



Projet cofinancé par le Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural
L'Europe investit dans les zones rurales

Étude de la répartition de l'Aigle botté (*Hieraetus pennatus*) sur les Zones de Protection Spéciale du Parc naturel régional des Corbières-Fenouillèdes, modélisation des habitats favorables à sa nidification et propositions de mesures de gestion pour la préservation de l'espèce



MARS - AOÛT 2023



INTRODUCTION.....	1
MATÉRIELS ET MÉTHODES.....	2
II.1. CRITÈRES D'IDENTIFICATION ET CARACTÉRISTIQUES DE L'ESPÈCE.....	2
II.2. SECTEUR D'ÉTUDE.....	2
II.3 CHOIX DES SITES À PROSPECTER.....	3
II.4 STRATÉGIE DE PROSPECTION.....	3
II.5 PROTOCOLE DE SUIVI.....	4
• Conditions météorologiques et horaires des prospections.....	5
• Récolte des données.....	5
II.6 MODÉLISATION DES SECTEURS FAVORABLES À LA NIDIFICATION DE L'AIGLE BOTTÉ.....	6
• Données d'occurrence et variables environnementales.....	6
• Formatage des données et paramétrages.....	7
RÉSULTATS.....	7
III.1 DONNÉES BRUTES DE L'INVENTAIRE DES POPULATIONS D'AIGLE BOTTÉ 2023.....	7
III.2 SITES DE NIDIFICATION IDENTIFIÉS ET LEURS CARACTÉRISTIQUES.....	9
• Données issues des DOCOB.....	9
• Données issues du suivi 2023.....	9
III.3 MODÉLISATION DES SECTEURS FAVORABLES À LA NIDIFICATION DE L'AIGLE BOTTÉ DANS LES CORBIÈRES-FENOUILLEDES.....	10
DISCUSSION.....	12
IV.1 RÉPARTITION DE L'AIGLE BOTTÉ À L'ÉCHELLE DES ZPS DU PNRCF.....	12
IV.2 FACTEURS INFLUENÇANT LA RÉPARTITION DE L'AIGLE BOTTÉ.....	12
• Habitats favorisés pour la reproduction et leur caractéristiques.....	13
• Stratégie de reproduction.....	14
• Modélisation des secteurs favorables à la nidification de l'Aigle botté.....	14
IV.3 PERSPECTIVES ET LIMITES DE L'ÉTUDE.....	15
• Amélioration du protocole.....	15
• Propositions de mesures de gestion.....	16
CONCLUSION.....	17
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	17
ANNEXES.....	19

INTRODUCTION

L'Aigle botté (*Hieraetus pennatus*) est une espèce forestière pour la reproduction. Les habitats fréquentés pour la nidification peuvent être variés et dépendent de la localisation géographique. L'aire est construite dans un arbre au sein de peuplements forestiers, plus ou moins importants, tels que les hêtraies, chênaies ou encore de conifères, comme c'est le cas en forêt d'Orléans où l'espèce niche principalement sur des Pins sylvestres (*Pinus sylvestris*) (Thurel et al., 2012). En Catalogne, qui accueille une importante population, ce sont les Pins noirs (*Pinus nigra*) qui sont sélectionnés pour la nidification (Bosch et al., 2005). Dans les Corbières-Fenouillèdes, l'Aigle botté semble avoir une préférence pour les forêts de feuillus (LPO Aude, 2010).

Plusieurs auteurs ont montré que les aigles bottés sélectionnent préférentiellement les forêts ouvertes et les habitats semi-forestiers (Suárez et al., 2000; Sánchez-Zapata & Calvo, 2001; Barrientos & Arroyo, 2014). En effet, cette espèce apprécie particulièrement les habitats hétérogènes, dits "en mosaïque", où les zones forestières (feuillus, pinèdes) alternent avec des milieux plus ouverts (prairies, landes, clairières, pelouses etc.). Ces types d'habitats sont retrouvés, en proportions variables, au sein des Zones de Protection Spéciale (ZPS) des Corbières-Fenouillèdes. Certains couples font cependant exception, comme cela a été montré dans le centre de la Catalogne, en construisant leur aire dans des arbres présents dans des forêts étendues, fermées et ombragées de Pins noirs (Bosch et al., 2005). Les milieux ouverts sont mis à profit pour la chasse ; le régime alimentaire de l'Aigle botté est très éclectique, même si les oiseaux sont davantage consommés que les autres types de proies tels que des petits mammifères, reptiles ou encore des insectes (Thurel et al., 2012).

D'autre part, la déclivité du site semble être un autre point important pour le choix du site de nidification. En effet, la sélection des sites en fonction de leur position sur les pentes a été observée chez plusieurs espèces de rapaces (Martínez et al., 2006). Dans les Corbières-Fenouillèdes, cela concerne des boisements peu accessibles, souvent à mi-pente et à l'abri des vents dominants. De plus, les chênaies vertes et les jeunes peuplements de résineux peuvent être mis à profit comme terrains de chasse mais ne semblent pas accueillir d'aire de nidification dans les Corbières-Fenouillèdes (LPO Aude, 2010).

L'objectif principal de cette étude a consisté en la réalisation d'un inventaire des populations d'Aigle botté dans les ZPS animées par le PNRCF afin de réactualiser les données depuis la création des Documents d'Objectifs (DOCOB).

Dans un premier temps le bilan du suivi 2023 de la répartition de l'Aigle botté dans les ZPS des Corbières-Fenouillèdes sur des territoires jugés favorables à la nidification de l'espèce sera décrit. Puis les sites de nidification identifiés dans les ZPS, grâce aux données récoltées lors des prospections de terrain 2023 et complétées par des données bibliographiques, seront présentés et leurs caractéristiques seront énoncés. Ensuite, afin de mieux connaître la répartition des sites de nidification potentiels de l'Aigle botté, une carte des habitats favorables pour la nidification de l'espèce à l'échelle des Corbières-Fenouillèdes sera générée sur la base de données paysagères et de reliefs, en utilisant une approche de modélisation de distribution des espèces. Enfin, les différents facteurs pouvant influencer la répartition des sites de nidification de l'Aigle botté seront énoncés, et les objectifs futurs sur la gestion et le suivi de l'espèce seront présentés.

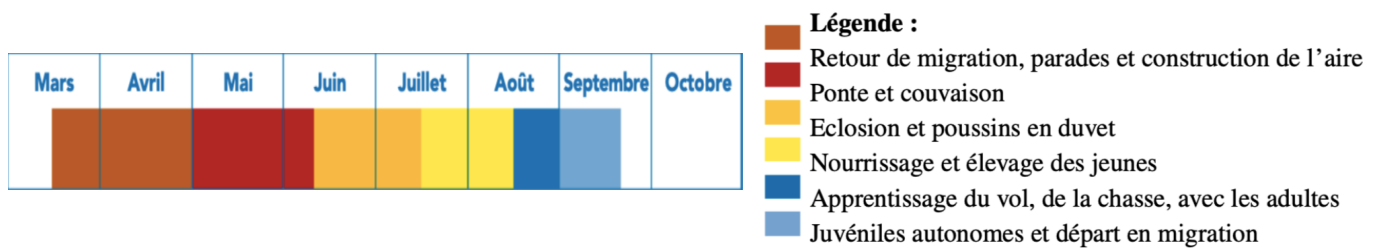
MATÉRIELS ET MÉTHODES

II.1. CRITÈRES D'IDENTIFICATION ET CARACTÉRISTIQUES DE L'ESPÈCE

L'Aigle botté présente un gabarit similaire à la Buse variable (*Buteo buteo*), avec une longueur allant de 50 à 57 cm et une envergure de 110 à 132 cm. Deux types de coloration majoritaires existent pour l'Aigle botté : la forme claire, la plus courante et facile à reconnaître avec 70% des individus, et la forme sombre, plus délicate à identifier, représentant environ 30% des individus observés sur le territoire métropolitain (Thurel et al., 2012; Nadal & Tariel, 2015). De rares individus peuvent présenter une coloration intermédiaire "rousse".

L'Aigle botté est une espèce migratrice transsaharienne et hiverne de l'Afrique occidentale jusqu'en Afrique du Sud (Martínez et al., 2006). Après avoir passé leurs quartiers d'hiver en solitaire, les aigles bottés, qui forment souvent un couple uni à vie, se retrouvent sur leur site de reproduction à partir de fin mars à début avril sous nos latitudes (Figure 2). Le départ en migration se fait courant du mois de septembre. Les juvéniles partent généralement 2 semaines plus tôt que les adultes.

Figure 2 : Calendrier de reproduction de l'Aigle botté, depuis son arrivée en France jusqu'à son départ en migration (©Thurel J., Grenet A.)



II.2. SECTEUR D'ÉTUDE

Le suivi a été réalisé majoritairement au sein du périmètre des ZPS Basses Corbières, Corbières Occidentales, Corbières Orientales et Hautes Corbières (Figure 3). Celles-ci présentent des caractéristiques paysagères bien définies avec cependant une influence marquée du climat méditerranéen. En effet, les landes et les vastes ensembles de garrigues constituent les habitats prédominants pour les 4 ZPS. En parallèle, la ZPS des Hautes Corbières, et notamment sa partie ouest, est exposée aux perturbations atlantiques et bénéficie donc d'une humidité plus importante. Ces conditions contribuent à la présence de formations végétales plutôt retrouvées en climat semi-continental, comme par exemple les forêts caducifoliées, avec comme principales essences le Chêne pubescent (*Quercus pubescens*) et le Hêtre commun (*Fagus sylvatica*) retrouvé plus en altitude (Leonard et al., 2011). Les autres ZPS des Corbières-Fenouillèdes présentent quant à elles une couverture forestière majoritairement composée de forêts sempervirentes non résineuses (Tableau 1) avec le Chêne vert (*Quercus ilex*) comme essence prédominante, typique des habitats méditerranéens et des garrigues. Les peuplements de résineux sont peu présents et sont essentiellement représentés par des boisements artificiels, comme pour les Corbières occidentales où des plantations ont été réalisées à la fin du XIXe siècle et début XXe majoritairement composées de Pin noir (*Pinus nigra*).

Concernant la répartition de l'Aigle botté sur le secteur d'étude, le nombre (Nb) de couples nicheurs minimum et maximum recensés lors de l'élaboration des DOCOB est variable selon la ZPS considérée (Tableau 1).

Tableau 1 : Caractéristiques générales, état des lieux des populations d'Aigle botté et description des formations végétales forestières des ZPS des Corbières-Fenouillèdes* hors zones de plantations d'arbres type vergers, vignes etc. (Données issues des DOCOB et du Formulaire Standard de Données des ZPS)

ZPS	Date dernier DOCOB	Nb couples nicheur (min)	Nb couple nicheur (max)	Superficie (ha)	% de couverture forestière du site*				
					Forêt caducifoliée	Forêt mixte	Forêt sempervirente non résineuse	Forêt de résineux	Forêt artificielle en monoculture
Basses Corbières	2020	3	6	29 495	6	3	20	0	0
Corbières occidentales	2011	1	2	22 965	6	5	8	0	7
Corbières orientales	2010	2	5	25 429	2	2	12	5	2
Hautes Corbières	2011	4	8	28 398	14	0	3	6	0

II.3 CHOIX DES SITES À PROSPECTER

L'objectif a été de réaliser des prospections sur les différentes ZPS de la manière la plus pertinente possible afin d'augmenter les chances de détection des couples nicheurs. Pour ce faire, différentes données ont été recueillies afin de définir des sites présentant des indices de présence d'Aigle botté, ou au mieux de reproduction.

Les sites d'intérêt à prospecter ont été défini grâce :

- **aux données des DOCOB** présentant des zonages approximatifs de sites de nidification, actifs en 2010 (pour Hautes Corbières et Corbières Occidentales)
- à une étude menée en 2019 par le PNRFC, appuyé par Ligue pour la Protection des Oiseaux Occitanie - délégation territoriale de l'Aude (LPO Aude), sur les **Rapaces forestiers d'intérêt communautaire de l'Alaric** (Corbières Occidentales)
- à une extraction des données Aigle botté disponibles sur la base de données **Faune-France** (www.faune-lr.org) et à celles issues du **Système d'information de l'inventaire du patrimoine naturel**. Le choix de ces sites s'est alors établi en fonction des codes Atlas (Annexe 1) et/ou des commentaires attribués à chaque observation et de sa localisation (présence de forêts et de zones ouvertes).

