13,68 % de la variabilité totale, sont satisfaisants pour suggérer comment les gradients de notre avifaune sont expliqués par les gradients de structure de l'habitat de la subéraie de Boumezrane (ils expliquent environ 64% de l'inertie totale). En se référant aux figures 29 et 30, nous notons que les variables environnementales prélevées sur les différents points d'écoute jouent aussi un rôle important dans l'organisation de l'avifaune nicheuse le long du peuplement du chêne liège.

Le premier axe d'étirement de l'ACC permet de distinguer les espèces selon le nombre de gros bois (ngbs) et l'altitude (alt). Le second axe permet de distinguer plus finement les espèces plutôt liées au diamètre du plus gros arbre (dmax), au recouvrement de la strate arborée (A) et à la taille de la strate arbustive (h) et, à l'opposé les espèces liées aux arbres à cavités (narc) et à l'hauteur de la strate arborée (dmax). Nous remarquons également que le troisième axe porte un complément d'information qui explique aussi l'effet du taux de recouvrement de la strate arbustive (a) sur la différenciation de notre avifaune.

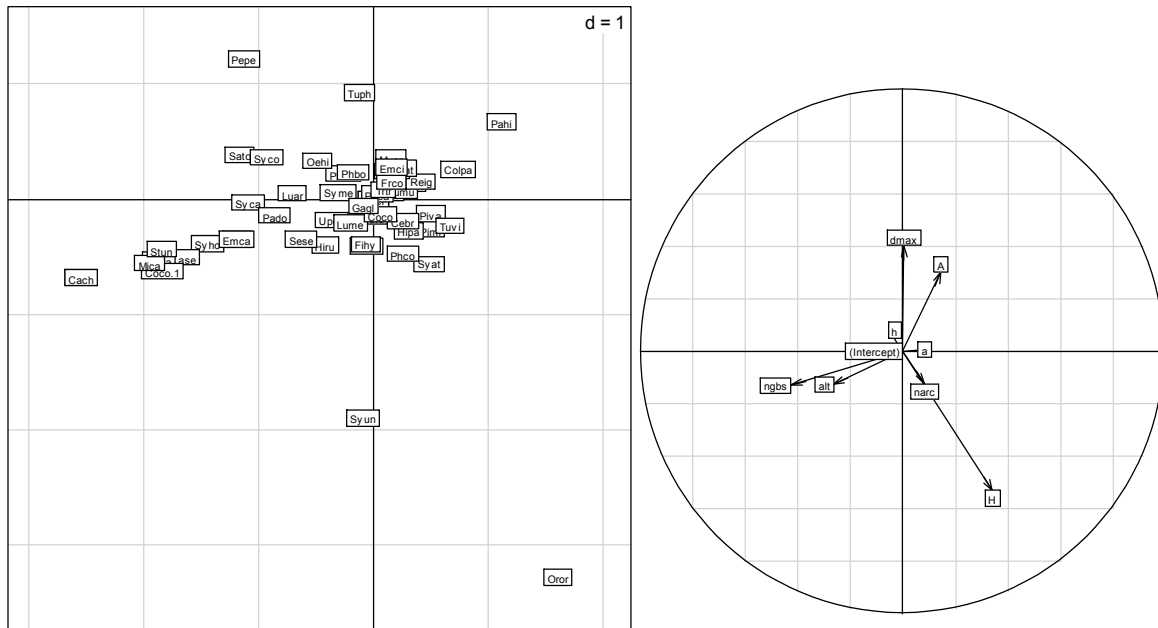


Figure 29 – *Ordination des espèces d’oiseaux selon l’analyse canonique des correspondances entre la matrice espèces et la matrice habitat de la subéraie de Boumezrane. Les abréviations des variables habitat sont définies dans le texte et les codes des espèces et leurs noms scientifiques sont donnés au tableau 10. Plan factoriel (1X2).*

Le côté gauche selon le premier axe de l’ordination comprend les espèces liées au nombre de gros bois (ngbs) et à l’altitude (alt), soit la huppe fasciée (Upep), l’alouette calandre (Meca), l’alouette lulu (Luar), le rougequeue de moussier (Phmo), le tarie pâtre (Stto), la fauvette passerinette (Syca), la pie-grièche à tête rousse (Lase), le moineau domestique (Pado), le serin cinin (Sese), la linotte mélodieuse (Caca), le verdier d’Europe (Cach), le bruant proyer (Mica) et l’étourneau unicolore (Stun). Sur le second axe du côté positif sont présentes les espèces liées au diamètre du plus gros arbre (dmax), au recouvrement de la strate arborée (A) et à la taille de la strate arbustive (h), soit la grive musicienne (Tuph), le pouillot de Bonelli (Phbo), la mésange charbonnière (Pama), la mésange nord-africaine (Cyte), la mésange noire (Peat), le bruant zizi (Emci) et le moineau soulci (Pepe). Dans l’autre côté négatif du second axe de la présentation graphique de l’ACC se trouvent les espèces liées au nombre d’arbres à cavités (narc) et à la hauteur de la strate arborée (H): la fauvette pitchou (Syun) et le grand corbeau (Cocor).

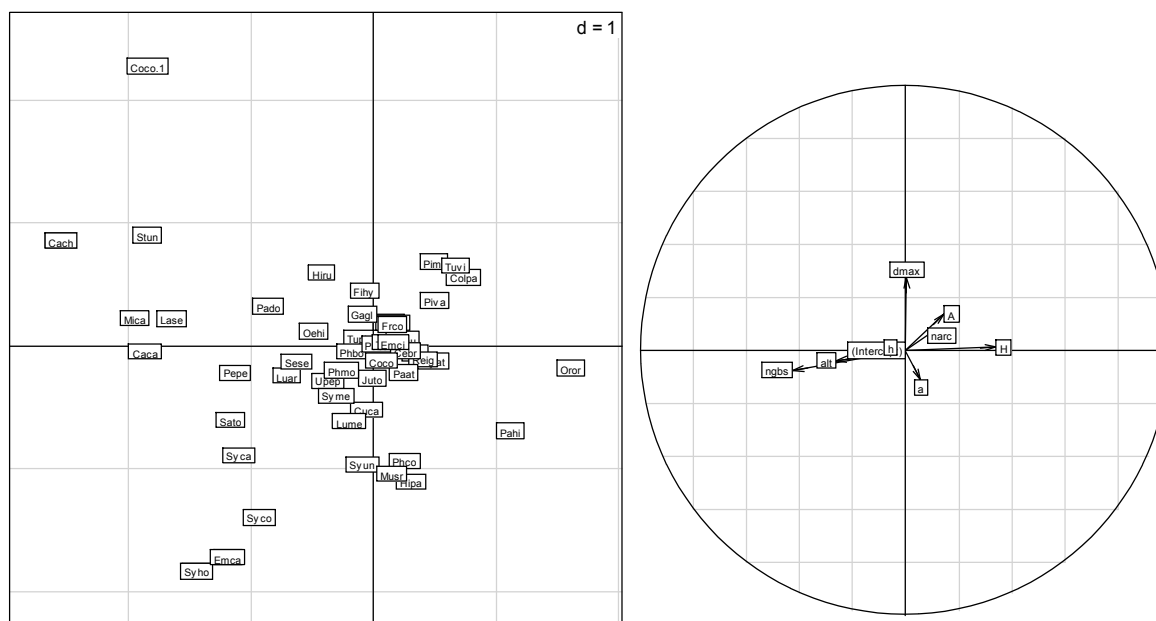


Figure 30 – Ordination des espèces d'oiseaux selon l'analyse canonique des correspondances entre la matrice espèces et la matrice habitat de la subéraie de Boumezrane. Les abréviations des variables habitat sont définies dans le texte et les codes des espèces et leurs noms scientifiques sont donnés au tableau 10. Plan factoriel (IX3).

Nous notons néanmoins, qu'il existe un complément d'information sur le troisième axe du côté négatif ou sont présentes les espèces liées au taux de recouvrement de la strate arbustive (a), soit le coucou gris (Cuca), le torcol fourmiller (Juto), le rossignol Philomèle (Lime), le tarie des près (Saru), le hypolaïs polyglotte (Hipo), le hypolaïs pâle (Hipa), la fauvette orphée (Syho), le pouillot vélocé (Phco), le gobemouche gris (Musr) et le bruant fou (Emca).

2.8. Analyse complémentaire de l'ACC: Analyse Canonique de Redondance (ACR ou RDA)

Cette analyse d'ordination complémentaire vise à déterminer quelle part des variations de composition d'assemblage avifaunistique est expliquée par les variables environnementales mesurées (les contraintes) dans les différents points d'écoute réalisés dans la subéraie de Boumezrane. Si nous n'avons pas mesuré les variables importantes, il se peut que cette part soit faible. On assiste ainsi, globalement, à une relation significative entre les espèces d'oiseaux et les descripteurs d'habitat du peuplement du chêne liège ($F = 2,505$, $p = 0,001$).

Sachant que le pourcentage total de la variance expliquée par les variables environnementales explicatives est de 22,02 %. Après avoir testé la colinéarité de nos variables explicatives en estimant le facteur d'inflation de la variance (VIF, de l'anglais variance inflation factors), on constate que nos prédicateurs ne présentent pas aucune corrélation forte ($VIF < 5$). Notons également que le R-carré est de 0,085, mais le R-carré ajusté est de 0,078. Par la suite ces variables explicatives ont subi une sélection progressive afin de sélectionner les variables explicatives significatives, le test par permutation effectué sur les variables indique que deux variables sont retenues par la sélection progressive, soit A et a sont significatives ($AIC = -35,807$, $F = 1,5241$, $p < 0,05$).

Ces deux variables ont été alors placées dans un nouveau tableau de données afin d'effectuer une nouvelle RDA contenant uniquement les variables environnementales significatives. Ces descripteurs expliquent 9,11% de la variance de la composition de notre avifaune.

Le test par permutation effectué sur les axes canoniques indique que seuls les axes 1 et 2 sont significatifs ($p < 0,01$) après 999 permutations.

Les deux variables conservées, soient A et a, représentant respectivement le taux de recouvrement de la strate arborée et le taux de recouvrement de la strate arbustive. Le VIF moyen des ces variables sélectionnées est de 1,44, avec 1,49 comme valeur maximale (a), ce que nous jugeons acceptable. Le R-carré ajusté de ce modèle est de 0,055.

Enfin, nous nous référons à la figure 31, nous constatons que la variable taux de recouvrement de la strate arborée (A), est la variable qui porte le maximum d'information et qui contribue à influencer la structure et la composition de la majorité des espèces d'oiseaux étudiées. La seconde variable en importance est la variable taux de recouvrement de la strate arbustive (a).

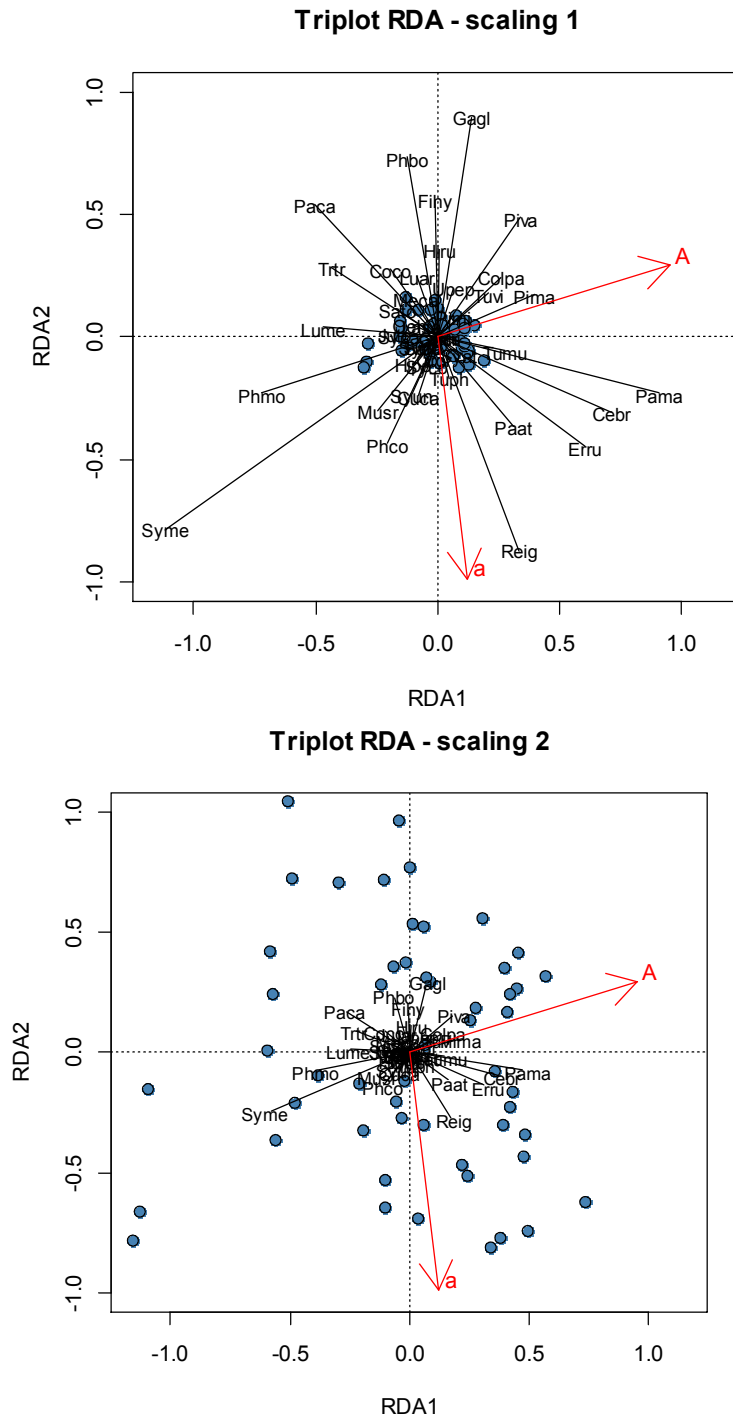


Figure 31 – *Ordination des espèces d’oiseaux de la subéraie de Boumezrane issue l’analyse canonique de redondance entre la matrice espèce (44 espèces) et la matrice des variables sélectionnées (deux variables).*

2.9. Classification d’assemblages d’oiseaux fondée sur les caractéristiques de leur habitat dans le peuplement du chêne liège : Arbre de Regression Multivariée (MRT) et espèces indicatrices (IndVal)

Comme nous l’avons mentionné précédemment, la technique de l’arbre de régression multivariée a été utilisée afin de développer un modèle d’utilisation d’habitats pour les communautés d’oiseaux nicheurs de la subéraie de Ain Zana, afin de souligner l’importance des variables environnementales dites associées dans ce modèle et leur importance dans la structuration de l’habitat en vue de déterminer la composition spécifique des assemblages des espèces aviennes. Sachant que, cette composition relative de ces espèces avifaunistiques à chaque partition de l’arbre a été estimée à l’aide de la méthode IndVal pour chercher les espèces indicatrices.

L’examen de la figure 32, nous montre que l’arbre qui porte la plus faible erreur relative est composé de quatre nœuds et explique 18,9 %, soit environ 20 % de la variation totale de la composition en espèces de la communauté d’oiseaux dans la subéraie de Boumezrane (Fig. 33).

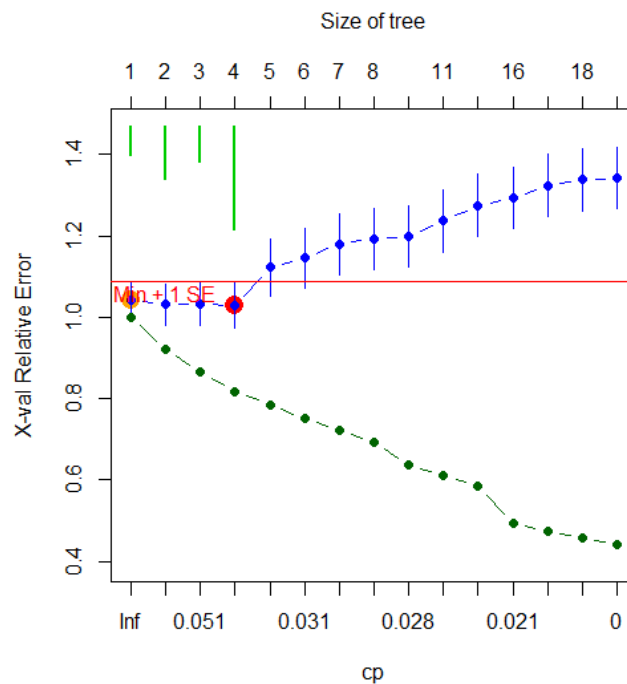


Figure 32 – Graphique montre l’erreur relative (RE, en vert) et l’erreur relative de validation croisée (en bleu) d’arbres de tailles croissantes.

Le modèle final (Fig.33) retenu, indique que les variables environnementales délimitantes des cinq groupes (codés de A à E de gauche à droite) sont, en ordre décroissant de contribution au coefficient de détermination multiple: la hauteur de la strate arbustive (h) qui sépare les groupes A, B et C des groupes D et E; le taux de recouvrement de la strate arborée (A) qui sépare les groupe A et B du groupe C; l'altitude (alt) qui sépare le groupe D du groupe E; la hauteur de la strate arborée (H) qui sépare le groupe A du groupe B, le nombre de sites (relevés) par groupe est 2; 16; 9; 22 et 4. Dans le groupe A, *Cuculus canorus* (Coucou gris), *Lullula arborea* (Alouette lulu), *Saxicola torquata* (Tarie pâtre), *Sylvia melanocephala* (Fauvette mélanocéphale), *Muscicapa striata* (Gobemouche gris) et *Certhia brachydactyla* (Grimpereau des jardins), sont les espèces les plus abondantes. Une seule espèce est indicatrice au sens du test IndVal ($p=0,03$), étant assez spécifique et assez fidèle, c'est l'espèce *Certhia brachydactyla* (Grimpereau des jardins).

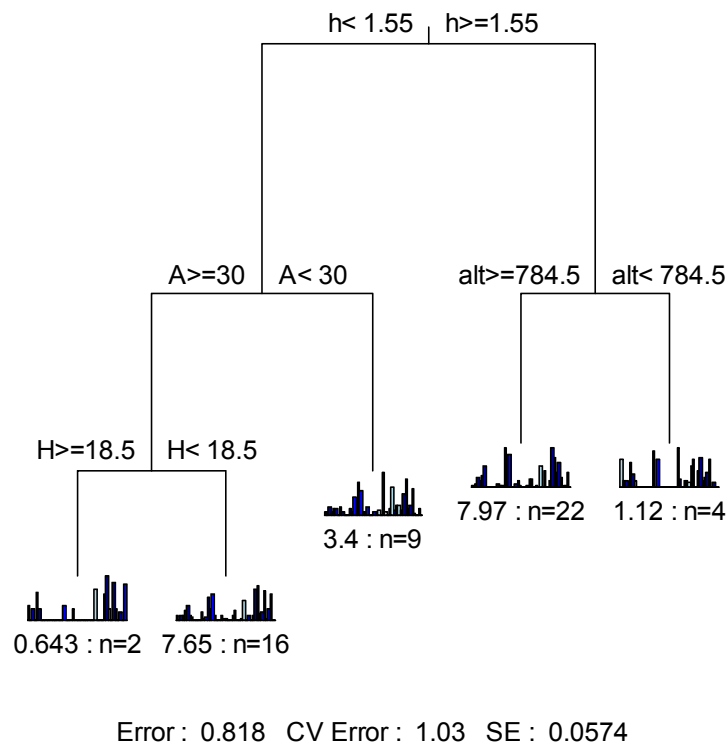


Figure 33 – Arbre de régression multivariée développé pour la communauté d'oiseaux de la subéraie de Boumezrane.

Selon la partition de la variance pour chaque nœud par espèce, *Sylvia melanocephala* (Fauvette mélanocéphale) apparaît comme étant l'espèce délimitante pour le nœud qui sépare le groupe A du groupe B. Dans le groupe B, les espèces les plus abondantes sont *Dendrocopos major* (Pic épeiche), *Melanocorypha calandra* (Alouette calandre), *Phoenicurus moussieri* (Pougequeue de moussier), *Oenanthe hispanica* (Traquet oreillard), *Turdus philomelos* (Grive musicienne), *Hippolais pallida* (Hypolaïs pâle), *Regulus ignicapilla* (Roitelet triple-bandeau), *Parus major* (Mésange charbonnière), *Periparus ater* (Mésange noire), *Fringilla coelebs* (Pinson des arbres), *Linaria cannabina* (Linotte mélodieuse) et *Carduelis chloris* (Verdier d'Europe). Ce groupe a deux espèce indicatrice au sens de IndVal: *Parus major* (Mésange charbonnière) ($p=0,001$) et *Carduelis chloris* (Verdier d'Europe) ($p=0,04$). Les espèces les plus délimitantes sont *Turdus philomelos* (Grive musicienne) et *Parus major* (Mésange charbonnière).

Le groupe C, pour sa part, est représenté par une grande abondance de *Upupa epops* (Huppe faciée), *Luscinia megarhynchos* (Rossignole philomèle), *Saxicola rubetra* (Tarie des près), *Hippolais polyglotta* (Hypolaïs polyglotte), *Sylvia communis* (Fauvette grisette), *Sylvia cantillans* (Fauvette passerinette), *Phylloscopus collybita* (Pouillot véloce), *Ficedula speculigera* (Gobemouche noir de l'Atlas), *Serinus serinus* (Serin cinin) et *Emberiza cia* (Bruant fou). Trois espèces sont significatives au sens de IndVal: *Sylvia communis* (Fauvette grisette) ($p=0,021$), *Sylvia cantillans* (Fauvette passerinette) ($p=0,005$), *Phylloscopus collybita* (Pouillot véloce) ($p=0,001$). *Ficedula speculigera* (Gobemouche noir de l'Atlas) est l'espèce la plus délimitante de son nœud. Le groupe D est caractérisé par un nombre assez important d'espèces abondantes: *Columba palumbus* (Pigeon ramier), *Sylvia atricapilla* (Fauvette à tête noire), *Sylvia undata* (Fauvette pitchou), *Corvus corax* (Grand corbeau), *Oriolus oriolus* (Loriot d'Europe), *Passer domesticus* (Moineau domestique) et *Emberiza cirrus* (Bruant ziz). Une seule espèce est indicatrice au sens de IndVal: *Sylvia undata* (Fauvette pitchou) ($p=0,001$); l'espèce la plus délimitante est *Columba palumbus* (Pigeon ramier). Pour le groupe E, les espèces représentatives pour ce dernier sont: *Streptopelia turtur* (Tourterelle des bois), *Picus vaillantii* (Pic de Levillant), *Dendrocopos minor* (Pic épieche), *Jynx torquilla* (Torcol fourmilier), *Erithacus rubecula* (Rougegorge familier), *Turdus murela* (Merle noir), *Turdus viscivorus* (Grive draine), *Sylvia hortensis* (Fauvette orphée), *Phylloscopus bonelli* (Pouillot de Bonelli), *Cyanistes teneriffae* (Mésange nord-africaine), *Troglodytes troglodytes* (Troglodyte mignon), *Lanius senator* (Pie-grièche à tête rousse), *Garrulus glandarius* (Geai des chênes), *Passer hispaniolensis*

(Moineau espagnol), *Coccothraustes coccothraustes* (Grosbec casse noyaux), *Miliaria calandra* (Bruant proyer), *Sturnus unicolor* (Etourneau unicolore) et *Petronia petronia* (Moineau soulcie). Deux espèces sont significatives au sens de IndVal: *Erithacus rubecula* (Rougegorge familier) ($p=0,01$) et *Sylvia hortensis* (Fauvette orphée) ($p=0,005$). *Miliaria calandra* (Bruant proyer) est l'espèce la plus délimitante de son nœud.

