



HAL
open science

Étude des paramètres influençant le choix du site de nidification chez le Busard cendré (*Circus pygargus*): le cas des milieux semi-naturels en Aveyron

Fabien Verniest

► To cite this version:

Fabien Verniest. Étude des paramètres influençant le choix du site de nidification chez le Busard cendré (*Circus pygargus*): le cas des milieux semi-naturels en Aveyron. *Ecologie, Environnement*. 2015. dumas-01298686

HAL Id: dumas-01298686

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01298686>

Submitted on 8 Mar 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Année universitaire : 2014 - 2015

Spécialité :

Ingénieur Agronome

Spécialisation (et option éventuelle) :

Génie de l'Environnement – Option
Préservation et Aménagement des Milieux,
Ecologie Quantitative

Mémoire de Fin d'Études

- d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

CONFIDENTIEL

Etude des paramètres influençant le choix du site de nidification chez le Busard cendré (*Circus pygargus*) : Le cas des milieux semi-naturels en Aveyron

Par : Fabien VERNIEST



Soutenu à Rennes

le 17/09/2015

Devant le jury composé de :

Président : Didier LE CŒUR

Maître de stage : Viviane LALANNE-BERNARD (absente)

Enseignant référent : Yannick OUTREMAN

Autres membres du jury :

Alain BUTET (UMR CNRS ECOBIO)

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Illustration de la couverture : Busard cendré mâle. Photographie : Lee Ouzman ©

Fiche de confidentialité et de diffusion du mémoire

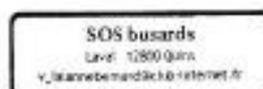
Confidentialité :

Non Oui si oui : 1 an 5 ans 10 ans

Pendant toute la durée de confidentialité, aucune diffusion du mémoire n'est possible⁽¹⁾.

A la fin de la période de confidentialité, sa diffusion est soumise aux règles ci-dessous (droits d'auteur et autorisation de diffusion par l'enseignant).

Date et signature du maître de stage⁽²⁾ : le 3/09/2015



Droits d'auteur :

L'auteur⁽³⁾ autorise la diffusion de son travail

Oui Non

Si oui, il autorise

la diffusion papier du mémoire uniquement⁽⁴⁾

la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

la diffusion papier et électronique du mémoire (joindre dans ce cas la fiche de conformité du mémoire numérique et le contrat de diffusion)

Date et signature de l'auteur :

Autorisation de diffusion par le responsable de spécialisation ou son représentant :

L'enseignant juge le mémoire de qualité suffisante pour être diffusé

Oui Non

Si non, seul le titre du mémoire apparaîtra dans les bases de données.

Si oui, il autorise

la diffusion papier du mémoire uniquement⁽⁴⁾

la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

la diffusion papier et électronique du mémoire

Date et signature de l'enseignant :

(1) L'administration, les enseignants et les différents services de documentation d'AGROCAMPUS OUEST s'engagent à respecter cette confidentialité.

(2) Signature et cachet de l'organisme

(3) Auteur = étudiant qui réalise son mémoire de fin d'études

(4) La référence bibliographique (= Nom de l'auteur, titre du mémoire, année de soutenance, diplôme, spécialité et spécialisation/Option) sera signalée dans les bases de données documentaires sans le résumé

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Viviane Lalanne-Bernard pour m'avoir encadré et guidé avec patience tout au long de mon stage ainsi que pour les connaissances qu'elle m'a apportées en ornithologie et plus particulièrement sur les Busards. Merci à Yves pour ces longues discussions sur des thèmes aussi variés qu'intéressants ainsi que pour m'avoir conseillé et prêté d'excellents livres.

Merci à Pascal et Christiane De Becker qui m'ont accueilli chaleureusement dans le sud Aveyron lors de la première phase de prospection et qui m'ont transmis leurs observations.

Je remercie Jean-Luc Bigorne de l'ALEPE (Association Lozérienne pour l'Etude et la Protection de l'Environnement) qui m'a fourni des données sur les sites de nidification de Busards cendrés en Lozère.

J'aimerais également remercier les stagiaires Sarah, Laura et Manon, qui m'ont apporté une aide précieuse ainsi qu'une agréable compagnie sur le terrain lors de la phase d'acquisition de données et des différents suivis. Merci aussi à Céline Kowalczyk qui m'a fourni des commentaires pertinents et décalés lors de sa relecture du rapport.

Merci à Bernard Ricau pour nous avoir transmis ses connaissances sur l'historique de nidification du Busard cendré et partagé son savoir naturaliste.

J'aimerais remercier le Parc Naturel Régional des Grands Causses et plus particulièrement Laure Jacob et Jérôme Bussière pour m'avoir accueilli dans les locaux du Parc et pour m'avoir fourni leur outil cartographique.

Un grand merci à Beatriz Arroyo qui m'a aidé à régler le problème de multi-colinéarité lors de la phase d'analyse de données.

Enfin je tiens à remercier Yannick Outreman, mon tuteur de stage, qui a su répondre avec précision et rapidité à mes diverses interrogations.

Table des matières

Remerciements

Table des matières

Avant-propos

Table des Figures

Table des Tableaux

Liste des Sigles et Abréviations

Introduction	1
Matériel et méthodes	2
1. Espèce étudiée :	2
2. Description de la zone d'étude :	4
3. Choix des sites :	4
4. Choix des paramètres mesurés :	6
5. Analyses des données :	10
Résultats	10
1. Suivi de la reproduction :	10
2. Etude de l'emplacement du nid :	12
3. Etude du site :	12
4. Etude du Paysage :	16
Discussion	19
1. Interprétation des résultats :	20
2. Applications à la conservation de l'espèce :	24
3. Limites de l'étude :	25
Conclusion	27
Bibliographie	28
Sitographie	32
Table des Annexes	
Annexes	

Avant-propos

Mon stage de fin d'études a été réalisé au sein de l'association SOS Busards, créée en 2009 et qui a pour objectif la sauvegarde du Busard cendré et Saint-Martin en Aveyron (seules ces deux espèces de busards y sont nicheuses). Elle compte actuellement une cinquantaine d'adhérents, dont des naturalistes et des agriculteurs. Ses diverses actions peuvent être classées en trois catégories :

- Les actions favorisant la reproduction des busards, par la protection des nids installés en cultures et par la préservation des milieux naturels et semi-naturels utilisés pour la nidification. Diverses méthodes de gestion peuvent être proposées et mises en œuvre lorsque les milieux ne peuvent être préservés.
- Les actions de sensibilisation, communication et d'information auprès du grand public, des agriculteurs et des acteurs du territoire (ONCFS, Parc National des Cévennes, DDT, communes ...)
- Les actions permettant l'amélioration des connaissances sur ces deux espèces : participation aux programmes de recherche menés par le Centre d'Etudes Biologiques de Chizé (CNRS) et lancement d'études à l'échelle du département voire nationale (écotoxicologie, problème de non éclosion des œufs, analyse d'habitats hors-culture, suivi des dortoirs et de la reproduction) *via* l'action de bénévoles et l'accueil de stagiaires de divers niveaux d'études.

Bien que récente, l'association possède une réelle expérience et expertise dans la protection des busards, notamment grâce à sa présidente et fondatrice qui œuvre pour la sauvegarde des deux espèces depuis plus de 30 ans. SOS Busards, très active dans le réseau Busards national, est le référent régional pour la sauvegarde de ces deux espèces.

Table des Figures

<u>Figure 1</u> : Busard cendré mâle.....	3
<u>Figure 2</u> : Busard cendré femelle.....	3
<u>Figure 3</u> : Carte des entités paysagères du département de l'Aveyron.....	5
<u>Figure 4</u> : Site utilisé pour la reproduction du Busard cendré lors de la saison 2009.....	6
<u>Figure 5</u> : Phénologie de reproduction des différents nids suivis lors de la saison 2015.....	11
<u>Figure 6</u> : <i>Pourcentage d'espèces épineuses et Hauteur moyenne</i> du site et à l'emplacement du nid.....	12
<u>Figure 7</u> : Variabilité de l' <i>Altitude</i> et de la <i>Pente</i> en fonction de la variable <i>Nidification</i>	13
<u>Figure 8</u> : Densité de perchoirs des sites de nidification et des sites témoins.....	13
<u>Figure 9</u> : Variabilité des variables <i>Densité de la strate arbustive, Hauteur moyenne, Hauteur maximale et Hauteur de la strate buissonnante</i> en fonction de la variable <i>Nidification</i>	14
<u>Figure 10</u> : Distribution du <i>Degré de Fermeture</i> en fonction de la variable <i>Nidification</i>	15
<u>Figure 11</u> : Variabilité de quatre variables de composition de la végétation en fonction de la variable <i>Nidification</i>	15
<u>Figure 12</u> : Variabilité du <i>Nombre de patches, Indice de Shannon, Distance à la route la plus proche et Distance à l'ouvrage anthropique le plus proche</i> en fonction de la variable <i>Nidification</i>	17
<u>Figure 13</u> : Représentation graphique du modèle retenu : Probabilité de Nidification en fonction de la distance à l'ouvrage anthropique le plus proche.....	18
<u>Figure 14</u> : Extrapolation des modèles retenus sur les variables paysagères à l'ensemble du territoire du PNR des Grands Causses.....	19

Table des Tableaux

<u>Tableau 1</u> : Modèle retenu pour les variables d'occupation du sol.....	16
<u>Tableau 2</u> : Modèles retenus pour les variables paysagères autres que l'occupation du sol....	18

Liste des Sigles et Abréviations

ACP : Analyse en Composantes Principales

AIC : Akaike Information Criterion (Critère d'Information d'Akaike)

APPB : Arrêté Préfectoral de Protection de Biotope

CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique

DDT : Direction Départementale des Territoires

GLM : Generalized Linear Model (Modèle Linéaire Généralisé)

ONCFS : Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage

PAC : Politique Agricole Commune

PNR : Parc Naturel Régional

RNR : Réserve Naturelle Régionale

VIF : Variance Inflation Factor

Introduction

Au cours de la seconde moitié du XX^{ème} siècle, l'Europe sous l'impulsion de la Politique Agricole Commune, a modernisé son agriculture en l'intensifiant et en augmentant les surfaces agricoles afin d'assurer son autosuffisance alimentaire et diminuer la pauvreté (Donald *et al.*, 2002 ; Doussan and Dubois, 2007). Mais cette modernisation ne s'est pas faite sans dommages, notamment pour la biodiversité qui a vu le nombre d'espèces menacées augmenter (Scharlemann *et al.*, 2005) et les communautés liées au milieu agricole chuter (Firbank *et al.*, 2008 ; Stoate *et al.*, 2001). En effet, la PAC a entraîné trois processus majeurs : la conversion de milieux naturels en terres arables couplée à l'abandon des terres peu productives, la perte en diversité et en complexité des paysages ruraux et la mise en place de nouvelles méthodes de gestion des cultures : mécanisation, utilisation d'engrais et de pesticides, drainage, simplification des cultures et des rotations etc ... (Firbank *et al.*, 2008 ; Guerrero *et al.*, 2012). Ces trois mécanismes ont engendré entre autres la perte d'habitats, l'eutrophisation des milieux, le déclin des communautés liées aux milieux humides, la perte de diversité et une forte compétition entre espèces (Firbank *et al.*, 2008 ; Stoate *et al.*, 2001).

Si l'avifaune a particulièrement été affectée par cette évolution de l'agriculture, les oiseaux liés aux milieux agricoles se sont vus encore plus menacés que leurs pairs associés à d'autres milieux. En effet, on constate une diminution des effectifs pour la plupart de ces espèces en Europe et dans la majorité des scénarios à venir, cette tendance ne devrait pas s'inverser (Chiron *et al.*, 2013 ; Donald *et al.*, 2001, 2006). Cette diminution des populations serait principalement liée à l'échec de reproduction ainsi qu'à la diminution en quantité et/ou en qualité des ressources alimentaires (Butler *et al.*, 2010).

Alors que le Busard cendré nichait autrefois en milieux naturels ou semi-naturels tels que les steppes, landes, marais, maquis et prairies, il niche désormais principalement en milieu agricole, à cause notamment de la perte de ces habitats ainsi que de la hausse de l'attractivité et de la disponibilité des cultures (Arroyo *et al.*, 2002 ; Limiñana *et al.*, 2006 ; Trierweiler, 2010). En France comme en Aveyron, les effectifs de ce rapace sont en diminution (Bretagnolle and Millon, 2015 ; Nature Midi-Pyrénées *et al.*, 2012) malgré les efforts de conservation entrepris. En effet, ce changement d'habitat est accompagné de diverses menaces, la plus importante étant la destruction des nichées lors des récoltes (Arroyo *et al.*, 2002 ; Koks and Visser, 2002).

Dans le département de l'Aveyron, seulement 25 à 30 % des nids connus sont localisés en milieux de type landes sèches et broussailles, les autres étant construits pour la plupart en prairies de fauche (Lalanne-Bernard, données non publiées). Bien que les nids en milieux hors-culture soient minoritaires, il est essentiel de maintenir ces effectifs car la reproduction y donne de meilleurs résultats qu'en cultures sans nécessiter de moyens humains. De plus, l'Aveyron étant le seul département avec le Tarn à conserver une population nicheuse en Midi-Pyrénées (Nature Midi-Pyrénées *et al.*, 2012), la sauvegarde de ces individus nicheurs en milieux naturels et semi-naturels est primordiale pour la conservation des populations régionales.

Cette étude a donc pour objectif principal l'amélioration des connaissances écologiques du Busard cendré en matière de choix d'habitat de nidification en milieux hors-culture. Les

résultats de ce travail pourraient permettre de déterminer les méthodes de gestion adaptées à l'entretien des sites de nidification et à la restauration d'autres sites *a priori* moins favorables. De plus, il devrait être possible à l'aide de ces résultats d'optimiser les prospections en déterminant à l'avance des zones ou des sites plus propices à la reproduction du Busard cendré.

Deux objectifs secondaires ont pu être réalisés. Le premier était d'essayer de localiser de nouveaux sites de nidification dans les milieux concernés, ce que la structure d'accueil n'a pas les moyens de réaliser puisqu'elle focalise une grande partie de ses efforts sur la détection et la protection des nids en cultures. En effet ces derniers sont prioritaires puisque menacés par le passage d'engins agricoles lors des fauches et des moissons. En outre, le suivi de reproduction des nids en milieux naturels et semi-naturels a permis d'atteindre un dernier objectif qui était d'affiner l'estimation de la population nichant dans ces milieux ainsi que d'évaluer les différents paramètres de reproduction des individus suivis.

De nombreux articles scientifiques évaluent l'effet de divers paramètres sur la nidification du Busard cendré. La végétation est souvent étudiée à l'emplacement du nid, de même que les caractéristiques morphologiques et botaniques des sites de nidification. A l'échelle du paysage, l'occupation du sol, la densité de proies ainsi que les effets du dérangement anthropique sont généralement analysés. Enfin ce sont les facteurs sociaux et climatiques qui sont pris en compte à l'échelle régionale. Toutefois la plupart de ces études se situent dans un contexte bien différent puisqu'elles ne concernent pas les mêmes milieux que ceux étudiés dans ce mémoire et/ou ne sont pas situées en France.

Au cours de cette étude, nous nous sommes efforcés de répondre à la question suivante : « Quels paramètres influencent le choix du site de nidification chez le Busard cendré dans les milieux de type landes et broussailles ? ». Pour ce faire, diverses caractéristiques des sites de nidification ont été comparées à celles de sites témoins, sans nidification avérée.

Afin d'étudier l'emplacement exact du nid, nous nous sommes aussi demandé « Selon quels paramètres les emplacements des nids diffèrent-ils de l'ensemble du site ? »

Matériel et méthodes

1. Espèce étudiée :

Le Busard cendré (*Circus pygargus*) est un rapace diurne appartenant à l'ordre des Accipitriformes et à la famille des Accipitridés, famille à laquelle la majorité des rapaces diurnes appartient (aigles, éperviers, milans, buses et vautours). D'une envergure située entre 97 et 115 cm, ce rapace mince aux ailes étroites et pointues possède une silhouette fine, légère et élégante. Si le mâle arbore un plumage gris aux pointes et barres allaires des rémiges secondaires noires (Figure 1), la femelle elle, plus grosse que le mâle, présente une couleur brune dessus, chamois rayé dessous avec un croupion blanc (Figure 2).

Présent principalement dans le Paléarctique Occidental à partir du mois d'avril lorsque débute sa période de reproduction, il migre ensuite de mi-août à fin-septembre vers ses sites d'hivernage situés en Afrique sub-Saharienne et en Inde (Géroutet, 1979). Son régime alimentaire est composé de rongeurs, lagomorphes, oiseaux (petits passereaux et œufs), insectes (essentiellement des Orthoptères) et petits reptiles (Leroux, 2004).



Figure 1 : Busard cendré mâle
Photographie : Didier Collin ©



Figure 2 : Busard cendré femelle
Photographie : Mathias Schäf ©

Toutefois ce régime est variable en fonction de la zone géographique et des conditions locales, ce qui amène à considérer le Busard cendré comme un prédateur spécialiste opportuniste, capable de se spécialiser dans la chasse d'une seule espèce proie en fonction de son abondance et du calendrier du cycle de reproduction (Arroyo, 2008 ; Leroux, 2004). Sur notre zone d'étude, les campagnols terrestres (*Arvicola terrestris*) et campagnols des champs (*Microtus arvalis*) constituent sa ressource alimentaire principale (Lalanne-Bernard, données non publiées).

Nichant au sol, ce rapace apprécie les formations végétales basses naturelles et semi-naturelles telles que les landes, steppes, prairies humides, broussailles, friches, marais, maquis et garrigues (Génsbøl *et al.*, 2005 ; Ministère en charge de l'écologie and MNHN, 2008). Toutefois la diminution de ces milieux couplée à la hausse de l'attractivité et de la disponibilité des cultures a entraîné un changement d'habitat chez cette espèce, qui niche désormais principalement en cultures de céréales d'hiver (blé, orge), ainsi qu'en cultures de graminées (ray-grass, dactyle, féтуque), oléagineux (colza) et légumineuses (luzerne) (LPO Mission Rapaces, 2007 ; Thiollay *et al.*, 2004). Considéré comme semi-colonial, il niche souvent en micro-colonies lâches.