Tous les sites à prospecter sélectionnés se trouvent donc dans des zones jugées favorables à la nidification de cette espèce sur le territoire. Enfin, certains sites d'intérêt ont été suggérés par Christian Riols, actuel président de la LPO Aude et spécialiste de l'espèce

II.4 STRATÉGIE DE PROSPECTION

Pour les sites d'intérêt identifiés, la méthode de suivi est basée sur des **points d'observation fixes** (Bourgeois, 2007). Cette technique demeure largement employée pour les rapaces. La localisation des points d'observation pour les différents sites (Figure 3) est définie par l'observateur après un travail de cartographie réalisé en amont, en combinant des données géographiques disponibles en ligne (www.geoportail.gouv.fr) et de l'IGN (Institut national de l'information géographique et forestière). Le

point d'observation doit, de préférence, se trouver en hauteur pour permettre un point de vue dégagé sur le site d'intérêt afin de favoriser les chances de détection des rapaces.

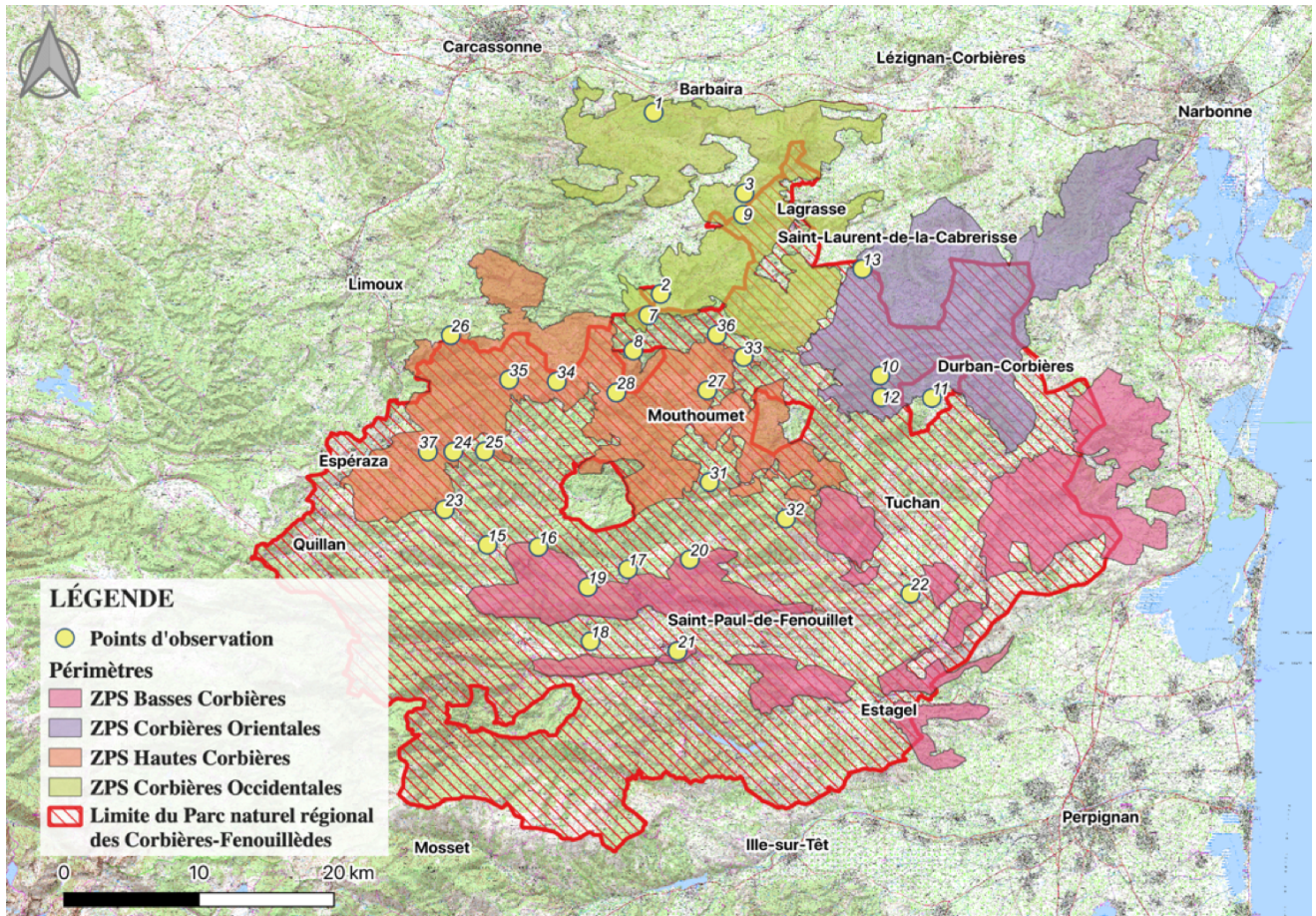


Figure 3 : Carte représentant les points d'observation du suivi 2023 à l'échelle des quatre ZPS

Au total, **31 points d'observations** ont été définis afin de prospecter les sites d'intérêt identifiés. Le nombre de points d'observations pour chaque ZPS a été défini, entre autres, en adéquation avec les données des DOCOB. La ZPS Hautes Corbières, site connu pour accueillir une grande partie des couples (Tableau 1), est donc la zone avec le plus grand nombre de points d'observation. Pour la réalisation des prospections, le PNRCF a été accompagné par la **LPO Aude** et par le **Groupe Ornithologique du Roussillon (GOR)**.

II.5 PROTOCOLE DE SUIVI

Le protocole de suivi de l'Aigle botté se base sur le calendrier de reproduction de l'espèce (Figure 2) et se décompose en trois phases (Annexe 2). Pour chaque passage, la durée d'observation est de 3 heures.

- Un **premier passage** réalisé sur chaque site, **d'avril à début mai**, permet de localiser les territoires en relevant des indices sur le cantonnement des couples. C'est au début de la période de reproduction qu'il est possible de détecter des comportements territoriaux et nuptiaux. En effet, pendant la phase nuptiale, cette espèce d'habitude discrète peut s'avérer très bruyante et des parades spectaculaires peuvent être observées. (Martin et al., 1977; Steyn & Grobler, 1981). La présence de couples cantonnés se manifeste également par des offrandes de nourriture et accouplements ainsi que

par des comportements de défense territoriale. La construction de l'aire, principalement effectuée par la femelle, est particulièrement active de la mi-avril à la première semaine de mai (Nadal et al., 2010).

- Si un ou plusieurs individus ont pu être observé(s) lors du premier passage, un **second passage** réalisé en **juin**, permet d'apporter des informations supplémentaires ou de confirmer le cantonnement du couple. Les seuls indices de présence à cette période sont les apports assez espacés de proies du mâle auprès de la femelle. La couvaison est assurée principalement par la femelle pendant 33 à 38 jours (Steyn & Grobler, 1985; Issam et al., 2019). Il est important de réaliser ce deuxième passage si un individu ou un couple a été observé lors du premier, car un certain nombre de reproductions peuvent échouer avant l'éclosion des poussins.

- Un **troisième** et dernier **passage**, réalisé de **mi-juillet à mi-août**, est centré sur la période de nourrissage et de l'apprentissage du vol par les jeunes au nid. En effet, à la mi-juillet, les transports de proies par les adultes, ou les comportements de défense du nid donnent de nouvelles opportunités de localisations précises (Suetens & van Groenendael, 1969; Steyn & Grobler, 1981). De plus, les cris persistants des jeunes nourris sont la seconde source de détection la plus directe dans les cas où la reproduction a atteint ce stade. Les juvéniles prennent leur **envol** dès la mi-juillet pour les plus précoces jusqu'à mi-août pour les plus tardifs. Mais leur émancipation est longue et ils peuvent rester jusqu'à deux semaines à proximité du nid en étant accompagnés en vol par les parents (Steyn & Grobler, 1981).

• Conditions météorologiques et horaires des prospections

Les conditions météo doivent être optimales pour l'observation des rapaces, à savoir un ciel clair pour permettre une bonne visibilité et un vent faible à modéré si possible (< 30 km/h). Cette dernière variable est surtout importante à prendre en compte pour le troisième passage, l'absence de vent ou un vent faible favorisant l'écoute des cris des jeunes. Il est par ailleurs conseillé d'éviter de réaliser les prospections par régime d'entrées maritimes (risque de brume) et par temps de pluie, comme le mentionnent la plupart des études sur l'observation des rapaces (Preston, 1981; Oliveira et al., 2018). Les prospections peuvent être effectuées le matin (au plus tôt 1h après le lever du soleil) jusqu'à fin d'après-midi, en évitant les heures les plus chaudes lors des journées de forte chaleur (Oliveira et al., 2018; McCabe et al., 2019).

• Récolte des données

La collecte des données s'effectue à l'aide d'une **fiche terrain** (Annexe 3). Lors des prospections, l'observateur relève tous les comportements des aigles bottés contactés, et donc les indices de nidification potentiels (parade, apport de matériaux ou de nourriture, etc). Chaque comportement observé est associé à un code Atlas (Annexe 1). L'indice de nidification est défini comme « possible » si un individu a été contacté une fois, « probable » s'il a été contacté à plusieurs passages et « certain » si il a démontré un comportement associé à la reproduction. Le morphe (clair ou sombre) ainsi que les heures de début et de fin de contact avec chaque individu observé représentent des informations précieuses à renseigner. De plus, les données récoltées devront être reportées sur l'application **NaturaList**. Il est préconisé de saisir les observations par « liste sur le terrain » et de renseigner la présence ou l'absence de l'Aigle botté. Si à la fin de la période d'observation aucun individu n'a été contacté, renseignez 0 pour l'espèce et choisir le code Atlas 99 (Espèce absence malgré des recherches).

Dans le cas où l'observateur parvient à localiser un potentiel site de nidification, toutes les données relatives à l'habitat du site seront à mentionner dans la mesure du possible : localisation, type de boisement, essence de l'arbre porteur, déclivité et orientation du site; ainsi que les activités humaines aux alentours de l'aire et du point d'observation (présence d'infrastructure, exploitation forestière etc.). Ces données pourront en effet définir la mise en place d'actions pour la protection de la zone de reproduction.

II.6 MODÉLISATION DES SECTEURS FAVORABLES À LA NIDIFICATION DE L'AIGLE BOTTÉ

La **modélisation de la distribution des espèces** permet de quantifier la corrélation entre la distribution géographique des espèces et des facteurs environnementaux (Miller, 2010). Pour ce faire, il existe différents modèles de prédictions. Le programme **MaxEnt** est une approche de modélisation basée sur le principe du maximum d'entropie, c'est-à-dire la plus proche de l'uniformité (Phillips et al., 2006). Cette méthode prédictive permet de calculer la probabilité de présence d'une espèce (données d'occurrence) par rapport aux différentes variables environnementales intégrées dans le modèle (Redon & Luque, 2014). Parmi les différentes approches de modélisation basées uniquement sur des données de présence, MaxEnt possède l'une des meilleures capacités prédictives (Wisz et al., 2008; Elith et al., 2011).

Pour cette étude, l'algorithme Maxent (Version 3.4.4) a donc été utilisé afin de prédire la distribution de potentiels secteurs favorables à la nidification d'Aigle botté sur le territoire des Corbières-Fenouillèdes.

• Données d'occurrence et variables environnementales

Les **données d'occurrence** d'Aigle botté utilisées pour la modélisation correspondent aux données extraites du portail Faune-France (cf. partie II.3) pour l'Aude et les Pyrénées Orientales, et plus particulièrement à celles associées à un code Atlas "nicheur certain" (Annexe 1). Par ailleurs, ont été exclues les observations géolocalisées au lieu-dit, et celles avec des codes Atlas 12 et 14, ces derniers ne reflétant pas non plus une localisation précise d'une aire potentielle. Les données recueillies lors du suivi 2023 ont également été ajoutées. Après tri, vérification et élimination des données imprécises, 83 données d'Aigle botté présentant des indices de nidification « certains » datant de juillet 2001 à août 2023 ont été exploitées.

Les **variables environnementales** utilisées dans les analyses ont été choisies comme ayant une importance écologique pour la sélection du site de nidification par l'Aigle botté et sont les suivantes :

-Une variable catégorielle "Forêt" représentant la **composition forestière** du territoire, issue de BD FORÊT® V2 (©Geoservices). Ces données sont réparties en 31 classes, chacune représentant un type forestier (Annexe 4).