2.10. Descripteurs environnementaux qui influencent les communautés d'oiseaux dans la subéraie de Boumezrane: Modèle Linéaire Généralisé (GLM)

On peut supposer que l'abondance relative, la richesse et la diversité des espèces d'oiseaux en milieu forestier de la forêt domaniale de Boumezrane dépendent de la structure et des caractéristiques de l'habitat de la subéraie. Afin de mettre en évidence l'effet de ces facteurs sur l'abondance, la richesse et la diversité des espèces aviennes, nous avons construit des modèles de régression multiples (GLM) avec une distribution de Poisson entre ces trois paramètres écologiques et les huit variables environnementales mesurées pour chacun des 53 points d'écoute.

Les tableaux ci-dessous (Tab. 14 et Tab. 15) présentent les modèles de régression sélectionnés sur la base du χ^2 , du test de score et des AIC pour les espèces d'oiseaux de la subéraie de Boumezrane. Comme nous l'avons signalé précédemment dans la première partie de nos résultats, le rapport entre les résidus de Pearson et la déviance résiduelle des modèles permet de calculer le paramètre de dispersion phi; une valeur supérieure à 1 indique la présence de surdispersion et l'inadéquation du modèle de Poisson simple et qui doit être corrigé. Pour se faire, un GLM quasi-Poisson peut être utilisé.

La modélisation de l'abondance relative des oiseaux en fonction des variables environnementales nous indique que le meilleur modèle statistique (AIC=432,77, ddl=4, $p=0,00$) pour expliquer les variables influençant l'abondance est un modèle incluant un effet du plus gros arbre (dmax), du nombre de gros bois, de la hauteur de la strate arborée (H) et de l'altitude (alt) (Fig. 34 et Tab. 14). Pour la richesse spécifique, le meilleur modèle (AIC=313,73, ddl=4, $p=0,004$) comprend aussi un effet du plus gros arbre (dmax), du nombre de gros bois, de la hauteur de la strate arborée (H) et de l'altitude (alt) (Fig. 35 et Tab. 15). Aucun modèle statistique n'est significatif pour le cas de la diversité.

Tableau 14 – Modèles de l'abondance de la communauté d'oiseaux en fonction des variables de l'habitat de la subéraie de Boumezrane.

Modèle	K	AIC	ΔAIC	ddl	Dev	Pr(>Chi2)
Abondance ~ dmax + ngbs + A + H + a + h + narc + alt	8	439,8	7,03	-4	-1,57	0,652
Abondance ~ dmax + ngbs + H + A + h + narc + alt	7	437,86	5,09	-3	-1,57	0,578
Abondance ~ dmax + ngbs + H + h + narc + alt	6	435,97	3,20	-2	-1,36	0,417
Abondance ~ dmax + ngbs + H + narc + alt	5	434,25	1,48	-1	-1,13	0,222
Abondance ~ dmax + ngbs + H + alt	4	432,77	00	4	33,87	0,00***

Tableau 15 – Modèles de la richesse spécifique de la communauté d'oiseaux en fonction des variables de l'habitat de la subéraie de Boumezrane.

Modèle	K	AIC	ΔAIC	ddl	Dev	Pr(>Chi)
Richesse ~ dmax + ngbs + A + H + a + h + narc + alt	8	320,42	6,69	-7	-2,23	0,89
Richesse ~ dmax + ngbs + A + H + h + narc + alt	7	318,42	4,69	-6	-2,22	0,76
Richesse ~ dmax + ngbs + A + H + h + alt	6	316,46	2,73	-5	-2,20	0,69
Richesse ~ dmax + ngbs + H + h + alt	5	315,03	1,30	-4	-2,15	0,58
Richesse ~ dmax + ngbs + H + alt	4	313,73	00	4	15,58	0,004**

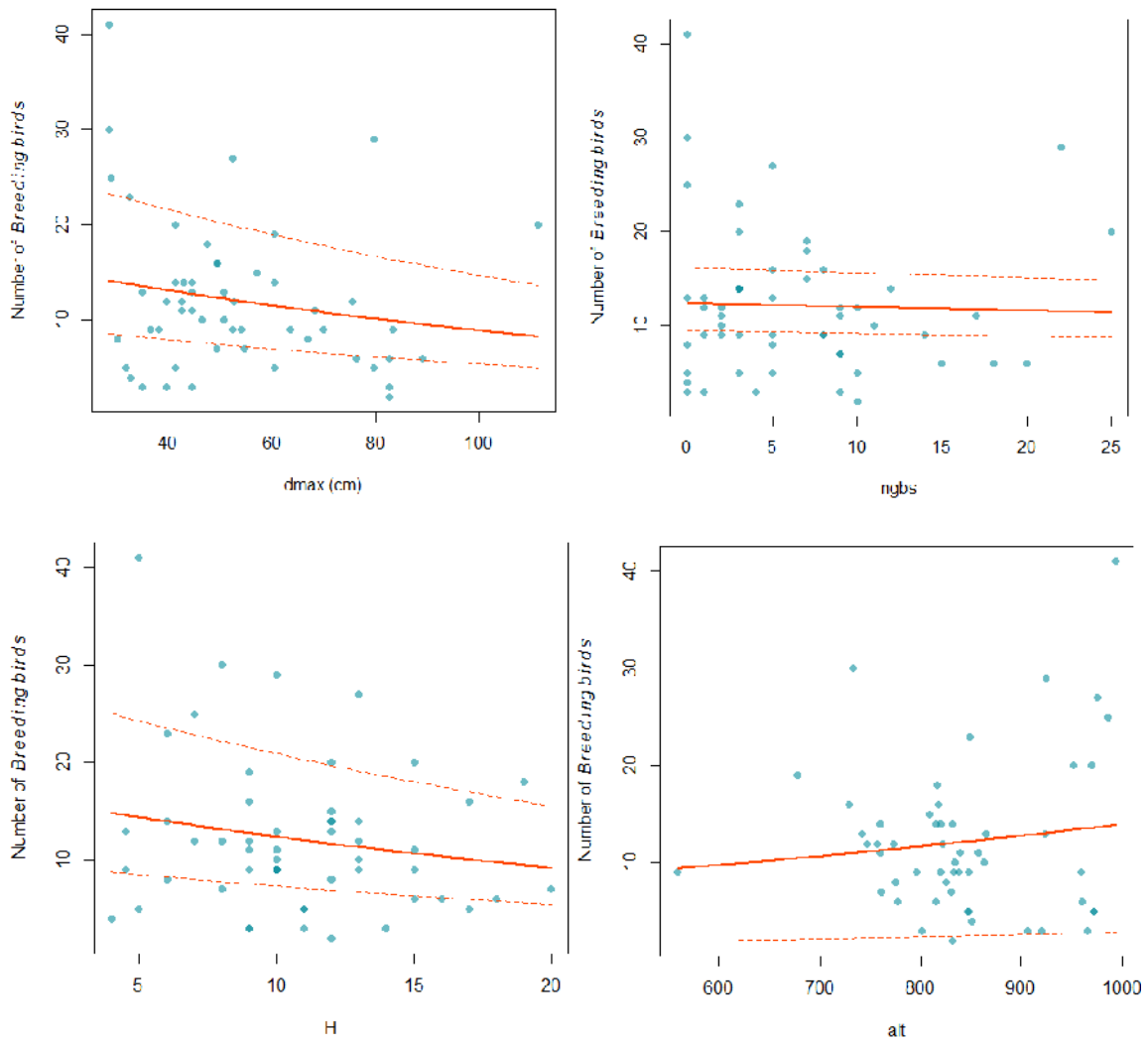


Figure 34 – Régression de l'abondance de la communauté d'oiseaux de la subéraie de Boumezrane en fonction du plus gros arbre (*dmax*), du nombre de gros bois (*ngbs*), de la hauteur de la strate arborée (*H*) et de l'altitude (*alt*).

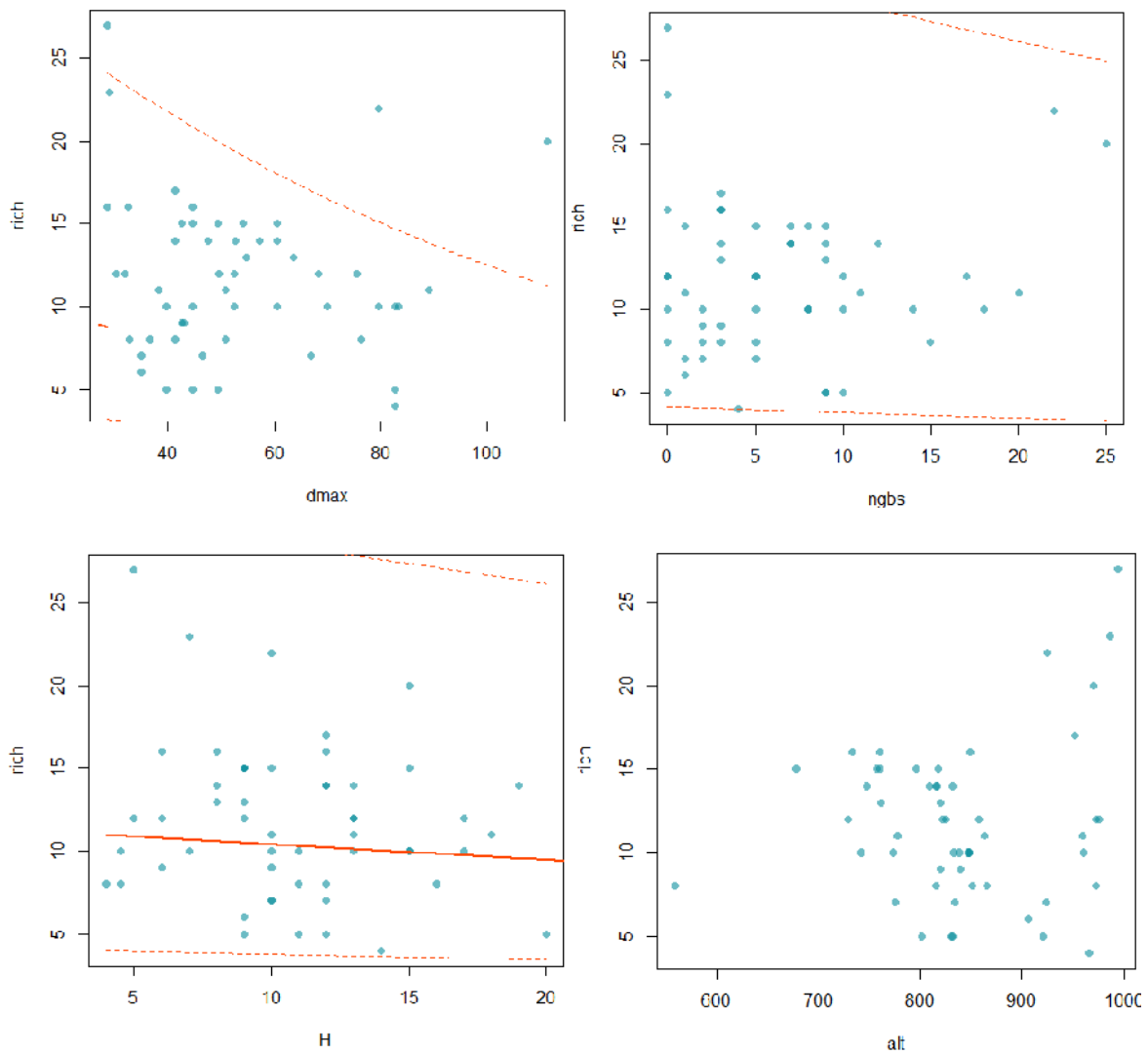


Figure 35 – Régression de la richesse spécifique de la communauté d’oiseaux de la zénaie de Boumezrane en fonction du plus gros arbre (dmax), du nombre de gros bois (ngbs), de la hauteur de la strate arborée (H) et de l’altitude (alt).

3. L'influence des types d'habitat des chênaies sur la communauté d'oiseaux dans la forêt de Boumezrane:

Durant les deux années de notre travail, 70 espèces d'oiseaux ont été dénombrées au niveau de la forêt de Boumezrane parmi lesquelles 43 sont communes aux deux peuplements de chêne (chêne liège et chêne zeen). En revanche, 18 espèces d'oiseaux ont été détectées seulement dans la subéraie et uniquement 9 autres ont été rencontrées dans la zénaie (Tab. 16).

Tableau 16 – Liste des 70 espèces contactées au niveau de la forêt de Boumezrane. Ordre chronologique des espèces selon la classification de Voous (1973 et 1977).

N°	Nom commun	Nom latin	Code
01	Bondrée apivore	<i>Pernis apivorus</i>	-
02	Vautour Percnoptère	<i>Neophron percnopterus</i>	-
03	Vautour fauve	<i>Gyps fulvus</i>	-
04	<u>Aigle de bonelli</u>	<i>Aquila fasciata</i>	-
05	<u>Aigle botté</u>	<i>Hieraaetus pennatus</i>	-
06	<u>Buse du maghreb</u>	<i>Buteo rufinus</i>	-
07	Faucon crecerelle	<i>Falco tinnunculus</i>	-
08	<u>Perdrix gabra</u>	<i>Alectoris barbara</i>	Alba
09	<u>Caille des blès</u>	<i>Coturnix coturnix</i>	Coco
10	Pigeon ramier	<i>Columba palumbus</i>	Copa
11	Tourterelle des bois	<i>Streptopelia turtur</i>	Sttu
12	Coucou gris	<i>Cuculus canorus</i>	Cuca
13	Chouette hullote	<i>Strix aluco</i>	Stal
14	Engoulevent d'Eroupe	<i>Caprimulgus europaeus</i>	Caeu
15	Guêpier d'europe	<i>Merops apiaster</i>	-
16	Huppe fasciée	<i>Upupa epops</i>	Upep
17	Pic de Levillant	<i>Picus vaillantii</i>	Piva
18	Pic épeiche	<i>Dendrocopos major</i>	Dema
19	Pic épeichette	<i>Dendrocopos minor</i>	Demi
20	Torcol fourmilier	<i>Jynx torquilla</i>	Tuto
21	<u>Cochevis de thekla</u>	<i>Galerida theklae</i>	Gath
22	Alouette calandre	<i>Melanocorypha calandra</i>	Meca
23	Alouette lulu	<i>Lullula arborea</i>	Luar
24	<u>Tchagra à tête noire</u>	<i>Tchagra senegalus</i>	-
25	Hirondelle rustique	<i>Hirundo rustica</i>	-
26	Troglodyte mignon	<i>Troglodytes troglodytes</i>	Trtr
27	Grive draine	<i>Turdus viscivorus</i>	Tuvi
28	<u>Grive mauvis</u>	<i>Turdus iliacus</i>	Tuil
29	Grive musicenne	<i>Turdus philomelos</i>	Tuph
30	Merle noir	<i>Turdus merula</i>	Tume
31	Rougegorge familier	<i>Erithacus rubecula</i>	Erru

32	Rossignol philomèle	<i>Luscinia megarhynchos</i>	Lume
33	Traquet oreillard	<i>Oenanthe hispanica</i>	Oehi
34	Rougequeue de Moussier	<i>Phoenicurus moussieri</i>	Phmo
35	Tarie des près	<i>Saxicola rube</i>	Saru
36	Tarie pâtre	<i>Saxicola torquata</i>	Sato
37	Hypolaïs pâle	<i>Hippolaïs pallid</i>	Hipa
38	Hypolaïs plyglotte	<i>Hippolaïs polyglotta</i>	Hipo
39	Fauvette à tête noire	<i>Sylvia atricapilla</i>	Syat
40	Fauvette orphée	<i>Sylvia hortensis</i>	Syho
41	Fauvette grisette	<i>Sylvia communis</i>	Syco
42	Fauvette mélanocéphale	<i>Sylvia melanocephala</i>	Syme
43	Fauvette passerinette	<i>Sylvia cantillans</i>	Syca
44	Fauvette pitchou	<i>Sylvia undata</i>	Syun
45	Pouillot véloce	<i>Phylloscopus collybita</i>	Phco
46	Pouillot de Bonelli	<i>Phylloscopus bonelli</i>	Phbo
47	Roitelet triple-bandeau	<i>Regulus ignicapilla</i>	Reig
48	Gobemouche gris	<i>Muscicapa striata</i>	Must
49	Gobemouche noir de l'Atlas	<i>Ficedula hypoleuca</i>	Fihy
50	<u>Gobemouche à coulier</u>	<i>Ficedula albicollis</i>	Fial
51	Mésange charbonnière	<i>Parus major</i>	Pama
52	Mésange nord-africain	<i>Cyanistes teneriffae</i>	Cyte
53	Mésange noire	<i>Periparus ater</i>	Peat
54	Grimpereau des jardins	<i>Certhia brachydactyla</i>	Cebr
55	Etourneau unicolore	<i>Sturnus unicolor</i>	Stun
56	Loriot d'Europe	<i>Oriolus oriolus</i>	Oror
57	Pie-grièche à tête rousse	<i>Lanius senat</i>	Lase
58	Grand corbeau	<i>Corvus corax</i>	Cocor
59	Geai des chênes	<i>Garrulus glandarius</i>	Gagl
60	Moineau domestique	<i>Passer domesticus</i>	Pado
61	Moineau espagnol	<i>Passer hispaniolensis</i>	Pahi
62	Moineau soulcie	<i>Petronia petronia</i>	Pepe
63	Pinson des arbres	<i>Fringilla coelebs</i>	Frcoc
64	Serin cini	<i>Serinus serinus</i>	Sese
65	Verdier d'Europe	<i>Carduelis chlor</i>	Cach
66	Linotte mélodieuse	<i>Linaria cannabina</i>	Lica
67	Grosbec casse-noyaux	<i>Coccothraustes coccothraustes</i>	Cococ
68	Bruant zizi	<i>Emberiza cirrus</i>	Emci
69	Bruant fou	<i>Emberiza cia</i>	Emca
70	Bruant proyer	<i>Miliaria calandra</i>	Mica

*Espèces écrites en gras: Espèces appartiennent à la subéraie

*Espèces écrites avec soulignement: Espèces appartiennent à la zénaie

3.1. Classement systématique des espèces contactées dans la forêt de Boumezrane

La lecture du tableau 17 nous montre que les 70 espèces contactées au niveau de la forêt de Boumezrane appartiennent à 11 ordres, notons que l'ordre des Passériformes constitue l'ordre le plus riche avec 19 familles et 50 espèces, soit 71,42% du nombre total de celles enregistrées. L'ordre des Accipitriformes occupe le deuxième rang, représenté par six espèces.

Tableau 17 – Classement systématique des espèces contactées dans la forêt de Boumezrane durant la période de reproduction.

Ordre	Famille	Nom latin
Accipitriformes	Accipitridés	<i>Pernis apivorus</i>
		<i>Neophron percnopterus</i>
		<i>Gyps fulvus</i>
		<i>Aquila fasciata</i>
		<i>Hieraaetus pennatus</i>
		<i>Buteo rufinus</i>
Falconiformes	Falconidés	<i>Falco tinnunculus</i>
Galliformes	Phasianidés	<i>Alectoris barbara</i>
		<i>Coturnix coturnix</i>
Columbiformes	Columbidés	<i>Columba palumbus</i>
		<i>Streptopelia turtur</i>
Cuculiformes	Cuculidés	<i>Cuculus canorus</i>
Strigiformes	Strigidés	<i>Strix aluco</i>
Caprimulgiformes	Caprimulgidés	<i>Caprimulgus europaeus</i>
Coraciiformes	Meropidés	<i>Merops apiaster</i>
Bucérotiformes	Upupidés	<i>Upupa epops</i>
Piciformes	Picidés	<i>Picus vaillantii</i>
		<i>Dendrocopos major</i>
		<i>Dendrocopos minor</i>
		<i>Jynx torquilla</i>
Passériformes	Alaudidés	<i>Galerida theklae</i>
		<i>Melanocorypha calandra</i>
		<i>Lullula arborea</i>
	Hirundinidés	<i>Hirundo rustica</i>
	Malaconotidés	<i>Tchagra senegalus</i>
	Troglodytidés	<i>Troglodytes troglodytes</i>
	Turdidés	<i>Turdus viscivorus</i>
		<i>Turdus iliacus</i>
		<i>Turdus philomelos</i>
		<i>Turdus merula</i>
Muscicapidés	<i>Erithacus rubecula</i>	

		<i>Luscinia megarhynchos</i>
		<i>Oenanthe hispanica</i>
		<i>Phoenicurus moussieri</i>
		<i>Saxicola rube</i>
		<i>Saxicola torquata</i>
		<i>Muscicapa striata</i>
		<i>Ficedula hypoleuca</i>
		<i>Ficedula albicollis</i>
	Acrocephalidés	<i>Hippolais pallid</i>
		<i>Hippolais polyglotta</i>
	Sylviidés	<i>Sylvia atricapilla</i>
		<i>Sylvia hortensis</i>
		<i>Sylvia communis</i>
		<i>Sylvia melanocephala</i>
		<i>Sylvia cantillans</i>
		<i>Sylvia undata</i>
	Phylloscopidés	<i>Phylloscopus collybita</i>
		<i>Phylloscopus bonelli</i>
	Régulidés	<i>Regulus ignicapilla</i>
	Paridés	<i>Parus major</i>
		<i>Cyanistes teneriffae</i>
		<i>Periparus ater</i>
	Certhiidés	<i>Certhia brachydactyla</i>
	Sturnidés	<i>Sturnus unicolor</i>
	Oriolidés	<i>Oriolus oriolus</i>
	Laniidés	<i>Lanius senat</i>
	Corvidés	<i>Corvus corax</i>
		<i>Garrulus glandarius</i>
	Passéridés	<i>Passer domesticus</i>
		<i>Passer hispaniolensis</i>
		<i>Petronia petronia</i>
	Fringillidés	<i>Fringilla coelebs</i>
		<i>Serinus serinus</i>
		<i>Carduelis chlor</i>
		<i>Linaria cannabina</i>
		<i>Coccothraustes coccothraustes</i>
	Emberizidés	<i>Emberiza cirrus</i>
		<i>Emberiza cia</i>
		<i>Miliaria calandra</i>
11 ordres	29 familles	70 espèces

Les autres ordres les moins représentés sont les Piciformes avec quatre espèces et les Galliiformes et les Columbiformes comptent chacun deux espèces.

Notons par ailleurs, la faibles participation des autres ordres restants avec une seule espèce, il s'agit de l'ordre des Falconiformes, les Cuculiformes, les Coraciiformes, les Strigiformes, les Caprimulgiformes et les Bucerotiformes (Fig. 36).