Ce changement d'habitat s'accompagne de nouvelles menaces pour sa conservation : lors des récoltes en France et en Espagne, 60 % des nids sont encore occupés en moyenne, menaçant ainsi les oisillons (ainsi que les femelles lorsque les récoltes sont précoces) (Arroyo *et al.*, 2002 ; Koks and Visser, 2002). A ce risque de destruction des nichées, d'autres menaces s'ajoutent, comme l'utilisation des produits phytosanitaires, les conditions météorologiques, la prédation (Génsbøl *et al.*, 2005), la diminution de la quantité et de la diversité des proies (Butet and Leroux, 2001 ; Koks *et al.*, 2007), ainsi que le risque de compétition avec le Busard Saint-Martin (*Circus cyaneus*) (Millon *et al.*, 2002).

La population européenne, estimée entre 35 000 et 65 000 individus, semble toutefois stable voire même croissante selon les sources (Donald *et al.*, 2006 ; Sanderson *et al.*, 2006). Toutefois les effectifs russes qui sont intégrés dans ces résultats et considérés en augmentation (Rocamora *et al.*, 1999 ; BirdLife International, 2004), sont en général écartés car ils seraient mal estimés. Dans la plupart des autres pays européens, les effectifs des populations sont en baisse.

En France, sa population est légèrement en diminution ([Bretagnolle and Millon, 2015](#)) malgré les efforts de conservation entrepris, et constitue une des plus importantes européennes, avec une estimation de 3 900 à 5 100 couples nicheurs ([Thiollay et al., 2004](#)). En Midi-Pyrénées, seuls les départements du Tarn et de l'Aveyron sont encore concernés par une population nicheuse de cette espèce qui y est en déclin ([Nature Midi-Pyrénées et al., 2012](#)).

Comme tous les rapaces, le Busard cendré est protégé en France selon la loi sur la protection de la Nature de 1976. Il figure de plus en Annexe 1 de la Directive « Oiseaux » et en Annexe 2 de la convention de Berne ([LPO Mission Rapaces, 2011](#)). Enfin à l'échelle mondiale, le Busard cendré est protégé par la convention de Bonn et par la CITES. En France, son statut est passé de « A surveiller » ([Rocamora et al., 1999](#)) à « Vulnérable » en une dizaine d'années alors qu'il est considéré comme « Préoccupation mineure » au niveau mondial ([UICN France et al., 2011](#)).

2. Description de la zone d'étude :

La totalité des sites étudiés sont situés en Aveyron, département de la région Midi-Pyrénées, dans le Sud de la France. 5^{ème} département de France métropolitaine en superficie, l'Aveyron est composé de 8 régions naturelles et de trois bassins hydrographiques principaux, lui conférant une diversité de paysages et de milieux naturels (Figure 3). Cette diversité est due aux diverses influences climatiques : océaniques, continentales et méditerranéennes, associées à des altitudes comprises entre 144 et 1 463m. Trois cours d'eau principaux traversent le département : le Lot, l'Aveyron et le Tarn ([Chambre d'Agriculture de l'Aveyron, 2010](#)). Le Parc Naturel Régional des Grands Causses, créé en 1995, couvre le tiers Sud-Est du département et abrite les causses, de vastes plateaux calcaires séparés par de profondes vallées et recouverts de pelouses steppiques, liées à l'agropastoralisme depuis le Moyen-Âge ([Syndicat Mixte du Parc Naturel Régional des Grands Causses](#)).

L'agriculture est très présente en Aveyron, avec 10 % des emplois (contre 2,4 % en France) et presque 60 % du territoire en surface agricole utile ([Chambre d'Agriculture Midi-Pyrénées, 2012](#)). L'élevage y est prédominant, notamment en bovins lait et viande ainsi qu'en ovins (1^{ère} production nationale de lait de brebis). De nombreux labels de qualité y sont associés : Roquefort, Laguiole, Cantal, Bleu des Causses, Bœuf fermier de l'Aubrac, Agneaux de l'Aveyron, etc ... Les exploitations en grandes cultures restent plus rares, de même que les cultures fruitières et la viticulture, très localisées.

3. Choix des sites :

La plupart des sites de reproduction connus en milieu hors-culture en Aveyron étant situés sur le territoire du Parc Naturel Régional des Grands Causses, il a été décidé de mener l'étude principalement sur cette zone. Cette décision a été motivée de surcroît par la mise à disposition (aux conditions de la licence [Open Database License](#)) de la carte d'occupation du sol de ce territoire ([Courmont et al., 2013](#)) par la structure gestionnaire du Parc. A l'aide de cette carte, il a de plus été possible de déterminer de nouvelles zones de prospection, venant s'ajouter à la dizaine de sites déjà connus.

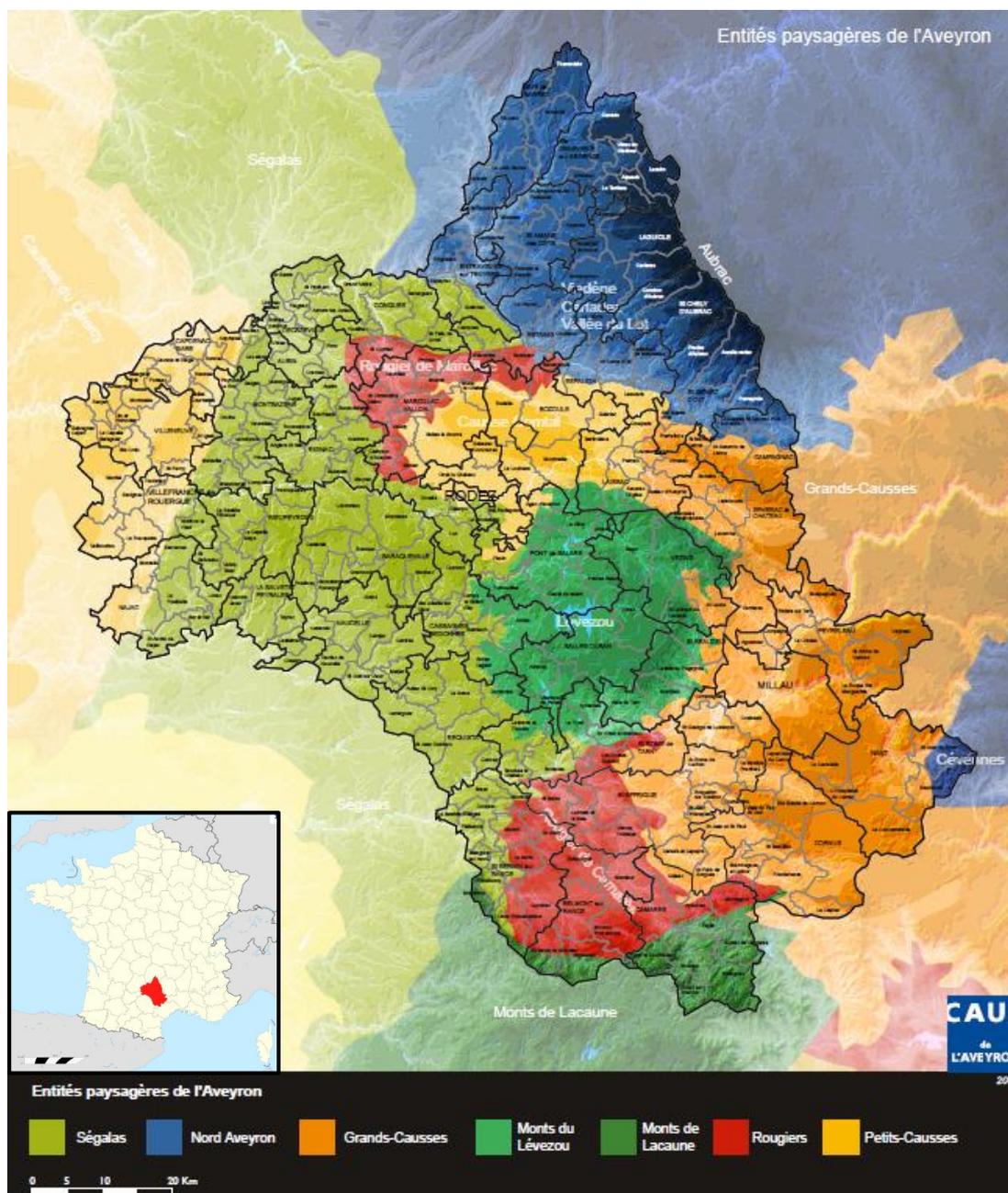


Figure 3 : Carte des entités paysagères du département de l'Aveyron (d'après <http://paysageaveyron.fr/entites-paysageres-de-l-aveyron/> et [https://fr.wikipedia.org/wiki/Aveyron_\(d%C3%A9partement\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Aveyron_(d%C3%A9partement)))

En Aveyron, les milieux naturels et semi-naturels utilisés pour la reproduction du Busard cendré sont principalement des milieux de type landes sèches et friches embroussaillées (Leroux, 2010), composés d'espèces comme le genêt à balais (*Cytisus scoparius*), la callune (*Calluna vulgaris*), la Fougère-aigle (*Pteridium aquilinum*) ou encore la ronce commune (*Rubus fruticosus*) (Figure 4). Il a ainsi été décidé de choisir uniquement des sites apparaissant sur la carte d'occupation du sol dans la catégorie *Landes et Broussailles* définie ainsi : « formations végétales basses et fermées, composées principalement de buissons, d'arbustes et de plantes herbacées dont le taux de couverture est supérieur à 30% et le taux de ligneux haut inférieur à 30% (bruyères, ronces, genêts, ajoncs, cytises, buis, etc.) » (Courmont *et al.*, 2013). Les milieux appartenant à cette catégorie représentant 231 km² pour un total de 9 567 patches, il a fallu limiter le nombre de sites de prospection éventuels. Les principaux sites connus de nidification hors-culture ayant une surface supérieure à cinq hectares, les patches de taille inférieure à cette valeur ont été retirés, divisant ainsi par 10 le nombre de patches

possibles. De même, les sites ayant une exposition Nord ont été retirés, les autres orientations semblant favorisées. Toutefois quelques sites dont la végétation semblait intéressante et qui ont été trouvés pendant la phase de prospection dérogent à cette règle. Pour des raisons logistiques et stratégiques, nous avons en général privilégié la prospection de sites situés à proximité des secteurs de nidification connus.



Figure 4 : Site utilisé pour la reproduction du Busard cendré lors de la saison 2009
Photographie : Fabien Verniest ©

Au cours du mois de mai, la première phase de prospection a tout d'abord permis de s'assurer que les milieux des sites sélectionnés correspondaient bien aux milieux recherchés et ensuite de déterminer la présence ou l'absence de busard(s) sur les 58 sites visités. Le choix du site de nidification ainsi que l'appariement ayant lieu à cette période, des observations de deux heures maximum suffisaient à détecter du mouvement sur les zones prospectées. Lors d'une seconde phase de prospection au mois de juillet, nous sommes revenus sur la trentaine de sites conservés après la première phase, afin de confirmer l'absence de nidification observée au mois de mai ou suivre les nouveaux nids le cas échéant. Le choix des sites témoins a été réalisé parmi les 28 sites prospectés en Juillet et est détaillé dans les paragraphes suivants et en Annexe I.

4. Choix des paramètres mesurés :

L'ensemble des paramètres mesurés ainsi que leurs méthodes de mesures est résumé en Annexe II.

a. Paramètres de reproduction :

Pour déterminer quels sites de nidification étaient favorables à la reproduction et les comparer entre eux, nous avons relevé différents paramètres pour chaque nid. Ces paramètres sont

attribués à un nid et non à un couple car il arrive qu'un mâle soit polygame. Nous avons ainsi déterminé la *Productivité d'un nid*, égale au nombre total de juvéniles à l'envol, ainsi que le *Succès reproducteur* (il y a succès reproducteur pour un nid si il y a envol d'au moins un juvénile) (Limiñana *et al.*, 2011; Millon *et al.*, 2008). Un paramètre de *Disponibilité alimentaire* a été calculé à partir du nombre d'observations d'apports de proies par le mâle.

Enfin, les observations du comportement des individus sur des durées allant de 2 à 7 heures ont permis d'estimer les dates des différentes phases du cycle de reproduction : *Date de cantonnement* (présence des individus sur le site), *de ponte*, *d'éclosion* et *d'envol des juvéniles*. Toutefois pour certains nids trouvés en cours de période de reproduction, l'ensemble des dates n'a pas pu être estimé.

b. Paramètres pouvant influencer le choix du site de nidification :

Nous avons pu déterminer certains paramètres relatifs à l'emplacement du nid lorsque celui était localisé avec précision. De plus, nous avons considéré des paramètres à l'échelle du site contenant le nid ainsi qu'à l'échelle du paysage environnant.

Etude de l'emplacement du nid

En ce qui concerne les paramètres botaniques, nous avons tout d'abord mesuré la *Hauteur de végétation* à proximité immédiate du nid, paramètre qui paraît essentiel dans le choix de l'emplacement du nid. En effet, plus la hauteur de végétation est importante au niveau du nid, plus le risque d'insolation et de prédation des œufs et des oisillons diminue, ce qui augmenterait ainsi la productivité de chaque couple (Gillis, 2011). En outre, il semblerait qu'à l'endroit exact du nid la hauteur de végétation puisse légèrement différer (plus haute ou plus basse) du reste du milieu (Limiñana *et al.*, 2006 ; Terraube *et al.*, 2010 ; Wiącek, 2009).

La *Densité de végétation* semble jouer elle aussi le même rôle de protection, avec de fortes densités présentes autour du nid (Cormier *et al.*, 2008 ; Terraube *et al.*, 2010 ; Wiącek, 2009). Enfin, la *Composition de la végétation* pourrait aussi avoir son importance, les busards pouvant préférer certaines espèces à d'autres pour leurs caractéristiques plus ou moins défensives par exemple (Garnier, 2011 ; Limiñana *et al.*, 2006). Nous avons ainsi mesuré la proportion d'espèces épineuses présentes dans le relevé.

Les piquets de clôtures, gros rochers ou les arbres morts jouant un rôle important, nous avons de plus déterminé la *Distance au perchoir le plus proche*. En effet ces structures sont utilisées par les busards pour se reposer, surveiller la présence de proies et de prédateurs ainsi que pour manger ou préparer une proie (Franco, 2007 ; Garnier, 2011). Enfin la *Topographie* influe sur la visibilité du nid, sa résistance aux événements météorologiques et sur son exposition au vent et au soleil. Ainsi, selon Géroutet (1979), les busards nichent plus souvent dans les creux de vallées et il a souvent été observé que les nids sont plus à l'abri du vent que l'ensemble du site (Lalanne-Bernard, comm. pers, 2015). L'*Exposition* du nid est elle aussi déterminée.

Etude du site

Un site est défini comme un espace appartenant à la même catégorie d'occupation du sol avec une absence de rupture comme des routes, chemins ou clôtures. Les différents paramètres mesurés à l'emplacement exact du nid (mis à part la *Distance au perchoir le plus proche*) ont

également été déterminés à l'échelle du site afin de comparer les caractéristiques de l'emplacement exact du nid à celles de l'ensemble du site.

De même, le *Degré de fermeture* du milieu paraît être déterminant dans le choix du site de nidification, les busards cendrés préférant des milieux avec une strate arborée peu développée, contrairement au Busard Saint-Martin qui tolère des milieux plus fermés comme les coupes forestières et les clairières (Cormier *et al.*, 2008 ; Franco, 2007 ; Garnier, 2011).

Les caractéristiques physiques et morphologiques du site pourraient elles aussi jouer un rôle dans le choix du site de nidification. La *Surface du site*, par exemple, semble importante. En effet, si un site de grande taille implique une plus grande surface de milieu défensif à traverser pour atteindre le nid, un patch plus petit, lui, sera plus visible et facile à atteindre par les prédateurs. De plus, un patch de grande taille est plus facilement détectable lors de la recherche de sites de nidification par les individus. La *Pente*, tout comme l'*Exposition*, influencent aussi les effets dus au vent et au soleil. L'*Altitude*, elle, agit directement sur les conditions climatiques du site, bien que son rôle en été soit plus faible qu'en hiver (phénomènes d'enneigement, de gel ...). Enfin, la *Densité de perchoirs*, comme dit précédemment, pourrait intervenir dans le choix du site de nidification (Franco, 2007 ; Garnier, 2011). Afin d'évaluer le dérangement du site, la *Proximité immédiate à un chemin* (« Oui » ou « Non ») a été déterminée.

9 sites de nidification (dont 7 ayant accueilli une nidification lors de la saison 2015) ont été comparés à 9 autres sites correspondant au même type de milieu mais n'ayant pas accueilli de nidification. Ces 9 sites témoins ont été choisis parmi la trentaine de sites potentiels en fonction de deux critères : leur proximité à d'autres sites de nidification (pour des raisons logistiques et car il paraissait plus pertinent de prendre des sites proches de sites de nidification) et leur accessibilité pour aller effectuer les relevés (Annexe I).

Etude du paysage

A l'échelle du paysage, plusieurs paramètres nous ont paru pertinents. C'est le cas tout d'abord de la *Composition du paysage*, mesurée par la proportion de chaque type de milieu dans le paysage. De nombreuses études ont en effet montré que le Busard cendré peut avoir des préférences quant au paysage environnant le nid. Il semblerait ainsi que le paysage autour des sites de nidification soit composé de plus de broussailles, friches, céréales et luzerne que les sites non occupés (Limiñana *et al.*, 2011 ; Trierweiler, 2010) alors que les Busards cendrés semblent moins attirés par les zones bâties et les boisements (de Cornulier, 2005). Il paraîtrait en effet assez logique que ce rapace privilégie des secteurs à la fois favorables à la nidification et à la chasse et peu dérangés par l'Homme.