-Une variable continue "**Distance zones ouvertes**" qui correspond à la distance (en mètre) du centre de chaque maille à la zone ouverte la plus proche. Les zones ouvertes correspondent aux codes 231, 241, 242, 243 et 321 de la couche Corine Land Cover (2015).

-Les autres variables, continues, sont relatives au milieu physique et correspondent à **l'altitude** (en mètres), la **pente** (en degré d'inclinaison), **l'ombrage** (valeurs comprises entre 0 et 255) et **l'exposition** (en degrés de 0 à 360°). Toutes ces données sont issues du modèle numérique de terrain (MNT) BD ALTI® V2 25M (©Geoservices).

- **Formatage des données et paramétrages**

Dans un premier temps, les données d'occurrence ont été formatées en indiquant les coordonnées géographiques selon le système de projection RGF93-Lambert 93. Toutes les variables environnementales ont été traitées et mises sous format raster avec le logiciel **QGIS** (Version 3.16.9-Hannover), en utilisant le même système de projection (Annexe 5). Les calculs de pente, d'ombrage et d'exposition ont été effectués à partir du MNT BD ALTI®. Tous les rasters doivent avoir les mêmes propriétés générales (dimensions, taille du pixel et emprise) afin d'être utilisés dans Maxent. Pour ce faire, une grille d'un pas de 200 mètres couvrant l'ensemble du territoire des Corbières-Fenouillèdes a été générée. Après traitement dans QGIS, la résolution de chaque pixel pour tous les rasters est alors de 200x200m, pour lesquels Maxent conduira au calcul d'une valeur de probabilité d'occurrence en fonction des données de toutes les variables environnementales. Les paramètres par défaut de l'algorithme MaxEnt ont été maintenus (Lahssini et al., 2020). Quant aux paramètres « create response curves » et « Do jackknife to measure variable importance », ils ont été sélectionnés afin d'obtenir des graphiques permettant de mesurer l'importance des différentes variables dans la distribution des sites de nidification. L'option « Remove duplicate presence records » a été appliquée, permettant d'éliminer, des données analysées, les points de présence dupliqués dans une même cellule de raster et donc de réduire le biais d'échantillonnage. Le format de sortie pour l'estimation des probabilités a été défini sur "Cloglog". Enfin, le modèle a été projeté spatialement sous forme de carte prédictive, donnant une estimation entre 0 et 1 de probabilité de présence. L'indice utilisé pour l'évaluation de l'efficacité du modèle est l'Area Under the Curve (AUC) qui est considéré comme « mauvais » si $\leq 0,70$; « passable » si $0,70 < AUC \leq 0,90$ et « excellent » si $AUC > 0,90$ (Swets, 1988).

RÉSULTATS

III.1 DONNÉES BRUTES DE L'INVENTAIRE DES POPULATIONS D'AIGLE BOTTÉ 2023

Lors du suivi, **29 aigles bottés** ont été observés au total, dont près de 79% sont des morphes clairs et 21% sont des morphes sombres (Tableau 2). Toutes les prospections ont été réalisées pendant une durée de 3 heures, sur une plage horaire allant de 8h30 à 19h. Au total, 31, 12 et 31 points d'observation ont été réalisés respectivement pour les passages 1, 2 et 3 (Annexe 6). La majorité des individus contactés ont été observés en train de chasser.

Tableau 2 : Récapitulatif des sites pour lesquels au moins un Aigle botté a été contacté lors des points d'observation pour chaque passage et estimation des couples nicheurs par ZPS. L'acronyme NR signifie les sites pour lesquels le deuxième passage n'a pas été réalisé, selon le protocole.

ZPS (ou en limite de ZPS)	Sites	Passage 1	Passage 2	Passage 3	Indice de nidification pour le site	Nb de couples nicheurs min	Nb de couples nicheurs max
		18/05 au 7/06	02/06 au 23/06	17/07 au 11/08			
Hautes Corbières	28	1 clair	0	3 clairs	Probable	2	5
	35	1 clair	1 clair	1 clair	Probable		
	24	2 sombres et 1 clair	0	0	-		
	26	incertain	1 sombre	1 sombre/1 clair, 2 clairs et 1 sombre	Certain		
	37	1 clair	1 clair	1 clair	Certain		
	34	1 clair	1 clair	1 clair	Probable		

Basses Corbières	20	0	NR	1 clair	-	1	2
	15	0	0	1 clair*	Certain		
	19	0	NR	1 clair	Probable		
	17	0	NR	1 clair			
Corbières Occidentales	7	0	NR	1 sombre	Possible	0	2
	8	0	NR	1 clair	Possible		
Corbières Orientales	11	1 clair	0	0	Possible	0	1

Aucun indice de nidification n'a été associé aux individus observés lors d'un seul passage en transit à haute altitude, comme c'est le cas pour les sites 24 et 20. D'autre part, un Aigle botté d'un même morphe a été observé lors d'au moins 2 passages différents sur les sites 28, 35 et 34, un code Atlas "nicheur probable" a donc été attribué. Concernant un cas particulier, les sites 19 et 17 ont été prospectés durant la même matinée par deux observateurs différents, qui ont chacun observé un aigle botté différent à des horaires similaires. Les sites se trouvant proche, ces deux aigles bottés ont été considérés comme un couple "nicheur probable" pour cette zone.

En somme, le nombre de couples nicheurs est donc estimé à **10 couples maximum** pour toutes les ZPS, dont 3 couples certains (Figure 4).

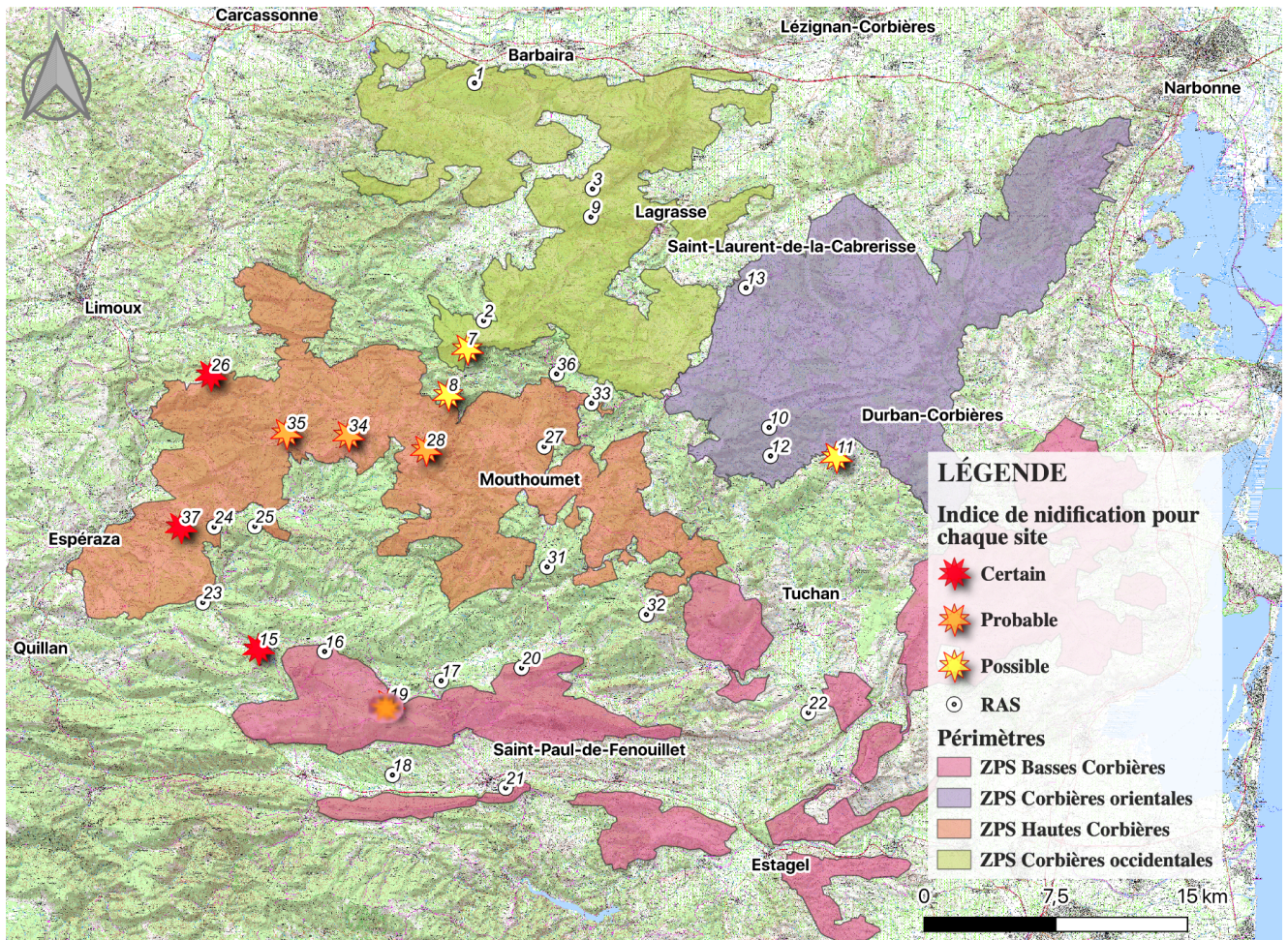


Figure 4 : Répartition de la population nicheuse d'Aigle botté (estimation) établie selon les résultats des prospections du suivi 2023

III.2 SITES DE NIDIFICATION IDENTIFIÉS ET LEURS CARACTÉRISTIQUES

- **Données issues des DOCOB**

Les **données historiques** des sites nidification issues des DOCOB correspondent aux sites : 24, 37, 27, 23, 26 et 25 pour les Hautes Corbières ; 1 et 2 pour les Corbières Occidentales. La localisation exacte des aires de nidification d'Aigle botté n'est pas mentionnée dans les données des DOCOB. Les données sont ainsi présentées sous la forme de disques de 500 mètres de rayon. A l'intérieur de chaque zone (surface d'environ 78 hectares) est supposée la présence d'une aire de nidification. Une analyse de la composition végétale de ces zones a été réalisée afin de définir les essences majoritaires (Figure 5). Les **feuillus** recouvrent 74% de la surface de ces zones, sans prendre en compte la catégorie « Mixte », qui est composée d'un mélange de feuillus et de conifères en proportions variables. Parmi les feuillus identifiés, ce sont les essences de Chênes décidus et sempervirents qui sont majoritaires. Les conifères, toutes essences confondues, sont représentés avec environ 13% de la couverture forestière de ces zones.

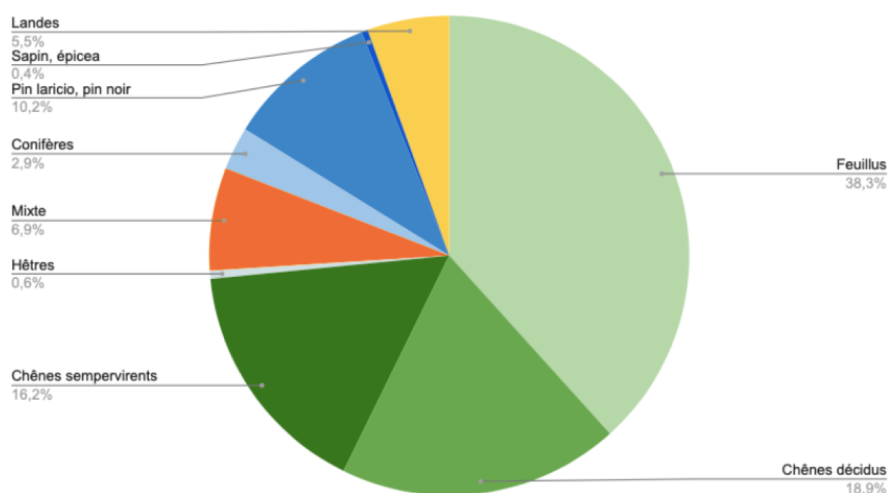


Figure 5 : Composition végétale des huit zones (qui représentent environ 624 hectares au total) incluant les sites nidification identifiés dans les DOCOB. La couche des formations végétales utilisée est issue des données BD FORÊT® V2 (©Geoservices).

De plus, les distances des zones comprenant les sites de nidification décrits dans les DOCOB (en prenant le centre du disque) à la zone ouverte la plus proche varient de 380 à 980 mètres (Annexe 7). Par ailleurs, les surfaces relatives aux sites de nidification des Hautes Corbières oscillent entre une altitude allant de 300 à 800 mètres, avec une majorité de sites entre 400 et 600 mètres. Pour les Corbières occidentales, les deux zones incluant les sites de nidification sont comprises entre 100 et 300 mètres pour le site 1 et 600 et 800 mètres pour le site 2.