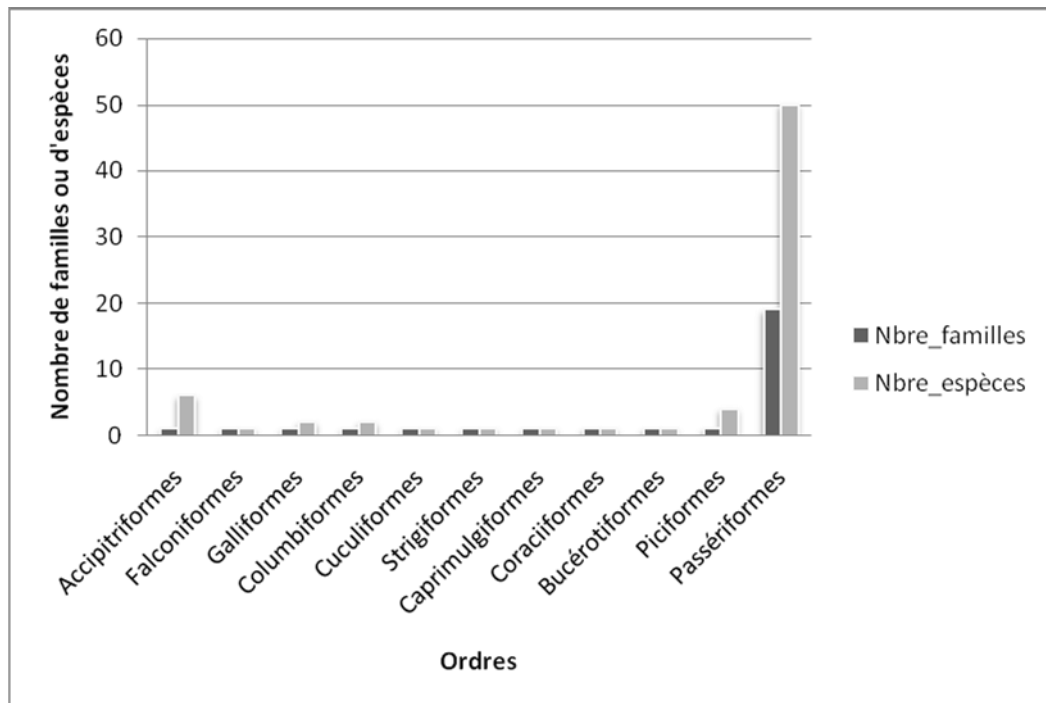


Figure 36 – Classement systématique des ordres des espèces d’oiseaux rencontrées dans la forêt de Boumezrane selon le nombre de familles et le nombre d’espèces.

Du point de vue des familles, en se référant à la figures 37a et au tableau 18, nous notons que les familles les plus diversifiées en nombre d’espèces sont les Muscicapidés qui regroupent neuf espèces, suivis des Accipitridés et des Sylviidés représentées par six espèces pour chacune, des Fringillidés avec cinq espèces et des Picidés et des Turdidés comptent quatre espèces pour chacune d’entre elles. Les Alaudidés, les Paridés, les Passéridés et les Emberizidés regroupent trois espèces pour chacune d’entre elles.

Cinq familles, moins bien représentées méritent cependant d’être citées. Il s’agit des Phasianidés, des Columbidae, des Acrocephalidés, des Phylloscopidae et des Corvidés regroupant deux espèces chacune. Les familles qui constituent le reste ne comptent qu’une seule espèce.

Nous pouvons, au vu de cette figure (Fig. 37b) et de ce tableau (Tab. 18), caractériser ainsi les familles les plus dominantes en nombre de couples (abondance relative) représentées par les Paridés, les Sylviidés, les Muscicapidés, les Fringillidés, les Pucidés et les Pucidés qui occupent plus de 59,28% de l'abondance totale de l'ensemble du peuplement soit 1292 couples. Les familles les moins dominantes avec 0,5 à deux couples, appartiennent aux Falconidés, aux Phasianidés, aux Strigidés, aux Caprimulgidés, aux Malaconotidés et aux Régulidés.

Tableau 18 – *Classification systématique des familles des espèces avifaunistiques de la forêt de Boumezrane suivant le nombre d'espèces et le nombre de couples.*

N°	Familles	Nombre d'espèces	Nombre de couples
01	Accipitridés	6	13,5
02	Falconidés	1	<u>2</u>
03	Phasianidés	2	<u>2</u>
04	Columbidés	2	39,5
05	Cuculidés	1	26
06	Strigidés	1	<u>0,5</u>
07	Caprimulgidés	1	<u>0,5</u>
08	Meropidés	1	29
09	Upupidés	1	19
10	Pucidés	4	156,5
11	Alaudidés	3	22
12	Hirundinidés	1	6,5
13	Malaconotidés	1	<u>0,5</u>
14	Troglodytidés	1	84,5
15	Turdidés	4	213,5
16	Muscicapidés	9	276
17	Acrocephalidés	2	62,5
18	Sylviidés	6	282,5
19	Phylloscopidés	2	52
20	Régulidés	1	<u>2</u>
21	Paridés	3	450,5
22	Certhiidés	1	92,5
23	Sturnidés	1	45
24	Oriolidés	1	22,5
25	Laniidés	1	<u>1</u>
26	Corvidés	2	89,5
27	Passéridés	3	38,5
28	Fringillidés	5	188,5
29	Emberizidés	3	11
Total		70	2179,5

* *Soulignement : valeur faible*

* *Gras : valeur élevée*

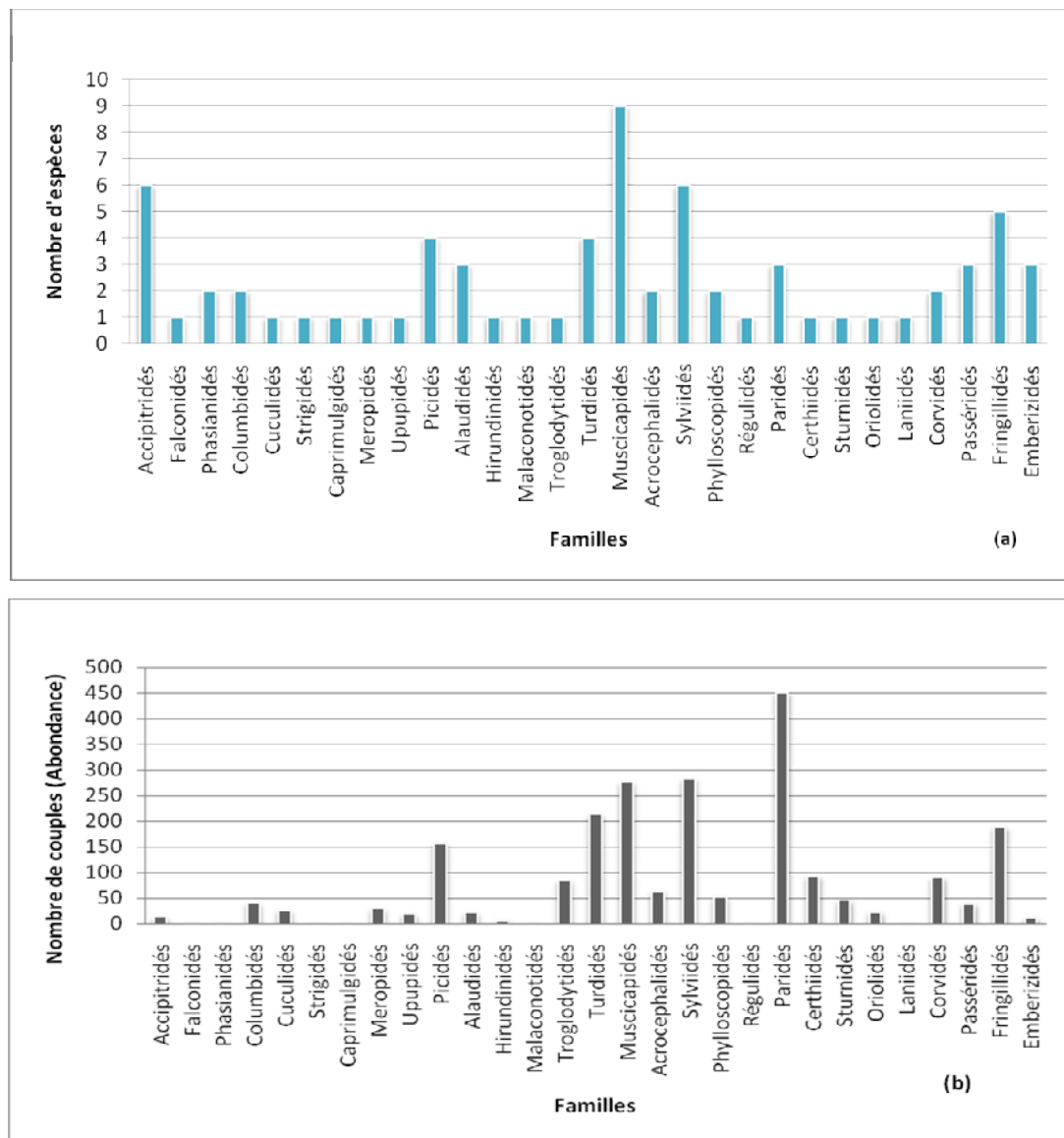


Figure 37 – Classement systématique des familles d’oiseaux de la forêt de Boumezrane selon le nombre d’espèces (a) et le nombre de couples (abondance) (b).

3.2. Analyse du tableau d’espèces nicheuses et de la valeur de l’IPA moyen:

L’examen du tableau 19 relative aux espèces nicheuses et leur valeur IPA moyen, nous révèle que la valeur la plus élevée (IPA moyen= 1,935 couples) appartienne à l’espèce *Parus major* (Mésange charbonnière) avec un nombre très important de couples, égale à 222,5 couples. Les autres valeurs sont par ordre d’importance décroissant 1,478; 1,374 et 1,339 couples qui correspondent à l’espèce buissonnante *Erithacus rubecula* (Rouge-gorge familier), à l’espèces arboricole *Fringilla coelebs* (Pinson des arbres) et à l’espèce cavernicole secondaire, *Cyanistes teneriffae* (Mésange nord-africaine), on constate en outre la présence de deux espèces buissonnantes: *Troglodytes troglodytes* (Troglodyte mignon) avec un IPA moy

égale 0,735 couple et *Turdus merula* (Merle noir) avec un IPA moy égale à 0,604. Nous observation, en effet, la présence de trois espèces de pics (*Dendrocopos major* (Pic épeiche) présente un IPA moy important, égale à 0,657 couple; *Picus vaillantii* (Pic de Leveillant) avec un IPA moy égale à 0,587 couple et *Dendrocopos minor* (pic épeichette) avec un IPA moy très faible, égale à 0,074 couple). Le geai des chênes *Garrulus glandarius* présente un IPA moy égale à 0,622 couples.

Tableau 19 – *Abondance, IPA moyen et fréquences centésimales des espèces d'oiseaux nicheurs dans la forêt de Boumezrane (F (%) : fréquence centésimale).*

N°	Espèce	Catégorie troph.	Guilde	Abondance	F(%)	IPA moyen
01	Bondree apivore	carnivore	aerien	1	1,74	0,009
02	Vautour Percnoptere	carnivore	aérien	1,5	0,87	0,013
03	Vautour fauve	carnivore	aérien	8,5	2,61	0,074
04	Aigle de bonelli	carnivore	aérien	<u>0,5</u>	0,87	0,004
05	Aigle botte	carnivore	aérien	1,5	1,74	0,013
06	Buse du maghreb	carnivore	aérien	<u>0,5</u>	0,87	0,004
07	Faucon crecerelle	carnivore	aérien	2	2,61	0,017
08	Perdrix gabra	granivore	terrestre	1	0,87	0,009
09	Caille des bles	granivore	terrestre	1	0,87	0,009
10	Pigeon ramier	frugivore	aérien	29,5	12,17	0,257
11	Tourterelle des bois	granivore	terrestre	10	6,96	0,087
12	Coucou gris	insectivore	arboricole	26	20,87	0,226
13	Chouette hullote	carnivore	arboricole	<u>0,5</u>	0,87	0,004
14	Engoulevent d'Eroupe	insectivore	terrestre	<u>0,5</u>	0,87	0,004
15	Guepier d'europe	polyphage	arboricole	29	7,83	0,252
16	Huppe fasciée	insectivore	terrestre	19	16,52	0,165
17	Pic de Leveillant	insectivore	arboricole	67,5	60,00	0,587
18	Pic epeiche	insectivore	arboricole	75,5	65,22	0,657
19	Pic epeichette	insectivore	arboricole	8,5	6,96	0,074
20	Torcol fourmilier	insectivore	arboricole	5	4,35	0,043
21	Cochevis de thekla	granivore	terrestre	2	0,87	0,017
22	Alouette calandre	granivore	buisson	1	0,87	0,009
23	Alouette lulu	granivore	buisson	19	13,04	0,165
24	Tchagra à tete noire	insectivore	arboricole	6,5	5,22	0,056
25	Hirondelle rustique	frugivore	aérien	<u>0,5</u>	0,87	0,004
26	Troglodyte mignon	insectivore	buisson	84,5	53,04	0,735
27	Grive draine	polyphage	arboricole	40,5	22,61	0,352
28	Grive mauvis	polyphage	arboricole	1	0,87	0,022
29	Grive musicenne	polyphage	arboricole	3	2,61	0,878
30	Merle noir	polyphage	buisson	169	84,35	0,604
31	Rougegorge familier	insectivore	terrestre	170	80,87	1,478
32	Rossignol philomèle	insectivore	buisson	15	7,83	0,130

33	Traquet oreillard	insectivore	terrestre	1	1,74	0,009
34	Rougequeue de Moussier	insectivore	terrestre	26	18,26	0,226
35	Tarie des pres	insectivore	buisson	1	0,87	0,009
36	Tarie patre	insectivore	buisson	11	2,61	0,096
37	Hypolaïs pale	insectivore	buisson	0,5	0,87	0,004
38	Hypolaïs plyglotte	insectivore	buisson	3,5	2,61	0,030
39	Fauvette à tête noire	insectivore	buisson	48	22,61	0,418
40	Fauvette orphée	insectivore	buisson	5,5	2,61	0,048
41	Fauvette grisette	insectivore	buisson	7	3,48	0,061
42	Fauvette mélanocéphale	insectivore	buisson	52,5	37,39	0,456
43	Fauvette passerinette	insectivore	buisson	9	5,22	0,078
44	Fauvette pitchou	insectivore	buisson	4	2,61	0,035
45	Pouillot véloce	insectivore	arboricole	17,5	8,70	0,630
46	Pouillot de Bonelli	insectivore	arboricole	116,5	43,48	0,535
47	Roitelet triple-bandeau	insectivore	arboricole	83	43,48	0,722
48	Gobemouche gris	insectivore	aerien	5	4,35	0,043
49	Gobemouche noir de l'Atlas	insectivore	aerien	47	28,70	0,409
50	Gobemouche a coulier	insectivore	aerien	2	1,74	0,017
51	Mésange charbonnière	insectivore	arboricole	222,5	88,70	1,935
52	Mésange nord-africain	insectivore	arboricole	154	78,26	1,339
53	Mésange noire	insectivore	arboricole	74	43,48	0,644
54	Grimpereau des jardins	insectivore	arboricole	92,5	48,70	0,804
55	Etournant unicolor	insectivore	aerien	45	13,04	0,391
56	Loriot d'Europe	insectivore	arboricole	22,5	2,61	0,196
57	Pie-grièche à tête rousse	carnivore	terrestre	1	1,74	0,009
58	Grand corbeau	carnivore	aerien	18	16,52	0,156
59	Geai des chênes	polyphage	arboricole	71,5	60,87	0,622
60	Moineau domestique	granivore	terrestre	<u>0,5</u>	0,87	0,004
61	Moineau espagnol	granivore	terrestre	37	3,48	0,322
62	moineau soulcie	granivore	terrestre	1	0,87	0,009
63	Pinson des arbres	polyphage	arboricole	158	73,04	1,374
64	Serin cini	granivore	terrestre	16,5	6,09	0,143
65	Verdier d'Europe	granivore	arboricole	2,5	0,87	0,022
66	Linotte mélodieuse	granivore	terrestre	11	6,09	0,096
67	Grosbec casse-noyaux	granivore	arboricole	<u>0,5</u>	0,87	0,004
68	Bruant zizi	granivore	terrestre	2,5	2,61	0,022
69	Bruant fou	granivore	terrestre	1,5	1,74	0,013
70	Bruant proyer	granivore	terrestre	7	3,48	0,061
Nombre Total d'espèces				70		
Nombre d'espèces F > 50 %				9		

Les valeurs les plus faibles appartiennent aux espèces suivantes : *Aquila fasciata* (Aigle de bonelli), *Buteo rufinus* (Buse du maghreb), *Strix aluco* (Chouette hullote), *Caprimulgus europaeus* (Engoulevent d'Europe), *Melanocorypha calandra* (Alouette calandre), *Hirundo*

rustica (Hirondelle rustique), *Passer domesticus* (Moineau domestique) et *Coccothraustes coccothraustes* (Grosbec casse-noyaux) qui présentent un IPA moyen égal à 0,5 couples.

3.3. Caractéristiques trophiques du peuplement avien

L'examen de la répartition des catégories trophiques (Tab. 19 et Fig. 38), nous indique que la part des insectivores reste dominante (50%) et qui regroupe la moitié des espèces d'oiseaux de la forêt de Boumezrane, suivi par les granivores qui représentent environ 23% de l'ensemble des espèces aviennes. Par ailleurs, nous remarquons, une importante émergence des carnivores (14,28%) par rapport aux polyphages (10%). On assiste ainsi que les frugivores présentent une très faible participation (3%).

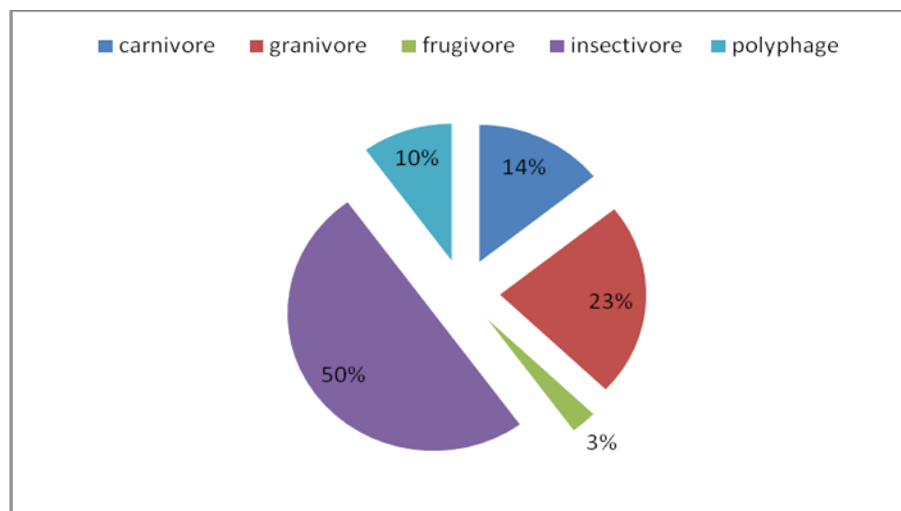


Figure 38 – *Caractéristiques trophiques de la communauté d'oiseaux de la forêt de Boumezrane.*

3.4. Abondance, richesse et diversité globales

La richesse moyenne des espèces d'oiseaux était de 11,74 espèce / point d'écoute dans la subéraie et 11,41 espèce / point d'écoute dans la zénaie. En outre, l'abondance relative moyenne des espèces d'oiseaux était de 12,15 couples / point d'écoute dans la subéraie et 11,25 couples / point d'écoute dans la zénaie.

Cependant la richesse spécifique des espèces d'oiseaux ne diffère pas significativement entre les deux types d'habitat (les deux peuplements de chêne) ($t = 0,5929$, $df = 117$, $p = 0,5544$), de même il n'y avait pas aussi des différences significatives entre les deux types du peuplement de chêne tant pour l'abondance relative des espèces d'oiseaux ($t = 0,0899$, $df = 117$, $p = 0,9285$) que pour la diversité ($t = -0,1815$, $df = 117$, $p = 0,8563$) (Fig. 39).

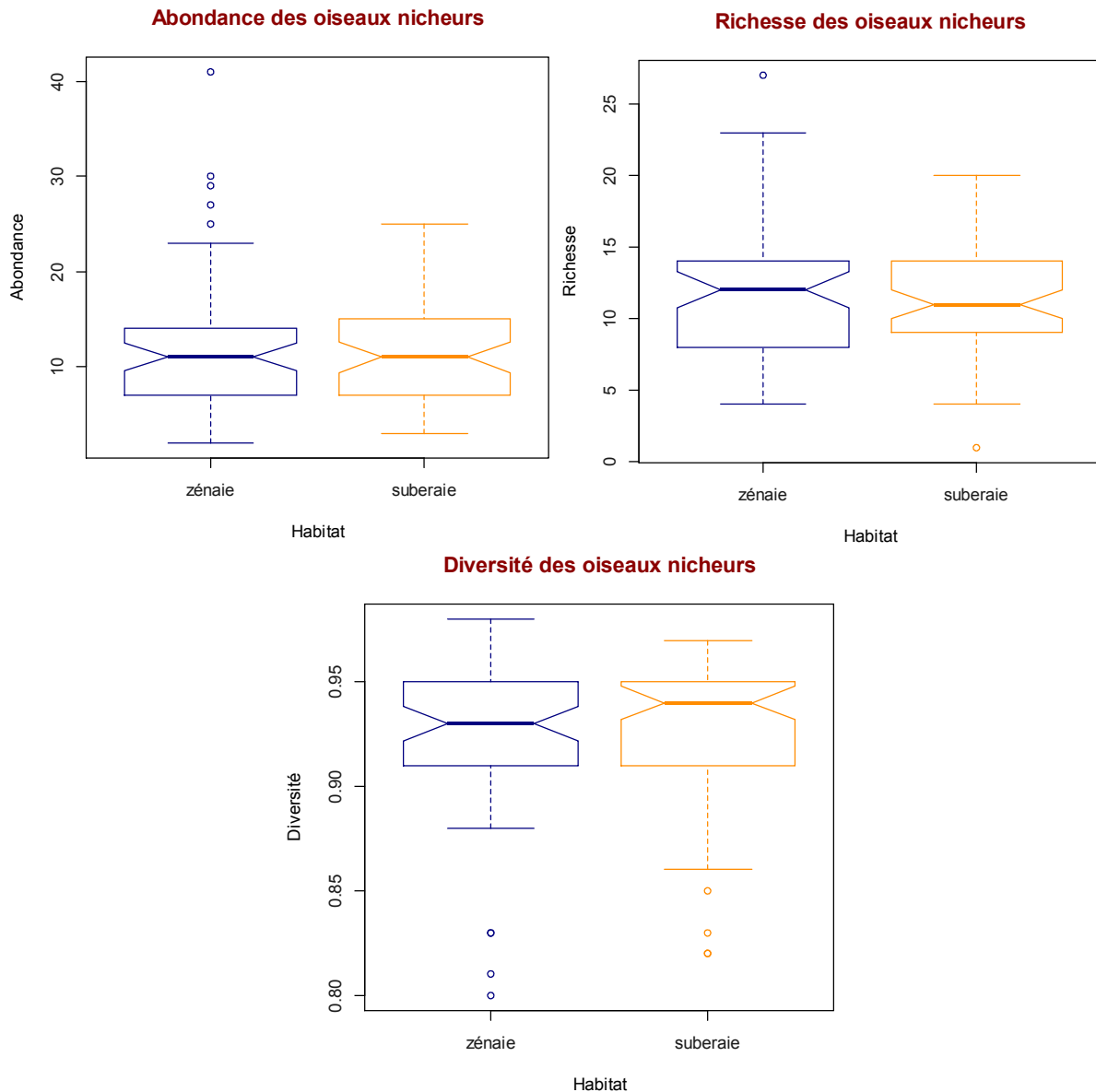


Figure 39 – *Boxplot représentant la comparaison de l'abondance, de la richesse et de la diversité des espèces d'oiseaux recensées dans la forêt de Boumezrane entre les deux peuplements de chêne. Un test t de student indique une différence non significative entre les habitats pour les trois facteurs.*

3.5. Qualité de l'échantillonnage

La courbe de la richesse cumulée des espèces d'oiseaux nicheurs (Fig. 40) indique une importante description de nouvelles espèces lors des 20 relevés, pour lesquels 80% de la richesse totale de l'étude est identifiée. Par la suite, la richesse cumulée tend asymptotiquement vers une valeur maximale jusqu'aux 90 relevés, puis semble ensuite légèrement ré augmentée.