Si ces études ont toutes été réalisées de manière identique, à partir de CORINE Land Cover (Garnier, 2011 ; Limiñana *et al.*, 2008) ou de bases de données agricoles ou forestières (Estrada and Arroyo, 2012), elles diffèrent dans le choix de la surface de paysage analysé, allant d'un rayon de 500 m autour du nid jusqu'à 6,5 km. Le domaine vital de chaque couple étant extrêmement variable en fonction des individus, des milieux et de la disponibilité en proies (Leroux, 2004 ; Trierweiler, 2010), nous avons opté pour un rayon de 2 km autour des nids, distance utilisée dans certaines études (de Cornulier, 2005 ; Garnier, 2011 ; Limiñana *et al.*, 2011). Pour les sites témoins n'ayant pas accueilli de nidification, le rayon de 2 km est tracé à partir du centre du site. La base de données d'occupation du sol du PNR des Grands Causses, plus précise (surface minimale de représentation de 2 500 m²) et plus récente que CORINE Land Cover (European Environment Agency, 2007), a été préférée.

La *Fragmentation du paysage* peut impliquer chez les oiseaux - et pour tout le règne animal en général - une diminution de la qualité d'habitat, et ce par trois effets : la diminution de la taille des patches, les effets de bordure (proximité d'autres milieux moins favorables entraînant la prédation, la compétition etc ...) et l'isolement entre patches d'habitats similaires (Johnson, 2001). Avec les mêmes modalités que pour la composition du paysage, nous avons utilisé le nombre de patches total comme indicateur de fragmentation (Garnier, 2011), indicateur facile à mettre en œuvre. De même, l'*Hétérogénéité du paysage* a été estimée à l'aide d'un indice de Shannon (Shannon and Weaver, 1949 in Peet, 1974), indice de biodiversité classique en écologie qui nous a permis de tenir compte à la fois du nombre de catégories de milieux différentes ainsi que de leur répartition dans le paysage (Trierweiler, 2010).

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log(p_i)$$

Avec :

H' : Indice de biodiversité de Shannon

i : un type de milieu présent dans le rayon de 2 km autour du point

p_i : le rapport entre la surface de milieu i et la surface totale de paysage étudiée

Un indice biologique qui devrait être essentiel dans le choix du site de nidification du Busard cendré est la disponibilité en proies. En effet, les zones de chasse à proximité du nid doivent assurer l'alimentation à la fois du couple et des jeunes. Ainsi, la densité en proies peut influencer fortement les paramètres de reproduction, comme le nombre de jeunes à l'envol, le nombre d'œufs, etc ... (Koks *et al.*, 2007 ; Salamolard *et al.*, 2000) et pourrait donc influencer son installation. La méthode classique d'estimation de la densité de proies est le piégeage de campagnols (de Cornulier, 2005 ; Koks *et al.*, 2007 ; Salamolard *et al.*, 2000 ; Trierweiler, 2004), celui-ci constituant sa proie principale en France et aux Pays-Bas (Butet and Leroux, 2001 ; Koks *et al.*, 2007). Cette méthode n'étant pas réalisable lors de notre étude, nous avons attribué à chaque type de milieu présent dans les 2 km autour du nid deux notes *a priori* : une note de *Densité de proies*, ainsi qu'une note d'*Accessibilité de proies*. En effet, certains milieux présentant une forte hauteur de végétation peuvent abriter de fortes populations de campagnols mais les busards ne peuvent y accéder du fait du fort couvert végétal (de Cornulier, 2005; Lecoustre, 2009). Il faut cependant préciser qu'en cas de faibles densités de campagnols, le Busard cendré qui est un prédateur spécialiste opportuniste est capable de consommer en plus grande quantités d'autres espèces proies plus présentes comme les passereaux, les orthoptères ou les lézards et ainsi assurer un bon succès de reproduction.

Enfin, si l'effet du dérangement anthropique est déjà estimé par la composition du paysage en termes de surface, la *Distance à l'ouvrage anthropique le plus proche* peut elle aussi avoir son importance dans le choix de la zone de nidification (de Cornulier, 2005 ; Estrada and Arroyo, 2012 ; Martínez *et al.*, 1999) de même que la *Distance à la route la plus proche* (Franco, 2007). Enfin, la *Distance à la source en eau la plus proche* pourrait elle aussi être importante lors du choix du site (Garnier, 2011).

L'échantillon pour l'analyse du paysage est composé de 14 sites témoins et de 13 sites ayant eu une nidification avérée en 2015 ou les années précédentes. Ces sites témoins ont été sélectionnés pour leur localisation dans le PNR des Grands Causses (Annexe I).

5. Analyses des données :

a. Méthodes statistiques

L'ensemble des analyses statistiques a été réalisé à l'aide du logiciel R (R Core Team, 2013). Afin d'avoir un premier aperçu des données et de leurs liaisons, nous avons mis en œuvre des méthodes factorielles d'ordination (ACP) à l'aide du package FactoMineR (Husson *et al.*, 2008). Les cercles des corrélations obtenus ainsi que les matrices des corrélations des cofacteurs, nous ont permis de détecter les problèmes de multi-colinéarité dans nos données. Afin de passer outre cette corrélation entre variables explicatives, nous avons sélectionné un plus petit nombre de variables non corrélées entre elles par calcul du VIF (Variance Inflation Factor) (Zuur *et al.*, 2009).

Un modèle linéaire généralisé (GLM) de la famille binomiale est ensuite réalisé avec les variables explicatives sélectionnées et avec pour variable expliquée la variable *Nidification* (modalités « Oui » et « Non »). Afin de sélectionner le meilleur modèle, nous avons employé une méthode « pas à pas » en supprimant au fur et à mesure les variables explicatives les moins significatives dans le modèle jusqu'à atteindre un modèle présentant uniquement des variables ayant un effet significatif. Dans le cas où certains modèles étaient équivalents, nous les avons comparés par calcul de l'indice AIC (Akaike Information Criterion), méthode qui considère à la fois l'ajustement du modèle ainsi que sa complexité et qui retient le modèle ayant l'AIC le plus faible (Johnson and Omland, 2004). Le nombre d'individus restant faible par rapport au nombre de variables testées, nous avons calculé grâce au package AICcmodavg (Mazerolle, 2015) l'AICc (small sample unbiased AIC) plutôt que l'AIC, plus adapté aux échantillons de petite taille.

Afin de vérifier la corrélation entre deux variables quantitatives, nous avons utilisé des tests de corrélations de Pearson. La validité de chaque modèle a été vérifiée en traçant le diagramme quantiles-quantiles des résidus du modèle afin d'en vérifier la normalité. Le risque de première espèce α est fixé à 5 %.

b. Cartographie

Lors de cette étude, le logiciel de Système d'Information Géographique QGIS (QGIS Development Team, 2014) a été utilisé comme outil cartographique.

Résultats

1. Suivi de la reproduction :

Au total, 16 nids situés sur 7 sites différents ont été répertoriés lors de la saison de reproduction 2015. Trois d'entre eux repérés tardivement (A1, C1 et C2), n'ont pas pu être suivis sur l'intégralité de la période. Les différentes phases de reproduction sont représentées figure 5.

On remarque que les dates de ponte varient fortement, de début mai à mi-juin, et ce parfois sur un même site (site G). En effet la femelle G1 par exemple, est arrivée tardivement sur le site certainement pour y produire une seconde ponte. La femelle G4, elle aussi arrivée tardivement, s'est appariée avec un mâle déjà accouplé avec une femelle (G2).

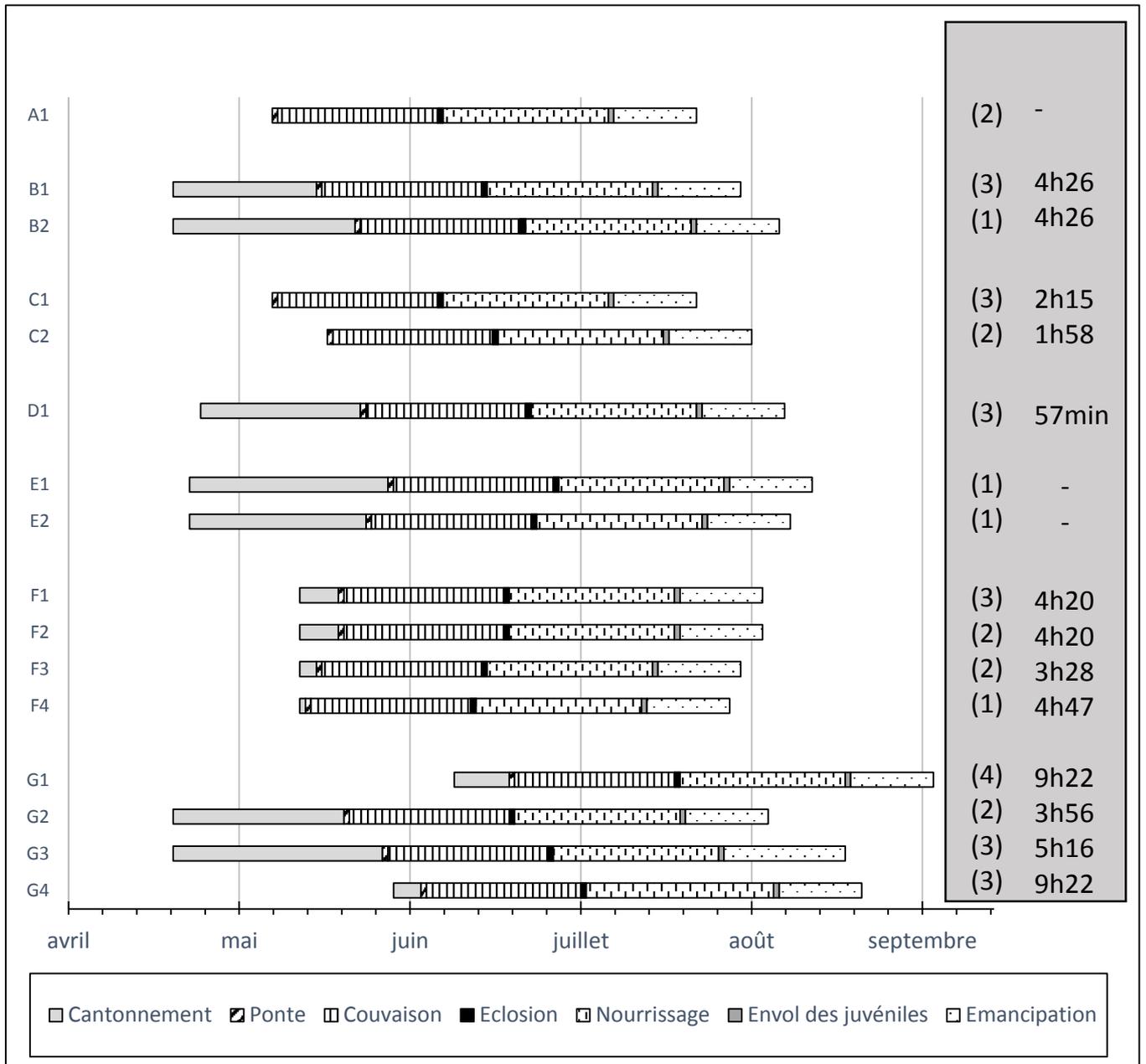


Figure 5 : Phénologie de reproduction des différents nids suivis lors de la saison 2015. Dans l'encadré gris, le chiffre entre parenthèses indique la *Productivité* du nid et la seconde colonne indique la fréquence d'apport de proie par le mâle (*Disponibilité alimentaire*). La lettre en majuscule présente dans l'identifiant d'un nid indique le site de nidification.

Il y a eu *Succès reproducteur* (au moins un juvénile à l'envol) pour la totalité des individus suivis cette saison. Le nombre de juvéniles à l'envol est situé entre 1 et 4 pour une moyenne de 2,25 juvéniles à l'envol par nid. En ce qui concerne la *Disponibilité alimentaire*, celle-ci n'a pas pu être déterminée pour 3 nids. Elle est comprise entre environ un apport de proie par heure et un apport de proie tous les 9 h, avec une moyenne de 4 h 32 entre chaque apport de proie et un écart-type de presque 2 h et demie. Il est intéressant de remarquer que l'une des femelles ayant la plus faible *Disponibilité alimentaire* est la femelle G4, la seconde femelle du mâle apparié avec la femelle G2. Il ne semble pas y avoir de lien entre la *Productivité* et la *Disponibilité alimentaire*.

2. Etude de l'emplacement du nid :

Seulement quatre emplacements de nids ayant été trouvés sur les sites, nous n'avons développé aucune méthode statistique. En ce qui concerne la *Distance au perchoir le plus proche*, celle-ci est comprise entre 15 et 30 mètres pour les nids analysés. L'*Exposition* ainsi que la *Topographie* de ces nids est similaire à celle des sites, sauf pour l'un des nids placé au sommet du relief alors que le site est situé en haut de versant exposé Sud-Ouest. On note toutefois qu'aucun nid ne semble être situé dans le tiers inférieur des sites.

Si la *Densité de la strate buissonnante* semble peu varier entre l'emplacement du nid et le reste du site avec des valeurs supérieures à 80 %, le *Pourcentage en espèces épineuses* lui se situe entre 30 et 45 % à l'emplacement des nids, valeurs en général plus élevées que pour l'ensemble du site (Figure 6).

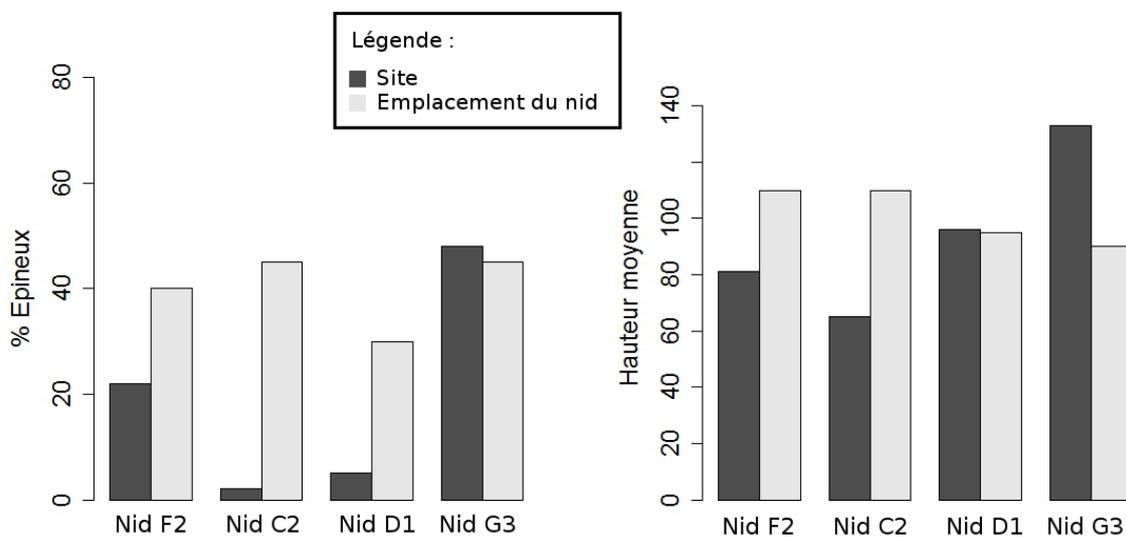


Figure 6 : *Pourcentage d'espèces épineuses* (à gauche) et *Hauteur moyenne* (à droite) du site (en gris foncé) et à l'emplacement du nid (en gris clair).

De plus, la *Hauteur moyenne* à l'emplacement du nid semble bien moins variable que pour l'ensemble du site et correspond à des hauteurs proches du mètre. La *Hauteur maximale* et la *Hauteur de la strate buissonnante* suivent ces mêmes tendances.

3. Etude du site :

a. Paramètres morphologiques :

Un premier modèle est réalisé en prenant les variables quantitatives *Altitude* et *Pente*. Nous n'avons pas jugé pertinent de tester l'effet de la variable *Surface* sachant que les sites témoins ont été choisis notamment en fonction de cette variable. Toutefois on remarque que les sites abritant plusieurs nids semblent avoir une plus forte surface que ceux n'en abritant qu'un, avec une moyenne de 14,3 ha et des surfaces dépassant toutes les 6 ha. Bien que l'on observe

une tendance pour de plus fortes altitudes en ce qui concerne les sites où il y a eu nidification (Figure 7), aucune des deux variables n'a d'effet significatif.

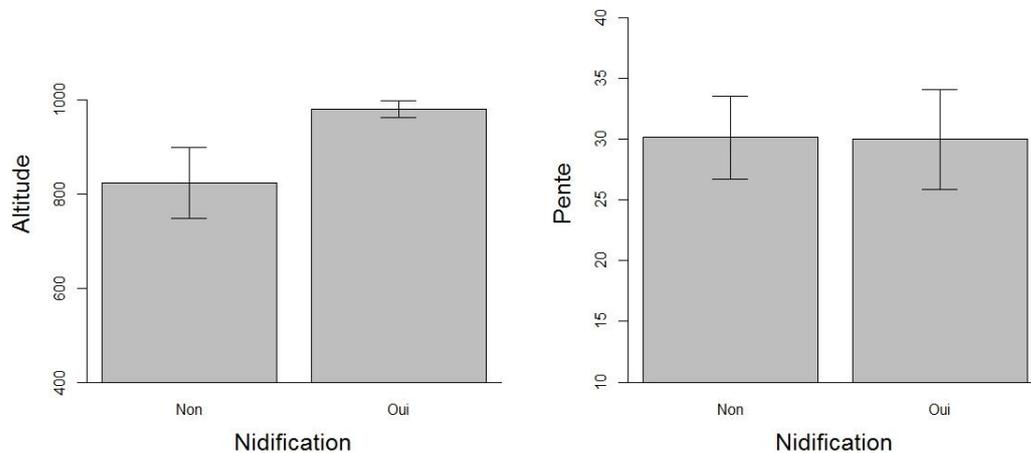


Figure 7 : Variabilité de l'Altitude et de la Pente en fonction de la variable Nidification. Les barres d'erreurs représentent l'erreur standard.