- **Données issues du suivi 2023**

Pour trois sites sur les quatre identifiés, les aires de nidification se trouvent dans des forêts de feuillus, composées principalement par les essences de **Chênes décidus** et de **Châtaigniers communs** (*Castanea sativa*) (Tableau 3). Il est également à noter que tous les sites de nidification identifiés se trouvent à proximité (dans un rayon de moins de 820 mètres) de zones ouvertes. La zone identifiée pour le site 15 semble se trouver à proximité d'une piste forestière, ce qui constitue la seule menace

potentielle identifiée. Les autres sites identifiés se trouvent des endroits relativement peu fréquentés et difficiles d'accès. D'autre part, toutes les aires identifiées se trouvent dans des forêts privées, à l'exception du site 33 qui se trouve dans une forêt communale.

Tableau 3 : Caractéristiques générales des sites de nidification identifiés lors des prospections 2023. La zone ouverte la plus proche correspond aux codes Corine Land Cover suivants: 242 (Systèmes culturaux et parcellaires complexes) ; 243 (Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants) et 321 (Pelouses et pâturages naturels), et la distance à l'aire identifiée a été calculée dans un rayon de X mètres à vol d'oiseau.

Site	ZPS (ou limite de ZPS)	Aire de nidification identifiée						
		Lors du passage N° :	Type de forêt	Altitude moyenne	Distance à la zone ouverte la plus proche*	Pente du site (en degré d'inclinaison)	Exposition	Correspond à une aire de nidification historique
37	Hautes Corbières	2 et 3	Forêt de feuillus à mélange taillis- futaie de chênes et châtaigniers	400 mètres	246 mètres	20-30	Est	Oui
26		3	Forêt fermée de douglas	600 mètres	754 mètres	20-30	Non déterminée	Oui
33		3	Forêt fermée à mélange de feuillus	550 mètres	724 mètres	20-30	Sud-Est	Non, donnée nouvelle
15	Basses Corbières	3	Forêt fermée à mélange de feuillus (châtaignier , chêne décidus)	600 mètres	820 mètres	10-20	Ouest	Non, donnée nouvelle

Les **comportements** permettant de définir la localisation des aires de nidification sont les suivants. Pour le site 37, un même individu a fréquenté la zone lors des passages 2 et 3, et a effectué un piqué dans un boisement, ce comportement est observé chez d'autres rapaces forestiers (Wiley & Wiley, 1981; Hengstenberg & Vilella, 2005). Pour le site 15, ce sont des vols en festons et des allers-retours vers le site de nidification avec transports de proie qui ont permis de confirmer la localisation de l'aire de nidification, de même pour le site 26 où un couple a été observé. Par ailleurs, pour le site 26, trois autres individus ayant des comportements territoriaux ont été observés (cris d'alarmes, houspillages), ce qui suppose l'occupation d'autres territoires, mais sans plus d'informations sur la localisation d'autres sites de nidification potentiels.

Enfin, les observations réalisées hors protocole, soit en dehors des 3 heures de prospection, n'ont pas été traitées dans cette étude. Une donnée intéressante est cependant à relever car elle correspond à l'observation d'un aigle botté effectuant un piqué en forêt à proximité du site 33, indiquant un potentiel site de nidification. Ce site identifié a donc été inclus dans l'analyse.

III.3 MODÉLISATION DES SECTEURS FAVORABLES À LA NIDIFICATION DE L'AIGLE BOTTÉ DANS LES CORBIÈRES-FENOUILLEDÈS

Les résultats relatifs à la précision de la prédiction du modèle montrent que la valeur de l'AUC est de 0.850. Cela atteste d'une performance « **passable** » de cet algorithme dans la prédiction des secteurs avec des habitats favorables à la nidification (Swets, 1988). Les résultats des pourcentages de contribution des différentes variables (Annexe 8) montrent que les variables qui contribuent le plus au modèle sont la "**Forêt**" (57%) ainsi que la "**Distance zone ouverte**" et la "**Pente**" dans une moindre mesure (17,2% et 13,6%). La variable "Ombrage" présente la plus faible contribution au modèle (0,6%). Par ailleurs, l'importance de la permutation de la variable "Forêt" est la plus élevée (46,8%) ce qui confirme sa contribution majoritaire au modèle (Annexe 8). De plus, selon le test Jackknife (Annexe

9) la variable "Forêt" est celle avec le gain le plus élevé. Cette variable aurait donc une plus **grande valeur prédictive sur le modèle**. La combinaison de ces différents résultats confirme que la variable "Forêt" influence le plus le modèle de distribution des habitats favorables à la nidification de l'Aigle botté.

Après traitement dans QGIS, la **carte prédictive** générée (figure 6) met en évidence la probabilité de présence des secteurs favorables à la nidification de l'espèce. Ainsi, plus le score se rapproche de 1, plus la probabilité de présence d'un habitat favorable, dans une maille de 200x200m, est élevée.

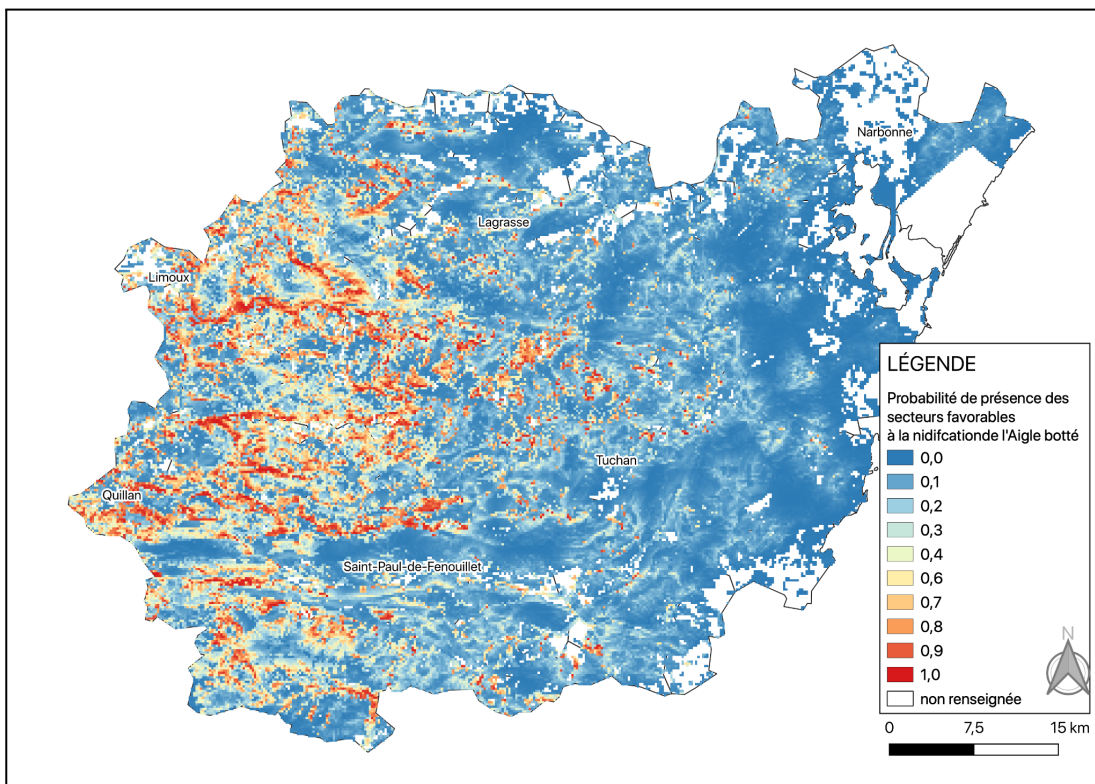


Figure 6 : Répartition géographique potentielle des secteurs favorables pour la nidification de l'Aigle botté dans les Corbières-Fenouillèdes (Résolution 200x200m). Les pourcentages se réfèrent aux probabilités de conditions favorables.

Par ailleurs, le logiciel Maxent a généré des "courbes de réponse" (Response curves) illustrant la relation entre la probabilité d'occurrence prédite par l'algorithme et chaque variable environnementale (Annexe 10). Celles-ci mettent en évidence comment ces variables affectent la prédiction de l'algorithme.

Pour la variable catégorielle "Forêt", la probabilité de présence d'un habitat favorable à la nidification est supérieure à 70% pour les classes 4, 5, 11 et 16 (Figure 7).

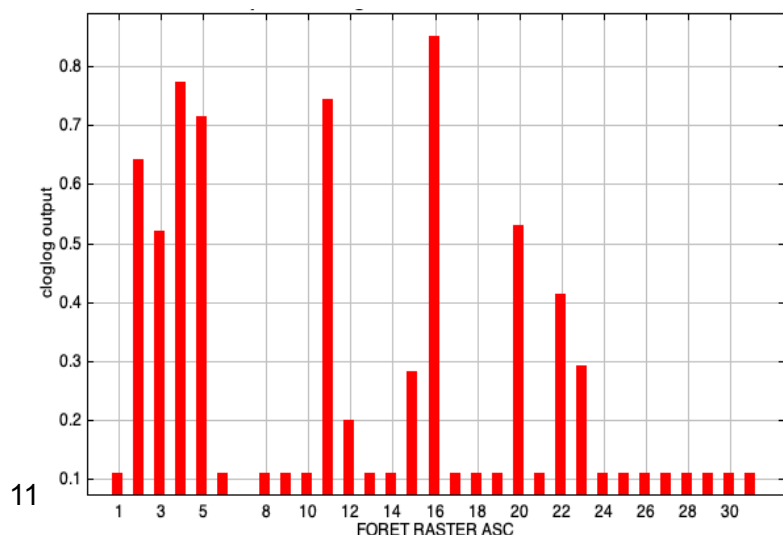


Figure 7 : Probabilité de présence d'un habitat favorable à la nidification de l'Aigle botté en fonction des classes forestières de la variable environnementale catégorielle "Forêt". Les classes 4,5, 11 et 16 correspondent respectivement aux "Forêt fermée à mélange de feuillus", "Forêt fermée à mélange de feuillus prépondérants et conifères", "Forêt fermée de Chênes décidus purs" et "Forêt fermée de Hêtre pur" (Annexe 4)

DISCUSSION

IV.1 RÉPARTITION DE L'AIGLE BOTTÉ À L'ÉCHELLE DES ZPS DU PNRCF

D'après les résultats du suivi 2023, l'Aigle botté est bien présent sur l'ensemble des ZPS. Les individus clairs sont les plus représentés, comme cela a été documenté sur le territoire français par d'autres auteurs (Thurel et al., 2012; Nadal & Tariel, 2015). La **répartition des effectifs** de ce rapace n'est cependant **pas équitable** selon les sites Natura 2000. Tous passages confondus, les individus ont été majoritairement contactés dans le périmètre de la **ZPS Hautes Corbières**, et plus précisément dans sa partie ouest. Ce constat est en accord avec les données mentionnées dans les DOCOB, en étant le territoire qui accueille le plus de couples nicheurs (8 maximum) en comparaison avec les autres ZPS (Leonard et al., 2011). Cette espèce semble donc bien représentée sur ce site Natura 2000. En ce qui concerne les Corbières occidentales, deux individus ont été contactés au sud-ouest du territoire ce qui est en adéquation avec le DOCOB qui indique que l'espèce se répartit surtout sur cette partie du site (LPO Aude, 2011). Néanmoins, aucun individu a été observé pour les sites 1 et 3. Or ceux-ci avaient fait l'objet d'une étude en 2019 lors de laquelle des aigles bottés potentiellement nicheurs avaient été contactés, un couple était également connu nichant à l'ouest du massif de l'Alaric (site 1). Pour les Corbières Orientales, un seul individu a été contacté lors du premier passage et aucun pour les sites 13, 10 et 12 qui se trouvent pourtant dans la partie ouest, qui représente la zone dans laquelle l'espèce serait principalement cantonnée sur ce site Natura 2000 (LPO Aude, 2010).