Cependant, cette augmentation ne représente qu'à peine 5% de la richesse totale. De plus, le coefficient de détermination de la courbe logarithmique indique une assez bonne correspondance entre la courbe et les données ($R^2 = 0,974$), et confirme ainsi la tendance vers une stabilisation et un échantillonnage satisfaisant pour notre étude.

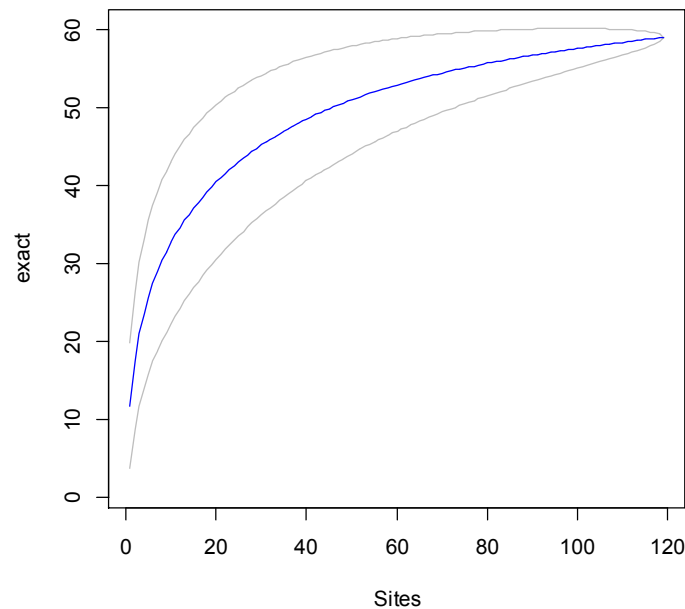


Figure 40 – *Courbe de richesse cumulée des espèces d'oiseaux en fonction du nombre de points d'écoute effectués dans la forêt de Boumezrane. La courbe rejoint l'asymptote. Celle-ci indique le nombre de points d'écoute à étudier pour avoir un échantillonnage complet.*

3.6. Comparaison des assemblages avifaunistiques associés aux deux types d'habitat

Nous avons employé les méthodes d'analyses multidimensionnelle (NMDS) présentées par Clarke et Warwick (1994) pour comparer la similarité de l'assemblage de la communauté d'oiseaux entre les deux types de peuplement de chêne selon la méthode de distance de Bray-Curtis, utilisée pour classer hiérarchiquement les points d'écoute selon leur similarité en termes de richesse spécifique.

L'ordination NMDS de la matrice espèces-relevés semble relativement bonne et significative ($R^2=0,041$, $p=0,009$) avec une valeur de stress de 0.19 (Fig. 41). Au-delà de 0,20, on considère que la représentation est douteuse (Clarke et Warwick, 1994).

La représentation des distances calculées en fonction des distances observées (diagramme de Shepard, Figure 42), conforte ce diagnostic avec un nuage de points « épais » de par et d'autre de la ligne de régression (trait continu sur la figure 42).

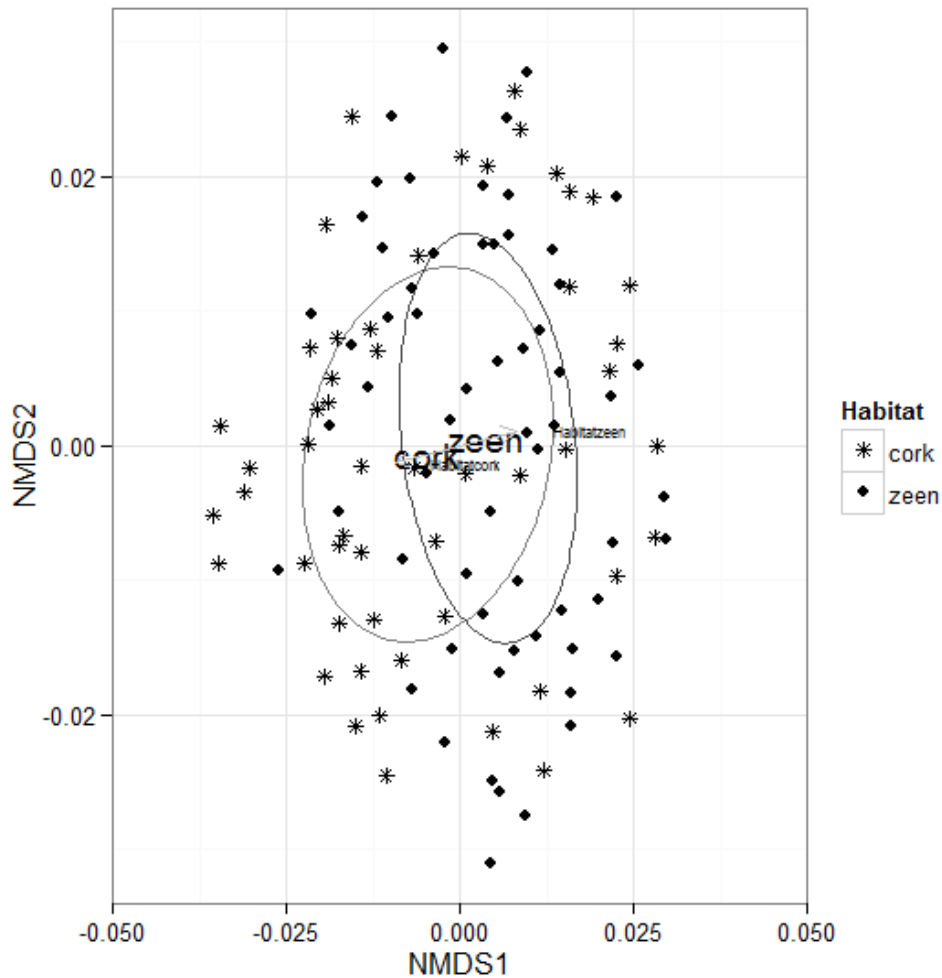


Figure 41 – Représentation graphique du cadrage multidimensionnel non-métrique (NMDS) de l'assemblage des espèces aviaires recensées dans la forêt de Boumezrane entre les deux peuplements de chêne à partir de l'indice de Bray-Curtis basé sur les données d'abondances relatives.

L'ordre entre les distances observées n'est pas parfaitement restitué par l'ordination. Toutefois, en tenant compte de l'abondance des espèces, l'analyse multivariée NMDS indique une forte superposition des relevés des différents points d'écoutes (Fig. 41). Ce qui revient à considérer les deux peuplements de chêne (zénaie et subéraie) correspondants comme équivalents à la fois au niveau de leurs compositions que de l'abondance de chaque espèce.

L'analyse de similarité, ANOSIM, confirme de façon significative ce résultat avec un indice de dissimilarité, R, proche de zéro (similarité maximale) : $R = 0,066$; $p = 0,001$.

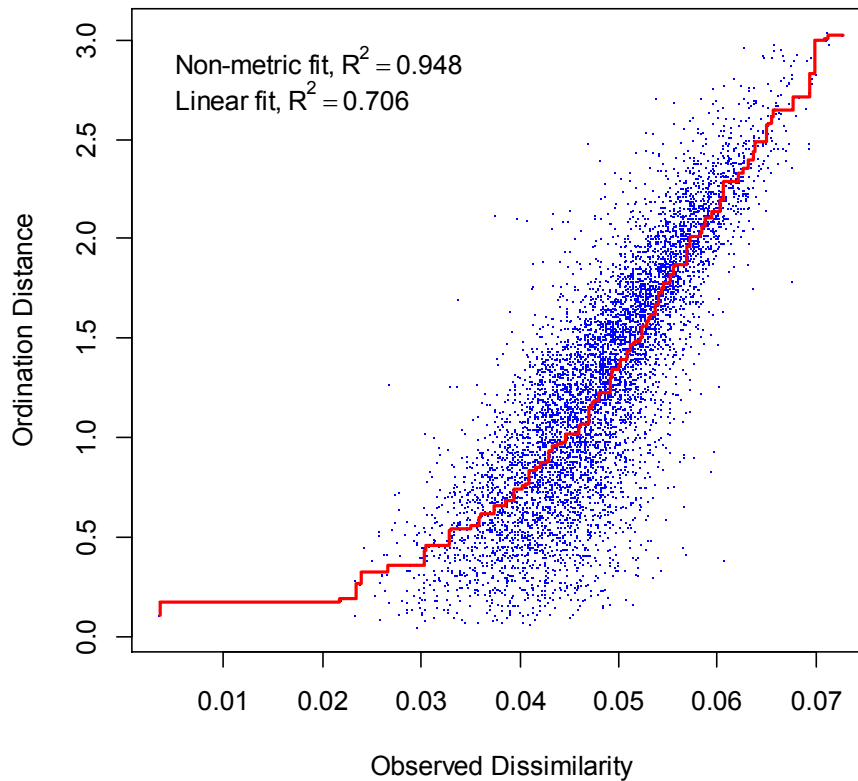


Figure 42 – *Représentation graphique du Diagramme de Shepard: projection des valeurs de distance calculées en fonction des valeurs de distance observées. (la ligne continue représente la ligne de régression).*

L'analyse des contributions de chaque espèce aux similarités intragroupes ou intergroupes permet d'identifier les principales espèces contribuant majoritairement à la similarité entre les deux peuplements de chêne de la forêt de Boumezrane et nous indique que le pourcentage moyen de la similarité intergroupe est égal à 71,80%, représenté par 16 espèces contribuant à cette similarité. Il s'agit de la Mésange charbonnière, du Pinson des arbres, du Rougegorge familial, du Pouillot de Bonelli, du Merle noir, de la Mésange nord-africaine, du Grimpereau des jardins, du Roitelet triple-bandeau, de la Mésange noire, du Troglodyte mignon, du Geai des chênes, de la Fauvette mélanocéphale, du Pic de Levillant, du Pic épeiche, de la Fauvette à tête noire et du Gobemouche noir de l'Atlas.

4. Discussion

Le travail mené au niveau de la forêt domaniale de Boumezrane située au niveau de la Wilaya de Souk-Ahras à l'extrême nord-est algérien s'est soldée par le recensement de 60 espèces nicheuses au total. Cette richesse est répartie différemment entre les deux peuplements à savoir la subéraie et la zénaie. En effet 55 espèces ont été notées au niveau de la subéraie et seulement 44 espèces dans la forêt de chêne zeen.

L'analyse de cette avifaune sur le plan richesse totale, nous révèle que les deux communautés d'oiseaux sont à quelques espèces près, identiques à ceux de l'Europe, du Maroc et d'une manière générale à ceux enregistrés au niveau d'autres forêts algériennes.

Ainsi, Blondel et Farré (1988) ont recensé 39 espèces dans les habitats fermés en Pologne, 39 en Provence et 39 en Corse (France), et 45 en Bourgogne (France). Au Maroc, Cherkaoui *et al.* (2007) ont identifié 46 espèces dans les peuplements du chêne liège de Ma'amora. En Algérie, Benyakoub (1993) a dénombré 42 espèces dans les forêts du chêne zeen de la région de El-Kala; Bellatreche (1994) a inventorié 34 espèces dans l'habitat de la zénaie des Babors en Kabylie. Plus à l'ouest de l'Algérie, Mostefai (2011) a compté 40 espèces d'oiseaux nicheurs dans la forêt de chêne-liège de Hafir à Tlemcen.

L'avifaune nicheuse de la forêt de Boumezrane est presque la même que celle qui se reproduit ailleurs dans le Paléarctique occidental (Blondel et Mourer-Chauviré, 1998), ceci confirme l'appartenance de la forêt algérienne au même domaine biogéographique européen. Cette appartenance est l'héritage de l'histoire qu'a vécue le Paléarctique occidental depuis les grandes péjorations climatiques qui s'amorcèrent dès le Miocène moyen pour culminer avec les crises glaciaires du Pléistocène où l'appauvrissement généralisé des avifaunes forestières de l'Algérie par rapport à celles d'autres régions semblables de l'Hémisphère Nord, est associé, pour les mêmes causes historiques, à un phénomène très particulier de remarquable homogénéité des avifaunes. A quelques nuances près, les avifaunes forestières des zones némorale et méditerranéenne du Paléarctique occidental sont remarquablement homogènes, y compris en Afrique du Nord, au point que la composition en oiseaux des vieilles forêts du Paléarctique occidental est à peu près la même, qu'on se trouve dans une chênaie de Chêne vert d'Espagne ou de Corse, dans une forêt de Chêne pédonculé du Bassin parisien ou dans une hêtraie des Vosges (Blondel, 1995; Blondel et Aronson, 1999).

La structure de l'avifaune nicheuse des deux chênaies nous révèle aussi que les espèces dominantes qui réalisent leur maximum d'abondance dans ce milieu forestier sont par ordre d'importance croissant, le Pinson des arbres, la Mésange nord-africaine et la Mésange charbonnière dans la zénaie; au contraire dans la subéraie on rencontre beaucoup plus la Mésange nord-africaine, la Mésange charbonnière et le Pinson des arbres. Selon Benyacoub (1993) les cavités de grande taille dans les chênaies que la Mésange nord-africaine répugne généralement à occuper, sont plus nombreuses et donc plus facilement disponibles pour la Mésange charbonnière. La présence des grandes cavités est généralement l'œuvre des cavernicoles primaires en l'occurrence les trois pics (Pic de Levillant, Pic épeiche et Pic épeichette) qui réalisent leur présence dans la forêt de Boumezzrane, en particulier et qui caractérisent les chênaies algériennes de manière générale (Mostefai, 2011). Par ailleurs, nous notons que le Pic épeichette devenu un des emblèmes des espèces menacées dans la forêt de Boumezzrane (environ quatre couples). Les raisons de son déclin sont encore mal connues.

En allant plus dans le détail, on note que la densité en pics dans les peuplements forestiers a aussi une influence importante sur l'abondance des espèces requérant des cavités pour nicher (abondance importante en Mésange charbonnière et Mésange nord-africaine est importante) (Delahaye, 2006). Cependant, certains cavernicoles secondaires ne dépendent pas entièrement des cavités mais peuvent à l'occasion nicher sous des décollements d'écorces tel est le cas du Grimpereaux des jardins ou dans des bris de branches pour la Mésange noire (Delahaye, 2006).

La place importante que représente le Pinson des arbres dans la forêt de Boumezzrane (premier rang dans la zénaie et le troisième rang dans la subéraie) est similaire en milieu forestier en Europe tempérée. Dronneau (2007) a montré que ce passereau occupe par excellence la première place dans tous les types forestiers, qu'il s'agisse de peuplements de feuillus, de conifères ou mixtes.

Le Merle noir, le Rougegorge familier, le Rossignol philomèle et la Fauvette à tête noire, réalisent aussi une abondance relativement significative due à la présence d'une strate arbustive importante qui réunit les conditions de fraîcheur et d'humidité nécessaire à l'installation de ces espèces pour la nidification et la recherche de nourriture (Benyacoub, 1993).

Quoique la forêt de Boumezrane fait partie des milieux forestiers qui se distinguent par un degré de fermeture très important de la végétation. Ceci n'a pas empêché certaines espèces dites des milieux ouverts à se cantonner essentiellement dans les clairières et les lisières de la forêt. Ces espèces en l'occurrence l'Alouette lulu, l'Alouette calandre, le Traquet oreillard, le Tarie des prés, l'Hypolaïs pâle, Perdrix gabra et le Moineau soulcie inféodées à ce milieu présentent une abondance relativement très faible. D'autres espèces sont accidentelles en forêt, c'est le cas du Moineau domestique qui préfère beaucoup plus le milieu urbain. Cette espèce a été notée avec une abondance très faible surtout au niveau des points d'écoute près des habitations.

Le Lorient d'Europe, le Moineau espagnol et le Gobemouche noir de l'Atlas, des espèces font partie de la richesse totale de la forêt de Boumezrane néanmoins sur le statut phénologique, elles sont considérées comme étant des espèces migratrices ou de passage (Isenmann et Moali, 2000).

Vue sous l'angle des familles, la structure du peuplement des deux chênaies est spécifiquement dominée par les Muscicapidés (cette famille regroupe 9 espèces) et les Sylviidés (cette famille regroupe 6 espèces). La place importante qu'a occupé par les Muscicapidés est due à la structure claire et dégradée ainsi qu'à l'abondance de strate buissonnante et à la mosaïque spatiale des chênaies de Boumezrane car cette famille regroupe les espèces buissonnantes (Rougegorge familier, Rossignol Philomèle, Fauvette à tête noire) et les espèces des milieux ouverts (Traquet oreillard, Tarie des prés, Tarie pâle, Hypolaïs pâle et Hypolaïs pâle polyglotte). Pour la famille des Sylviidés, Benyakoub (1993), a déjà signalé que cette dernière a pris toujours le premier rang dans chênaies clair ou dense avec ou sans bois.

Les subéraies algériennes sont caractérisées par un sous-bois très dense et diversifié, dominé par la Bruyère arborescente au contraire celui de la zénaie est très pauvre (Bougherara, 2010). La richesse totale recensée au niveau de la subéraie de Boumezrane est plus importante que celle de la zénaie qui est caractérisée par un sous-bois très bas, lâche voir même inexistant dans certaines stations. Ceci influence négativement la présence de certaines espèces. Le sous-bois permet à une avifaune de réaliser significativement, un nombre élevé de niches écologiques (Benyakoub, 1993).

Prodon et Lebreton (1981) ont montré aussi que des petits changements dans le couvert végétal de la strate buissonnante produisent un impact significatif sur les communautés d'oiseaux. La disparition de cette strate végétale entraîne une diminution des ressources trophiques (arthropodes, fruits ...) essentielles pour les oiseaux (Snow et Perrins, 1998), mais aussi une perte de sites de nidification et de chant, ou d'autres endroits qui peuvent procurer des refuges contre les prédateurs (Comprodon et Brotons, 2006). Dans le même ordre d'idée, il a été démontré grâce à des études fines dans les forêts tropicales, que l'hétérogénéité des habitats dans une forêt facilite la coexistence de nombreuses espèces rares, fugitives ou subordonnées (Thiollay, 1990).

Bien que la richesse totale soit plus élevée dans le peuplement du chêne liège, la subéraie n'est pas significativement plus riches que la zénaie dans la forêt de Boumezrane. Cependant, la composition de leurs communautés d'oiseaux diffère. Cette différence peut aussi s'expliquer par la présence d'espèces spécifiques au peuplement de chêne liège, comme nous indique l'analyse des espèces indicatrices (IndVal) où les espèces suivant: le Grimpereau des jardins, le Verdier d'Europe, la Fauvette grisette, la Fauvette passerinette, le Pouillot véloce, la Fauvette pitchou, le Rougegorge familier et la Fauvette orphée sont indicatrices de cet habitat. C'est un résultat intéressant dans la mesure où l'on perçoit la zénaie comme plus pauvre que la subéraie sans oublier que les deux peuplements ont une communauté d'oiseaux dont la composition est intermédiaire entre ceux-ci plutôt que fondamentalement différentes.

Du point de vue trophique, la dominance des arboricoles et des terrestres dans les deux peuplements de chêne, qui sont essentiellement insectivores et granivores, est favorisée par la nature de la structure de la végétation (présence de hauts arbres et un volume de sous bois important) mais aussi par l'abondance d'insectes et de graines. La préférence des espèces d'oiseaux pour certains taxons végétaux est due à la différence dans la disponibilité en sources de nourriture supportée par ces derniers (Holmes et Robinson, 1981; Robinson et Holmes, 1982; Robinson et Holmes, 1984; Holmes et Schultz, 1988; Degraaf *et al.*, 1998; Rodewald et Abrams, 2002).

L'analyse de la relation avifaune / habitat par le biais des analyses multivariées a révélé que les communautés d'oiseaux répondent de manière complexe à une variété de facteurs structuraux (diamètre de plus gros arbre, la hauteur et le taux de recouvrement de la strate arborée et arbustive, le nombre de gros bois, le nombre d'arbre à cavité et l'altitude) et de composition (la subéraie ou la zénaie) de la forêt de Boumezrane.

Ces résultats sont en accord avec la notion de Donald *et al.* (1998). La mesure de ces facteurs dépend de l'échelle de perception (locale ou régionale) et les comparaisons des différentes études doivent en tenir compte. Nos résultats correspondent à une analyse à l'échelle locale, c'est-à-dire au niveau intra peuplement forestier. MacFaden et Capen (2002) ont montré que les facteurs liés à l'habitat local sont ceux dont les contributions sont les plus significatives pour l'explication de la variabilité des communautés d'oiseaux par rapport à une échelle spatiale de type paysage. Cela ne veut pas dire que les variables à une échelle plus large ne sont pas intéressantes, mais plutôt qu'il est important de commencer par bien déterminer les facteurs de l'habitat local les plus pertinents dans la sélection de l'habitat pour ensuite passer à un niveau supérieur afin d'affiner les modèles de prédiction (Delahaye, 2006).

Il faut noter que l'influence des descripteurs de l'habitat sur les communautés d'oiseaux est étudiée uniquement en période de reproduction. Les résultats ne peuvent donc pas être généralisés pour les relations établies en période hivernale, c'est-à-dire à une période durant laquelle les espèces migratrices ont délaissé la forêt de Boumezrane et durant laquelle les espèces sédentaires exploitent des ressources alimentaires différentes.

Aussi l'analyse des facteurs structuraux de la distribution de l'avifaune nicheuse de la subéraie et de la zénaie à travers l'analyse canonique des correspondances montrent que la première variable de l'habitat la mieux corrélée avec la variance des communautés d'oiseaux des deux peuplements est le nombre de gros bois (ngbs). Ceci est en adéquation avec les travaux de Helle et Monkkonen (1990) ; Donald *et al.* (1998), qui ont démontré que le stade de développement avancé, défini par le gros bois (Circonférence > 150 cm) qui est en corrélation avec l'âge des peuplements, est un facteur déterminant de la structure et de la composition des communautés d'oiseaux. Ces mêmes résultats sont obtenus par Degraaf *et al.* (1998) et Fuller et Green (1998).

Les zones des deux peuplements forestiers à dominance de gros bois abritent plus d'espèces cavernicoles secondaires c'est le cas de la mésange nord-africaine et charbonnière et en plus grand nombre (environ 160 couples). Sandström (1992) a démontré aussi que les peuplements à gros bois offrent un potentiel de cavités naturelles en plus grand nombre que les autres structures ou la probabilité de trouver des cavités (nombre d'arbres à cavité) augmente considérablement avec le diamètre des arbres. Par conséquent, les oiseaux nichant dans les cavités sont moins fréquents dans les arbres jeunes que dans les arbres anciens.

Toutefois, il a également été constaté que la densité d'arbres à cavités varie considérablement au sein des peuplements ayant un âge comparable. Dans les forêts pauvres en cavités, les cavernicoles primaires sont logiquement rares (Cockle *et al.*, 2012).

D'autre part, la distribution des espèces aviaire au sein de la communauté d'oiseaux se fait selon un gradient de fermeture du milieu. Ainsi, ces espèces avifaunistiques sont liées surtout à un milieu plus ou moins fermé, exception faite pour les espèces des milieux ouverts. La hauteur et le taux de recouvrement de la strate arborée ainsi que celui de la strate arbustive semblent être les variables les plus déterminantes après la variable « Gros bois » de la structure et de l'organisation des oiseaux de la forêt de Boumezrane. Ces résultats concordent avec l'étude effectuée par Lôpez et Moro (1997) sur l'influence de la structure de la végétation de la forêt de Pin d'Alep sur la distribution des oiseaux forestiers. Brotons et Herrando (2001) ont montré que, dans le Nord-ouest du bassin méditerranéen, la présence des oiseaux diminue globalement avec la réduction du recouvrement de pins et augmente avec le recouvrement des grands pins (supérieurs à 8m de hauteur).