En ce qui concerne les variables qualitatives, les facteurs *Densité de perchoirs*, *Topographie* et *Proximité immédiate à un chemin* n'ont pas d'effet significatif. Il semble toutefois que les sites de nidification possèdent plus de perchoirs que les sites sans nidification (Figure 8). Sur les sites de nidification, aucune préférence pour un type de perchoir n'a été observée (arbres morts, piquets de clôture et rochers plats). Pour les mêmes raisons que pour la variable *Surface*, la variable *Exposition* n'a pas pu être testée. Toutefois on constate que 7 des 9 sites de nidification ont une orientation située entre Sud-Ouest et Sud-Est et aucun site n'est orienté vers le Nord.

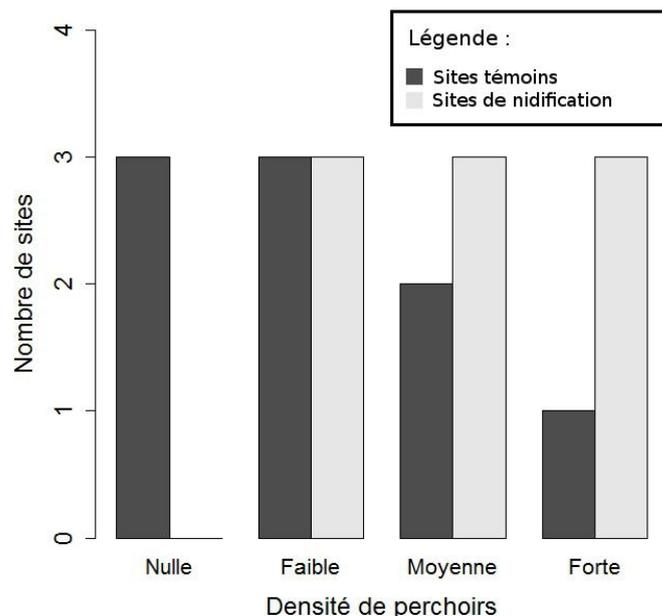


Figure 8 : Densité de perchoirs des sites de nidification (gris clair) et des sites témoins (gris foncé)

b. Paramètres botaniques

Un premier modèle est réalisé sur les variables autres que les pourcentages de recouvrement des espèces. Après sélection de seulement 4 variables par méthode VIF, la méthode d'obtention du meilleur modèle indique que seul le cofacteur *Densité de la strate buissonnante* a un effet significatif positif sur la probabilité de nidification. Les autres variables ne présentent pas de tendance particulière (Figure 9).

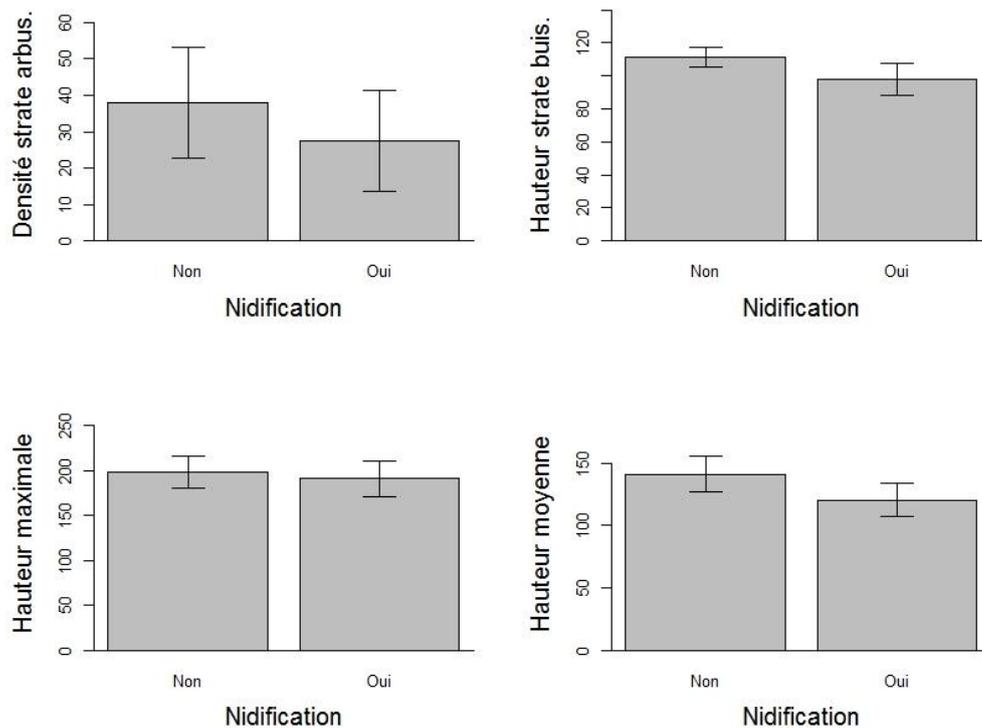


Figure 9 : Variabilité des variables *Densité de la strate arbustive*, *Hauteur moyenne*, *Hauteur maximale* et *Hauteur de la strate buissonnante* en fonction de la variable *Nidification*. Les barres d'erreurs représentent l'erreur standard.

La variable *Degré de fermeture* semble avoir une relation non linéaire avec la variable *Nidification* (Figure 10). En effet, les sites de nidification prennent des valeurs intermédiaires pour cette variable alors qu'au contraire, les sites témoins prennent des valeurs plus extrêmes, situées entre 2 et 4 ou entre 7 et 9.

En ce qui concerne les pourcentages de recouvrement des espèces, bien que certaines tendances soient visibles (Figure 11), avec par exemple plus de ronces et d'Ericacées et moins de genêt à balais sur les sites de nidification, seule la variable *Fougère aigle* présente un effet positif et encore seulement significatif à 10 %. Les autres variables de pourcentages de recouvrement d'espèces ainsi que la *Proportion d'espèces épineuses* ne présentent pas d'effet significatif.

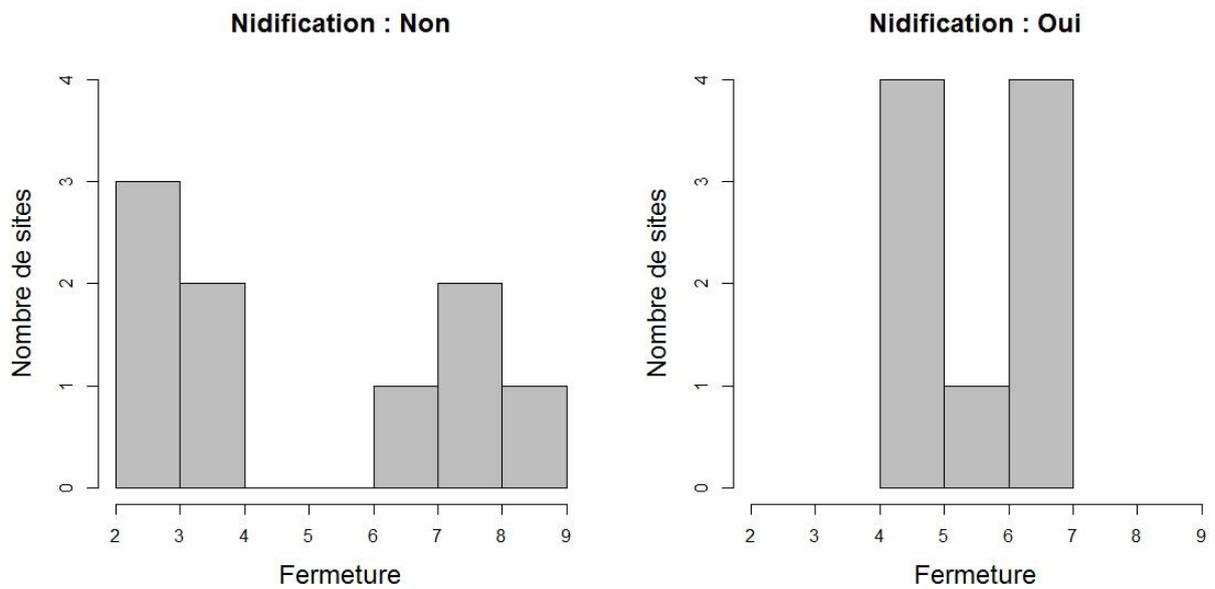


Figure 10 : Distribution du *Degré de Fermeture* en fonction de la variable *Nidification*

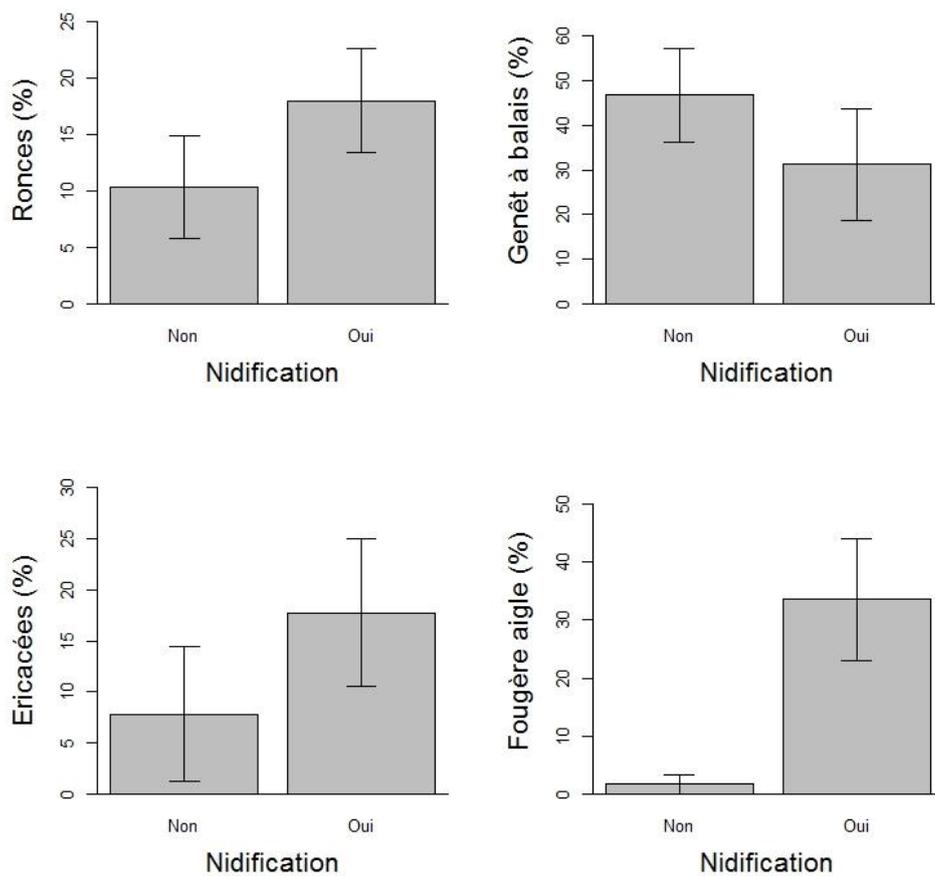


Figure 11 : Variabilité de quatre variables de composition de la végétation en fonction de la variable *Nidification*. Les barres d'erreurs représentent l'erreur standard.

4. Etude du Paysage :

Une première ACP uniquement réalisée sur les différentes catégories d'occupation du sol nous permet premièrement de visualiser les données et de s'apercevoir que certaines variables semblent être corrélées (Annexe III). Nous sélectionnons alors un jeu de 7 variables parmi les 16 catégories d'occupation du sol avec la méthode VIF afin d'éviter le problème de multi-colinéarité dans le modèle initial.

La procédure de sélection du meilleur modèle est ensuite lancée à partir de ce premier modèle. Nous obtenons ainsi un modèle composé de 3 variables explicatives mais dont l'une d'elle présente un coefficient significatif à 10 % et non inférieur à 5 % (Tableau 1). La variable *Cultures permanentes* est donc retirée du modèle et on obtient un second modèle à seulement deux cofacteurs.

Tableau 1 : Modèle retenu pour les variables d'occupation du sol

Variables explicatives	Coefficients du modèle	Significativité de la variable	AICc
<i>Pelouses et pâturages naturels</i>	- 0,6 *	< 0,01	29,38
+ <i>Prairies humides</i>	- 3,84 *	< 0,01	
+ <i>Cultures permanentes</i>	- 10,01 (NS)	< 0,05	
<i>Pelouses et pâturages naturels</i>	- 0,52 *	< 0,001	32,05
+ <i>Prairies humides</i>	- 2,27 .	< 0,05	

La probabilité de nidification peut alors s'écrire :

$$P(\text{Nidification}) \sim \frac{e^{(3,24 - (0,52 \times \text{Pelouses et pât.nat.}) - (2,27 \times \text{Prairies h.}))}}{1 + e^{(3,24 - (0,52 \times \text{Pelouses et pât.nat.}) - (2,27 \times \text{Prairies h.}))}}$$

Les deux variables retenues dans le modèle n'étant fortement corrélées à aucune autre des catégories d'occupation du sol, on peut conclure que seules les surfaces en *Pelouses et pâturages naturels* et en *Prairies humides* ont un effet négatif significatif sur la probabilité de nidification d'un site.

Nous nous sommes ensuite intéressés aux variables paysagères autres que l'occupation du sol. Quatre d'entre-elles semblent indiquer une variabilité en fonction de la présence de nidification ou non (Figure 12). Les variables non représentées (*Densité de proies*, *Accessibilité des proies* et *Distance à la source en eau la plus proche*) ne semblent pas différer entre les paysages des sites témoins et des sites de nidification.

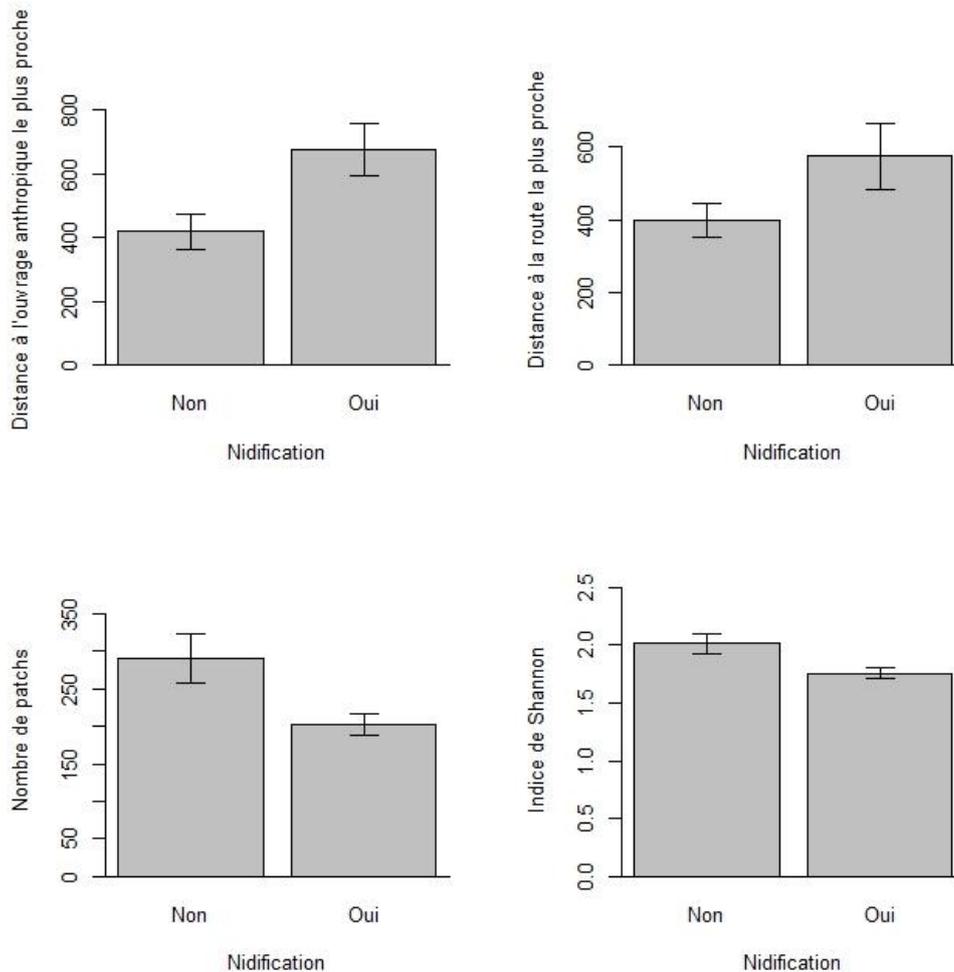


Figure 12 : Variabilité de la *Distance à l'ouvrage anthropique le plus proche*, *Distance à la route la plus proche*, du *Nombre de patchs* et de l'*Indice de Shannon* en fonction de la variable *Nidification*. Les barres d'erreurs représentent l'erreur standard.

Une seconde ACP est réalisée sur les variables paysagères autres que les catégories d'occupation du sol. D'après le cercle des corrélations (Annexe IV), certaines variables semblent fortement corrélées (*Shannon* et *Nombre de patchs*, *Densité* et *Accessibilité des proies*). Pour éviter à nouveau les problèmes de multi-colinéarité, quatre variables sur les 7 initiales ont été sélectionnées par calcul du VIF : *Nombre de patchs*, *Accessibilité des proies*, *Distance à la source en eau la plus proche* et *Distance à l'ouvrage anthropique le plus proche*.

La procédure de sélection du meilleur modèle à partir de ce modèle à 4 variables indique que le modèle contenant uniquement la variable *Distance à l'ouvrage anthropique le plus proche* est le modèle le plus adapté (Tableau 2). Toutefois, le modèle contenant comme variable explicative le *Nombre de patchs* est lui aussi pertinent bien qu'ayant un AICc légèrement supérieur. De plus, d'après l'ACP, cette variable semble fortement corrélée positivement à la variable *Shannon*. Après confirmation par un test de corrélation ($cor = 0,90$; $t = 10,5274$; $df = 25$; $p\text{-value} < 0,001$), un modèle est réalisé en prenant la variable *Shannon* comme unique cofacteur.