Les **estimations des effectifs de ce suivi sont en-deçà** de celles énoncées dans les différents **DOCOB**. Cela peut s'expliquer par le fait que les prospections 2023 ont été réalisées sur une seule saison de reproduction, avec un nombre d'observateurs limité. De plus, au regard de la grande superficie des ZPS il n'a pas été possible de prospecter tous les sites favorables à la nidification de l'Aigle botté. Par ailleurs, il est délicat d'obtenir une estimation fiable des effectifs nicheurs de ce rapace, que ce soit à l'échelle du territoire français ou bien des Corbières-Fenouillèdes, ces derniers ayant très probablement été sous-estimés dans cette étude. La difficulté d'évaluer précisément les populations d'Aigle botté tient en grande partie au comportement de l'oiseau, celui-ci étant particulièrement **discret** et ses épisodes de vols à découvert sont très épisodiques (Rouillier & Pouvreau, 1995). C'est pourquoi, il est important de rappeler qu'une absence de contact avec un Aigle botté sur certains sites prospectés ne signifie pas forcément que l'espèce n'est pas présente. D'autre part, l'observation d'un individu en chasse constitue un bon indicateur de son territoire qui doit inciter à affiner les recherches pour la nidification. Néanmoins, cette observation ne représente pas toujours un indice de reproduction proche. En effet, les aigles bottés utilisent de vastes domaines vitaux pour leurs activités de chasse pouvant parfois aller jusqu'à 40 km de l'aire (López-López et al., 2016).

Les résultats de cette étude tendent à mettre en évidence une **concentration plus importante** des effectifs pour la **partie ouest des Corbières-Fenouillèdes**.

IV.2 FACTEURS INFLUENÇANT LA RÉPARTITION DE L'AIGLE BOTTÉ

Le choix du site de nidification, et donc la répartition de l'Aigle botté à l'échelle des différentes ZPS, peut être conditionné par plusieurs facteurs. Dans cette étude, seront traités les facteurs relatifs au type d'habitat ainsi que la stratégie de reproduction de l'Aigle botté.

- **Habitats favorisés pour la reproduction et leur caractéristiques**

L'Aigle botté, étant une espèce forestière pour la reproduction, accorde une importance particulière quant aux caractéristiques des habitats forestiers pour sélectionner son aire de nidification (Sánchez-Zapata & Calvo, 1999).

Dans un premier temps, il convient de rappeler que le faible nombre de sites de nidification identifiés ne permet pas d'affirmer que les caractéristiques observées sont représentatives de l'écologie locale de l'espèce. Toutefois, sur le peu d'observations réalisées, cette espèce semble nicher préférentiellement dans des **forêts de feuillus caducs**, à dominance de chênes et de châtaigniers pour deux sites identifiés. Dans les Pyrénées-Atlantiques, Carlon (1984) a établi les mêmes observations, en identifiant des aires situées dans des forêts de feuillus composées de Chênes pédonculés et de Hêtres communs. Des études menées au nord-est de l'Espagne et dans le Loiret (45) en France montrent une préférence pour les forêts de conifères composées respectivement de Pin noir et de Pin sylvestre (Bosch et al., 2005; Thurel et al., 2012). Cela démontre la plasticité écologique dont ce rapace peut faire preuve concernant le type de boisement sélectionné. Certaines caractéristiques des arbres choisis pour la construction de l'aire semblent tout de même communes au regard de différentes études (Martínez et al., 2006; Thurel et al., 2012; Barrientos & Arroyo, 2014). En effet, ce sont les grands arbres matures et présentant un diamètre important qui sont privilégiés pour supporter l'aire, parfois volumineuse, d'un diamètre et d'une épaisseur pouvant atteindre 90 cm.

Les résultats obtenus lors du suivi 2023 peuvent donc être mis en relation avec ces observations. En effet, les boisements des sites Natura 2000 des Corbières orientales, occidentales et des Basses Corbières sont composés en grande partie de Chêne vert, arbre à croissance lente qui dépasse rarement les 20 mètres de haut, peu sélectionné pour la construction d'une aire. Les forêts de feuillus caducs présentant des hauts arbres matures (boisements plus anciens) sont plus présentes dans les Hautes Corbières (Leonard et al., 2011), ce qui pourrait expliquer la plus grande proportion d'Aigle botté observée dans cette ZPS.

Dans un second temps, les variables relatives au relief du territoire sont également à prendre en compte. Les sites de nidification identifiés lors du suivi montrent une préférence pour les zones situées en forêt de pente, cela peut être interprété comme une réponse à l'existence de vents de pente qui favorisent l'énergétique du vol (Martínez et al., 2006). En effet, l'assistance du vent est d'une importance primordiale, car elle peut permettre aux oiseaux d'augmenter leur autonomie de vol (Mellone et al., 2012). Ensuite, la détermination de l'orientation des aires découvertes était très approximative, à part pour le site 37 situé versant est, et ne permet pas de dégager une tendance. Dans la forêt d'Orléans, l'Aigle botté semble avoir une préférence pour les versants orientés à l'est (Thurel et al., 2012). D'autre part, l'altitude moyenne des sites de nidification historiques connus et de ceux découverts est variable. Cette observation est cohérente avec la courbe de réponse relative à l'altitude produite par Maxent (Annexe 8a). En effet, l'Aigle botté peut se retrouver dans une large amplitude d'altitudes (Carlon, 1984). Tous les paramètres énoncés démontrent bien la grande capacité de ce rapace à s'adapter aux conditions de son environnement.

D'autre part, les résultats du suivi montrent que tous les **sites de nidification identifiés** se trouvent à **proximité de larges zones ouvertes**, ce qui est représentatif d'un habitat de type « mosaïque » (Blandin, 2009). En effet, bien qu'il s'agisse d'une espèce forestière, plusieurs auteurs ont montré que les aigles bottés sélectionnent des zones avec un mélange de bois et de terrains ouverts (Martínez et al., 2007; Suárez et al., 2000), comme la plupart des rapaces méditerranéens

(Sánchez-Zapata & Calvo, 1999). En Vendée (85), la présence de sites de nidification a été décrite dans des petits bois clairsemés, entourés de zones bocagères (Rouillier & Pouvreau, 1995). Cette préférence peut s'expliquer par le fait que ce rapace, principalement ornithophage, chasse essentiellement dans des zones extra-forestières. Thurel et al. (2012) ont ainsi déterminé que 70% des proies consommées par ce rapace sont inféodées aux plaines et aux bocages dans le Loiret. La présence d'habitats ayant une grande disponibilité en proies à proximité du site de nidification semble être un facteur déterminant dans le choix du site pour la plupart des rapaces. (Ferrer-Sánchez et al., 2019)

Il serait intéressant de réaliser une telle étude dans les Corbières-Fenouillèdes afin de déterminer quels habitats pourraient être préférentiellement sélectionnés pour la chasse. En somme, les caractéristiques environnementales liées à l'**hétérogénéité du paysage** semblent influencer la sélection du site de reproduction (Ferrer-Sánchez et al., 2019).

- **Stratégie de reproduction**

Cette espèce étant assez **sensible au dérangement**, la préférence de nidification pour des territoires non perturbés et peu fréquentés est évidente (Thurel et al., 2012; Martínez et al., 2006). Le territoire des Corbières-Fenouillèdes est un milieu rural et peu peuplé, il répond donc bien à ces critères. Certains auteurs mettent tout de même en évidence un certain degré de tolérance à la présence humaine dans certains cas (López-López et al., 2016).

L'Aigle botté présente, à l'instar de la plupart des rapaces, une **fidélité élevée à ses sites de nidification**. En règle générale, en l'absence de dérangement ou de modifications des environs immédiats, il occupe la même aire durant plusieurs années (Martínez et al., 2006; Jiménez-Franco et al., 2013). Parmi les huit zones comprenant des sites de nidification actifs en 2010 et identifiés dans les DOCOB, la nidification a été confirmée pour seulement deux sites. Une hypothèse à ce constat est que les individus étaient présents mais n'ont simplement pas été contactés lors de la durée des points d'observation, ce qui arrive fréquemment même lorsque les conditions sont favorables (Rouillier & Pouvreau, 1995).

Néanmoins, d'autres facteurs conditionnent la probabilité de réoccupation d'une aire comme par exemple la productivité au succès de reproduction antérieur (l'envol d'un ou deux jeunes), les conditions climatiques, ou encore la compétition interspécifique (Switzer, 1997; Martínez et al., 2006). Toutefois, même si un couple ne réutilise pas la même aire, le **territoire occupé reste très souvent le même**, comme cela a été observé 9 fois sur 10 en forêt d'Orléans (Thurel et al., 2012). Deux nouveaux sites de reproduction ont par ailleurs été identifiés, cela constitue des données précieuses qui seront prises en compte lors de la mise à jour des DOCOB. Par ailleurs, le site de nidification localisé dans les Basses Corbières se situe à la limite de la ZPS, cette observation pourrait donc appuyer un futur projet d'extension de cette dernière.

- **Modélisation des secteurs favorables à la nidification de l'Aigle botté**

Selon la carte prédictive générée par Maxent, les secteurs présentant des habitats favorables à la nidification de l'Aigle botté semblent majoritairement se trouver à l'**ouest du territoire** des Corbières-Fenouillèdes. Cette observation concorde avec les résultats obtenus lors du suivi 2023. Selon Cody (1985), la sélection de l'habitat définit les schémas de distribution des oiseaux. De plus, la

composition forestière du site semble être le facteur qui détermine au mieux les conditions favorables d'un habitat pour la nidification. De ce fait, ce sont les forêts à mélange de feuillus, composées notamment de chênes décidus purs, de hêtres purs ainsi qu'à mélange de conifères qui semblent conditionner préférentiellement le choix du site de nidification. La majorité de ces résultats sont cohérents avec les préférences d'habitats de nidification relevées lors du suivi ainsi que ceux décrits par Carlon (1984) dans les Pyrénées-Atlantiques.

Il convient néanmoins de rester vigilant sur l'interprétation des données générées par Maxent, d'autant plus que la précision de prédiction du modèle obtenu n'est pas optimale (Swets, 1988). Dans un premier temps, il est important de rappeler que les données d'occurrence utilisées ne reflètent pas toujours la position exacte d'un Aigle botté sur son site de nidification, mais plutôt une zone approximative de son emplacement. Afin d'améliorer le modèle, il serait intéressant d'y intégrer uniquement les données les plus précises possibles des sites de nidification connus. Par ailleurs, une étude sur l'état et la répartition du peuplement des oiseaux en Occitanie a mis en évidence une pression d'observation inégale concernant l'avifaune à l'échelle du territoire (Gilot & Olivier, 2022). Cela peut constituer un biais dans la mesure où certaines zones accidentées et peu accessibles sont de fait peu, voire pas prospectées. D'autre part, la précision des données utilisées pour les variables environnementales (BD FORÊT® V2, Corine Land Cover etc.) n'est pas toujours optimale sur l'ensemble de la zone d'étude.

Toutefois, la **carte prédictive** représente un **support** intéressant qui pourra permettre d'**identifier de nouvelles zones de nidification potentielle** à prospecter.

IV.3 PERSPECTIVES ET LIMITES DE L'ÉTUDE

- **Amélioration du protocole**

L'intérêt de réaliser un suivi basé sur un protocole réside notamment dans le fait d'avoir une méthode reproductible et une pression d'observation identiques lors de chaque point d'observation. Concernant son application sur le terrain, le passage 1 s'est effectué sur une période plus étalée (jusqu'à début juin) que celle définie dans le protocole en raison d'un mois de mai particulièrement venteux. Cependant, la période allant de fin mai jusqu'à juin correspond à la couvaison chez l'Aigle botté, les chances de détection sont donc plus faibles à cette période (Carlon, 1985). Ce qui peut expliquer le faible nombre d'individus contactés lors du passage 1. D'autre part, **la majorité des individus ont été contactés lors du passage 3**, ce qui confirme que la période d'élevage des jeunes semble la plus propice à la détection des individus (Nadal et al., 2010).

Pour les futures prospections, dans le cas où un seul passage pourrait être réalisé, la période couvrant juillet-août est donc à privilégier. Par ailleurs, la mise en place d'un protocole à observateurs simultanés pourrait être à envisager pour augmenter les chances de détection des aires de nidification. Cette méthode a notamment été utilisée par l'ALEPE (Association Lozérienne pour l'Etude et la Protection de l'Environnement) à la fin avril, plusieurs groupes étaient alors répartis sur les points culminants du secteur à prospecter et en lien par téléphone afin de prévenir les autres des mouvements des aigles. Ainsi, une prochaine étude relative à l'Aigle botté pourrait donc couvrir une période de terrain bien moins longue, avec des prospections mobilisant plusieurs observateurs en simultané durant la période estivale. Enfin, le repérage des aires en hiver est un bon moyen de confirmer la nidification, et donc d'estimer le nombre de couples nicheurs. C'est une méthode classique pour les rapaces arboricoles, mais qui n'est valable bien entendu que si les aires sont vérifiées au printemps. Ces techniques, bien qu'avérées

efficaces, nécessitent toutefois des moyens humains et un temps consacré importants.