Après une sélection progressive des variables du milieu à travers l'analyse canonique de redondance il ressort que le taux de recouvrement et la hauteur de la strate arborée sont les variables les plus explicatives de la variation (18%) de l'avifaune nicheuse à Boumezrane.

Afin de développer le model issu du RDA pour déterminer les facteurs de l'habitat affectant la composition spécifique des espèces, un arbre de régression multivariée a été utilisé et a souligné l'importance d'une autre variable en l'occurrence le sous-bois qui porte un complément d'informations sur la composition des assemblages avifaunistiques. Celle-ci semble déterminer la présence des espèces de milieux ouverts. C'est dans ce milieu que l'on retrouve des espèces comme la grive draine, le pouillot fitis et le coucou gris, espèces qui généralement ont des affinités avec les milieux buissonnants ou avec les jeunes futaies clairiérées. Il faut noter que le pourcentage de variance des communautés d'oiseaux non expliqué par les facteurs de l'habitats issu de l'arbre de régression multivariée est de 82 %, ce chiffre peut paraître élevé mais il reste néanmoins comparable à d'autres études (Bersier et Meyer, 1995; Kirk et Hobson, 2001; du Bus de Warnaffe et Dufrêne, 2004; Titeux *et al.*, 2004).

De même, Mostefai (2011) a montré qu'afin d'expliquer la richesse, l'abondance et la diversité d'espèces d'oiseaux forestiers, les modèles de régression qui comportent des variables de l'habitat local ont des taux de prédiction appréciables. Nos résultats issus de la régression linéaire généralisée nous indiquent que le premier facteur commun qui contribue le plus à expliquer la variabilité en abondance, en richesse et en diversité pour les deux peuplements est le diamètre du plus gros arbre (d_{max}). Dans de nombreuses forêts d'Europe, le nombre d'espèces et surtout les densités en oiseaux augmentent avec le diamètre de plus gros arbre des forêts (Helle et Monkkonen, 1990; Laiolo, 2002; Delahaye, 2006). La dimension moyenne des arbres est positivement corrélée au volume des arbres et donc à la productivité des stations qui peut avoir un effet très important sur les communautés d'oiseaux (Jokimaki et Huhta, 1996). Le diamètre du plus gros arbre en chêne liège ou en chêne zeen a des effets constants et significatifs dans plusieurs analyses de régressions multiples de nos résultats.

CONCLUSION

CONCLUSION

Ce travail avait pour principal objectif de déterminer, en zénaie et en subéraie de la forêt de Boumezrane, les facteurs de l'habitat qui influencent la composition et la richesse des communautés d'oiseaux ainsi que les effets de la composition et de la structure locale des peuplements forestiers sur les communautés d'oiseaux.

L'analyse qualitative du peuplement avien dans la forêt de Boumezrane a indiqué qu'il se compose d'une richesse totale de 70 espèces dont la plus part appartiennent à l'ordre des Passeriformes dans les deux peuplements de chênes. Les insectivores étant la catégorie trophique la plus dominante dans les deux chênaies. Par ailleurs, l'étude quantitative a montré que l'avifaune de la zénaie de Boumezrane se caractérise dans son ensemble (75%) par des espèces accessoires et rares. 11 espèces seulement sont fréquentes, et trois uniquement parmi ces 11 dernières sont abondantes et dominantes. En revanche, la subéraie de Boumezrane se caractérise dans son ensemble (85%) par des espèces accessoires et rares. 8 espèces seulement sont fréquentes, et deux uniquement parmi ces huit dernières sont abondantes et dominantes.

L'analyse des communautés d'oiseaux sous un angle structural par le biais de la distinction des espèces selon les guildes trophiques est pertinente: elle permet de mettre en évidence l'influence de la composition et des structures locales sur les insectivores arboricoles et les granivores terrestres. Les espèces indicatrices de la structure locale du peuplement de chêne zeen sont le Pic de Levaillant, la Mésange charbonnière, la Mésange nord-africaine, le Lorient d'Europe, la Fauvette à tête noire et l'Etourneau unicolore. Le Grimpereau des jardins, le Verdier d'Europe, la Fauvette grisette, la Fauvette passerinette, le Pouillot véloce, la Fauvette pitchou, le Rougegorge familier et la Fauvette orphée sont les espèces indicatrices pertinentes de composition dans un contexte de peuplement de chêne liège.

La détermination des indices de diversité et d'équitabilité nous ont montré que les communautés aviennes de la forêt de Boumezrane réalisent avec les deux milieux (chêne zeen et chêne liège) un niveau d'équilibre stable et important.

L'habitat forestier des communautés d'oiseaux de Boumezrane peut être décrit par un certain nombre de facteurs. Le nombre de gros bois, la hauteur et le taux de recouvrement de la strate arborée et le taux de recouvrement de la strate arbustive en sont les principaux.

La composition et la structure en oiseaux sont influencées par la dimension des arbres (gros bois). La plupart des espèces cavernicoles préfèrent les peuplements avec des arbres matures. Le facteur sous bois influence de manière importante les communautés d'oiseaux. Les oiseaux forestiers se distinguent par la structure et la composition des peuplements forestiers qu'ils occupent pour la recherche de nourriture et pour la nidification. Il est généralement noté que l'augmentation de la complexité structurale des peuplements fournit une plus grande diversité de sites d'alimentation, permettant la présence de plus d'espèces dans les communautés. Toutefois, nos résultats montrent que les espèces cavernicoles sont largement affectées par une structure verticale trop importante.

En outre, les facteurs clés garants du maintien de la richesse, de l'abondance et de la diversité aviaire dans la forêt de Boumezrane ont été identifiés. Dans la zénaie, le diamètre du plus gros arbre affecte principalement la richesse en espèces d'oiseaux; le diamètre du plus gros arbre et le taux de recouvrement de la strate arbustive influence la diversité avifaunistique; le diamètre du plus gros arbre, la hauteur de la strate arborée, le nombre d'arbres à cavité et l'altitude sont les variables qui expliquent la variation de l'abondance des espèces aviennes. En revanche, dans la subéraie, les meilleurs facteurs de prédiction de la richesse et de l'abondance des oiseaux sont essentiellement le diamètre du plus gros arbre, la hauteur de la strate arborée, le nombre de gros bois et l'altitude.

Par l'identification des facteurs clés conditionnant la richesse, l'abondance et la diversité de l'avifaune forestière, ce travail établit les bases de la gestion sylvicole de la forêt domaniale de Boumezrane dans un but conservatoire. La modélisation permet au forestier d'évaluer tant l'intérêt actuel des peuplements en place que l'impact de divers scénarii sylvicoles. En outre les gestionnaires ou les forestiers ont dès lors le moyen d'évaluer la qualité des massifs forestiers des chênaies de Boumezrane soit au travers du suivi d'une ou de toutes les espèces indicatrices, soit en réalisant des inventaires des peuplements forestiers en fonction des facteurs clés identifiés.

Afin d'aller plus loin dans la connaissance de l'écologie de ces espèces avienne, une perspective est d'étudier l'influence de l'habitat sur les paramètres démographiques, et ce plus particulièrement pour l'une des espèces indicatrice. D'autres perspectives particulièrement intéressantes seraient de mettre en place des études sur les espèces indicatrices (ou cibles) en vue de modéliser leurs habitats et leurs exigences écologiques et définir parmi elles les espèces clés.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Anderson, H. S. et Robbins, C. S., 1981. Habitat size and bird community management., *Transactions of the North American Wildlife and Natural Resources Conference*. 46: 511-520.
- Anderson, S.H. et Shugart, H., 1974. Habitat selection of breeding birds in an east Tennessee deciduous forests., *Ecology*. 55(4): 827-838.
- Anonyme., 2013. Rapport de d'état de la forêt de Boumezrane., *District de la Conservation des forêts*, Ain Zana, Souk-Ahras, Algérie.
- Anonyme., 2015. Rapport annuel des paramètres météorologiques., *Station météorologique de Souk-Ahras*, Algérie.
- Aubertin, C., Boisvert, V. et Vivien, F.D., 1998. La construction sociale de la question de la biodiversité., *Natures Sciences Sociétés*. 1: 7-19.
- Austin, G. E., Thomas, C. J., Houston, D.C. et Thompson, D.B.A., 1996. Predicting the spatial distribution of Buzzard *Buteo buteo* nesting areas using a GIS and remote sensing., *Journal of Applied Ecology*. 33, 1541-1550.
- Austin, M. P., 2002. Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling., *Ecological Modelling*. 157: 101-118.
- Belhadj, G.B., Chalabi, Y., Chabi, Y., Kaiser, Y. et Gauthier-Clerc, M., 2007. Le retour de l'Ibis falcinelle (*Plegadis falcinellus*) nicheur en Algérie., *Aves*. 44: 29-36.
- Bellamy, P.E., Shelley, A., Hinsley, A. et Newton, I., 1996. Factors influencing bird species numbers in small woods in south-east England., *Journal of Applied Ecology*. 33: 249-262.
- Bellatreche, M., 1994. Ecologie et biogéographie de l'avifaune nicheuse de la Kabylie des Babors (Algérie)., *Thèse de Doctorat*, Université de Bourgogne, Bourgogne, France.
- Benachoura, E., 1999. Projet de création d'un parc naturel régional dans la wilaya de Souk-Ahras., *Séminaire sur le Projet de création d'un parc naturel régional dans la wilaya de Souk-Ahras*, DGF, conservation de la wilaya de Souk-Ahras, Algérie. 1-8.

- Benamammar H., 2012. Caractérisation de la faune ornithologique des Monts de l'Ourit dans le Parc National de Tlemcen., *Thèse de Magister*, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, Algérie.
- Benyacoub, S., 1993. Écologie de l'avifaune forestière nicheuse de la région d'El-Kala (Nord-Est algérien)., *Thèse de Doctorat*, Université de Bourgogne, Bourgogne, France.
- Berenbaum, M.R., 1996. Introduction to the symposium: On the evolution of specialization., *American Naturalist*. 148:S78-S83.
- Bersier, L. F. et Meyer, D. R., 1995. Relationships between bird assemblages, vegetation structure, and floristic composition of mosaic patches in riparian forests., *Revue d'Ecologie*. 50: 15-33.
- Betts, M. G., Simon, N.P.P. et Nocera, J.J., 2005. Point count summary statistics differentially predict reproductive activity in bird-habitat relationship studies., *Journal of Ornithology*. 146: 151-159.
- Bibby, C.J., 1989. A survey of breeding Wood Warblers *Phylloscopus sibilatrix*, in Britain 1984-85., *Bird Study*. 36: 56-72.
- Blonde, J. et Aronson, J., 1999. Biology and Wildlife of the Mediterranean Region., *Oxford University press*, Oxford.
- Blondel, J., Ferry C. et Frochot, B., 1981. Points count with unlimited distance., *Studies in Avian Biology*. 6: 414-420.
- Blondel, J., 1995. Biogéographie. Approche écologique et évolutive., *Collection d'Ecologie N° 27p*, Masson.
- Blondel, J., 2002. Rapport de conjoncture 2002., *Institut Français de la Biodiversité*, Paris.
- Blondel, J. et Farré, H., 1988. The convergent trajectories of bird communities along ecological successions in European forest., *Oecologia*. 75: 83-93.
- Blondel, J. et Mouer-Chauviré, C., 1998. Evolution and history of the western Palearctic avifauna., *Trends in Ecology and Evolution*. 13: 488-492.
- Blondel, J., Ferry, C. et Frochot, B., 1970. La méthode des Indices Ponctuels d'Abondance (IPA) ou des relevés d'avifaune par "stations d'écoute"., *Alauda*. 38: 65-71
- Boecklen, W. J., 1986. Effect of habitat heterogeneity on the species-area relationships of forest birds., *Journal of Biogeography*. 13: 59-68.

- Bohac, J. et Fuchs, R., 1991. The structure of animal communities as bioindicators of landscape deterioration., *In* Jeffrey, D.W. et Madden, B., 1991. Bioindicators and environmental management., *Academic Press*, London.
- Bond, W.J., 2000., Le feu, les tempêtes, les chèvres et l'homme., *La Recherche*. 333: 58-62.
- Boucheker, A., 2009. Écologie de l'Ibis falcinelle *Plegadis falcinellus* en Numidie (Nord-est Algérien)., *Thèse de doctorat*, Université d'Annaba, Algérie.
- Boudy, P., 1948. Economie forestière nord africaine. Milieu physique et milieu humain., *Larose*, Paris.
- Bougherar, A., 2010. Identification et suivi des paysages et de leur biodiversité dans la wilaya d'El Tarf (Algérie) à partir des images Landsat, Spot et Aster., *Revue Télédétection*, 2010, vol 9 n° 3-4 p: 225- 243.
- Breiman, L., Friedman, J.H., Olshen, R.A. et Stone, C.I., 1984. Classification and Regression Trees., *Wadsworth International Group*, Belmont, California, USA.
- Brotons, L. et Herrando, S., 2001. Factors affecting bird communities in fragments of secondary pine forests in the north-western Mediterranean basin., *Acta Oecologica*. 22: 21-31.
- Burnham, K.P. et Anderson, D.R., 2002. Model selection and multimodel inference., *Springer*, Cambridge University Press, New York, USA.
- Burnham, K.P. et Anderson, D. R., 1998. Model selection and the inférence: a practical in format iontheoretic approach., *Springer*, Cambridge University Press, Verlag, New York.
- Camprodon, J. et Brotons, L., 2006. Effects of undergrowth clearing on the bird communities of the Northwestern Mediterranean Coppice Holm Oak forests., *Forest Ecology Managment*. 221: 72-82.
- Cardinale, B.J., Palmer, M.A. et Collins, S.L., 2002. Species diversity enhances ecosystem functioning through interspecific facilitation., *Nature*. 415: 426.
- Chalabi, B., 1990. Contribution à l'étude des zones humides algériennes pour la protection de l'avifaune. Cas du lac Tonga (parc national d'El Kala). *Thèse de Magistère*, INA, Alger, Algérie.
- Cherkaoui, S.I., Dakki, M., Selmi, S., Rguibi, I.H. et Thevenot, M., 2007. Les oiseaux de la subéraie de la Ma'amora (Maroc): Phénologie du peuplement, statut des espèces nicheuses et évolution depuis le début du vingtième siècle., *Alauda*. 75: 15-32.

- Chessel, D., Dufour, A.B. et Thioulouse, J., 2004. The ade4 package-I- One-table methods., *R News*. 4: 5-10.
- Clarke, K.R. et Warwick, R.M., 1994. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation., *Natural Environment Research Council*, UK.
- Clarke, K.R., 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure., *Australian Journal of Ecology*. 18: 117-43.
- Clements, F.E., 1916. Plant succession. An analysis of the development of vegetation., *Carnegie Institut Publications*, Washington, USA. 242: 512.
- Collectif., 1999. Boisements naturels des espaces agricoles en déprise., *Ingénieries N° spécial*, Cemagref, Paris.
- Connor, E. F. et McCoy, E. D., 1979. The statistics and biology of the species-area relationship., *The American Naturalist*. 113: 791-833.
- Convention de Rio., 1992. Sommet de la terre., Brésil, Rio de Janeiro, 05 juin 192.
- Cousins, S.H., 1991. Species diversity measurement: choosing the right index. *Trends in Ecology and Evolution*. 6/6: 190-192.
- Cramp, S., 1988. Handbook of the Bird of Europe, the Middle East and North Africa. The Bird of Western Palearctic., *Oxford University Press*, Oxford, Londre.
- Dajoz, R., 1996. Précis d'écologie. *Dunod*, Paris.
- Darmellah, H., 1990. La reproduction du héron garde bœuf (*Bubulcus ibis*) dans le marais de Bou Redim (Algérie)., *L'oiseau et la revue Française d'ornithologie*. 60: 307-312
- David, W. R., 2013. labdsv: Ordination and Multivariate Analysis for Ecology., *R package version 1.6-1*, <http://CRAN.R-project.org/package=labdsv>.
- De'ath, G., 2002. Multivariate regression trees: a new technique for modeling species environment relationships., *Ecology*. 83: 1105-1117.
- Deceuninck, B. et Baguette, M., 1991. Avifaune nicheuse de l'épicéa (*Picea abies*) dans la région du plateau des Taille (Prov. du Luxembourg)., *Aves*. 28: 189-207.

- Degraaf, R.M., Hestbeck, J.B. et Yamasaki, M., 1998. Associations between breeding bird abundance and stand structure in the White Mountains, New Hampshire and Maine, USA., *Forest Ecology and Management*. 103: 217-233.
- Delahaye, L., 2006. Habitat selection in forest birds and predictive models of species potential distribution in Ardenne's oak and beech forest: effects of tree composition and forest stand structure., *PhD Thesis*, Agricultural University of Gembloux, Belgium.
- Diaz, L., 2006. Influence of forest type and forest structure on bird communities in oak and pine woodlands in Spain., *Forest Ecology and Management*. 223: 54-65.
- Djema, A. et Messaoudène, M., 2009. The Algerian Forest: Current Situation and Prospects. In: Modelling, Valuing and Managing Mediterranean Forest Ecosystems for Non Timber Goods and Services (eds. Palahí, M., Birot, F. et Gorriz, E), pp. 17-27., *European Forest Institute*, Finland.
- Donald, P.F., Fuller, R.J., Evans, A.D. et Gough, S.J., 1998. Effects of forest management and grazing on breeding bird communities in plantations of broadleaved and coniferous trees in western England., *Biological Conservation*. 85: 183-197.
- Dray, S. et Dufour, A.B., 2007. The ade4 package: implementing the duality diagram for ecologists., *Journal of Statistical Software*. 22: 1-20.
- Dray, S., Dufour, A.B. et Chessel, D., 2007. The ade4 package-II: Two-table and K-table methods., *R News*. 7: 47-52.
- Dronneau, C., 2007. Peuplement d'oiseaux nicheurs d'une forêt alluviale du Rhin., *Alauda*. 4: 373-388.
- Drunaud, J.H., 1954. Les sols d'Algérie., *Gouvernement d'Algérie*, Services des études scientifiques (Alger) 91-135.
- du Bus De Warnaffe, G. et Devillez, F., Quantifier la valeur écologique des milieux pour intégrer la conservation de la nature dans l'aménagement des forêts: une démarche multicritères., *Annals of Forest Science*. 59: 369-387.
- du Bus de Warnaffe, G. et Dufrêne, M., 2004. To what extent can management variables explain species assemblages? A study of carabid beetles in forests., *Ecography*. 27: 701-714.
- Duchauffour, P., 1976. Atlas écologique des sols du monde., *Masson*, Paris.

- Dufrene, M. et Legendre, P., 1997. Species assemblages and indicator species: The need for a flexible asymmetrical approach., *Ecological Monographs*. 67: 345-366.
- Dufrène, M., 2001. IndVal or how to identify indicator species of a sample typology? MRW.
- Dufrene, M. et Legendre, P., 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach., *Ecological Monographs*. 67: 345-366.
- Fahrig, L., 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity., *Annual Review of Ecology and Systematics*. 34: 487-515.
- Farajou, M.K, Kaddour, A. et Lamari, A., 1980. Projet d'aménagement de la forêt domaniale de Boumezrane (Ain Zana)., *Mémoire d'ingénieur*, ITA, Mostaganem, Algérie.
- Ferry, C. et Frochot, B., 1958. Une méthode pour dénombrer les oiseaux nicheurs. *Revue d'Ecologie*. 1958: 85-102.
- Fleishman, E., Blair, R.B. et Murphy, D.D., 2001. Empirical validation of a method for umbrella species selection., *Ecological Applications*. 11/5: 1489-1501.
- Fleishman, E., Mcdonal, N., Nally, R. M., Murphy, D.D., Walters, J. et Floyd, T., 2003. Effects of floristics, physiognomy and non-native vegetation on riparian bird communities in a Mojave Desert watershed., *Journal of Animal Ecology*. 72: 484-490.
- Fuller, R. J. et Green, G. H., 1998. Effects of woodlands structure on breeding bird populations in stands of coppiced lime (*Tilia cordata*) in western England over a 10 year period., *Forestry*. 71: 199-215.
- Fuller, R. J., 1995. Bird life of woodland and forest., *Cambridge University Press*, Cambridge.
- Gimaret-Carpentier, C., 1999. Analyse de la biodiversité à partir d'une liste d'occurrences d'espèces: nouvelles méthodes d'ordination appliquées à l'étude de l'endémisme dans les Ghâts occidentaux., *Thèse de doctorat*, Université Claude Bernard Lyon I, France.
- Gotelli et Ellison., 2004. A Primer of Ecological Statistics., *Sinaeuer Associates Inc*, Sunderland MA.
- Goulson, D., Hanley, M.E., Darvill, B., Ellis, J.S. et Knight, M.E., 2005. Causes of rarity in bumblebees., *Biological Conservation*. 122:1-8.

- Guisan, A., 1996. Distribution de taxons végétaux dans un environnement alpin: application de Bibliographie modélisations statistiques dans un système d'information géographique., *Thèse de doctorat*, Université de Genève, Genève.
- Guisan, A., Edwards, J., Thomas, C. et Hastie, T., 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene., *Ecological Modelling*. 157: 89-100.
- Guisan, A., Theurillat, J. P. et Kienast, F., 1998. Predicting the potential distribution of plant species in an Alpine environment., *Journal of Vegetation Science*. 9: 65-74.
- Gumpertz, M. L., Graham, J. M. et Ristaino, J. B., 1997. Autologistic model of spatial pattern of Phytophthora epidemic in bell pepper: effect of soil variables on disease presence., *Journal of Agricultural Biological and Environmental Statistics*. 2: 131-156.
- Wickham, H., 2009. ggplot2: elegant graphics for data analysis., *Springer*, New York.
- Haapannen, A., 1965. Bird fauna of the Finnish forests in relation to forest succession., *Zoologica Fennica*. 2: 53-196.
- Haas, F., 1969. Superfamilia Unionacea., *Das Tierreich*. 88: 1-663.
- Wickham, H., 2011. The Split-Apply-Combine Strategy for Data Analysis., *Journal of Statistical Software*. 40: 1-29. URL <http://www.jstatsoft.org/v40/i01/>.
- Hahn, B. and Silverman, E., 2006. Social cues facilitate habitat selection: American redstarts establish breeding territories in response to song., *Biology Letters*. 2: 337.
- Hall, L., Krausman, P. et Morrison, M., 1997. The habitat concept and a plea for standard terminology., *Wildlife Society Bulletin*. 25: 173-182.
- Harrison, P. et Pearce, F., 2000. An atlas of population and environment., *University of California Press*, Berkeley.
- He, F.L. et Legendre, P. 2002. Species diversity patterns derived from species-area models. *Ecology*., 83: 1185-1198.
- Heim de Balsac, H. et Mayaud, N., 1962. Les oiseaux du Nord Ouest de l'Afrique., *Le Chevallier*, Paris.