Le modèle finalement retenu est celui ayant pour cofacteur la variable *Distance à l'ouvrage anthropique le plus proche*, qui a un effet positif sur la probabilité pour qu'un site accueille

une nidification. L'Indice de Shannon et le Nombre de patches étant très fortement corrélés, il n'est pas possible de dire lequel de ces deux paramètres influe négativement sur la probabilité de nidification ni même de dire que les deux paramètres ont un effet.

Tableau 2 : Modèles retenus pour les variables paysagères autres que l'occupation du sol

Variabes explicatives	Coefficient du modèle	p-value	AICc
Distance à l'ouvrage anthropique le plus proche	+ 0,005 *	< 0,01	34,86
Nombre de patches	- 0,012 *	< 0,05	35,93
Shannon	- 4,458 *	< 0,01	35,05

Les variables Densité de proies, Accessibilité des proies, Distance à la route et Distance à la source en eau la plus proche n'influent pas sur la probabilité de nidification. Celle-ci, représentée Figure 13, peut s'écrire alors :

$$P(\text{Nidification}) \sim \frac{e^{(-2,717 + 0,0049 \times \text{Distance anthro proche})}}{1 + e^{(-2,717 + 0,0049 \times \text{Distance anthro proche})}}$$

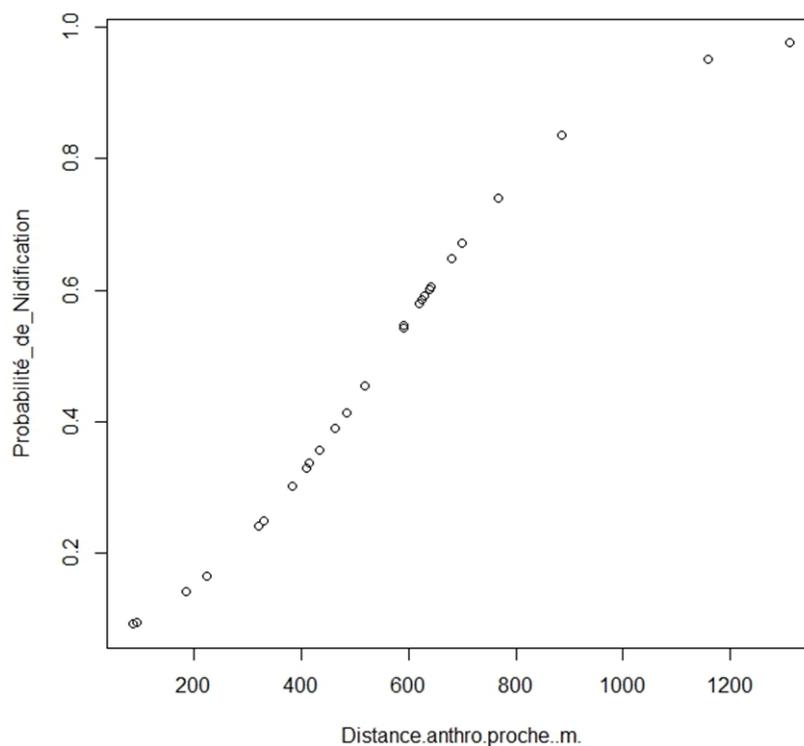


Figure 13 : Représentation graphique du modèle retenu : Probabilité de Nidification en fonction de la distance à l'ouvrage anthropique le plus proche (en mètres).

Après avoir obtenu plusieurs modèles permettant d'estimer la probabilité de nidification en fonction de différentes variables décrivant le paysage, nous avons tenté d'obtenir un modèle final à partir des premiers modèles obtenus. Ainsi, nous avons établi un modèle initial avec les variables explicatives *Nombre de patches*, *Distance à l'ouvrage anthropique le plus proche*, *Prairies humides* et *Pelouses et pâturages naturels*. La procédure de sélection de modèle retombe alors à nouveau sur le premier modèle obtenu à deux variables d'occupation du sol : *Prairies humides* et *Pelouses et pâturages naturels* (Tableau 1).

Afin d'estimer la probabilité de nidification à partir de ce modèle sur l'ensemble de la zone d'étude, une extrapolation a été réalisée sur 803 points séparés de 2 km les uns des autres recouvrant le territoire du PNR (Figure 14). Nous réalisons le même processus à partir du modèle uniquement composé de la variable explicative *Nombre de patches* afin de comparer les deux cartes ainsi obtenues. Une probabilité de nidification nulle est attribuée aux points n'ayant aucun patch de la catégorie *Landes et broussailles* dans leur rayon de 2 km (seulement 5 points concernés). On remarque que les deux cartes de probabilités semblent très différentes : l'écart de probabilité entre les 2 modèles pour une même dalle est en moyenne de 0,34 et les zones propices à la nidification du Busard cendré ne sont pas localisées de manière identique.

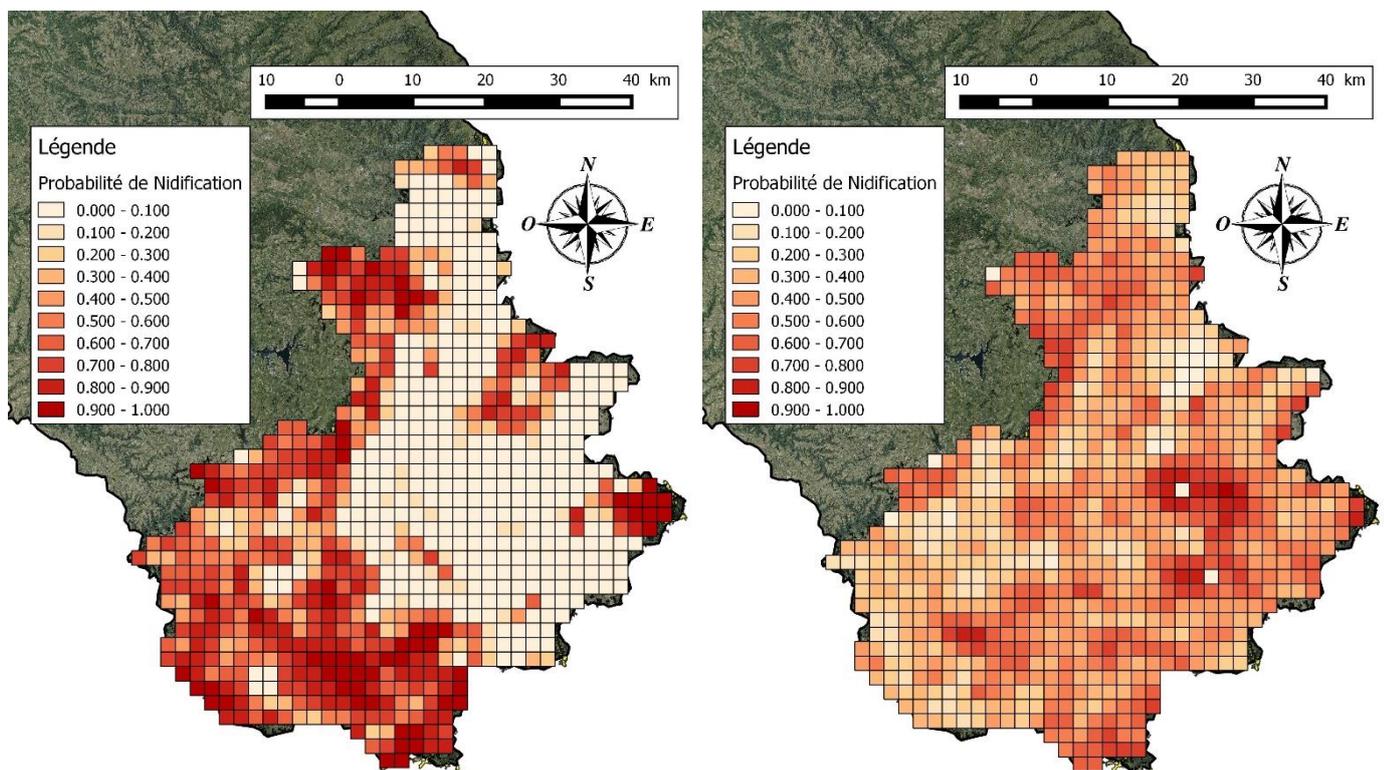


Figure 14 : A gauche : Extrapolation du modèle final sur les variables paysagères à l'ensemble du territoire du PNR des Grands Causses. A droite : Extrapolation du modèle ayant pour variable explicative le *Nombre de patches*. La probabilité de nidification du point extrapolé est représentée par la couleur de la dalle de 2 km de côté centrée sur ce même point.

Nous avons constaté que les sites de nidification situés sur le Lévézou étaient séparés au maximum de moins de 8 km et que seulement 23 km séparent les deux nids les plus distants (Annexe V). Ce secteur est situé sur une zone à probabilités de nidification assez élevées sur

les 2 cartes présentées Figure 14. En ce qui concerne les 2 autres sites découverts dans le secteur des Cévennes, ceux-ci sont situés dans un même rayon de moins de 2 km.

Discussion

Le but de cette étude était notamment de déterminer les paramètres influençant le choix du site de nidification du Busard cendré en milieux de type landes sèches et broussailles dans le département de l'Aveyron. Ainsi, des paramètres à l'échelle de l'emplacement du nid jusqu'à l'échelle du paysage en passant par celle du site ont permis de comparer des sites de nidification à des sites témoins, *a priori* potentiellement favorables à la nidification.

1. Interprétation des résultats :

a. Suivi de la reproduction :

Le résultat de 100 % de *Succès reproducteur* pour les individus suivis est supérieur aux résultats obtenus dans d'autres études, que ce soit en milieux hors-cultures (Terraube *et al.* (2010) : 70 % ; Limiñana *et al.* (2006) : 84,4 %) ou en cultures (Salamolard *et al.* (2000) : 49 %). Ces résultats sont étonnants comparés aux observations faites en Lozère où les Busards cendrés nichant en landes font face à un fort taux de prédation (Bigorne and Bonnefille, 2015) qui diminue drastiquement leur *Succès reproducteur*. Les milieux en Aveyron pourraient être plus défensifs que dans d'autres régions, diminuant ainsi le risque de prédation, qui reste la principale cause d'échec de reproduction en milieux naturels et semi-naturels. De même, la *Productivité* moyenne qui est de 2,25 juvéniles volants par nid est supérieure aux années précédentes sur ces mêmes sites, alors qu'elle était tombée bien bas certaines années (Lalanne-Bernard, données non publiées). Toutefois ce résultat reste inférieur à celui obtenu dans une des études citées précédemment (Limiñana *et al.* (2006) : 2,75).

En ce qui concerne les dates, 2 nichées (G1 et G4) correspondent à des pontes tardives (éclosion en Juillet), très certainement des pontes de remplacement, conséquence de la destruction de couvées lors des fauches de printemps en prairies fourragères.

Enfin la *Disponibilité alimentaire* varie fortement d'un nid à l'autre. Il est intéressant de remarquer que la femelle G4, appariée au même mâle que la femelle G2, a une *Disponibilité alimentaire* bien inférieure à cette seconde, qui s'est accouplée en premier avec le mâle. Ce mâle semble ainsi avoir une femelle « préférée » qui est mieux alimentée tout comme ses petits. Toutefois, cette *Disponibilité alimentaire*, de même que les différentes dates du cycle de reproduction, ne semblent pas avoir d'effet sur la *Productivité*, bien que plusieurs études aient montré un effet de la phénologie et de l'alimentation sur les différents paramètres de reproduction (Millon *et al.*, 2008 ; Salamolard *et al.*, 2000 ; Trierweiler, 2004)

b. Etude de l'emplacement du nid :

En ce qui concerne l'emplacement du nid, celui-ci semble souvent très proche de perchoirs, avec une moyenne de 26 mètres au perchoir le plus proche, qui peut être utilisé pour la surveillance du nid ainsi que pour la préparation ou la consommation de proies. Franco (2007)

observe dans son étude une distance moyenne très similaire (30 mètres). La *Topographie* ainsi que l'*Exposition* du nid ne semblent pas vraiment différer de celles du site, contrairement à ce qu'il a parfois été observé en cultures (Lalanne-Bernard, comm. pers, 2015).

La végétation, elle, semble différente entre le site et l'emplacement exact du nid. En effet, le *Pourcentage d'espèces épineuses* est bien plus élevé pour trois des quatre nids analysés par rapport à l'ensemble du site. On peut donc penser que la femelle choisit un emplacement particulièrement défensif au sein du site qui en moyenne l'est moins que le nid. Par contre la *Densité de la strate buissonnante* ne semble pas différer entre le nid et le site, contrairement à d'autres études où la densité de végétation semble plus importante au niveau des nids (Cormier et al., 2008 ; Terraube et al., 2010 ; Wiącek, 2009). Toutefois celle-ci reste très élevée. Enfin, les variables de *Hauteur de végétation* semblent bien moins variables à l'emplacement des nids qu'à l'échelle du site, avec une *Hauteur moyenne* située autour du mètre. Dans d'autres études (Limiñana et al., 2006 ; Wiącek, 2009) les emplacements des nids présentent des hauteurs très similaires à nos résultats. Toutefois dans ces études, les hauteurs de l'ensemble du site sont égales ou bien inférieures à celles correspondant à l'emplacement du nid. Cette *Hauteur de végétation* à l'emplacement du nid pourrait constituer un compromis entre l'accessibilité du nid pour la femelle, qui diminue avec la hauteur de végétation et son degré de protection (contre la prédation et l'ensoleillement), qui augmente avec la hauteur de végétation.

c. Etude du site :

A l'échelle du site, aucune des variables morphologiques testées n'a d'effet significatif sur la probabilité de nidification. Toutefois, certaines tendances semblent intéressantes. On remarque notamment que l'*Altitude* semble plus élevée pour les sites de nidification que pour les sites témoins, résultat similaire à une étude située en Espagne (Estrada and Arroyo, 2012). On peut penser que cette plus forte altitude pourrait préserver les nids des très fortes chaleurs estivales. De même on remarque une légère tendance à une plus forte *Densité de perchoirs* pour les sites de nidification, ce qui n'est pas surprenant quand on connaît l'importance de ces structures tant pour la chasse que pour la surveillance des prédateurs et la consommation et préparation des proies. Le cofacteur *Pente*, qui dans notre étude ne semble pas différer entre les sites de nidification et les sites témoins, présente un effet significatif négatif dans l'étude citée précédemment (Estrada and Arroyo, 2012).

La *Proximité immédiate à un chemin* ne semble pas affecter les busards puisque seul un des 9 sites considérés n'est pas délimité ou desservi par un chemin. Cela peut être expliqué par la faible fréquentation de ces chemins et le fait que les nids ne sont pas forcément visibles ni facilement accessibles depuis ces chemins. En ce qui concerne la *Topographie*, la quasi-totalité des sites de nidification est située en haut ou milieu de versant, résultat que l'on retrouve pour les sites témoins. Bien que nous n'ayons pas pu tester l'effet de la *Surface* du site, on peut raisonnablement supposer que les sites de nidification, notamment ceux abritant plusieurs nids, ont une surface supérieure aux sites non utilisés. En effet, les sites abritant des micro-colonies ont tous une surface supérieure à 6 hectares pour une moyenne de presque 15 ha. Une plus grande surface semble en effet importante pour accueillir un plus grand nombre d'individus, comme cela a été montré dans la région Rhône-Alpes (Franco, 2007), afin de limiter certainement les phénomènes de compétition. Toutefois dans cette dernière étude, les

dimensions des sites sont bien plus faibles, avec une dimension optimale de nidification située entre 0,5 et 1,5 ha. Une forte surface semble aussi nécessaire pour diminuer les risques de prédation, le prédateur potentiel devant parcourir plus de distance en milieu défensif pour atteindre le nid. L'*Exposition* elle, non testée pour les mêmes raisons que la variable *Surface*, semble être préférentiellement orientée vers le Sud. Cette orientation permet notamment d'être à l'abri des vents du Nord, qui même au printemps et en été peuvent être très froids.

Au niveau des variables botaniques, seule la variable *Densité de la strate buissonnante* présente un effet significatif positif. Cette densité correspond certainement au caractère défensif du milieu et détermine sa perméabilité aux prédateurs. Toutefois contrairement à l'emplacement du nid, on ne remarque pas de différence entre les sites témoins et les sites de nidification en ce qui concerne le *Pourcentage d'espèces épineuses*. Il est intéressant ainsi de constater que le choix du site se base plus sur la *Densité de la strate buissonnante* alors que le choix au sein du site va plus être déterminé par le *Pourcentage d'espèces épineuses*. Si Gillis (2011) remarque une plus forte *Hauteur de végétation* sélectionnée dans les parcelles en cultures que dans les parcelles non occupées, cela n'est pas le cas pour nos données. La sélection de la *Hauteur de végétation* optimale se ferait donc plus à l'échelle de l'emplacement du nid que du site. Le *Degré de fermeture* choisi par les Busards cendrés est intermédiaire, situé entre 4 et 7. On peut supposer qu'en dessous de 4, le milieu n'est pas assez défensif vis-à-vis de la prédation et qu'au-dessus, le milieu devient trop impénétrable et arbustif pour cette espèce, qui tolère moins bien que les Busards Saint-Martin les milieux fermés (Franco, 2007).

Enfin, pour les *Pourcentages de recouvrement d'espèces*, seule la Fougère-aigle (*Pteridium aquilinum*) présente un effet positif et seulement significatif à 10 %. Ce résultat est intéressant car lors de l'installation des couples, la Fougère-aigle est loin d'avoir la hauteur qu'elle atteint à la fin de l'été, période à laquelle les relevés ont été réalisés. Le fait que les frondes soient plus près du sol lors de leur arrivée pourrait peut-être donner aux busards l'impression d'un milieu plus dense qu'il ne sera plus tard. Enfin on observe certaines tendances : la ronce commune (*Rubus fruticosus*) et les Ericacées (*Calluna vulgaris* et *Erica cinerea*) présentent de plus forts recouvrements sur les sites de nidification, contrairement au genêt à balais (*Cytisus scoparius*) qui en présente de plus faibles. Toutefois ces tendances ne sont pas significatives.

d. Etude du paysage :

En ce qui concerne l'occupation, deux variables ont un effet négatif significatif : les *Pelouses et pâturages naturels* ainsi que les *Prairies humides*. Ce résultat est étonnant car le premier milieu correspond à un milieu qui semble propice à la chasse du Busard cendré et le second constitue un milieu de nidification potentiel. De plus, les proportions en *Prairies humides* ne dépassant pas les 2 %, il est nécessaire de se demander si de si petites surfaces peuvent avoir un réel effet biologique sur le comportement des Busard cendrés.