En somme, la récolte d'informations sur la localisation des aires de nidification dans les Corbières-Fenouillèdes, pourra permettre de définir des mesures de conservation pour les secteurs identifiés et faciliter la mise en place d'actions pour la conservation de l'espèce.

- **Propositions de mesures de gestion**

Comme évoqué précédemment, le dérangement de l'Aigle botté pendant la période de reproduction aux alentours de l'aire de nidification peut conduire à l'abandon de cette dernière. Les activités sylvicoles réalisées pendant la période de sensibilité de l'espèce peuvent représenter une menace majeure. Des mesures de gestion existantes reposent sur l'établissement de **restrictions de ces activités autour des sites de nidification** en utilisant des zones tampons (Fernandez Juricic et al., 2005). Dans ce registre, la Société pour l'étude et la protection des oiseaux en Limousin (SEPOL) a défini le concept d'aire de quiétude théorique d'environ 20 hectares, qui correspond à une zone très sensible au dérangement humain (Nadal & Tariel, 2015). Le programme de conservation de l'espèce associé s'appuie notamment sur la charte Natura 2000 du site et décline des mesures pour la prise en compte de ces aires de quiétude autour des sites de nidification lors des travaux forestiers. D'autre part, une "clause rapace", mise en place en 2007 en forêt d'Orléans, interdit tous travaux forestiers dans une zone d'environ 300 mètres autour du nid, et recouvre la période sensible s'étalant du 1er mars au 1er septembre (Thurel et al., 2012). Ces mesures semblent pertinentes pour limiter au maximum les activités perturbatrices potentielles car les aigles bottés concentrent près de la moitié de leurs mouvements dans un rayon de 1 km autour de leur nid (López-López et al., 2016).

Par ailleurs, même si la sylviculture n'est pas prépondérante dans les Corbières-Fenouillèdes, celle-ci se concentre principalement sur les vieilles forêts présentant des arbres matures, privilégiées par l'Aigle botté pour la nidification. Des "**îlots de protection**" pourraient donc être à définir autour des sites identifiés en fonction des conditions du terrain et en concertation avec les acteurs forestiers issus du privé (Centre régional de la propriété forestière, CRPF) et de l'Office National des Forêts (ONF). Ces recommandations auprès des gestionnaires peuvent aboutir à la ratification de la Charte du site Natura 2000 (engagements de bonnes pratiques, sans rétribution financière pour le signataire volontaire), et à la signature de contrats Natura 2000 (comprenant une rétribution financière pour le porteur de projet). De plus, les DOCOB des ZPS présentent des actions relatives à la mise en défens de site de nidification de rapaces d'intérêt communautaire, mesures qui pourraient donc être appliquées pour l'Aigle botté.

D'autre part, les activités de loisirs peuvent également occasionner un dérangement. Celui-ci s'avère relativement limité pour les sites identifiés car peu accessibles donc peu fréquentés, à l'exception du site 15 où une piste forestière est présente dans le périmètre d'intérêt. Là encore, une **concertation** peut être envisagée avec les usagers du secteur "sensible", par exemple, adapter la période des pratiques de loisirs de pleine nature sur l'année.

Ensuite, comme tous les sites Natura 2000 de l'arrière pays méditerranéen, la **fermeture des milieux**, notamment du fait de la réduction du pastoralisme, constitue une autre menace pour les rapaces (Sánchez-Zapata & Calvo, 1999; Leonard et al., 2011). Or, comme évoqué précédemment, la présence de zones ouvertes à proximité du site de nidification s'avère d'une grande importance pour l'Aigle botté. L'**entretien des zones ouvertes** en pâturage extensif ou encore l'ouverture mécanique de certains milieux, lors des périodes appropriées, constituent des mesures efficaces pouvant être appliquées dans le cadre des Mesures agroenvironnementales et climatiques (MAEC) avec les

agriculteurs, ou par le biais de contrats Natura 2000 par exemple.

En résumé, les stratégies de conservation efficaces pour cette espèce devraient non seulement encourager la **protection des habitats de nidification en forêt** mais aussi les pratiques agricoles traditionnelles visant au **maintien de zones ouvertes pour la chasse** (Martínez et al., 2007). La protection de l'habitat est en effet d'une importance capitale pour le maintien des populations de rapaces (Ferrer-Sánchez et al., 2019).

CONCLUSION

Le suivi réalisé lors de l'année 2023, basé sur la recherche des aires de nidification, a permis d'établir une estimation des effectifs d'Aigle botté sur les ZPS. Cette étude a joué le rôle d'année «témoin» en permettant d'actualiser, à l'échelle du massif des Corbières et des Fenouillèdes, les données sur un rapace qui n'avait jusqu'alors jamais fait l'objet d'un suivi spécifique sur ce territoire. La nidification, et donc la présence de couples nicheurs, a été confirmée de manière certaine sur les ZPS des Hautes Corbières et des Basses Corbières. Par ailleurs, la prospection des sites de nidification mentionnés dans les DOCOB devra être poursuivie afin de déterminer si ceux-ci sont toujours actifs, ce qui est le cas pour deux d'entre eux cette année.

À l'échelle des ZPS du PNRCF, la répartition de l'Aigle botté semble principalement liée à la couverture forestière des différents sites Natura 2000. La ZPS des Hautes Corbières, à ce titre, confirme son statut de site accueillant la population la plus importante du territoire. Il faut néanmoins garder à l'esprit que plusieurs variables peuvent influencer la détection des individus et les effectifs de ce rapace discret ont donc sûrement été sous-estimés.

La poursuite du suivi, et l'élargissement des prospections à d'autres sites, pour les années à venir permettra d'affiner les connaissances sur cette espèce d'intérêt communautaire et sur ses préférences de nidification sur le territoire. Une étude ciblée sur les aires de nidification identifiées cette année pourrait également être intéressante à envisager. Par ailleurs, la cartographie issue de la modélisation des habitats favorisés pour la reproduction pourra contribuer à définir de nouvelles zones à prospector. Enfin, l'Aigle botté semble tributaire d'une gestion permettant de préserver sur le long terme un réseau d'habitats en mosaïque alternant forêts et zones ouvertes.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARRIENTOS, R. & ARROYO, B. (2014) Nesting habitat selection of Mediterranean raptors in managed pinewoods: searching for common patterns to derive conservation recommendations. *Bird Conservation International*, 24, 138–151. Cambridge University Press.
- BLANDIN, P. (2009) Le concept de mosaïque en écologie. *Bulletin d'histoire et d'épistémologie des sciences de la vie*, Volume 16, 95–103. Éditions Kimé, Paris.
- BOSCH, J., BORRAS, A. & FREIXAS, J. (2005) Nesting habitat selection of Booted Eagle *Hieraaetus pennatus* in central Catalonia. *Ardeola: revista ibérica de ornitología*, 52, 225–233.
- BOURGEOIS (2007) Techniques de dénombrements de l'avifaune. Rapport Bibliographique, Diplôme d'études supérieures, Université Aix-Marseille III, 15.
- CARLON, J. (1984) Observations sur le comportement de l'Aigle botté *Hieraaetus pennatus* (Gmelin 1788). *Alauda* 52, 189–203.
- CARLON, J. (1985) Sur le comportement de l'Aigle botté *Hieraaetus pennatus* – Notes complémentaires. *Alauda* 53, 111–114.
- CODY, M.L. (1985) *Habitat Selection in Birds*. Academic Press.
- DONÁZAR, J.A., CORTÉS-AVIZANDA, A., FARGALLO, J.A., MARGALIDA, A., MOLEÓN, M., MORALES-REYES, Z., ET AL. (2016) Roles of Raptors in a Changing World: From Flagships to Providers of Key Ecosystem Services. *Ardeola*, 63, 181–234. Spanish Society of Ornithology.
- ELITH, J., PHILLIPS, S.J., HASTIE, T., DUDÍK, M., CHEE, Y.E. & YATES, C.J. (2011) A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17, 43–57.

- FERNANDEZ JURICIC, E., VENIER, M.P., RENISON, D. & BLUMSTEIN, D.T. (2005) Sensitivity of wildlife to spatial patterns of recreationist behavior: A critical assessment of minimum approaching distances and buffer areas for grassland birds. Elsevier.
- FERRER-SÁNCHEZ, Y., RODRÍGUEZ-ESTRELLA, R. & MARTÍNEZ-MORALES, M.Á. (2019) Improving conservation strategies of raptors through landscape ecology analysis: The case of the endemic Cuban Black Hawk. *Ecology and Evolution*, 9, 13808–13823.
- GILLOT, F. & OLIVIER, F. (2022) Etat et répartition du peuplement des oiseaux en Occitanie, Occitanie Biodiversité Agence régionale, 8.
- HENGSTENBERG, D. & VILELLA, F. (2005) Nesting ecology and behavior of Broad-winged Hawks in moist karst forests of Puerto Rico. *Journal of Raptor Research*, 39.
- ISSAM, B., BOUKHEMZA, M., SOUTTOU, K. & AREZKI, D. (2019) Breeding Biology of Booted Eagle *Hieraaetus Pennatus* (Gmelin, Jf, 1788): The First Study in North Africa. *Ekológia (Bratislava)*, 38, 382–391.
- JIMÉNEZ-FRANCO, M.V., MARTÍNEZ, J.E., PAGÁN, I. & CALVO, J.F. (2013) Factors determining territory fidelity in a migratory forest raptor, the Booted Eagle *Hieraaetus pennatus*. *Journal of Ornithology*, 154, 311–318.
- LAHSSINI, S., RIFAI, N., MENZOU, K., MHAZI ALAOU, H., LABBACI, A., RHAZI, M., ET AL. (2020) Modélisation de la distribution potentielle de *Cedrus atlantica* Manetti au Maroc et impacts du changement climatique. *Bois et Forêts des Tropiques*, 344, 3–16.
- LEONARD, A., MIQUEL, G. & ROUILLAUD, Y. (2011) Document d'Objectifs du site Natura 2000 – FR 9112028 « ZPS Hautes-Corbières » Tome I, 81.
- LÓPEZ-LÓPEZ, P., DE LA PUENTE, J., MELLONE, U., BERMEJO-BERMEJO, A. & URIOS, V. (2016) Spatial ecology and habitat use of adult Booted Eagles (*Aquila pennata*) during the breeding season: implications for conservation. *Journal of Ornithology*, 157, 981–993.
- LPO AUDE (2010) Document d'objectif du site Natura 2000 FR 9112008 « ZPS Corbières orientales » Tome I, 124.
- LPO AUDE (2011) Document d'objectifs du site Natura 2000 ZPS FR 9112027 « Corbières occidentales » Tome I, 83.
- MARTIN, J., MARTIN, R. & MARTIN, E. (1977) Booted eagles in Spain. *Bokrnakierie*, 291, 24–25.
- MARTÍNEZ, J., PAGÁN, I., PALAZÓN, J. & CALVO, J. (2007) Habitat Use of Booted Eagles (*Hieraaetus pennatus*) in a Special Protection Area: Implications for Conservation. *Biodiversity and Conservation*, 16, 3481–3488.
- MARTÍNEZ, J.E., PAGÁN, I. & CALVO, J.F. (2006) Factors influencing territorial occupancy and reproductive output in the Booted Eagle *Hieraaetus pennatus*. *Ibis*, 148, 807–819.
- McCABE, R., GOODRICH, L., MASTER, T. & BORDNER, Z. (2019) Broad-Winged Hawk Nesting Behavior in Forested Landscapes of Pennsylvania. *Journal of Raptor Research*, 53, 293.
- MELLONE, U., KLAASSEN, R.H.G., GARCÍA-RIPOLLÉS, C., LIMIÑANA, R., LÓPEZ-LÓPEZ, P., PAVÓN, D., ET AL. (2012) Interspecific Comparison of the Performance of Soaring Migrants in Relation to Morphology, Meteorological Conditions and Migration Strategies. *PLOS ONE*, 7, e39833. Public Library of Science.
- MILLER, J. (2010) Species Distribution Modeling. *Geography Compass*, 4, 490–509.
- NADAL, R., RIOLS, R. & PERTHUIS, A. (2010) Bulletin de liaison du réseau Aigle botté. *LPO Mission Rapaces*, 12.
- NADAL, R. & TARIEL, Y. (2015) L'Aigle botté n°6-7. *LPO Mission Rapaces*.
- OLIVEIRA, C., OLMOs, F., SANTOS-FILHO, M. & BERNARDO, C. (2018) Observation of Diurnal Soaring Raptors In Northeastern Brazil Depends On Weather Conditions and Time of Day. *Journal of Raptor Research*, 52, 56–65.
- OLSEN, P. & OLSEN, J. (1985) Sexual Size Dimorphism in Raptors: Intrasexual Competition in the Larger Sex for a Scarce Breeding Resource, the Smaller Sex. *The Emu: official organ of the Australasian Ornithologists' Union*, 85, 250–257.
- OSTERMANN, O.P. (1998) The need for management of nature conservation sites designated under Natura 2000. *Journal of Applied Ecology*, 35, 968–973.
- PHILLIPS, S.J., ANDERSON, R.P. & SCHAPIRE, R.E. (2006) Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231–259.
- PNRCF (2021) Document d'Objectifs du site Natura 2000 – FR 9110111 « ZPS Basses Corbières » Tome I, 105.
- PRESTON, C.R. (1981) Environmental Influence on Soaring in Wintering Red-Tailed Hawks. *The Wilson Bulletin*, 93, 350–356. Wilson Ornithological Society.
- REDON, M. & LUQUE, S. (2014) Presence-only modelling for indicator species distribution: biodiversity monitoring in the French Alps.
- ROUILLIER, P. & POUVREAU, O. (1995) Notes sur le statut de l'Aigle botté (*Hieraaetus Pennatus*) en Vendée. *La Gorgebleue -LPO Vendée*, 12.
- SÁNCHEZ-ZAPATA, J. & CALVO, J. (2001) Raptor distribution in relation to landscape composition in semi-arid Mediterranean habitats. *Journal of Applied Ecology*, 36, 254–262.
- SÁNCHEZ-ZAPATA, JOSÉ.A. & CALVO, J.F. (1999) Raptor distribution in relation to landscape composition in semi-arid Mediterranean habitats. *Journal of Applied Ecology*, 36, 254–262.
- STEYN, P. & GROBLER, J.H. (1981) Breeding Biology of the Booted Eagle in South Africa. *Ostrich*, 52, 108–118. Taylor & Francis.
- SUÁREZ, S., BALBONTÍN, J. & FERRER, M. (2000) Nesting habitat selection by booted eagles *Hieraaetus pennatus* and implications for management. *Journal of Applied Ecology*, 37, 215–223.
- SUETENS, W. & VAN GROENENDAEL, P. (1969) Notes sur l'écologie de l'aigle de Bonelli (*Hieraaetus fasciatus*) et de l'aigle botte (*Hieraaetus pennatus*) en Espagne meridionale. *Ardeola*, 15, 19–29. EurekaMag.
- SWETS, J.A. (1988) Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science (New York, N.Y.)*, 240, 1285–1293.
- SWITZER, P.V. (1997) Past Reproductive Success Affects Future Habitat Selection. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 40, 307–312. Springer.
- THUREL, J., GRENET, A. & BOULANGER, V. (2012) L'aigle botté et le circaète Jean-le-Blanc en forêt domaniale d'Orléans : Suivi des populations et évaluation de l'impact des coupes de bois sur la reproduction. *Rendez-vous Techniques de l'Office National des Forêts*, Hors Série 6.
- WILEY, J.W. & WILEY, B.N. (1981) Breeding Season Ecology and Behavior of Ridgway's Hawk (*Buteo ridgwayi*). *The Condor*, 83, 132–151. American Ornithological Society.
- WISZ, M. S., HIJMANS, R., LI, J., PETERSON, A., GRAHAM, C., GUISAN, A., ET AL. (2008) Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions*, 14, 763–773