- Heinzel, H., Fitter, R. et Parslow, J., 2004. Oiseaux d'Europe d'Afrique du Nord et du Moyen orient., *Delachaux et Niestlé*, Paris.
- Helle, P. et Monkkonen, M., 1990. Forest successions and bird communities: theoretical aspects and practical implications., *In* Keast, A. Biogeography and ecology of forest bird communities., *SPB Academic publishing*: 299-318.
- Holmes, R.T. et Robinson, S.K., 1981. Tree species preferences of foraging insectivorous birds in a northern hardwood forest., *Oecologia*. 48: 31-35.
- Holmes, R.T. et Schultz, J.C., 1988. Food availability for forest birds: effects of prey distribution and abundance on bird foraging., *Canadian Journal of Zoology*. 66: 720-728.
- Houhamdi, M. et Samraoui, B., 2001. Première observation de l'Erismature rousse *Oxyura jamaicensis* en Algérie. *Alauda*. 69: 396.
- Houhamdi, M. et Samraoui, B., 2002. Occupation spatio-temporelle du Lac des Oiseaux par l'avifaune aquatique., *Alauda*. 70: 301-310.
- Houhamdi, M. et Samraoui, B., 2003. Diurnal behaviour of wintering *Wigeon Anas penelope* in Lac des Oiseaux, northeast Algeria., *Wildfowl*. 54: 51-62.
- Hunter, M.L., 1999. Biological diversity. *In*: Hunter, M.L. Maintaining biodiversity in forest ecosystems., *Cambridge University Press*: 3-21.
- Hurd, C., 1996. Interspecific attraction to the mobbing calls of black-capped chickadees (*Parus atricapillus*)., *Behavioral Ecology and Sociobiology*.38: 287-292.
- Hurka, K., Sustek, Z., 1995. Caraboidea. *In*: Rozkošný, R., Vaňhara, J., 1995. Terrestrial Invertebrates of the Pálava Biosphere Reserve of UNESCO, II. Folia Fac., *Science Nature University*. Masaryk. Brun., Biol., 93. Brno: Masaryk University Brno. ISBN 80-210-1252-8
- Huston, M.A., 1998. Biological Diversity: The coexistence of species in changing landscapes.
- Marschner, I., 2014. glm2: Fitting Generalized Linear Models. R package version 1.1.2. <http://CRAN.R-project.org/package=glm2>
- Ihaka, R. et Gentleman, R., 1996. R: a language for data analysis and graphics., *Journal of Computational and Graphical Statistics*. 5: 299-314.

- Inman, A. et Krebs, J., 1987. Predation and group living., *Trends in Ecology and Evolution*. 2:31-32.
- Isenmann, P. et Moali, A., 2000. Les oiseaux d'Algérie., SEOF, France.
- Jacob, J.P., Ledant, J.P. et Hily, C., 1979. Les oiseaux d'eau du marais de Reghaia, Algérie., *Aves*. 16: 59-82.
- Oksanen, J., Blanchet, F.G., Kindt, R., Legendre, P., R.Minchin, P., O'Hara, R.B., Simpson, G., Solymos, P., H. Stevens, M. H. et Wagner, H., 2014. vegan: Community Ecology Package. R package version 2.2-0.
- Clavel, J., 2007. Spécialistes et Généralistes face aux changements globaux: Approches comportementales et évolutives., *Thèse de doctorat*, Université Pierre et Marie Curie, France.
- Fox, J. et Weisberg, S., 2011. An {R} Companion to Applied Regression, Second Edition., *Thousand Oaks CA*, Sage. URL: <http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion>
- Jokimaki, J., Huhta, E., Itâmies, J. et Rahko, P., 1998. Distribution of arthropods in relation to forest patch size, edge, and stand characteristics., *Canadian Journal of Forest Research*. 28: 1068-1072.
- Jongman, R. H. G., ter Braak, C. J. F. et van Tongeren, O. F. R., 1995. Data analysis in community and landscape ecology., *Cambridge University Press*, Cambridge.
- Cockle, K.L., Martin, K. et Robledo, G., 2012. Linking fungi, trees, and hole-using birds in a Neotropical tree-cavity network: Pathways of cavity production and implications for conservation., *Forest Ecology and Management*. 264: 210-219
- Keriem, A., 2013. Etude des possibilités d'extension du cedre de l'Atlas., *Mémoire d'ingénieur*, ENSA, El Harrach, Algérie.
- Kimmins, J.P., 1997. Forest ecology, a foundation for sustainable management., *Prentice Hall*, Upper Saddle River, USA.
- Kirk, D.A. et Hobson, K.A., 2001. Bird-habitat relationships in jack pine boreal forests., *Forest Ecology and Management*. 147: 217-243.
- Krebs, C. J., 2000. Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance (5th edition).

- Lack, D., 1933. Habitat selection in birds with special reference to the effects of afforestation on the Breckland avifauna., *Journal of Animal Ecology*. 2: 239-262.
- Lack, D., 1939. Further changes in the Breckland avifauna caused by afforestation. , *Journal of Animal Ecology*. 8: 277-285.
- Laiolo, P., 2002. Effects of habitat structure, floral composition and diversity on a forest bird community in north-western Italy., *Folia Zoologica*. 51: 121-128.
- Lambeck, R. J., 1997. Focal species : a multi-species umbrella for nature conservation., *Conservation Biology*. 11: 849-856.
- Lasiak, T.A. et Field, J.G., 1995. Community-level attributes of exploited and non-exploited rocky infratidal macrofaunal assemblages in Transkei., *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 185: 33-53.
- Lebreton, Ph. et Pont, B., 1987. Avifaune et altérations forestières I: l'avifaune des boisements résineux du Haut-Beaujolais, considérations générales., *Acta Oecologica, Oecological generation*. 8: 227-235.
- Legendre, P. et Legendre, L., 2012. Numerical Ecology 3rd edition. *Elsevier Science BV*, Amsterdam.
- Legendre, P. et Legendre, L., 1998. Numerical Ecology., *Elsevier*, Amsterdam.
- Letreuch, B.N., 1991. Les reboisements en Algérie et leur perspective d'avenir., *OPU*, Alger.
- López, G., et Moro, M.J., 1997. Birds of Aleppo pine plantations in south-east Spain in relation to vegetation composition and structure., *Journal of Applied Ecology*. 34 : 1257-1272.
- MacArthur, R.H. et MacArthur, J.W., 1961. On bird species diversity., *Ecology*. 42: 594-598.
- MacFaden, S.W. et Capen, D.E., 2002. Avian habitat relationships at multiple scales in a New England forest., *Forest Science*. 48: 243-253.
- Maechler, M., Rousseeuw, P., Struyf, A., Hubert, M. et Hornik, K., 2014. cluster: Cluster Analysis Basics and Extensions. R package version 1.15.3.
- Magurran, A.E., 1988. Choosing and interpreting diversity measures. *In: Ecological diversity and its measurement.*, *Croom Helm*, London: 61-111.
- Makatsch, W., 1957. Beobachtungen auf einer Frühjahrsreise durch Algerien., *Vogelwelt*. 78: 19-31.

- Martikainen, P., Kaila, L. et Haila, Y., 1998. Threatened beetles in white-backed woodpecker habitats., *Conservation Biology*. 12: 293-301.
- Meffe, G.K. et Carroll, G.R., 1994. The role of keystone species. *In*: Meffe, G.K. et Carroll, G.R. Principles of conservation Biology., *Sinauer Assoc. Inc*, Sunderland, Massachusetts, USA.
- Memmott, J., Craze, P., Waser, N. et Price, M., 2007. Global warming and the disruption of plant-pollinator interactions., *Ecology Letters*. 10: 1-8.
- Mena, M., 2007. Les monogènes parasites parasitant *Barbus callensis* du barrage Fom El Khenga., *Mémoire de Master*, Centre Universitaire de Souk Ahras, Souk-Ahras, Algérie.
- Merino, S. et Møller, A., 2010. Host-parasite interactions and climate change., *Chapter 15*, University Press, Oxford.
- Messaoudène, M., 1998. La régénération naturelle des peuplements de *Quercus suber L.* dans la forêt domaniale des Beni-Ghorbi (Algérie)., *Actes du séminaire méditerranéen sur la régénération des forêts de chêne-liège*, Tabarka. Tunisie. 73-86.
- Metzmacher, M., 1976. Contribution à l'ornithologie oranais., *Bultin société géographique et archéologique*, Oran: 66-76.
- Mikusinski, G., Gromadzki, M. et Chylarecki, P., 2001. Woodpeckers as indicators of forest bird diversity., *Conservation Biology*. 15: 208-217.
- Moali, A., 1999. Déterminisme écologique de la distribution et biologie des population des oiseaux nicheurs en Kabylie., *Thèse doctorat d'Etat*, Université de Tizi Ouzou, Tizi Ouzou, Algérie.
- Mena, M., Maazi, M.C., Telailia, S., Saheb, M., Boutabia, L., Chafrou, A. et Houhamdi, M., 2016. Richness and Habitat Relationships of Forest Birds in the Zeen Oak Woodland (Forest of Boumezrane, Souk-Ahras), Northeastern Algeria., *Pakistan journal of zoology*. 48: 1059-1069.
- Molfetas, S. et Blandin, P., 1980. Quelques éléments de réflexion sur la notion d'indicateur écologique. *In*: Journées d'étude de l'association française des Ingénieurs écologues, Grenoble, 13-14 novembre 1980, AFIE, MaIn:villiers: 167-173.
- Mostefai, N., 2011. L'avifaune nicheuse de la subèraie de Hafir (Tlemcen-Algérie)., *Alauda*. 79: 207-213.

- Muller, J., Stadler, J. et Brandl, R., 2010. Composition versus physiognomy of vegetation as predictors of bird assemblages. The role of lidar., *Remote Sensing of Environment*. 114: 490-495.
- Müller, Y., 1985. L'avifaune forestière nicheuse des Vosges du Nord, sa place dans le contexte médio-européen., *Thèse Doctorat*, Université de Dijon, Dijon, France.
- Nations Unies., 2002. Rapport du Sommet Mondial pour le Développement Durable – Johannesburg – 26 août-4 septembre 2002. New-York, A/CONF. 199/20, (198 p.).
- Noirfalise, A., 1984. Les stations forestières de Belgique., *Presses agronomiques de Gembloux*.
- Noss, R.F., 1990. Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach., *Conservation Biology*. 4: 355-364.
- Otto, H.J., 1998. Ecologie forestière. IDF, Paris.
- Paine, R.T., 1966. Food web complexity and species diversity., *Animal Nature*. 100: 65-75.
- Patterson, I.J., Ollason, J.G. et Doyle, P., 1995. Bird populations in uplands spruce plantations in northern Britain. *Forest Ecology Management*. 79: 107-131.
- Peterken, G.F., 1981. Woodland conservation and management., *Chapman and Hall*, London.
- Philippi, T.E., Dixon, P.M. et Taylor, B.E., 1998. Detecting trends in species composition. *Ecological Applications*. 8: 300-308.
- Legendre, P. and Durand, S., 2014. rdaTest: Canonical redundancy analysis. R package version 1.11.
- Predon, R. et Lebreton, J.D., 1981. Breeding avifauna of a Mediterranean succession: the holm oak and cork oak series in the eastern Pyrenees .I. Analysis and modeling of the structure gradient., *Oikos*. 37: 21-38.
- R Core Team., 2014. R: A language and environment for statistical computing., *R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- Ralph, C. J., Sauer, J. R. et Droege, S., 1995. Monitoring bird populations by point counts., *USDA Forest Service*.
- Ramade, F., 1984. Eléments d'écologie: Ecologie fondamentale., *Mc Graw-Hill*. Paris.
- Reid, S., Diaz, I.A., Armesto, J.J. et Willson, M.F., 2004. Importance of native bamboo for understory birds in Chilean temperate forests., *The Auk*. 121: 515–525.

- Rizi, V., Larlori, M., Di Carlo, P., Visconti, G. et Cinque, G., 2000. A combined Rayleigh-Raman lidar for measurements of tropospheric water vapour and aerosol profiles., *il Nuovo Cimento*. 23: 53-64.
- Robinson, S.K. et Holmes, R.T., 1982. Foraging behavior of forest birds: the relationships among search tactics, diet, and habitat structure., *Ecology*. 63: 1918-1932.
- Robinson, S.K. et Holmes, R.T., 1984. Effects of plant species and foliage structure on the foraging behavior of forest birds., *Auk*. 101: 672-684.
- Rodewald, A.D. et Abrams, M.D., 2002. Floristics and avian community structure: implications for regional changes in Eastern forest composition., *Forest Science*. 48: 267-272.
- Rosenzweig, M., 1991. Habitat selection and population interactions: the search for mechanism. 137: S5-S28.
- Rotenberry, J.T., 1985. The role of habitat in avian community composition: physiognomy or floristics? *Oecologia*, 67(2), 213-217.
- Sala, O.E., Chapin, F.S., Armesto, J.J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sanwald, E., Huenneke, L.F., Jackson, R.B., Kinzig, A., Leemans, R., Lodge, D.M., Mooney, H.A., Oesterheld, M., Poff, N.L., Sykes, M.T., Walker, B.H., Walker, M. et Wall D.H., 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100., *Science*. 287: 1770-1774.
- Samraoui, F., 2009. Contribution à l'étude de l'écologie de la reproduction des Ardéidés (Héron Garde bœufs *Ardea ibis*, Héron crabier *Ardéola ralloides*, Aigrette garzette *Egretta garzetta* et Héron bihoreau *Nycticorax nycticorax*) en Numidie (nord-est algérien)., *Thèse*, Université USTHB, Alger, Algérie.
- Samraoui, B. et Samraoui, F., 2008. An ornithological survey of the wetlands of Algeria: Important Bird Areas, Ramsar sites and threatened species., *Wildfowl*. 58: 71-98.
- Samraoui, F., Menaï, R. et Samraoui, B., 2007. Reproductive ecology of Cattle Egret *Bubulcus ibis* at Sidi Achour, northeast Algeria., *Ostrich*. 78: 481-487.
- Sánchez, S., Cuervo, J.J. et Moreno, E., 2012. Vegetation structure in Beech-Fir forest: Effects on the avian community., *Revue d'Ecologie (Terre Vie)*. 67: 213-222.

- Sandström, U., 1992. Cavities in trees: their occurrences, formation and importance for hole-nesting birds in relation to silvicultural practise. *Swedish university of Agricultural Sciences Department of Wildlife Ecology*.
- Saunders, D.A., Hobbs, R.J. et Margules, C.R., 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review., *Conservation Biology*. 5:18-32.
- Scott, J.M., Heglund, P.J., Samson, F., Haufler, J., Morrison, M., Raphael, M. et Wall, B., 2002. Predicting Species Occurrences: Issues of Accuracy and Scale., *Island Press*, Covelo, California.
- Simberloff, D., 1998. Flagships, umbrellas, and keystones: is single-species management passe in the landscape era?, *Biology Conservation*. 83: 247-257.
- Smith, F.D.M., May, R. M., Pellew, R., Johnson, T.H. et Walter, K.S., 1993. Estimating extinction rates., *Nature*. 364: 494-496 .
- Snow, D.W. et Perrins, C.M., 1998. The birds of the Western Palearctic, vol.2: Passerines., *Oxford University Press*, Oxford.
- Šustek, Z., 1995. Prenikanie niektorých xenocénnych druhov bystruškovitých do lužných lesov v oblasti Gabčíkova. 314-318. In: Svobodová, A., Lisický, M., 1995. Výsledky a skúsenosti z monitorovania bioty území ovplyvneného vodným dielom Gabčíkovo., *Uze Sav*, Bratislava.
- Ter Braak, C.J.F., 1995. Ordination: Data Analysis in Community and Landscape Ecology. In: Ordination: Data Analysis in Community and Landscape Ecology
- Therneau, T. et Atkinson, B., 2014. R port of rpart by Brian Ripley <ripley@stats.ox.ac.uk>. Some routines from vegan – Jari Oksanen <jari.oksanen@oulu.fi> Extensions and adaptations of rpart to mvpart by Glenn De'ath. mvpart: Multivariate partitioning. R package version 1.6-2. <http://CRAN.R-project.org/package=mvpart>
- Teyssère, A., 2008. Quelle est l'ampleur de la crise actuelle de biodiversité ?, *Biosystema* 25: 91-100.
- Thévenot, M., Vernon, R. et Bergier, P., 2003. The birds of Morocco., *The Natural History Museum*.
- Thiollay, J.M., 1990. Comparative diversity of temperate and tropical forest birds communities: the influence of habitat heterogeneity., *Acta Oecologica*. 11: 887-911
- Thompson, I. et Angelstam, P., 1999. Special species. In: Hunter, M.L. (ed) Maintaining biodiversity in forest ecosystems., *Cambridge University Press*. 434-459.

- Titeux, N., 2006. Modelling species distribution when habitat occupancy departs from suitability., *Ph.D. thesis*, Catholic University of Leuven, Belgium.
- Van Dijk et Ledant, J.P., 1983. La valeur ornithologique des zones humides de l'est algérien., *Biological conservation*. 26: 215-226
- Venables, W. N. et Ripley, B. D., 2002. Modern Applied Statistics with S. Fourth Edition. *Springer*, New York.
- Voous, K.H., 1973. List of recent holarctic birds species., *British Ornithologist's Union*, London. Reprinted from *Ibis*. 115: 612-612.
- Voous K.H., 1977. List of recent holarctic birds species., *British Ornithologist's Union*, London. Reprinted from *Ibis*, 119: 223-250 et 376-406
- Walker, H.A., 2008. Floristics and physiognomy determining migrant landbird response to tamarisk (*Tamarix ramosissima*) invasion in riparian areas., *The auk*. 125: 520-531.
- Wiens, J. A., 1989. The ecology of bird communities., *Cambridge university press*, Cambridge.
- Williamson, P., 1971. Feeding ecology of the Red-eyed Vireo (*Vireo olivaceus*) and associated foliage-gleaning birds., *Ecological Monographs*. 41: 129-152.
- Wilson, E.O. et Peter, F.M., 1988. Biodiversity., *National Academic Press*, Washington DC.
- Wilson, E.O., 1992. The diversity of Life., *Harvard University Press*.
- Wilson, B., 1999. Guilds, functional types and ecological groups., *Oikos* 86: 507-522.
- Yeatman-Berthelot, D., Jarry, G., 1994. Nouvel atlas des oiseaux nicheurs de France., *Société ornithologique de France*, Paris.
- Yessed, S.D., 2000. Le chêne-liège et le liège dans les pays de la méditerranées occidentale. Edi. MRW.
- Zouaidia, H., 2006. Bilans des incendies de forêt dans l'est algérien, cas de wilaya de Souk-Ahras, Mila, Constantine et Guelma., *Mémoire de Magister*, Université Mentouri, Constantine, Algérie.

Site web:

www.abhesm.dz

www.r-project.org

ANNEXES:
PRODUCTIONS SCIENTIFIQUES



Richness and Habitat Relationships of Forest Birds in the Zeen Oak Woodland (Forest of Boumezrane, Souk-Ahras), Northeastern Algeria

Mohcen Mena¹, Mohamed Cherif Maazi^{2*}, Saleh Telailia³, Menouar Saheb¹, Lamia Boutabia³, Azzedine Chafrou⁴ and Moussa Houhamdi⁵

¹RNAMS Laboratory, Department of Natural and Life Sciences, Faculty of Sciences, University of Oum El Bouaghi, P.O. 321, Constantine Road, Oum El Bouaghi, Algeria

²LEAT Laboratory, Department of Biology, Faculty of Natural and Life Sciences, University of Souk-Ahras, P.O. 1553, Annaba Road, Souk-Ahras, Algeria

³Faculty of Sciences, University of El Taref, El Taref, Algeria

⁴Faculty of Natural and Life Sciences, University of Souk Ahras, Souk-Ahras, Algeria

⁵Faculty of sciences, University of Guelma, P.O. 401, Guelma, Algeria

ABSTRACT

Boumezrane's forest is a significant center for biodiversity. Since last year the forest is facing destruction and degradation. Although the forest is recognized as an important area for avian diversity, it has never received ornithological attention. Many studies have been conducted on the relationship of birds with habitat features, however their associations are not completely understood. Hence we need information on the relationship between occurrence of birds and structural components of zeen oak habitats. We examined relative bird abundance by using the point count method and its relationship to environmental descriptors. A total of 68 visits of 39 bird species were recorded in the zeen oak stands. Avian species richness at each point count ranged between four and 14 species. The most dominant families in number of pairs are *Paridae* (121 pairs), *Turdidae* (115.5 pairs), *Sylviidae* (57.5 pairs), *Picidae* (55.5 pairs), and *Fringillidae* (43.5 pairs). They cater for more than 70% of the total abundance of the entire community. Using principal component analysis and canonical correspondence analysis methods, we determined that the size of trees with the height of shrub layer is an important criterion for differentiation of the avifauna of Boumezrane. The second criterion is the volume of tree stratum.

Article Information

Received 9 February 2015

Revised 28 December 2015

Accepted 5 February 2016

Available online 1 June 2016

Authors' Contribution

MM and MCM conceived and designed the study were involved in bird surveys, analyzed the data and wrote the article. ST and LB helped in bird surveys. MS, AC and MH helped in collecting habitat measurement data and in writing of the manuscript.

Key words

Zeen oak, point count method, the size of trees, the height of shrub layer, the volume of tree stratum.

INTRODUCTION

Birds are one of the most popular life forms on the planet, and that biodiversity leads to a richness of life and beauty (Joshi and Shrivastava, 2013). Birds are ideal bio-indicators and useful models for a variety of purposes. They are valuable tools in ecology and biogeography and are increasingly used to underpin the implementation of effective protection or management strategies for nature conservation (Titeux, 2006).

Habitat structure is an important determinant of species diversity and richness and is also an important factor contributing to the habitat selection of individual species (Gould, 2000; Watson *et al.*, 2004; Giles, 2004; Yu and Guo, 2013). The association of whole avian communities and individual species with specific habitat structural attributes is influenced by many factors including the provision of adequate resources for foraging and breeding, and shelter from weather,

predators and parasites (Hildén, 1965).

The relationship between bird species distribution and vegetation was first investigated by Bond (1957) who found that bird species distribution followed an individualistic pattern in a vegetation gradient in North America.

Many studies have been conducted on association of birds with habitats along environmental gradients (Bond, 1957; James, 1971; Smith, 1977; Bibby *et al.*, 1985; Newton, 1995). Most of these studies have shown strong correlations between bird species and habitat features, especially vegetation structure (MacArthur and MacArthur, 1961; James, 1971; James and Warner, 1982; Denis, 2009; Delahaye, 2006). Although most of these studies determined some of the habitat requirements of avian species and the effects of habitat alteration, their interrelationships are not completely understood. Hence information on the relationship between occurrence of birds and structural components of zeen oak *Quercus canariensis* habitats are needed.

Boumezrane's forest is a significant center for biodiversity. However, it is subject to a variety of threats and more particularly those related to human activities.