Néanmoins, la carte de probabilité de nidification extrapolée à l'ensemble du territoire du PNR (Figure 16) à partir du modèle contenant les 2 variables précédentes donne des résultats intéressants. En effet on retrouve globalement certaines entités paysagères présentées Figure 3, avec par exemple les Monts du Lévézou et de Lacaune, les Cévennes et le Rougier de Camarès qui ont de fortes probabilités de nidification. Au contraire, les Petits et Grands

Causses, qui constituent une grande partie du Parc Naturel Régional, paraissent très peu propices à la reproduction du Busard cendré. En effet, ces milieux bien que favorables à la chasse car composés de pelouses rases et de landes très basses sont néanmoins insuffisamment défensifs pour accueillir la nidification de cette espèce. Bien que la pertinence du modèle utilisé pour la réalisation de cette extrapolation puisse être discutable, la cartographie ainsi obtenue paraît cohérente si on la compare à la carte de présence de Busards cendrés nicheurs de l'Atlas Midi-Pyrénées (Nature Midi-Pyrénées *et al.*, 2012).

La catégorie *Cultures permanentes*, elle, montre un effet négatif significatif à 10 %. Cette catégorie qui correspond aux vergers et vignobles, ne paraît en effet propice ni à la chasse, ni à l'installation des Busards cendrés, notamment au niveau de la structure de la végétation. Alors que d'autres études mettent en évidence un effet significatif positif de la surface en broussailles, friches et cultures (Limiñana *et al.*, 2011 ; Trierweiler, 2010) et un effet négatif des zones bâties ainsi que des forêts (de Cornulier, 2005), aucune autre catégorie que celles citées au paragraphe précédent ne présente un effet significatif dans notre étude.

Toutefois, si la surface totale en *Territoires artificialisés* n'a pas d'effet significatif, la *Distance à l'ouvrage anthropique le plus proche* possède bien, elle, un effet positif. Le dérangement des Busards cendrés par l'Homme est donc dû à sa trop forte proximité avec certains sites plutôt qu'à une trop forte densité d'ouvrages dans le paysage. Des résultats similaires ont été trouvés en Espagne sur la distance aux centres urbains les plus proches (Estrada and Arroyo, 2012) ou bien en France sur la distance à la zone bâtie la plus proche (de Cornulier, 2005). La *Distance à la source en eau la plus proche* n'a aucun effet sur le choix du site de nidification de ce rapace, qui par ailleurs est rarement aperçu au contact de milieux aquatiques. La *Densité* et l'*Accessibilité des proies* n'ont pas non plus d'effet, résultats identiques à ceux d'autres études (de Cornulier, 2005 ; Martínez *et al.*, 1999). Cela peut-être dû à la consommation d'autres espèces proies, comme les orthoptères qui ont paru assez présents. De plus on peut penser que ces variables pourraient avoir un effet significatif dans un contexte plus forte compétition pour les ressources alimentaires. Bien que la *Distance à la route la plus proche* semble plus importante pour les sites de nidification, son effet n'est pas significatif. Le dérangement dû à la circulation ne paraît donc pas intervenir dans le choix du site de nidification.

Enfin, l'hétérogénéité du paysage, estimée par l'*Indice de Shannon* ainsi que la fragmentation du paysage, estimée par le *Nombre de patches*, ont un effet significatif négatif sur la probabilité de nidification. Ces deux variables étant fortement corrélées, il n'est pas possible de dire laquelle des deux variable a un effet. Toutefois on sait que la fragmentation du paysage a un effet négatif sur de nombreuses espèces, notamment chez les oiseaux, par la diminution de la taille des patches, leur isolement et les effets bordure (Johnson, 2001). De plus, dans le cas où de nombreux milieux sont défavorables aux busards, on imagine bien que l'hétérogénéité du paysage puisse avoir un effet négatif sur la présence de l'espèce. La cartographie obtenue à partir de la variable *Nombre de patches* diffère largement de celle citée précédemment. La zone qui paraît la plus favorable à la nidification est certes très peu fragmentée mais correspond principalement à de la végétation typique des Causses, qui, on le sait, n'est pas propice à l'installation de cette espèce. De plus, le pouvoir prédictif de ce modèle étant inférieur à celui du modèle utilisé pour la première extrapolation, il paraît moins pertinent.

Enfin, la distribution des sites à l'échelle du département (voir notamment Annexe V) nous montre que la structure en réseaux des sites est très importante. Cette structuration est certainement liée à l'attraction intra-spécifique. En effet des oiseaux nicheurs marqués (marquage alaire) ont été observés effectuant des visites régulières des micro-colonies proches (Lalanne-Bernard, *comm. pers.*, 2015). Ceci suggère un besoin de contacts et d'échanges entre individus favorisant très certainement une proximité des sites de nidification.

Il est nécessaire de remarquer que la non-significativité de certains paramètres peut être interprétée comme le fait que ce paramètre n'influe pas dans la « qualité » du site choisi (ce que nous avons fait jusqu'à présent), mais aussi comme le fait que certains sites sont d'aussi bonne qualité que d'autres par rapport à un paramètre, mais que les faibles effectifs de Busards cendrés impliquent qu'il n'y a pas nidification sur certains sites qui sont pourtant adéquats.

2. Applications à la conservation de l'espèce :

Les milieux de type landes et broussailles favorables à la nidification du Busard cendré n'étant pas au stade climacique, il est nécessaire de maintenir les caractéristiques de ces milieux en l'état afin d'empêcher que la succession végétale ne s'oriente vers un stade plus forestier (Fortnam, 2008). Nous avons vu qu'un degré de fermeture intermédiaire était nécessaire à la nidification. Afin de limiter le développement de la strate arbustive et arborescente, la coupe des arbustes et arbres est donc nécessaire. De plus, la taille des ligneux hauts en « piquets » peut fournir des perchoirs aux Busards cendrés (Franco, 2007). Nous avons vu que le choix du site se faisait principalement en fonction de la densité de la strate buissonnante, celle-ci ayant un effet positif sur la nidification. Toutefois dans le cas où le développement de cette strate devient problématique (notamment par rapport à sa hauteur), différentes opérations peuvent être envisagées : brûlis dirigé, entretien mécanique (broyage, coupe, fauchage, débroussaillage, le tout avec export) ou pâturage (Fortnam, 2008 ; Webb, 1998).

Les modalités exactes de gestion du site sont à adapter au cas par cas en fonction du milieu, des moyens disponibles et des besoins et contraintes du propriétaire, bien souvent agriculteur. Toutefois ces actions ne sont pas à envisager avant un fort degré de fermeture d'après nos résultats. De plus, il faut garder à l'esprit que l'emplacement exact du nid semble nécessiter un fort recouvrement d'espèces épineuses. Si de telles actions doivent être mises en place, il est nécessaire de ne pas les réaliser sur l'ensemble du site et de conserver un milieu hétérogène, avec des îlots de broussaille dense de ronces ou de jeunes prunelliers. Enfin il paraît essentiel de ne pas affecter la dimension du milieu de nidification concerné, une grande superficie semblant nécessaire à l'installation d'une micro-colonie. Il est intéressant de noter que la conservation des sites de nidification de Busards cendrés peut avoir un impact positif sur d'autres espèces menacées. C'est le cas notamment du Busard Saint-Martin, qui peut partager les sites de nidification avec le Busard cendré (site E), ou bien nicher sur un site très proche. De plus il est fortement susceptible d'utiliser les sites de nidification hors-culture de Busards cendrés comme sites de dortoirs hivernaux (Lalanne-Bernard, *comm. pers.*, 2015). Il est également intéressant de noter que ces sites assurent une fonction d'accueil (dortoirs) lors

des mouvements migratoires pré et post nuptiaux. Ils ont un rôle prépondérant pour le renouvellement de la population de l'espèce ; en effet les sites de reproduction donnant systématiquement des jeunes à l'envol (Lalanne-Bernard, données non publiées) sont visités en phase post nuptiale par des individus en recherche de sites de reproduction et certainement attirés par la présence de congénères.

A une échelle plus globale, nous avons vu l'importance de la structure en réseau des sites de nidification chez cette espèce. Il paraît donc plus pertinent de concentrer les efforts de conservation dans les zones de nidification déjà connues, afin de profiter de l'attraction conspécifique, plutôt que de répartir cet effort dans des secteurs où le Busard cendré est éloigné. Afin de tenir compte de l'effet du dérangement lié à la présence de l'Homme, il est nécessaire de choisir des sites relativement éloignés de toute structure anthropique. La fragmentation du paysage (ou bien son hétérogénéité) qui semble aussi avoir un effet négatif sur la nidification doit rester faible autour de ces mêmes sites.

En outre, les actions d'entretien, de restauration ou de réhabilitation de sites favorables à la nidification du Busards cendrés pourraient permettre un retour des individus sur leur site d'origine ou un déplacement des individus nichant en cultures vers les milieux naturels et semi-naturels. Ce changement d'habitat permettrait non seulement aux individus d'avoir une reproduction plus performante (Limiñana *et al.*, 2006 ; Pandolfi and Tanferna, 2009) mais aussi de diminuer les efforts de protection des nids en culture.

Ces interventions pourraient être menées notamment dans le cadre de la politique Natura 2000, la zone de nidification du côté des Cévennes étant situées dans une Zone de Protection Spéciale. La création d'une Réserve Naturelle Régionale (RNR) ou le recours à un Arrêté Préfectoral de Protection de Biotope (APPB) pourraient aussi permettre la mise en place de ces méthodes de gestion.

3. Limites de l'étude :

Plusieurs limites à notre étude peuvent être soulignées. Tout d'abord, la taille de notre échantillon était certainement trop faible. En effet, trop peu de sites de nidification ont été trouvés, le Busard cendré étant loin d'être une espèce commune. De plus, la protection des nids en cultures cette saison a été fortement perturbée par les dates de fauches précoces ne laissant pas le temps aux individus de s'installer, ce qui a pu avoir un impact sur les milieux hors-cultures (reports de pontes) (Lalanne-Bernard, comm. pers, 2015). On peut raisonnablement penser que certaines tendances observées auraient eu un effet significatif avec un échantillon de plus grande taille. Afin d'augmenter la taille de notre échantillon, des sites de nidification des années précédentes ont été intégrés, ajout qui peut avoir entraîné un certain biais dans les résultats. En effet, bien que ce biais semble très négligeable pour l'analyse du paysage qui n'a que peu changé en quelques années, il semble plus important pour l'analyse des sites. Toutefois, les sites ayant vu leur végétation fortement modifiée (suite à des écobuages par exemple) n'ont pas été retenus.

La difficulté de suivi de certains sites (distance importante au point d'observation, présence de plusieurs nids parfois très proches les uns des autres) couplée au peu d'expérience des observateurs ont pu entraîner une certaine incertitude sur la détermination de certains

paramètres de reproduction, comme la *Productivité* et la *Disponibilité alimentaire*. De plus, il aurait été intéressant d'approfondir l'étude du lien entre paramètres de reproduction (phénologie, *Productivité*, *Succès reproducteur*), paramètres environnementaux et paramètres liés à l'alimentation.

En outre, il aurait été plus pertinent de mesurer les paramètres botaniques juste avant l'installation et non à l'envol, la hauteur de végétation et le recouvrement de certaines espèces ayant pu changer entre temps. Toutefois il n'a pas été possible d'acquérir ces données, la méthodologie ainsi que les sites étudiés n'ayant pas encore été entièrement déterminés. Les Variables *Densité* et *Accessibilité des proies* n'estiment pas une réelle densité de proies mais une présence ou absence théorique. La capture de campagnols aurait été plus pertinente mais n'était pas possible dans notre cas.

En ce qui concerne l'analyse et le traitement des données, la corrélation entre le *Nombre de patches* et l'*Indice de Shannon* ne nous a malheureusement pas permis de déterminer quel effet était significatif. Pour l'extrapolation du modèle statistique à l'échelle du paysage, la distance de 2 km entre chaque point a été choisie arbitrairement. En effet il nous a semblé qu'une distance plus faible aurait pu entraîner des problèmes d'autocorrélation spatiale entre les points alors qu'avec une distance plus importante certains éléments du paysage n'aurait été présents dans aucun cercle de 2 km de rayon. Toutefois il aurait été bon de réaliser cette extrapolation avec différentes distances séparant les points puis de choisir la distance optimale selon les critères cités précédemment.

Enfin, un des facteurs qui n'a pas pu être déterminé et qui joue certainement un rôle très important est l'attraction intra-spécifique. En effet les Busards cendrés nichent en micro-colonies lâches : la plupart des sites de nidification accueillent plusieurs nids et ces sites peuvent être très proches. Cet aspect social implique un coût (effet buffer), la présence de conspécifiques pouvant altérer la qualité d'un site (compétition pour les partenaires, ressources alimentaires, transmission de maladies) mais aussi divers bénéfices (effet Allee), la qualité du site pouvant être augmentée par la transmission d'informations sur les ressources, la défense et la détection des prédateurs (Arroyo *et al.*, 2001 ; Soutullo *et al.*, 2006). Pour les micro-colonies, l'effet Allee semble parfois prendre le pas sur l'effet buffer puisque leurs paramètres de reproduction peuvent être meilleurs que pour les individus non coloniaux (Wiącek, 2008). De plus, cet effet d'attraction ne se limite pas aux conspécifiques mais pourrait être aussi lié à la présence de Busards Saint-Martin, les deux-espèces pouvant parfois partager les mêmes sites de nidification.

Une méthode possible d'estimation du facteur social est la comparaison des facteurs environnementaux (hauteur de végétation par exemple) en fonction du rang d'arrivée dans la parcelle. En effet il a été montré que certains individus s'installant en 2^{ème} ou en 3^{ème} sur les sites peuvent choisir des milieux de « moins bonne qualité » que ceux arrivés en premier ou même que la moyenne des milieux disponibles (Gillis, 2011). Toutefois dans notre étude, il n'a pas toujours été possible de déterminer l'ordre d'arrivée des individus et la mesure des paramètres à l'installation aurait dérangé les busards. Une seconde méthode possible est l'analyse de la distribution spatiale des nids : en comparant la distance au nid le plus proche (Terraube *et al.*, 2010) ou les résultats de fonctions de densité de nids entre les modèles prenant en compte les paramètres environnementaux et la distribution effectivement observée, il est possible d'isoler l'effet social (Cornulier and Bretagnolle, 2006). Toutefois cette

méthode implique la connaissance de tous les nids présents sur la zone et de la valeur de toutes les variables environnementales sur l'ensemble de la zone d'étude, ce qui dans notre cas n'était pas possible.

Enfin, étant donné la problématique et les données, il nous a paru pertinent de comparer les sites en fonction de la présence ou absence de nidification, toutefois, il aurait aussi été intéressant de comparer les sites en fonction du nombre de nids présents, ces deux types d'approches pouvant donner des résultats différents chez le Busard cendré (Estrada and Arroyo, 2012).

Conclusion

Cette étude a permis de déterminer une partie des paramètres qui influencent le choix du site de nidification chez le Busard cendré en milieux hors-cultures. En ce qui concerne l'emplacement du nid, il semblerait que ce rapace privilégie une hauteur de végétation proche du mètre ainsi qu'un fort taux de recouvrement d'espèces épineuses. La proximité d'un perchoir semble également importante. Les sites de nidification sont caractérisés par une forte densité de la strate buissonnante ainsi qu'un degré de fermeture intermédiaire. De plus, on observe sur ces sites certaines tendances : une exposition plutôt Sud, une densité de perchoirs légèrement plus élevée et de forts taux de recouvrement de Fougère-aigle (*Pteridium aquilinum*). En outre, une surface importante paraît nécessaire à la présence de plusieurs nids. Enfin, la présence de prairies humides et de pelouses et pâturages naturels dans le paysage influencerait négativement sur la probabilité de nidification. De même, la fragmentation du paysage ou son hétérogénéité ont un effet négatif, alors que la distance à l'ouvrage anthropique le plus proche agit positivement sur la probabilité de nidification. L'effet social, bien que non testé au cours de l'étude, paraît conséquent, avec une structure des sites de nidification en réseau. Ces résultats devraient permettre d'optimiser les futures prospections en milieux hors-cultures ainsi que d'être force de proposition en matière de méthodes de gestion des sites déjà connus.

Afin justement de caractériser l'importance de l'attraction inter et intra-spécifique, une étude sur une zone de plus petite taille permettrait d'acquérir des données exhaustives sur les paramètres environnementaux et sur la présence de busards. La mise en place de méthodes géostatistiques permettrait alors d'estimer l'importance du facteur social chez cette espèce, que ce soit en cultures ou en milieux semi-naturels et naturels. A l'échelle de l'Aveyron, il pourrait être pertinent de se concentrer uniquement sur la zone de nidification du Lévézou (Annexe V). L'étude plus poussée du lien entre les paramètres de reproduction, l'alimentation et les paramètres environnementaux serait également intéressante. Toutefois elle impliquerait un suivi des nids encore plus assidu et sur plusieurs années. Il pourrait être envisageable d'aller sur les nids afin de déterminer un plus grand nombre de paramètres de reproduction, toutefois ce n'est pas toujours réalisable, certains nids étant inaccessibles. De plus les visites ont un fort impact sur la reproduction car dérangent les individus et favorisent la prédation des nids.