ANNEXES

Nidification possible	
1	Espèce observée durant la saison de reproduction dans un habitat favorable à la nidification
2	Mâle chanteur (ou cris de nidification) en période de reproduction
Nidification probable	
3	Couple observé dans un habitat favorable durant la saison de reproduction
4	Comportement territorial (chant, querelles avec des voisins, etc.) observé sur un même territoire 2 journées différentes à 7 jours ou plus d'intervalle. Observation simultanée de deux mâles chanteurs ou plus sur un même site
5	Parades nuptiales ou accouplement ou échange de nourriture entre adultes
6	Fréquentation d'un site de nid potentiel (distinct d'un site de repos)
7	Signes ou cris d'inquiétude d'un individu adulte
8	Présence de plaques incubatrices. (Observation sur un oiseau en main)
9	Construction d'un nid, creusement d'une cavité
Nidification certaine	
10	Adulte feignant une blessure ou cherchant à détourner l'attention
11	Nid utilisé récemment ou coquilles vides (oeuf pondu pendant l'enquête)
12	Jeunes fraîchement envolés (espèces nidicoles) ou poussins (espèces nidifuges)
13	Adulte entrant ou quittant un site de nid (incluant les nids situés trop haut ou les cavités et nichoirs, le contenu du nid n'ayant pu être examiné) ou adulte en train de couvrir
14	Adulte transportant des sacs fécaux ou de la nourriture pour les jeunes
15	Nid avec adulte vu couvant ou contenant des œufs
16	Nid avec jeune(s) (vu ou entendu)
Si et seulement si un des cas ci-dessus n'est pas applicable	
30	Nidification possible
40	Nidification probable
50	Nidification certaine
99	Espèce absente malgré des recherches

Annexe 1 : Signification des valeurs du Code Atlas (www.faune-france.org)

Ces codes sont saisis uniquement pendant la période de reproduction de l'espèce (via l'application "NaturaList" ou directement sur le portail Faune-France).

Annexe 2 : Calendrier des opérations pour le suivi 2023 de l'Aigle botté

Mois de l'année	Calendrier des opérations				
	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
Passage	1^{er} Passage		2^e Passage	3^e Passage	
Période de passage	mi avril à mi mai		juin	mi juillet à mi août	
Intérêt du passage	Parades nuptiales et construction du nid		Vérification du cantonnement	Nourrissage et envol des jeunes	
Durée du point d'observation	3h		3h	3h	
Modalité des passages	A réaliser pour tous les sites		A réaliser uniquement pour les sites où un individu a été contacté lors du Passage 1*	A réaliser pour tous les sites	

*Compte tenu des moyens humains et de la limite de temps disponible pour cette étude

FICHE SUIVI AIGLE BOTTÉ 2023



Organisme : Observateur : Date :

DONNÉES GÉNÉRALES DU SITE

Nom du site :		ZPS :	Type d'habitat :	H début	H fin
Commune/Lieu-dit :					
Coordonnées géographiques	Long :	Conditions météo	Visibilité :	Passage N°	
	Lat :		Température :		
	Altitude :		Vent (km/h) :		

DONNÉES AIGLE BOTTÉ

Nb indiv et heures de contact	Morphe (sexe/âge)	Indice nidif (1 à 9)	Comportements observés
1	H début		
	H fin		
2	H début		
	H fin		

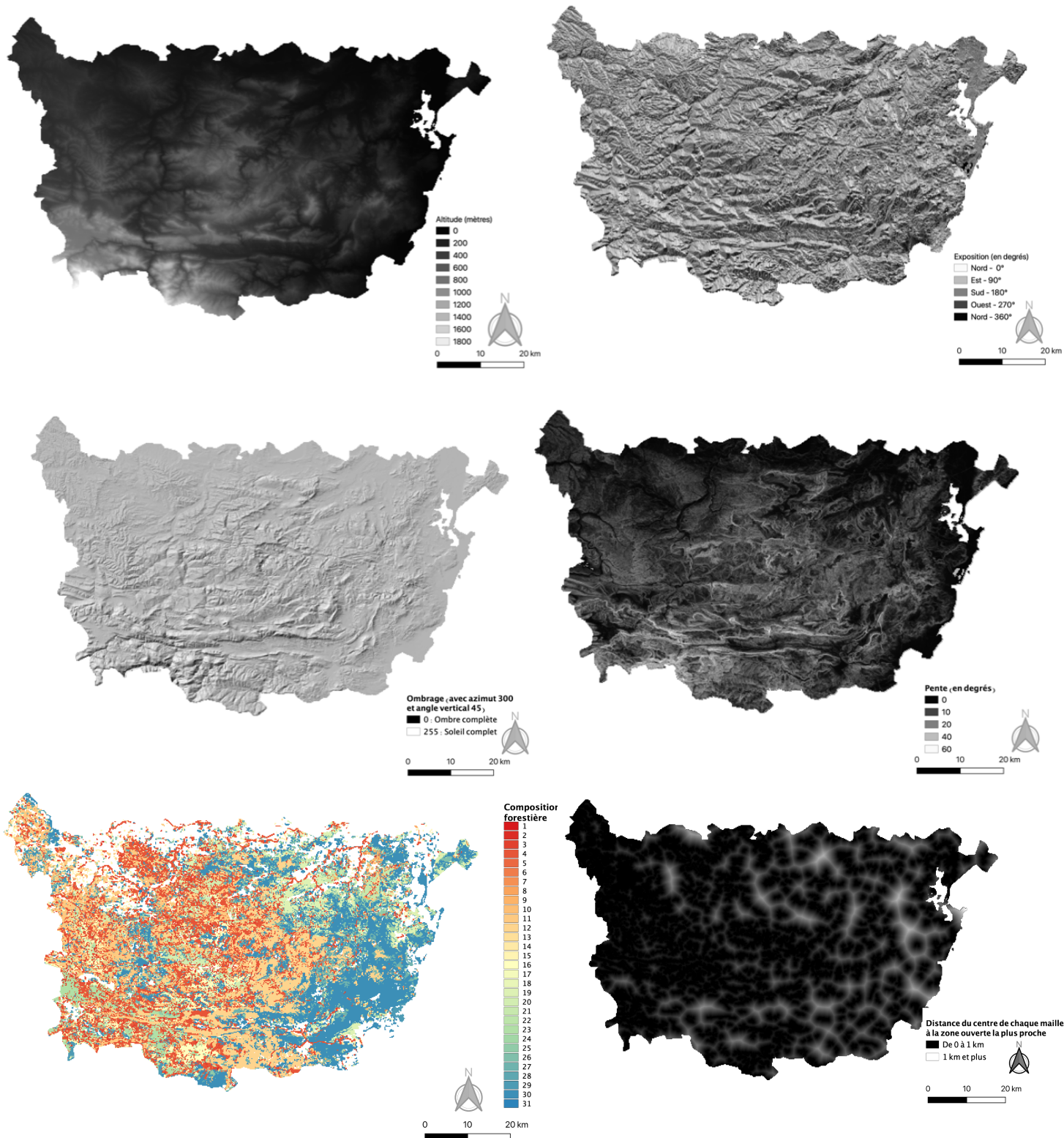
DONNÉES HABITAT ET LOCALISATION DE L'AIRE

Type de végétation	Distance de l'aire/pt d'obs	Orientation (N/S/E/O)	Déclivité du site	Essence arbre porteur	Remarque :
Présence/absence et distance	Traces travaux forestiers	GR/route/piste	Poste de chasse	Lignes électriques	Autre :

REMARQUE :

Annexe 4 : Signification des 31 classes composant la variable catégorielle de la composition forestière "Forêt", données issues de BD FORÊT® V2 (©Geoservices)

1	Forêt fermée à mélange d'autres conifères
2	Forêt fermée à mélange de conifères
3	Forêt fermée à mélange de conifères prépondérants et feuillus
4	Forêt fermée à mélange de feuillus
5	Forêt fermée à mélange de feuillus prépondérants et conifères
6	Forêt fermée à mélange de pins purs
7	Forêt fermée d'un autre conifère pur autre que pin
8	Forêt fermée d'un autre feuillu pur
9	Forêt fermée d'un autre pin pur
10	Forêt fermée de châtaignier pur
11	Forêt fermée de chênes décidus purs
12	Forêt fermée de chênes sempervirents purs
13	Forêt fermée de conifères purs en îlots
14	Forêt fermée de douglas pur
15	Forêt fermée de feuillus purs en îlots
16	Forêt fermée de hêtre pur
17	Forêt fermée de mélèze pur
18	Forêt fermée de pin à crochets ou pin cembro pur
19	Forêt fermée de pin d'Alep pur
20	Forêt fermée de pin laricio ou pin noir pur
21	Forêt fermée de pin maritime pur
22	Forêt fermée de pin sylvestre pur
23	Forêt fermée de sapin ou épicéa
24	Forêt fermée sans couvert arboré
25	Forêt ouverte à mélange de feuillus et conifères
26	Forêt ouverte de conifères purs
27	Forêt ouverte de feuillus purs
28	Forêt ouverte sans couvert arboré
29	Formation herbacée
30	Lande
31	Peupleraie



Annexe 5 : Variables environnementales continues d'altitude, d'exposition, d'ombrage, de pente, de distance à la zone ouverte la plus proche et variable environnementale catégorielle de composition forestière, présentées sous format raster, utilisées pour la modélisation avec Maxent. La résolution des mailles de chaque raster est de 200x200 mètres.