* Corresponding author: cherifmaazi@yahoo.fr

0030-9923/2016/0004-1059 \$ 8.00/0

Copyright 2016 Zoological Society of Pakistan

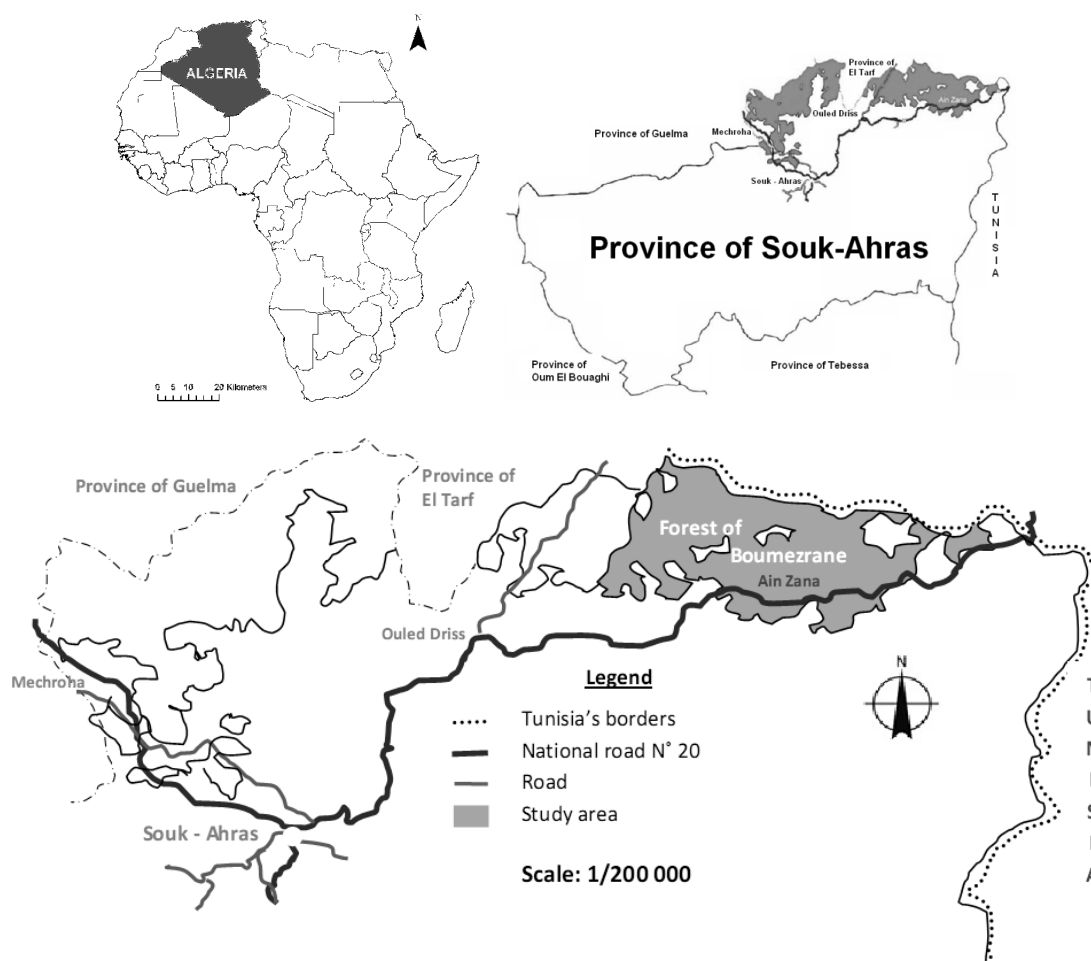


Fig. 1. Geographic location of the forest of Boumezrane

Extensive fires are the main cause of current biodiversity decline (Djama and Messaoudene, 2009). Although this productive forest is recognized as an important area for avian diversity, it has never received ornithological attention.

The objective of this study was to prepare the inventory of forest avifauna, to investigate bird-habitat relationships and to identify environmental characteristics that influence the distribution of birds in the forest of Boumezrane.

MATERIALS AND METHODS

Study site

The study was conducted in the forest of Boumezrane (36° 24' N, 8° 12' E). The forest is located in Northeastern Algeria about 40 km east of the town of Souk Ahras, and within Northeast of Aïn Zana commune, bordering Tunisia. It covers 7428.8 ha (3900 ha of cork

oak *Quercus suber*, 2400 ha of zeen oak *Quercus canariensis*, 400 ha of olive *Olea europaea* and secondary essences, and 700 ha of scrubland.

Climate is sub-humid with annual precipitation ranging between 600 and 900 mm and average monthly temperatures of 3°C in January to 33°C in August (Anonymous, 2013).

Bird surveys

To identify breeding birds on the study site, point count or IPA method (Indices Ponctuels d'Abondance) was applied. It was developed in France by Ferry and Frochot (1970), subsequently it has been standardized by the International Bird Census Committee (International Bird Census Committee, 1977). The point count method was employed because it seems to be the most suitable method for forest birds in dense and homogeneous areas and for developing relative indices of abundance and inferences about bird-habitat relationship (Blondel *et al.*,

1970; Bibby *et al.*, 2000; Gibbons and Gregory, 2006). The observer stood at the centre of a 100 m radius circular plot and recorded all birds detected in all directions by visual observation, song or call note for 20 minutes. Overflying birds that did not land on trees or on the ground were recorded but not included in the statistical analysis. The twenty minutes were enough to record all the birds in a plot and brief enough to avoid or reduce double counting (Sánchez *et al.*, 2012).

All surveys were conducted between one and four hours after sunrise on clear and calm mornings (when bird activity is important) (Frochot and Roché, 1990), since the morning period yields the best results (Lynch, 1995).

In order to count both early and late nesting species (to ensure that the entire nesting period of all species was sampled) (Drapeau *et al.*, 1999), sampling stations were visited twice during the breeding season. The first round of sampling was conducted from 15 March to 26 April 2013 and the second in exactly the same order, from 15 May to 25 June 2013. Overall, 34 survey plots or 68 partial surveys were distributed through a wide range of environmental conditions within the zeen oak forest. The higher of the two counts of pair numbers is used as an index of abundance for each species at each station. Each singing male, occupying the nest, or family of birds out of the nest was counted as one pair, whereas a bird merely seen or heard calling was counted as a half pair.

Habitat measurements

At each bird sampling station habitat measurements were taken. The habitat characteristics were recorded after each session of point counts.

The structure of vegetation was quantified by measuring: i) the height of mean tree stratum (H) and ii) shrub layer (h); (H) and (h) were measured directly with a hypsometer, iii) the diameter of the largest timber (d_{max}) d at breast height (1.3m, a tape measure was used) and iv) the total basal area (Gm²). Gm² is usually a measurement taken at the diameter at breast height (1.3m) of a tree above ground and includes the bark. We also visually estimated v) density of tree stratum (A) and vi) density of shrub layer (a).

Data analyses

Bird species richness, species diversity index (Shannon's index, H') and equitability (evenness index, J') were calculated at each individual point. Principal Components Analysis (PCA) was used to reduce the original set of structural variables and to detect structure in the relationship between birds and habitat characteristics (Legendre and Legendre, 1998).

To identify which habitat variables were important

for determining bird species composition and abundance in zeen oak stands, we used Canonical Correspondence Analysis (CCA) (ter Braak, 1995). This ordination technique was designed to detect patterns of variation in a set of response variables (bird species abundance) that could be explained by patterns of variation in a set of predictor variables (habitat data). The resulting ordination expresses not only the pattern of variation in species composition, but also the main relations between bird species and each environmental variable (Jongman *et al.*, 1987).

All analyses were performed using the computer language R, version 3.0.1 (R Development Core Team, 2013) and multivariate analysis on ade4 package available in R (Chessel *et al.*, 2004; Dray *et al.*, 2007).

RESULTS

Bird species abundance and composition

Thirty nine bird species (Table I) were recorded in 68 visits (68 IPA partials) at the 34 sites of zeen oak stands. Avian species richness at each point count ranged between four and 14 species (10±1).

The eight most common forest bird species were Levaillant's green woodpecker *Picus vaillantii* (26 pairs), European Robin *Erithacus rubecula* (41 pairs), Common Blackbird *Turdus merula* (50.5 pairs), Great Tit *Parus major* (76 pairs), (Ultramarine) Blue Tit *Parus caeruleus (ultramarinus)* (29.5 pairs), Short-toed Tree creeper *Certhia brachydactyla* (32 pairs), Eurasian Jay *Garrulus glandarius* (21 pairs), and Common Chaffinch *Fringilla coelebs* (43.5 pairs). Other species were represented only by 1–2 pairs (*e.g.* Common Whitethroat *Sylvia communis*, Collared Flycatcher *Ficedula albicollis* and Hoopoe *Merops apiaster*).

The diversity of bird communities remained strong (H' = 2.10) as well as the evenness index (J' = 0.93), which indicates a good distribution of individuals among species.

Moreover, the concept of frequency F (%), allowed to easily discriminate the species characteristics of an habitat (low density, but acceptable frequency) of those, whose presence is irregular (Muller, 1985). Thus, the number of regular, constant or ubiquitous species, whose frequency is greater than or equal to 50%, are eight; with five, two and one species for each of the category respectively. However, we noticed 26 rare or accidental species with a frequency of less than 25% and five by incidental species with a frequency between 25 and 50 % (Table I). The most dominant families in number of species are Sylviidae (eight), Turdidae (four), and Picidae (three) (Table II). These three families alone represent more than 40% of the total species richness of the

Table I.- Bird species/families/orders recorded in Zeen Oak forest during the breeding period of 2013.

Sr. No.	Common/English name (Scientific name)	Code	Abundance	F (%)	IUCN Red List status 2015.1
Order: Accipitriformes					
Family: Accipitridae					
1.	Bonelli's eagle (<i>Hieraaetus fasciatus</i>)	HIFA	1	2.94	LC
2.	Eurasian griffon vulture (<i>Gyps fulvus</i>)	GYFU	6	2.94	LC
Order: Bucerotiformes					
Family: Upupidae					
3.	Hoopoe (<i>Upupa epops</i>)	UPEP	1	2.94	LC
Order: Columbiformes					
Family: Columbidae					
4.	Common wood pigeon (<i>Columba palumbus</i>)	COPA	14	20.59	LC
5.	European turtle dove (<i>Streptopelia turtur</i>)	STTU	5	11.76	LC
Order: Coraciiformes					
Family: Meropidae					
6.	European bee-eater (<i>Merops apiaster</i>)	MEAP	2.5	8.82	LC
Order: Cuculiformes					
Family: Cuculidae					
7.	Common Cuckoo (<i>Cuculus canorus</i>)	CUCA	3.5	11.76	LC
Order: Falconiformes					
Family: Flconidae					
8.	Common kestrel (<i>Falco tinnunculus</i>)	FATI	1.5	5.88	LC
Order: Galliformes					
Family: Phasianidae					
9.	Common Quail (<i>Coturnix coturnix</i>)	COCO	1	2.94	LC
Order: Passiformes					
Family: Alaudidae					
10.	Wood lark (<i>Lullula arborea</i>)	LUAR	4	11.76	LC
Family: Certhidae					
11	Short-toed Treecreeper (<i>Certhia brachydactyla</i>)	CEBR	32	58.82	LC
Family: Corvidae					
12	Common raven (<i>Corvus corax</i>)	COCO	3.5	5.88	LC
	Eurasian jay (<i>Garrulus glandarius</i>)	GAGL	21	58.82	LC
Family: Fringillidae					
13.	Common chaffinch (<i>Fringilla coelebs</i>)	FRCO	43.5	79.41	LC
Family: Hirundinidae					
14.	Barn swallow (<i>Hirundo rustica</i>)	HIRU	0.5	2.94	LC
Family: Muscipidae					
15.	Spotted flycatcher (<i>Muscicapa striata</i>)	MUST	2.5	2.94	LC
16.	Collared flycatcher (<i>Ficedula albicollis</i>)	FIAL	2	5.88	LC
17.	Pied flycatcher (<i>Ficedula hypoleuca</i>)	FIHY	8	20.59	LC

Continued

Sr. No.	Common/English name (Scientific name)	Code	Abundance	F (%)	IUCN Red List status 2015.1
Family: Oriolidae					
18.	Eurasian golden oriole (<i>Oriolus oriolus</i>)	OROR	12	5.88	LC
Family: Paridae					
19.	Great tit (<i>Parus major</i>)	PAMA	76	100	LC
20.	(Ultramarine) blue tit (<i>Parus caeruleus</i>)	PACA	29.5	61.76	LC
21.	Coal tit (<i>Parus ater</i>)	PAAT	15.5	35.29	LC
Family: Sylviidae					
22.	Melodious warbler (<i>Hippolais polyglotta</i>)	HIPO	0.5	2.94	LC
23.	Common whitethroat (<i>Sylvia communis</i>)	SYCO	1	5.88	LC
24.	Blackcap (<i>Sylvia atricapilla</i>)	SYAT	10	17.65	LC
25.	Sardinian warbler (<i>Sylvia melanocephala</i>)	SYME	5	14.71	LC
26.	Orphean warbler (<i>Sylvia hortensis</i>)	SYHO	1.5	2.94	LC
27.	Subalpine warbler (<i>Sylvia cantillans</i>)	SYCA	3	5.88	LC
28.	Western bonelli's warbler (<i>Phylloscopus bonelli</i>)	PHBO	20	38.24	LC
29.	Firecrest (<i>Regulus ignicapillus</i>)	REIG	16.5	32.35	LC
Family: Troglodytidae					
30.	Winter wren (<i>Troglodytes troglodytes</i>)	TRTR	11	29.41	LC
Family: Turdidae					
31.	European robin (<i>Erithacus rubecula</i>)	ERRU	41	70.59	LC
32.	Moussier's redstart (<i>Phoenicurus moussieri</i>)	PHMO	6	14.71	LC
33.	Common blackbird (<i>Turdus merula</i>)	TUME	50.5	82.35	LC
34.	Mistle thrush (<i>Turdus viscivorus</i>)	TUVI	18	32.35	LC
Order: Piciformes					
Family: Picidae					
35.	Levaillant's green woodpecker (<i>Picus vaillantii</i>)	PIVA	26	64.71	LC
36.	Great spotted woodpecker (<i>Dendrocopos major</i>)	DEMA	24	5.88	LC
37.	Lesser spotted woodpecker (<i>Dendrocopos minor</i>)	DEMI	4	8.82	LC
38.	Eurasian wryneck (<i>Jynx torquilla</i>)	JYTO	1.5	5.88	LC

community. Families that dominate the population in number of pairs are Paridae (121 pairs), Turdidae (115.5 pairs), Sylviidae (57.5 pairs), Picidae (55.5 pairs), and Fringillidae (43.5 pairs). They represent more than 70% of the total abundance of the entire population.

The classification of species into bird communities at the study site according to their feeding behaviour was: 64.10 % of bird species were insectivores followed by omnivores (12.82% of species) and birds of prey (10.26% of species). Granivores and frugivores were poorly represented (7.96% and 5.13% of species, respectively). The avian population of the zeen oak forest consisted of four guilds: 17 species (43.6%) of arboreal birds, six species (15.38%) of land birds, nine species (23.08%) found in the bushes, and seven (17.95%) were recorded while hovering in the sky.

Principal component analysis of habitat variables

A strong correlation between the total basal area and the density of tree stratum (Pearson correlation coefficient = 0.72, t-test: $t = 5.862$, $df = 32$, $p = 0.000$) was shown. Strong correlation was also shown between the height and the density of shrub layer (Pearson correlation coefficient = 0.63, t-test: $t = 4.564$, $df = 32$, $p = 0.000$) and between the diameter of the largest timber and the height of tree stratum (Pearson correlation coefficient = 0.61, t-test: $t = 4.397$, $df = 32$, $p = 0.000$).

The first three axes of the PCA (Fig. 2) represent almost 86% of the total variation in the habitat structure matrix (PCA1, 39.64 %; PCA2, 28.09%; PCA3, 18.21%).

The first factor is the variability of the volume of vegetation: total basal area, density, tree cover and the largest diameter of timber measured on the plot. The

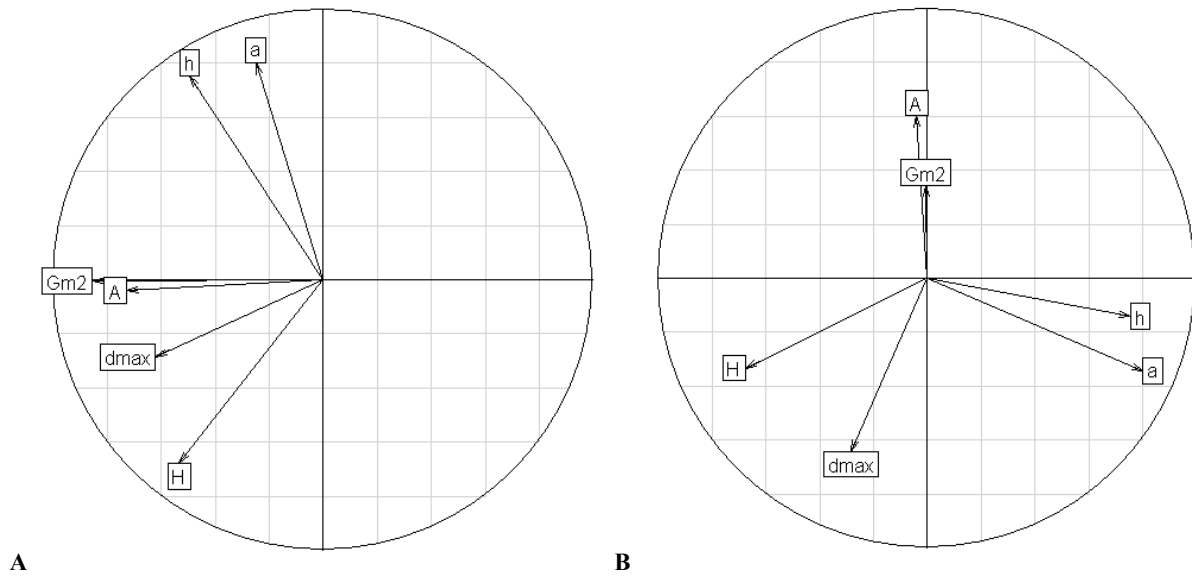


Fig. 2. Correlation circle from PCA of environmental descriptors. Factor plan F1 F2 (A) and factor plan F1 F3 (B).

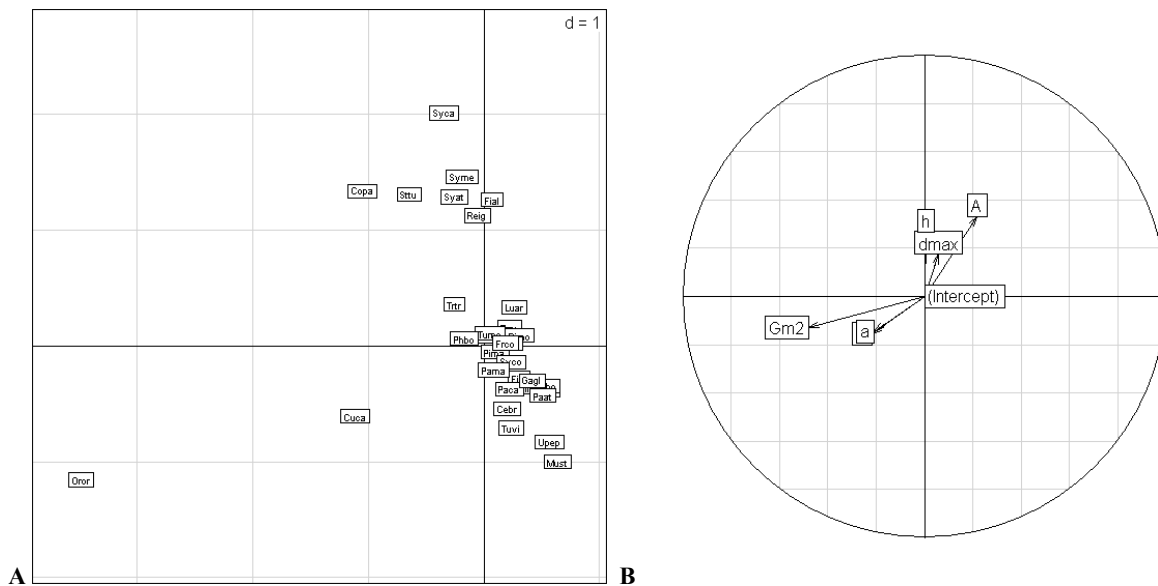


Fig. 3. Ordination biplot depicting the first two axes of the CCA ordination. Continuous explanatory variables are represented by correlation circle (B) and species positions (A) are indicated by their acronyms (See Table 1 for species codes).

second factor reflects the size of the trees stand height. The third axis represents the occupation of the shrub: height and density of shrub layer.

General patterns from CCA ordination

Associations of the environmental gradients described by CCA with bird community parameters are

shown in Figures 3 and 4. The first three CCA axes represent almost 79% of the variability in the data (CA1: 36.04 %, CA2: 27.18%, CA3: 15.75%).

The species ordination indicated that axis 1 (negative loading) was a gradient of total basal area with height of tree stratum. Western Bonelli's warbler (*Phbo*), common wood pigeon (*Cucu*), and Eurasian golden oriole

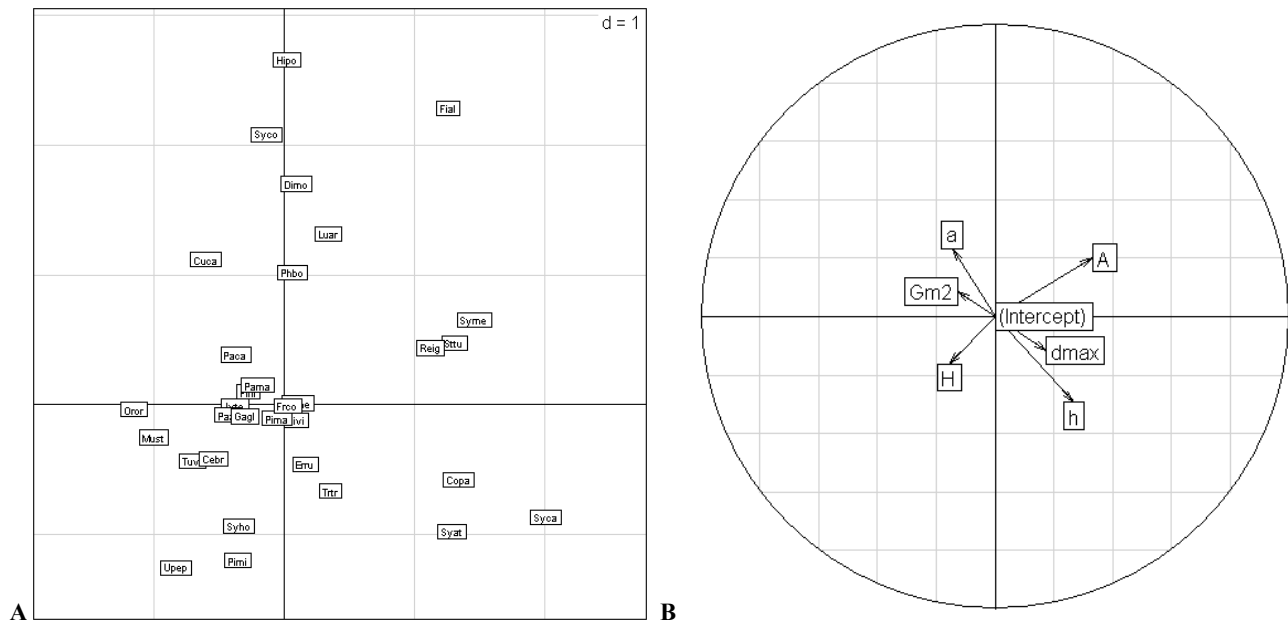


Fig. 4. Ordination biplot depicting the factor plan F1 x F3 of the CCA ordination. Continuous explanatory variables are represented by correlation circle (B) and species positions (A) are indicated by their acronyms (See Table I for species codes)

Table II.- The composition of avian families according to their species number and their abundance.

S. No.	Family	Species	P%	Abundance	P%
01	Accipitridae	2	5.13	7	1.33
02	Alaudidae	1	2.56	4	0.76
03	Certhidae	1	2.56	32	6.1
04	Columbidae	2	5.13	19	3.62
05	Corvidae	2	5.13	24.5	4.67
06	Cuculidae	1	2.56	3.5	0.67
07	Falconidae	1	2.56	1.5	0.29
08	Fringillidae	1	2.56	43.5	8.29
09	Phasianidae	1	2.56	1	0.19
10	Hirundinidae	1	2.56	0.5	0.1
11	Meropidae	1	2.56	2.5	0.48
12	Muscicapidae	3	7.69	12.5	2.38
13	Paridae	3	7.69	121	23.05
14	Picidae	4	10.26	55.5	10.57
15	Oriolidae	1	2.56	12	2.29
16	Sylviidae	8	20.51	57.5	10.95
17	Troglodytidae	1	2.56	11	2.1
18	Turdidae	4	10.26	115.5	22
19	Upupidae	1	2.56	1	0.19
Total		39	100	525	100

(Oror) were oriented close to these with a high proportion of Eurasian golden oriole (Oror) (i.e. a strong correlation between Eurasian golden oriole and the gradient of total basal area with height of tree stratum). In contrast, axis 2 (positive loading) was a gradient of

density of tree stratum and diameter of the largest timber with the height of shrub layer and included wood lark (Luar), Firecrest (Reig), Collared Flycatcher (Fial), blackcap (Syat), sardinian warbler (Syme), and subalpine warbler (Syca).