Certains sites hors-culture accueillent encore des Busards cendrés en Aveyron. Toutefois, certains de ces milieux commençant à se fermer, il devient urgent de mettre en place des mesures de gestion, afin d'éviter au maximum un transfert de la nidification en prairies de fauche, ce qui aurait de graves conséquences sur la population régionale de cette espèce, à savoir une forte diminution voire une extinction de cette population.

Bibliographie

- Arroyo, B., 2008. Diet of Montagu's Harrier *Circus pygargus* in central Spain: analysis of temporal and geographic variation. *Ibis* **139**, 664–672.
- Arroyo, B., Mougeot, F., Bretagnolle, V., 2001. Colonial breeding and nest defence in Montagu's harrier (*Circus pygargus*). *Behavioral Ecology and Sociobiology* **50**, 109–115.
- Arroyo, B., T. Garcia, J., Bretagnolle, V., 2002. Conservation of the Montagu's harrier (*Circus pygargus*) in agricultural areas. *Animal Conservation* **5**, 283–290.
- Bigorne, J.-L., Bonnefille, P., 2015. Suivi et protection des Busards en Lozère. Présenté lors des 20èmes rencontres Réseau Busards.
- Bretagnolle, V., Millon, A., 2015. Reproduction, survie et dispersion du Busard cendré à l'échelle nationale : quelles leçons tirées du programme de marquage en termes de conservation. Présenté lors des 20èmes rencontres Réseau Busards.
- Butet, A., Leroux, A.B.A., 2001. Effects of agriculture development on vole dynamics and conservation of Montagu's harrier in western French wetlands. *Biological Conservation* **100**, 289–295.
- Butler, S.J., Boccaccio, L., Gregory, R.D., Vorisek, P., Norris, K., 2010. Quantifying the impact of land-use change to European farmland bird populations. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **137**, 348–357.
- Chiron, F., Princé, K., Paracchini, M.L., Bulgheroni, C., Jiguet, F., 2013. Forecasting the potential impacts of CAP-associated land use changes on farmland birds at the national level. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **176**, 17–23.
- Cormier, J.-P., Fustec, J., Pithon, J., Choisy, P., 2008. Selection of nesting habitat by Montagu's Harriers *Circus pygargus* and Hen Harriers *Circus cyaneus* in managed heaths. *Bird Study* **55**, 86–93.
- Cornulier, T., Bretagnolle, V., 2006. Assessing the influence of environmental heterogeneity on bird spacing patterns: a case study with two raptors. *Ecography* **29**, 240–250.
- Courmont, Y., Demarchi, M., SIRS, 2013. Acquisition d'un référentiel d'occupation du sol pour les PNR Midi Pyrénées - Rapport final de production.
- De Cornulier, T., 2005. Composantes de la distribution spatiale d'un prédateur : effets respectifs de l'habitat, des ressources alimentaires et des interactions comportementales - Analyse de processus ponctuels non homogènes. Thèse de doctorat. Université Claude Bernard - Lyon I.
- Donald, P.F., Green, R.E., Heath, M.F., 2001. Agricultural intensification and the collapse of Europe's farmland bird populations. *Proceedings of the Royal Society B: Biological*

Sciences **268**, 25–29.

- Donald, P.F., Pisano, G., Rayment, M.D., Pain, D.J., 2002. The Common Agricultural Policy, EU enlargement and the conservation of Europe's farmland birds. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **89**, 167–182.
- Donald, P.F., Sanderson, F.J., Burfield, I.J., van Bommel, F.P.J., 2006. Further evidence of continent-wide impacts of agricultural intensification on European farmland birds, 1990–2000. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **116**, 189–196.
- Doussan, I., Dubois, J., 2007. Conservation de la biodiversité et politique agricole commune de l'Union européenne : des mesures agro-environnementales à la conditionnalité environnementale. La Documentation française, Paris.
- Estrada, A., Arroyo, B., 2012. Occurrence vs abundance models: Differences between species with varying aggregation patterns. *Biological Conservation* **152**, 37–45.
- European Environment Agency, 2007. CLC2006 technical guidelines. Publications Office, Luxembourg.
- Firbank, L.G., Petit, S., Smart, S., Blain, A., Fuller, R.J., 2008. Assessing the impacts of agricultural intensification on biodiversity: a British perspective. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* **363**, 777–787.
- Fortnam, K.S., 2008. The Effects of Varied Management Techniques on the Recreation of Lowland Heathland Habitats in Devon. *Earth and Environment* **3**, 115 – 158.
- Franco, P., 2007. Des friches pour les Busards. *La Babillarde* 53–68.
- Garnier, L., 2011. Caractérisation des facteurs intervenant dans le choix des zones de nidification du Busard Saint-Martin en milieux naturels et pseudo naturels en Aveyron. Rapport de stage Master 2. Université Paul Sabatier Toulouse III.
- Génsbøl, B., Tattevin, M.-A., Bertel, B., 2005. Guide des rapaces diurnes Europe, Afrique du Nord et Moyen-Orient. Delachaux et Niestlé, Neuchâtel ; Paris.
- Géroutet, P., 1979. Les Rapaces diurnes et nocturnes d'Europe. Delachaux et Niestlé, Neuchâtel ; Paris.
- Gillis, H., 2011. Changement global et dynamique de sélection d'habitat de reproduction d'un oiseau nichant au sol - Cas du Busard cendré en milieu agricole intensif. Thèse de doctorat. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI.
- Guerrero, I., Morales, M.B., Oñate, J.J., Geiger, F., Berendse, F., Snoo, G. de, Eggers, S., Pärt, T., Bengtsson, J., Clement, L.W., Weisser, W.W., Olszewski, A., Ceryngier, P., Hawro, V., Liira, J., Aavik, T., Fischer, C., Flohre, A., Thies, C., Tschardt, T., 2012. Response of ground-nesting farmland birds to agricultural intensification across Europe: Landscape and field level management factors. *Biological Conservation* **152**, 74–80

- Johnson, D., 2001. Habitat Fragmentation Effects on Birds in Grasslands and Wetlands: A Critique of our Knowledge. *Great Plains Research* **11**, 211–231.
- Johnson, J.B., Omland, K.S., 2004. Model selection in ecology and evolution. *Trends in Ecology & Evolution* **19**.
- Koks, B.J., Trierweiler, C., Visser, E.G., Dijkstra, C., Komdeur, J., 2007. Do voles make agricultural habitat attractive to Montagu's Harrier *Circus pygargus*? *Ibis* **149**, 575–586.
- Koks, B.J., Visser, E.G., 2002. Montagu's Harriers *Circus pygargus* in the Netherlands: Does nest protection prevent extinction? *Ornithologischer Anzeiger* 159–166.
- Lê, S., Josse, J. & Husson, F., 2008. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*. **25**(1). pp. 1-18.
- Lecoustre, V., 2009. Comportement d'approvisionnement d'un prédateur en milieu hétérogène : l'exemple du Busard cendré en paysage agricole. Rapport de stage de Master 2. Université Pierre et Marie Curie.
- Leroux, A., 2010. Synthèse sur la nidification des busards en milieux naturels. *Circus'laire* **24 et 25**.
- Leroux, A., 2004. Le busard cendré. Belin, Paris.
- Limiñana, R., Arroyo, B.E., Surroca, M., Urios, V., Reig-Ferrer, A., 2011. Influence of habitat on nest location and reproductive output of Montagu's Harriers breeding in natural vegetation. *Journal of Ornithology* **152**, 557–565.
- Limiñana, R., Soutullo, A., López-López, P., Urios, V., 2008. Pre-Migratory Movements of Adult Montagu's Harriers *Circus pygargus*. *Ardea* **96**, 81–90.
- Limiñana, R., Soutullo, A., Urios, V., Surroca, M., 2006. Vegetation height selection in Montagu's Harriers *Circus pygargus* breeding in a natural habitat. *Ardea* **94**, 280–284.
- Limiñana, R., Surroca, M., Miralles, S., Urios, V., Jimenez, J., 2006. Population trend and breeding biology of Montagu's Harrier *Circus pygargus* in a natural vegetation site in northeast Spain. *Bird Study* **53**, 126–131.
- LPO Mission Rapaces, 2011. Plan National de Sauvegarde Busards.
- LPO Mission Rapaces, 2007. Les Busards - Cahier technique.
- Martínez, J.A., López, G., Falcó, F., Campo, A., De La Vega, A., 1999. Hábitat de caza y nidificación del Aguilucho Cenizo *Circus pygargus* en el Parque Natural de La Mata-Torre Vieja (Alicante, SE de España): Efectos de la estructura de la vegetación y de la densidad de presas. *Ardeola* **46**, 205–212.
- Mazerolle, Marc J. (2015) AICcmodavg: Model selection and multimodel inference based on (Q)AIC(c). R package version 2.0-3. <http://CRAN.Rproject.org/package=AICcmodavg>

- Millon, A., Arroyo, B.E., Bretagnolle, V., 2008. Variable but predictable prey availability affects predator breeding success: natural versus experimental evidence. *Journal of Zoology* **275**, 349–358.
- Millon, A., Bourrioux, J.-L., Riols, C., Bretagnolle, V., 2002. Comparative breeding biology of Hen Harrier and Montagu's Harrier: an 8-year study in north-eastern France. *Ibis* **144**, 94–105.
- Ministère en charge de l'écologie, MNHN, 2008. Busard cendré, *Circus pygargus* (Linné, 1758), in: Cahiers D'habitats Natura 2000. Connaissance et Gestion Des Habitats et Des Espèces D'intérêt Communautaire. Cahiers Oiseaux (version Provisoire de 2008).
- Nature Midi-Pyrénées, Frémaux, S., Ramière, J., 2012. Atlas des oiseaux nicheurs de Midi-Pyrénées. Delachaux et Niestlé, Paris.
- Pandolfi, M., Tanferna, A., 2009. Long-Term Change in Population Size and Reproductive Parameters of Montagu's Harriers (*Circus pygargus*) in Italy. *Journal of Raptor Research* **43**, 155–159.
- Peet, R.K., 1974. The Measurement of Species Diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics* **5**, 285–307.
- QGIS Development Team, 2014. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>
- R Core Team, 2013. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rocamora, G., Yeatman-Berthelot, D., Vanardois, P., 1999. Oiseaux menacés et à surveiller en France: listes rouges et recherche de priorités : populations, tendances, menaces, conservation. LPO ; SEOF.
- Salamolard, M., Butet, A., Leroux, A., Bretagnolle, V., 2000. Responses of an avian predator to variations in prey density at a temperate latitude. *Ecology* **81**, 2428–2441.
- Sanderson, F.J., Donald, P.F., Pain, D.J., Burfield, I.J., van Bommel, F.P.J., 2006. Long-term population declines in Afro-Palaearctic migrant birds. *Biological Conservation* **131**, 93–105.
- Scharlemann, J.P.W., Balmford, A., Green, R.E., 2005. The level of threat to restricted-range bird species can be predicted from mapped data on land use and human population. *Biological Conservation* **123**, 317–326.
- Soutullo, A., Limiñana, R., Urios, V., Surroca, M., A. Gill, J., 2006. Density-dependent regulation of population size in colonial breeders: Allee and buffer effects in the migratory Montagu's harrier. *Oecologia* **149**, 543–552.
- Stoate, C., Boatman, N., Borralho, R., Carvalho, C.R., Snoo, G.R. d., Eden, P., 2001. Ecological impacts of arable intensification in Europe. *Journal of Environmental*

Management **63**, 337–365.

- Terraube, J., Arroyo, B.E., Mougeot, F., Katzner, T.E., Bragin, E.A., 2010. Breeding biology of Montagu's Harrier *Circus pygargus* in north-central Kazakhstan. *Journal of Ornithology* **151**, 713–722.
- Thiollay, J.-M., Bretagnolle, V., Newton, I., Thurel, J., 2004. Rapaces nicheurs de France. Delachaux et Niestlé, Paris.
- Trierweiler, C., 2004. Considerations on Demography and Conservation of Montagu's Harrier *Circus pygargus* in east Groningen, Netherlands. Master of Science Thesis. University of Groningen.
- Trierweiler, C., 2010. Travels to feed and food to breed: the annual cycle of a migratory raptor, Montagu's harrier, in a modern world. PhD thesis. University of Groningen.
- UICN France, MNHN, SEOF, LPO, ONCFS, 2011. La Liste rouge des espèces menacées en France - oiseaux de France métropolitaine. Paris ; Rochefort.
- Webb, N.R., 1998. The traditional management of European heathlands. *Journal of Applied Ecology* **35**, 987 – 990.
- Wiącek, J., 2009. Nest site selection of Montagu's harrier *Circus pygargus* breeding in natural habitats in eastern Poland. *Ardea* **97**, 117–119.
- Wiącek, J., 2008. Benefits and costs of semi-colonial breeding in the Montagu's Harrier *Circus pygargus*. *Belgian Journal of Zoology* **138**, 36–40.
- Zuur, AF, Ieno, EN, Walker, N, Saveliev, AA, and Smith, GM. Springer (2009). Mixed effects models and extensions in ecology with R.

Sitographie

- BirdLife International (2004). Montagu's Harrier, detailed species account from Birds in Europe: population estimates, trends and conservation status. <http://www.birdlife.org/datazone/userfiles/file/Species/BirdsInEuropeII/BiE2004Sp3411.pdf> (consulté le 29/07/2015)
- Chambre d'Agriculture de l'Aveyron (2010). L'Aveyron Agricole en chiffres. <http://www.aveyron.chambagri.fr/decouvrir-laveyron/laveyron-agricole-en-chiffres.html> (consulté le 29/07/2015)
- Chambre d'Agriculture Midi-Pyrénées (2012). L'agriculture aveyronnaise en bref, édition 2012. http://www.aveyron.chambagri.fr/fileadmin/documents_ca12/Aveyron/EspaceAveyron/AveyronChiffres/1684_CRAMP_Fiche_12-HD.pdf (consulté le 29/07/2015)
- Parc Naturel Régional des Grands Causses. Les Causses. <https://www.parc-grands-causses.fr/decouvrir/les-paysages/les-causses> (consulté le 29/07/2015)

Table des Annexes

Annexe I : Schéma présentant la procédure de sélection des sites prospectés et des sites témoins

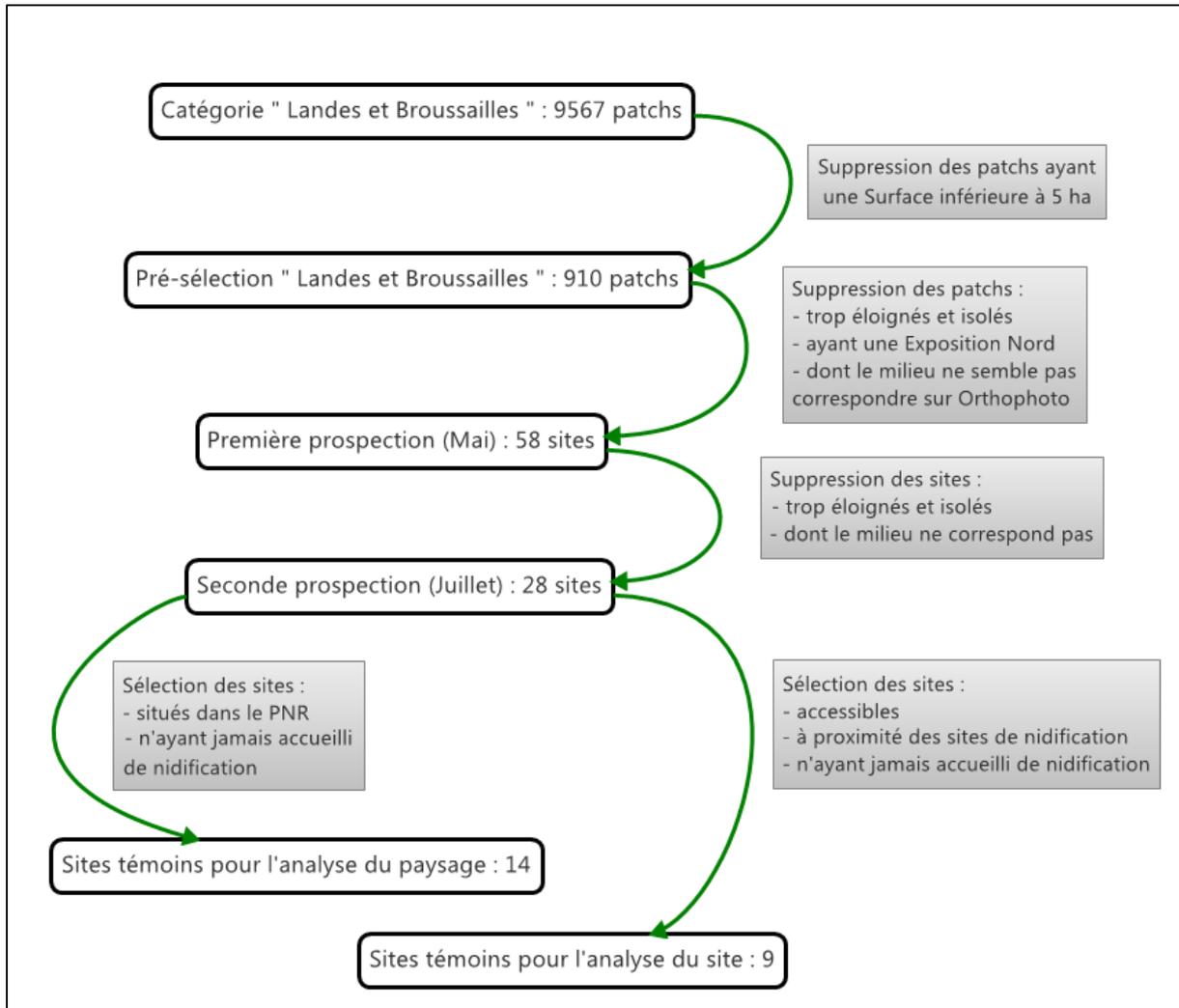
Annexe II : Tableau résumé de l'ensemble des paramètres déterminés ainsi que de leurs méthodes de mesure