Annexe 6 : Bilan des sites prospectés pour le suivi Aigle botté 2023 pour les différents passages, description du morphe et du comportement de l'oiseau (si déterminé).

Les « * » représentent les individus contactés ayant un comportement reproducteur et qui ont permis de définir un indice de reproduction « certain ».

Lors du deuxième passage, pour 4 sites (n°3,1,22 et 26), des rapaces ayant l'allure d'un Aigle botté ont été contactés mais l'identification de l'espèce était incertaine. Par ailleurs, des précipitations sont survenues lors de la réalisation de 2 points d'observations, pour les sites 15 et 16) qui ont donc dû être écourtés. Pour ces sites mentionnés, un deuxième passage a exceptionnellement été effectué.

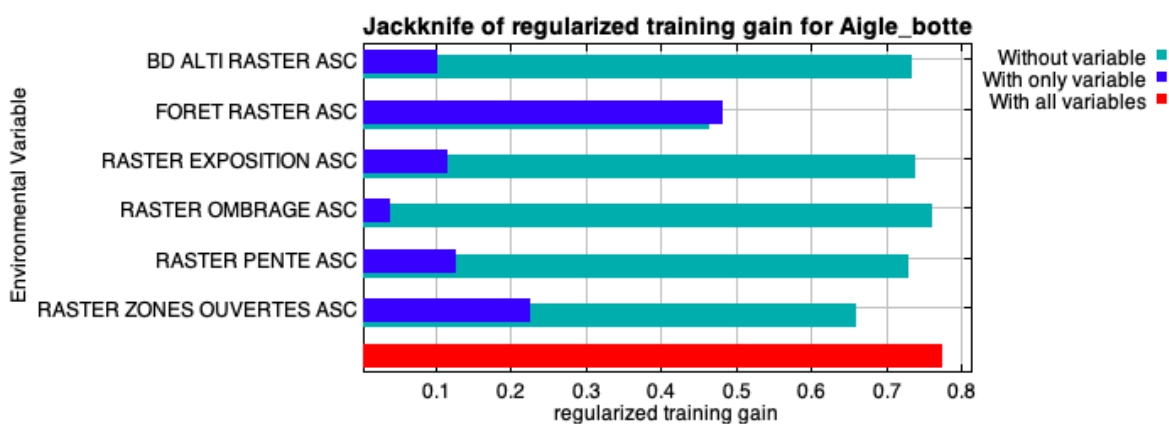
N°site	Commune/Lieu-dit du site d'intérêt	Date P1	Résultat P1	Date P2	Résultat P2	Date P3	Résultat P3
28	Bouisse – Plan Dounat	20/04	1 clair, en chasse : prédation Passereau	02/06	RAS	20/07	Au moins 3 individus clairs, en chasse et en transit
35	Valmigière-Pech Bourel	20/04	1 clair, en chasse	15/06	1 clair	18/07	1 clair, observation furtive
33	Termes – Col Caroun	27/04	RAS	-	-	20/07	RAS
24	Rennes-les-bains - Château Blanchefort	02/05	2 sombres et 1 clair, en transit, haut en altitude	16/06	RAS	11/08	RAS
23	Rennes-le-château – Pech de la Roque	02/05	RAS	-	-	26/07	RAS
36	Vignevielle – Château de Durfort	04/05	RAS	-	-	27/07	RAS
27	Mouthoumet – Château de Bagaza	17/05	RAS	-	-	21/07	RAS
26	Véraza-Pech d'Al Bouich	17/05	1 rapace indéterminé, visibilité médiocre	14/06	1 sombre, en chasse	08/08	1 clair et 1 sombre (couple)*, en chasse : prédation Colombidae, 1 sombre et 2 clairs
37	Coustaussa – le Siala	24/05	1 clair, en chasse	16/06	1 clair*	26/07	1 clair*, prédation insecte
25	Serres – Roc di Quiloutié	24/05	RAS	-	-	11/08	RAS
34	Valmigière- Bois d'Ournes	02/06	1 clair, Observation furtive	15/06	1 clair, en chasse	18/07	1 clair, en chasse
3	Montlaur – la	18/04	RAS	23/06	RAS	02/08	RAS
2	Mayronnes – Figayrolle	07/06	RAS	-	-	10/08	RAS
21	Saint-Paul-de-Fenouillet-Serre de l'Artigue del Baurien	12/05	RAS	-	-	01/08	RAS
18	Prugagnes – el Singla	12/05	RAS	-	-	01/08	RAS
20	Soulatgé-Bac de Paza	17/05	RAS	-	-	07/08	1 clair, en transit, haut en altitude
15	Bugarach- la prade	06/06	RAS, Point d'observation écourté	19/06	RAS	02/08	1 clair*, en chasse : prédation serpent
16	Bugarach – les plégadous	06/06	RAS, Point d'observation écourté	19/06	RAS	02/08	RAS
19	Camps-sur-l'Agly – les mathibets	06/06	RAS	-	-	02/08	1 clair, en chasse
17	Cubières-sur-Cinoble- Roquegude	06/06	RAS	-	-	02/08	1 clair, en chasse
12	Quintillan – Saint Martin	19/04	RAS	-	-	19/07	RAS
10	Albas – Roque Blanche	19/04	RAS	-	-	27/07	RAS
13	Saint Laurent de la Caberise – Pech Muse	26/04	RAS	-	-	08/08	RAS
11	Cascastel-des-Corbières-Coume de Maliès	27/04	1 clair, en chasse	09/06	RAS	17/07	RAS
22	Paziols – le faussigné	05/05	1 rapace indéterminé, observation furtive	20/06	RAS	28/07	RAS
32	Montgaillard – Col de Boussac	09/05	RAS	-	-	08/08	RAS
31	Massac – Roc de Matefagine	26/05	RAS	-	-	08/08	RAS

Annexe 7 : Distance des zones comprenant les sites de nidification des DOCOB à la zone ouverte la plus proche, correspondant aux codes Corine Land Cover suivants : 242 (Systèmes cultureux et parcellaires complexes) ; 243 (Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants) ; 321 (Pelouses et pâturages naturels) ; 231 (Prairies); 321 (Pelouses et pâturages naturels). La distance à l'aire identifiée a été calculée dans un rayon de X mètres à vol d'oiseau

ZPS	Hautes Corbières						Corbières Occidentales		
	Site	24	37	27	23	26	25	1	2
Distance (mètres)		980	650	600	630	870	800	380	770

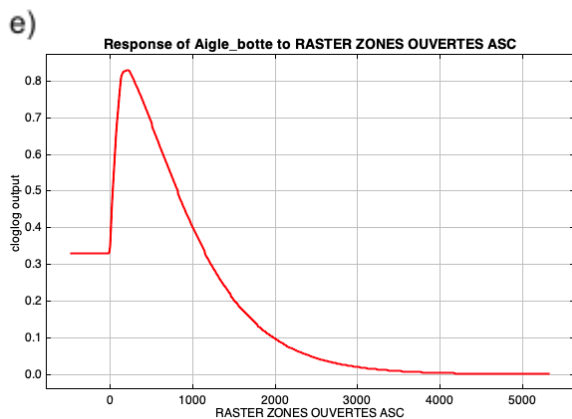
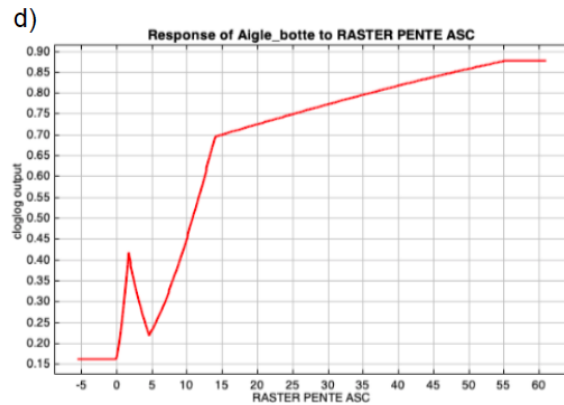
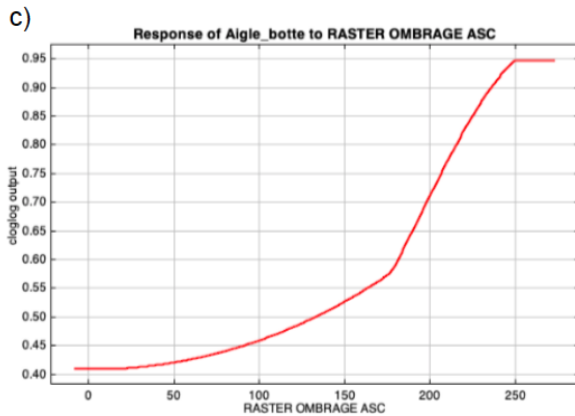
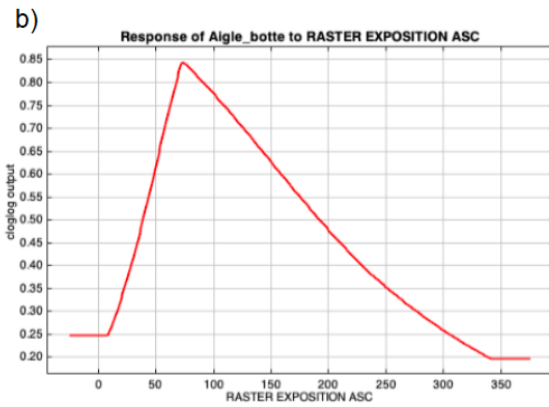
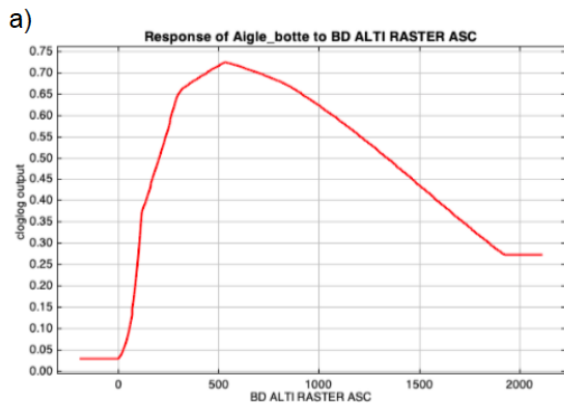
Annexe 8 : Contributions relatives et importance de la permutation (en %) des variables environnementales utilisées dans le modèle de prédiction des habitats favorables à la nidification de l'Aigle botté.

Variables environnementales	Pourcentage de contribution	Importance de la permutation
Forêt	57	46.8
Zones ouvertes	17.2	22.5
Pente	13.6	11.1
Exposition	9.2	11.4
Altitude	2.4	7.1
Ombrage	0.6	1.1



Annexe 9 : Résultats du test Jackknife sur la contribution des variables sélectionnées à la prédiction des habitats favorables à la nidification de l'Aigle botté.

Pour chaque variable, la barre turquoise montre de combien le gain total est diminué si cette variable spécifique est exclue de l'analyse. La barre bleue montre le gain obtenu si cette variable est utilisée isolément. La barre rouge représente le gain obtenu en introduisant toutes les variables. Ce « gain » est en général une indication de la qualité de l'ajustement du modèle. Un gain élevé pour une variable particulière signifie donc que cette variable a une plus grande valeur prédictive.



Annexe 10 : Courbes de réponse illustrant la relation entre la probabilité d'occurrence prédite par MaxEnt et les quatres autres variables environnementales

En Y l'estimation entre 0 et 1 de la présence d'habitats favorables à la nidification de l'Aigle botté et X les variations d'altitude (a); d'exposition (b); d'ombrage (c); de pente (d) et de distance à zones ouvertes (e).