For axis 3, species oriented close to vectors for density of shrub layer (positive loading) are great tit (Pama) and (ultramarine) blue tit (Paca).

The results indicate that the first factor of differentiation of the zeen oak woodland of Boumezrane forest avifauna is the size of trees (total basal area and height of tree stratum) with the height of shrub layer; those variables most influencing bird species, followed by the volume of tree stratum (density of tree stratum and diameter of the largest timber) and finally, density and height of shrub layer.

DISCUSSION

Our study presents the data concerning the structure and dynamics of the forest birds zeen oak woodland of Boumezrane forest in Souk Ahras (Northeastern Algeria).

Species richness and composition

The patterns of species richness and the composition of avifauna within oak stands in zeen oak woodland of Boumezrane forest were approximately

similar to Europe, Morocco, and Algeria (Blondel and Farré, 1988; Benyakoub, 1993; Bellatreche, 1994; Cherkaoui *et al.*, 2007).

Blondel and Farré (1988) found 39 species in close habitats of holm oak in Corsica, while, Cherkaoui *et al.* (2007) identified 46 species in the cork oak stands of Ma'amora in Morocco. In Algeria, Benyakoub (1993) found 42 species in the zeen oak forests in El-Kala region, Bellatreche (1994) found 34 species in the zeen oak habitat of Babors in Kabylie, and Mostefai (2011) found 40 species of nesting birds in the cork oak forest of Hafir in Tlemcen.

Based on the number of bird species breeding in the zeen oak forest of Boumezzrane, it is mostly the same as that of breeding birds elsewhere in the Western Palaearctic (Blondel and Mourer-Chauviré, 1998) and confirms the inclusion of the Algerian forest in the same European biogeographic realm.

Levaillant's green woodpecker *Picus vaillantii* with great values abundance (26 pairs), great spotted woodpeckers *Dendrocopos major*, and lesser spotted woodpecker *Dendrocopos minor* those characterize the Algerian oak (Mostefai, 2011). Other birds like pied flycatcher *Ficedula hypoleuca* is restricted to mount cedar of Central and Eastern North of Algeria (Mostefai, 2011). However, it was recorded from the zeen oak forest. Collared flycatcher *Ficedula albicollis* whose migration routes pass through eastern Algeria, hence rarely observed during autumn migration, and yet it is more regular in spring particularly in the east, although in low numbers (only two pairs were recorded in the study area) (Isenmann and Moali, 2000).

European bee-eater *Merops apiaster* and barn swallow *Hirundo rustica* were found in the forest because the forest of Boumezzrane contains forest edges and habitats influenced by human beings (presence of habitation in the forest).

The results also support the conclusions of Campron and Brotons (2006). We have suggested that the presence of species of grassland and open areas beside purely forest species is due to the clear and the mosaic structure of zeen oak stands (presence of clearings and fields), the clearing of the open oak forests to create agro-forestry habitat that also supports grassland species, as the grasslands are located adjacent to the forest.

Habitat relationships with species richness

Several studies have shown that natural factors, such as plant diversity and habitat structure affect the composition and richness of bird communities (Cody, 1981; Diaz, 2006; Reid *et al.*, 2004; Robinson and Holms, 1984). The vast majority of these studies cover areas of American or European boreal forests and U.S.

forests in general (Hobson and Bayne, 2000; Thompson *et al.*, 1999; Denis, 2009; Delahaye, 2006).

In African deciduous forests only a few studies have been conducted *e.g.* Ghana (Wiafe *et al.*, 2010) and Algeria (Benyakoub, 1993; Bellatreche, 1994).

Our results are consistent with the notion that bird communities respond in complex ways to a variety of structural and floristic elements within woodland habitats (Donald *et al.*, 1998). The relationships determined for species richness were broadly consistent with many previous studies and were to some extent expected (Hewson *et al.*, 2011).

The results are, however, not surprising because our study was conducted in a limited range of composition, *i.e.* zeen oak stands and structure variables include variables dimensions of wood that are the basis of greater variability of forest stands.

According to our results of the canonical correspondence analysis (Figs. 3, 4), the predictor variables which are best correlated with the variance of bird communities are the size of trees with the height of shrub layer and the volume of tree stratum. In the open area, the gradient of the density of shrub layer appeared to be more related to bird assemblages structuring.

Whereas, the relationship between the tree height (tree size) and the breeding occurrence of the birds may be related to the selection of safe nesting places, nests situated in the lower parts of trees may suffer from higher levels of predation or disturbance than nests situated in the higher parts of trees (Jokimäki, 2000).

The results highlight the importance of shrub layer development in explaining bird community parameters. Shrubs promote structural heterogeneity, increasing the diversity of different breeding sites and refuges, and increase food diversity and availability during the breeding season through the associated arthropod fauna (Golet *et al.*, 2001; Bonham *et al.*, 2002; Johnson and Freedman, 2002; Sánchez and Parmenter, 2002).

Most of the studies that have focused on the effect of shrub layer on birds focused on structural characteristics such as cover (Golet *et al.*, 2001; Kirk and Hobson, 2001; Ross *et al.*, 2001; Herrando and Brotons, 2002; Liebezeit and George, 2002; Bombay *et al.*, 2003; Díaz, 2006), height (Kirk and Hobson, 2001; Fernandez-Juricic *et al.*, 2002; Díaz, 2006), or frequently disregarding floristic composition (Holmes and Robinson, 1981; Robinson and Holmes, 1984; Gillespie and Walter, 2001).

In this study, structural characteristics of shrub layer, such as cover or height, were also important determinants of abundance and richness.

In addition, the mean tree diameter is positively correlated with tree volume and in turn it affects the

productivity of vegetation that can have a very significant effect on bird communities (Jokimäki and Huhta, 1996). Large trees also have a large surface of bark and greater structural complexity (Nilsson, 1979; Schieck *et al.*, 1995). Arboreal birds of prey are more abundant in older stands where invertebrates or dead wood and rotting branches are more abundant than in young stands (Laiolo, 2002).

CONCLUSIONS

Overall, we can conclude that the results obtained in this study significantly contribute to greater knowledge of breeding birds in the zeen oak woodland of Boumezrane forest, helping to further understand how the structure of these bird assemblages can vary significantly at the local and/or regional level within structural configuration of the habitat and to assess the effects of habitat change on the integrity of these communities. This information will help also in planning future conservation activities and maintain the biodiversity in these forest ecosystem.

ACKNOWLEDGEMENTS

We are extremely grateful to forest Conservation District of Ain Zana, and particularly to Mr. Rafik Benchamsa, for allowing us access to work in the Forest of Boumezrane and for providing stock maps and other information. We thank Dr. Aurélien Besnard and Dr. Choukri Barour provided technical advice for the data analysis. We also thank all people for their contribution in field work.

Statement of conflict of interest

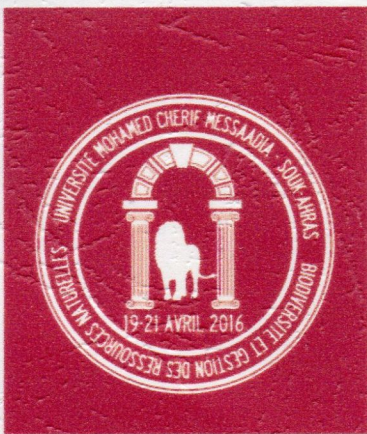
Authors have declared no conflict of interest.

REFERENCES

- Anonymous, 2013. *Report on State of forest of Boumezrane*. Forest Conservation District, Souk-Ahras, Algeria.
- Bellatreche, M., 1994. *Ecologie et biogéographie de l'avifaune nicheuse de la Kabylie des Babors (Algérie)*. Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, Bourgogne, France.
- Benyacoub, S., 1993. *Écologie de l'avifaune forestière nicheuse de la région d'El-Kala (Nord- Est algérien)*. Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, Bourgogne, France.
- Bibby, C.J., Phillips, B.N. and Seddon, A.J.E., 1985. Birds of restocked conifer plantations in Wales. *J. appl. Ecol.*, **22**: 619–633.
- Bibby, C.J., Burgess, N.D., Hill, D.A. and Mustoe, S.H., 2000. *Bird census techniques*. 2nd ed. Academic Press, London.
- Blondel, J., Ferry, C. and Frochot, B., 1970. La méthode des Indices Ponctuels d'Abondance (IPA) ou des relevés d'avifaune par "stations d'écoute". *Alauda*, **38**: 65–71.
- Blondel, J. and Farré, H., 1988. The convergent trajectories of bird communities along ecological successions in European forest. *Oecologia*, **75**: 83–93.
- Blondel, J. and Mouer-Chauviré, C., 1998. Evolution and history of the western Palearctic avifauna., *Trends Ecol. Evol.*, **13**: 488–492.
- Bombay, H., Morrison, M. and Hall, L., 2003. Scale perspectives in habitat selection and animal performance for willow flycatchers (*Empidonax traillii*) in the central Sierra Nevada, California. *Stud. Avian Biol.*, **26**: 60–72.
- Bond, R.R., 1957. Ecological distribution of breeding birds in the upland forests of southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.*, **27**: 351–384.
- Bonham, K., Mesibov, R. and Bashford, R., 2002. Diversity and abundance of some ground-dwelling invertebrates in plantation vs. native forests in Tasmania, Australia. *Forest. Ecol. Manage.*, **158**: 237–24.
- Camprodon, J. and Brotons, L., 2006. Effects of undergrowth clearing on the bird communities of the Northwestern Mediterranean Coppice Holm Oak forests. *Forest. Ecol. Manage.*, **221**: 72–82.
- Cherkaoui, S.I., Dakki, M., Selmi, S., Rguibi, I.H. and Thevenot, M., 2007. Les oiseaux de la subéraie de la Ma'amora (Maroc): Phénologie du peuplement, statut des espèces nicheuses et évolution depuis le début du vingtième siècle. *Alauda*, **75**: 15–32.
- Chessel, D., Dufour, A.B. and Thioulouse, J., 2004. The ade4 package-I: One-table methods. *R. News*, **4**: 5–10.
- Cody, M.L., 1981. Habitat selection in birds: The role of vegetation structure, competitors, and productivity. *BioScience*, **31**: 107–113.
- Djema, A. and Messaoudene, M., 2009. The Algerian Forest: Current Situation and Prospects. In: *Modelling, valuing and managing Mediterranean forest ecosystems for non-timber goods and services* (eds. M. Palahí, F. Birot, and E. Gorriz), European Forest Institute. Finland, pp. 17-27.
- Delahaye, L., 2006. *Habitat selection in forest birds and predictive models of species potential distribution in Ardenne's oak and beech forest: effects of tree composition and forest stand structure*. Ph.D. thesis, Agricultural University of Gembloux, Belgium.
- Denis, P., 2009. *L'avifaune nicheuse des forêts Rhénanes Alsaciennes: Relation avec le milieu et mise en perspective géographique et historique*. Mémoire, Ecole pratique des hautes études, France.
- Díaz, L., 2006. Influences of forest type and forest structure on bird communities in oak and pine woodlands in Spain. *Forest. Ecol. Manage.*, **223**: 54–65.
- Donald, P.F., Fuller, R.J., Evans, A.D. and Gough, S.J., 1998. Effects of forest management and grazing on breeding bird communities in plantations of broadleaved and coniferous trees in western England. *Biol. Conserv.*, **85**: 183–197.

- Drapeau, P., Leduc, A. and McNeil, R., 1999. Refining the use of point counts at the scale of individual points in studies of bird-habitat relationships. *J. Avian Biol.*, **30**: 367–382.
- Dray, S., Dufour, A.B. and Chessel, D., 2007. The ade4 package-II: Two-table and K-table methods. *R. News*, **7**: 47–52.
- Fernandez-Juricic, E., Jimenez, M.D. and Lucas, E., 2002. Factors affecting intra and inter-specific variations in the difference between alert distances and flight distances for birds in forested habitats. *Can. J. Zool.*, **80**: 1212–1220.
- Ferry, C. and Frochet, B., 1958. Une méthode pour dénombrer les oiseaux nicheurs. *Rev. Ecol. (Terre Vie)*, **1958**: 85–102.
- Frochet, B. and Roche, J., 1990. Suivi de populations d'oiseaux nicheurs par la méthode des Indices Ponctuels d'Abondance (IPA). *Alauda*, **58**: 29–35.
- Gibbons, D.W. and Gregory, R.D., 2006. Birds. In: *Ecological census techniques* (ed. W.J. Sutherland). 2nd ed. Cambridge, University Press, Cambridge.
- Giles, M.F., 2004. Spatial non-stationarity and scaledependency in the relationship between species richness and environmental determinants for the sub-Saharan endemic avifauna. *Glob. Ecol. Biogeogr.*, **3**: 315–320.
- Gillespie, T. and Walter, H., 2001. Distribution of bird species richness at a regional scale in tropical dry forest of Central America. *J. Biogeogr.*, **28**: 651–662.
- Golet, F., Wang, Y., Mellow, J. and Deragon, W., 2001. Relationship between habitat and landscape features and the avian community of red maple swamps in southern Rhode Island. *Wilson Bull.*, **113**: 217–227.
- Gould, W., 2000. Remote sensing of vegetation, plant species richness, and regional biodiversity hotspots. *Ecol. Appl.*, **10**: 1861–1870.
- Herrando, S. and Brotons, L., 2002. Forest bird diversity in mediterranean areas affected by wildfires: a multiscale approach. *Ecography*, **25**: 161–172.
- Hewson, C.M., Austin, G.E., Gough, S.J. and Fuller, R.J., 2011. Species-specific responses of woodland birds to stand-level habitat characteristics: The dual importance of forest structure and floristics. *Forest. Ecol. Manage.*, **261**: 1224–1240.
- Hildén, O., 1965. Habitat selection in birds: a review. *Ann. Zool. Fenn.*, **2**: 54–75.
- Hobson, K. and Bayne, E., 2000a. Breeding bird communities in boreal forest or western Canada: consequences of unmixing the mixedwoods. *Condor*, **102**: 759–769.
- Holmes, R.T. and Robinson, S.K., 1981. Tree species preferences of foraging insectivorous birds in a northern hardwood forest. *Oecologia*, **48**: 31–35.
- International Bird Census Committee, 1977. Censusing breeding birds by the IPA method. *Pol. Ecol. Stud.*, **3**: 15–17.
- Ismann, P. and Moali, A., 2000. *Les oiseaux d'Algérie*. SEOF, France.
- James, F.C., 1971. Ordinations of habitat relationships among breeding birds. *Wilson Bull.*, **83**: 215–236.
- James, F.C. and Warner, N.O., 1982. Relationships between temperate forest bird communities and vegetation structure. *Ecology*, **6**: 159–171.
- Jokimäki, J. and Huhta, E., 1996. Effects of landscape matrix and habitat structure on a bird community in northern Finland: A multi-scale approach. *Ornis Fenn.*, **73**: 97–113.
- Jokimäki, J., 2000. Occurrence of breeding bird species in urban parks: Effects of park structure and broad-scale variables. *Urban Ecosyst.*, **3**: 21–34.
- Jongman, R.H.G., Ter Braak, C.J.F. and Van Tongeren, O.F.R., 1987. *Data analysis in community and landscape ecology*. Pudoc, Wageningen, The Netherlands.
- Joshi, P. and SHRIVASTAVA, V., 2013. Vegetation pattern in relation to avian fauna at Tawa Reservoir area of Hoshangabad district (Madhya Pradesh) India. *Int. J. Environ. Biol.*, **3**: 71–73.
- Kirk, D. and Hobson, K., 2001. Bird-habitat relationships in jack pine boreal forest. *Forest. Ecol. Manage.*, **147**: 217–243.
- Laiolo, P., 2002. Effects of habitat structure, floral composition and diversity on a forest bird community in north-western Italy. *Folia Zool.* **51**: 121–128.
- Legendre, P. and Legendre, L., 1998. *Numerical ecology*. 2nd ed. Elsevier Science, Amsterdam.
- Liebezeit, J. and George, L., 2002. Nest predators, nest-site selection, and nesting success of the dusky flycatcher in a managed ponderosa pine forest. *Condor*, **104**: 507–517.
- Lynch, J.F., 1995. *Effect of point count duration, time of day, and aural stimuli on detectability of migratory and resident bird species in Quintana Roo, Mexico*. USDA Forest Service General Technical Report PSW-GTR-149, 1–6. Eugene, Oregon.
- MacArthur, R.H. and MacArthur, J., 1961. On bird species diversity. *Ecology*, **42**: 594–598.
- Mostefaï, N., 2011. L'avifaune nicheuse de la subéraie de Hafir (Tlemcen-Algérie). *Alauda*, **79**: 207–213.
- Muller, Y., 1985. *L'avifaune forestière nicheuse des Vosges du Nord, sa place dans le contexte médio-européen*. Thèse Doctorat, Université de Dijon, Dijon, France.
- Newton, I., 1995. The contribution of some recent research on birds to ecological understanding. *J. Anim. Ecol.*, **64**: 675–696.
- Nilsson, S.G., 1979. Density and species richness of some bird communities in South Sweden. *Oikos*, **33**: 392–401.
- R Core Team, 2013. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Reid, S., Diaz, I.A., Armesto, J.J. and Willson, M.F., 2004. Importance of native bamboo for understory birds in Chilean temperate forests. *Auk*, **121**: 515–525.
- Robinson, S. and Holmes, R.T., 1984. Effects of plant and

- foliage structure on the foraging behaviour of forest birds. *Auk*, **101**: 672–684.
- Ross, B., Morrison, M., Hoffman, W., Fredericksen, T., Sawicki, R., Ross, E., Lester, M., Beyea, J. and Johnson, B., 2001. Bird relationships to habitat characteristics created by timber harvesting in Pennsylvania. *J. Pa. Acad. Sci.*, **74**: 71–84.
- Sánchez, S., Cuervo, J.J. and Moreno, E., 2012. Vegetation structure in beech-fir forest: effects on the avian community. *Rev. Ecol. (Terre Vie)*, **67**: 213–222.
- Schieck, J., Nietfeld, M. and Stelfox, J.B., 1995. Differences in bird species richness and abundance among three successional stages of aspen-dominated boreal forests. *Can. J. Zool.*, **73**: 1417–1432.
- Smith, K.G., 1977. Distribution of summer birds along a forest moisture gradient in an Ozark watershed. *Ecology*, **58**: 810–819.
- Ter Braak, C.J.F., 1995. Ordination: Data analysis in community and landscape ecology. In: *Ordination: Data analysis in community and landscape ecology* (eds. R.H.G. Jongman, C.J.F. Ter Braak and O.F.R. van Tongeren). Cambridge University Press, Cambridge.
- Titeux, N., 2006. *Modeling species distribution when habitat occupancy departs from suitability*. Ph.D. thesis, Catholic University of Leuven, Belgium.
- Thompson, I.D., Hogan, H.A. and Montevecchi, W.A., 1999. Avian communities of mature balsam fir forests in Newfoundland: age-dependence and implications for timber harvesting. *Condor*, **101**: 311–323.
- Yu, T. and Guo, Y., 2013. Effects of urbanization on bird species richness and community composition. *Pakistan J. Zool.*, **45**: 59–69.
- Watson, J.E.M., Whittaker, R.J. and Dawson, T.P., 2004. Habitat structure and proximity to forest edge affect the abundance and distribution of forest-dependent birds in tropical coastal forests of southern Madagascar. *Biol. Conserv.*, **120**: 311–327.
- Wiñe, E.D., Dakwa, K.B. and Yeboah, S., 2010. Assemblages of avian communities in forest elephant (*Loxodonta cyclotis*) range in Ghana. *Pachyderm*, **48**: 41–47.



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITÉ MOHAMED CHERIF MESSAADIA - SOUK-AHRAS
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

1^{ER} SÉMINAIRE INTERNATIONAL SUR LA
**BIODIVERSITÉ ET GESTION
DES RESSOURCES NATURELLES**
Passé - Présent - Futur DU 19 AU 21 AVRIL 2016



ATTESTATION DE PARTICIPATION

Mr MENAA Mohcen

A présenté une communication

ORALE

Intitulée

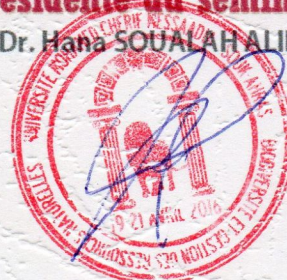
**Forest-bird Species Assemblages in the Oak
Woodland of Boumezrane : The Effects of
Habitat Types and Structure**

Université Larbi ben m'hidi, Oum El Bouaghi

Cette attestation est délivrée pour valoir ce que de droit

Présidente du séminaire

Dr. Hana SOUALAH ALILA



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 08 Mai 1945, Guelma-Algérie.
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers
Laboratoire: Biologie, Eau et Environnement (LBEE)
Laboratoire des Ressources Naturelles et Aménagements des Milieux sensibles (RNAMS)
Association Nationale Algérienne d'Ornithologie (ANA O)



Attestation de Participation

Je Soussigné, président du comité d'organisation du troisième Colloque International sur l'Ornithologie Algérienne à l'aube du 3^{ème} millénaire, organisé par le laboratoire de recherche : Biologie, Eau et Environnement et la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers de l'université de Guelma, 19-20 Avril 2015 atteste que:

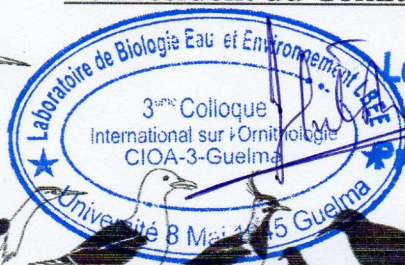
M^{me} /M^{lle} /M. : Menaâ Mohcen

a présenté (e) une communication : Orale

Co-auteurs : Mohamed Cherif MAAZI; Menouar SAHEB; Salah TELLAILIA; Lamia BOUTABIA et Moussa HOUHAMDI

Intitulée : Réponse des oiseaux nicheurs aux facteurs de l'habitat à travers un gradient de structure de la subéraie de Boumezrane dans le nord-est de l'Algérie

Le Président du Comité d'Organisation



Le président du comité
d'organisation
Moussa HOUHAMDI





Association des Rencontres Ecology & Behaviour
Laboratoire EDB - Bât 4R1
Université Toulouse III Paul Sabatier
118 route de Narbonne
31062 TOULOUSE cedex 9
eb2015@sciencesconf.org
<http://eb2015.sciencesconf.org>

Toulouse, May 28th 2015

To whom it may concern:

Certificate of attendance

By the present document, we officially confirm that Mohcen Menaâ attended the 11th Ecology & Behaviour meeting that held in Toulouse, France from May 17 to May 21, 2015. He presented a scientific communication of his researches with a poster entitled "Richness and habitat relationships of forest birds in the zeen oak woodland, Northeastern Algeria (Forest of Boumezrane, Souk-Ahras)". It was a pleasure to welcome him at this conference. We are sure that his presentation was of great interest for the audience.

With kind regards,

On behalf of the E&B 2015 organizing committee,

Paul Acker

President of the Ecology & Behaviour Meeting Association

paul.acker@univ-tlse3.fr

Tel.: (+33) (0)5 61 55 67 56