Annexe III : Cercle des corrélations de la première ACP sur les variables à l'échelle du paysage

Annexe IV : Cercle des corrélations de la seconde ACP sur les variables à l'échelle du paysage

Annexe V : Carte montrant le réseau des sites de nidification sur les Monts du Lévézou

Annexes



Annexe I : Schéma présentant la procédure de sélection des sites prospectés et des sites témoins

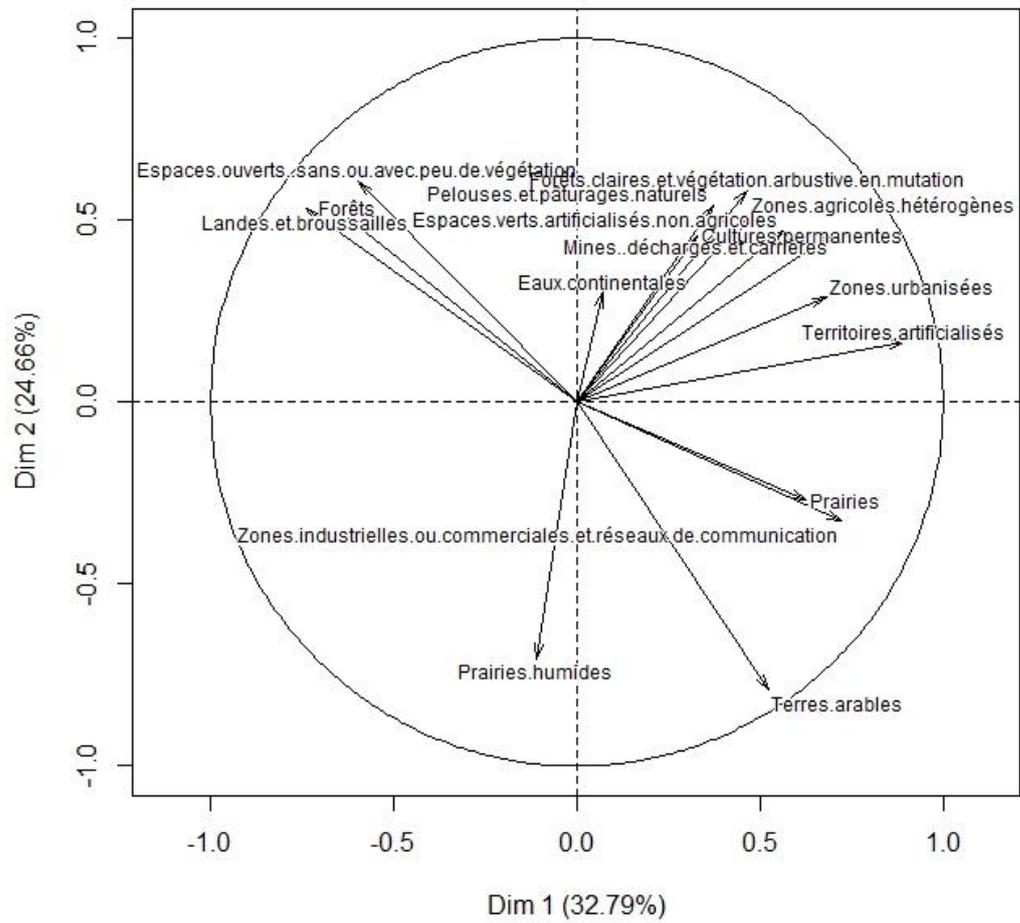
Annexe II : Tableau résumé de l'ensemble des paramètres déterminés ainsi que de leurs méthodes de mesure

En ce qui concerne l'emplacement du nid, les paramètres botaniques ont été estimés à partir d'un quadrat de 16 m² centré sur le nid.

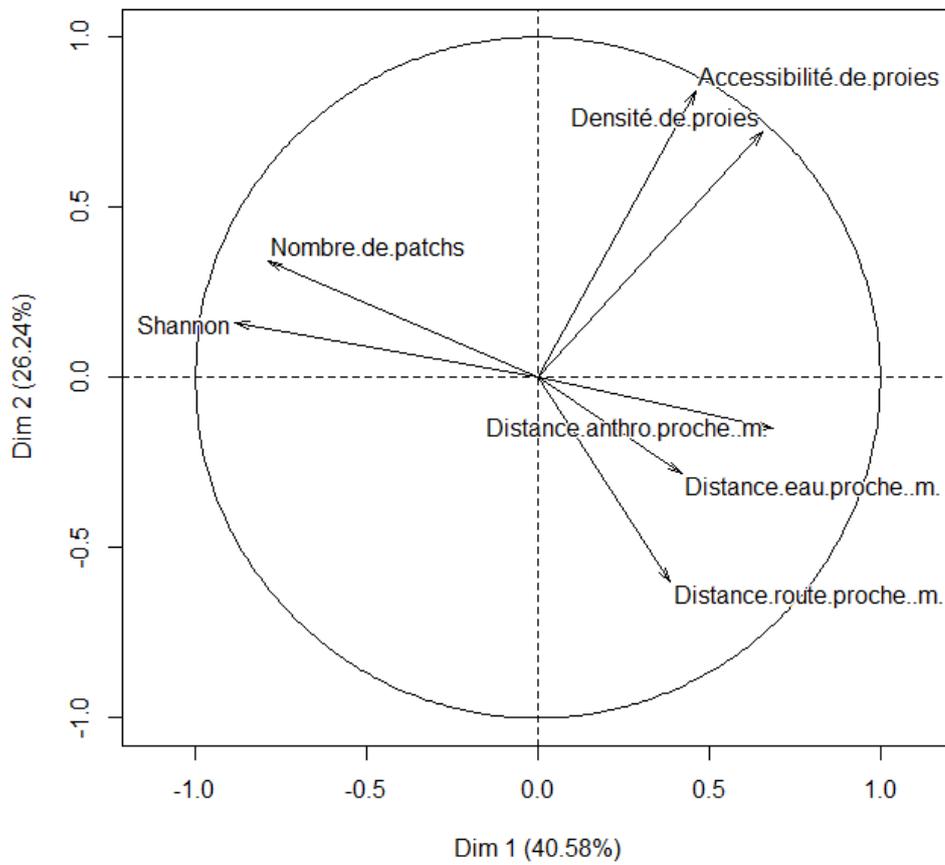
Pour les paramètres botaniques du site, trois quadrats de 16 m² ont été réalisés dans les milieux les plus caractéristiques du site et séparés d'au moins 30 mètres les uns des autres. Une moyenne de ces trois répliques a ensuite été réalisée. Lorsqu'il n'a pas été possible de réaliser ces trois répliques (milieux trop inaccessibles), un unique quadrat de 49 m² a été réalisé.

Paramètre évalué	Type	Méthode de mesure
Hauteur de végétation maximale	Nid	Hauteur de végétation au point le plus haut dans le quadrat
Hauteur de végétation moyenne	Nid	Hauteur de végétation à 4 points situés à 1 m du nid
Densité de végétation	Nid	% de recouvrement total dans le quadrat
Composition de la végétation	Nid	% de recouvrement par espèce et par strate dans le quadrat. Calcul de la proportion d'espèces épineuses
Distance au perchoir le plus proche	Nid	Estimation visuelle
Exposition	Nid	Exposition principale du site, mesure sur carte IGN et logiciel SIG
Topographie	Nid	Attribution d'une classe qualitative : <i>plat, bas milieu et haut de versant, concavité, sommet</i>
Hauteur de végétation maximale	Site	Hauteur de végétation au point le plus haut dans le quadrat
Hauteur de végétation par strate	Site	Moyenne de 4 mesures de hauteur de végétation par strate dans le quadrat
Hauteur de végétation moyenne	Site	Hauteur de végétation moyenne de la strate dominante dans le quadrat
Densité de végétation	Site	% de recouvrement total par strate dans le quadrat
Composition de la végétation	Site	% de recouvrement par espèce et strate dans le quadrat. Proportion d'espèces épineuses
Degré de fermeture	Site	Attribution d'un indice de fermeture situé entre 1 et 10 en fonction du pourcentage de recouvrement d'arbres et arbustes, de la densité et de la hauteur du milieu
Surface du site	Site	Mesure sur logiciel SIG
Topographie	Site	Classes qualitatives : <i>plat, bas milieu et haut de versant, concavité</i>
Pente	Site	Mesure sur carte IGN et logiciel SIG
Exposition	Site	Exposition principale du site, mesure sur carte IGN et logiciel SIG
Altitude	Site	Altitude moyenne du site, mesure sur carte IGN et logiciel SIG

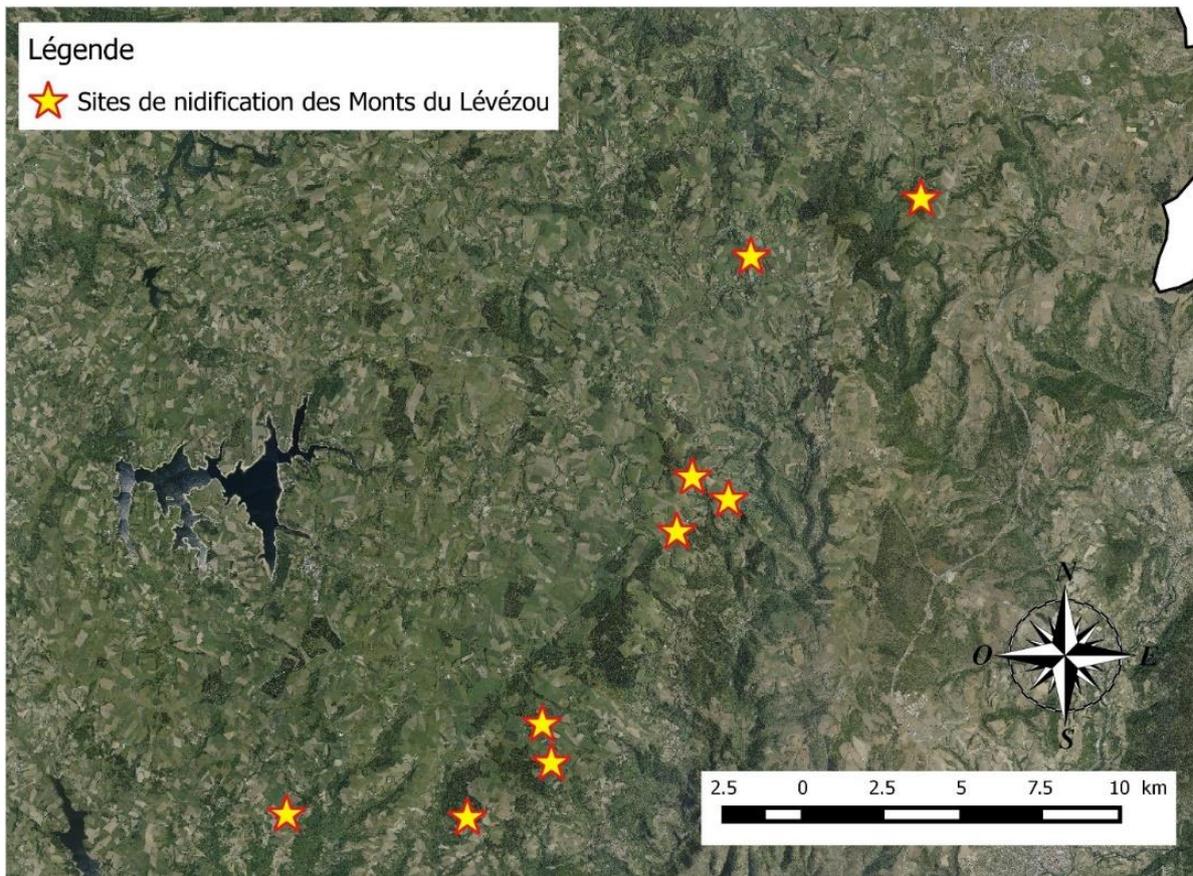
Densité de perchoirs	Site	Attribution d'une classe : <i>Absence, Peu, Moyen, Beaucoup</i> . <i>Peu</i> correspond à un nombre de perchoirs < 5, <i>Moyen</i> de 5 à 10 et <i>Beaucoup</i> à plus de 10 perchoirs
Type de perchoirs	Site	Attribution d'une classe qualitative : <i>arbres morts, rochers plats, piquet de clôture</i>
Proximité immédiate d'un chemin	Site	" Oui " si un chemin délimite le site ou y mène. " Non " sinon
Composition du Paysage	Paysage	Calcul du % de surface de chaque milieu dans un rayon de 2 km autour du nid à partir de l'occupation du sol du PNR sur logiciel SIG. Utilisation de 16 catégories correspondant aux niveaux 2 ou 3 de la nomenclature
Fragmentation du paysage	Paysage	Calcul du nombre de patches total dans un rayon de 2 km autour du nid à partir de l'occupation du sol du PNR sur logiciel SIG
Hétérogénéité du Paysage	Paysage	Calcul d'un indice de Shannon à partir de la composition du paysage
Densité de proies	Paysage	Pourcentage de milieux pouvant accueillir la présence de campagnols
Accessibilité des proies	Paysage	Attribution d'un coefficient de hauteur de végétation aux milieux pouvant accueillir la présence de campagnols
Distance à l'ouvrage anthropique le plus proche	Paysage	Mesure sur carte IGN et logiciel SIG
Distance à la route la plus proche	Paysage	Mesure sur carte IGN et logiciel SIG
Distance à la source en eau la plus proche	Paysage	Mesure sur carte IGN et logiciel SIG
Productivité	Reproduction	Observation du nombre de juvéniles à l'envol
Succès reproducteur	Reproduction	Observation de juvéniles à l'envol
Disponibilité alimentaire	Reproduction	Fréquence d'apport de proies par le mâle
Date de cantonnement	Reproduction	Date à partir de laquelle le couple est présent sur le site. Estimation à partir des observations
Date de ponte	Reproduction	Estimation à partir des observations
Date d'éclosion	Reproduction	Estimation à partir des observations
Date d'envol des juvéniles	Reproduction	Date à partir de laquelle les juvéniles commencent à voler et sortir du nid Estimation à partir des observations
Emancipation	Reproduction	Période pendant laquelle les juvéniles volent mais dépendent encore des adultes et restent présents sur le site de nidification



Annexe III: Cercle des corrélations de la première ACP sur les variables à l'échelle du paysage



Annexe IV : Cercle des corrélations de la seconde ACP sur les variables à l'échelle du paysage



Annexe V : Carte montrant le réseau des sites de nidification sur les Monts du Lézou

	Diplôme : Ingénieur agronome Spécialité : Génie de l'Environnement Spécialisation / option : Préservation et Aménagement des Milieux, Ecologie Quantitative Enseignant référent : Didier Le Cœur
Auteur(s) : Fabien VERNIEST Date de naissance* : 04-02-1992	Organisme d'accueil : SOS Busards Adresse : Laval, 12 800 - Quins
Nb pages : 50 Annexe(s) : 5	Maître de stage : Viviane Lalanne-Bernard
Année de soutenance : 2015	
Titre français : Etude des paramètres influençant le choix du site de nidification chez le Busard cendré (<i>Circus pygargus</i>) : Le cas des milieux semi-naturels en Aveyron	
Titre anglais : Analysis of the parameters affecting nest-site selection in Montagu's harriers (<i>Circus pygargus</i>): a case-study of semi-natural habitats in the French department of Aveyron	
Résumé : <p>La modernisation de l'agriculture a entraîné chez le Busard cendré un changement d'habitat : seulement 25 à 30 % niche encore en landes sèches en Aveyron. Or ces milieux sont plus favorables à la reproduction que les prairies de fauche, désormais son milieu de nidification principal. Il est donc vital de comprendre ce qui détermine le choix du site de nidification en milieux semi-naturels afin de préserver ces sites. Pour cela, nous avons comparé des sites de nidification à des sites témoins selon plusieurs paramètres à l'échelle du site et du paysage. De même, nous avons comparé l'emplacement exact du nid à l'ensemble du site de nidification. Nous avons montré que l'emplacement du nid est plutôt situé dans une zone à fort recouvrement d'espèces épineuses avec une hauteur de végétation proche du mètre. Le site de nidification choisi, lui, présente un degré de fermeture intermédiaire ainsi qu'une forte densité de la strate buissonnante. De même, une grande superficie semble nécessaire à l'installation d'une micro-colonie. Enfin à l'échelle du paysage, les prairies humides, pelouses et pâturages naturels ont un effet négatif sur la probabilité de nidification. De plus, le paysage des sites de nidification semble moins hétérogène et fragmenté que pour les sites témoins. En outre, on observe un effet positif de la distance à la structure anthropique la plus proche. Ces résultats pourraient permettre la mise en place des méthodes de gestion appropriées afin de conserver les sites de nidification et de restaurer des sites moins favorables.</p>	
Abstract: <p>Agriculture modernization led to a habitat shift in Montagu's harrier: only 25 to 30 % still breeds in dry heaths in the French department of Aveyron. However, they breed better in these habitats than in hayfields, which is their new main nesting habitat. Therefore it is essential to understand what sets the nest-site selection in semi-natural habitats in order to preserve these sites. To do so, we compared nesting sites with control sites according to several parameters at a site and a landscape scale. We also compared the exact nest location with the entire site. Nest location appeared to be situated in an area with a high thorny-species covering and a vegetation height close to one meter. We found out that nesting sites had a medium degree of closure and a high bushy stratum density. A large area also seemed to be required for the presence of several breeding pairs. At last, wet meadows, natural dry grasslands and natural pastures had a negative effect at a landscape scale on the nesting probability. Moreover, nest-sites landscape seemed to be less heterogeneous and fragmented than control sites landscape. Besides, we observed a positive effect of the distance to the nearest human structure. Thanks to these results, suitable managing habitat methods could be set up in order to preserve nesting sites and to restore sites that are less favorable.</p>	
Mots-clés : Reproduction, sélection, nid, landes sèches, conservation	
Key Words: Breeding, dry heaths, nesting, conservation	

* Elément qui permet d'enregistrer les notices auteurs dans le catalogue des bibliothèques universitaires